



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, CONSERVAÇÃO E MANEJO DE VIDA
SILVESTRE

AVES COMO ESPÉCIES-CHAVE EM ÁREAS EM RESTAURAÇÃO: UMA
ABORDAGEM INTEGRATIVA
CAROLINE FARAH ZIADE

BELO HORIZONTE
2021

CAROLINE FARAH ZIADE

**AVES COMO ESPÉCIES CHAVE EM ÁREAS EM RESTAURAÇÃO: UMA
ABORDAGEM INTEGRATIVA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dra. Tatiana Garabini Cornelissen
Coorientador: Prof. Dr. Cristiano Schetini de Azevedo

BELO HORIZONTE

2021

043

Ziade, Caroline Farah.

Aves como espécies chave em áreas em restauração: uma abordagem integrativa [manuscrito] / Caroline Farah Ziade. - 2021.

37 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientador: Prof. Dra. Tatiana Garabini Cornelissen. Coorientador: Prof. Dr. Cristiano Schetini de Azevedo.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre.

1. Ecologia. 2. Aves. 3. Dispersão de Sementes. 4. Recuperação e Remediação Ambiental. I. Cornelissen, Tatiana Garabini. II. Azevedo, Cristiano Schetini de. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU: 502.7



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, CONSERVAÇÃO E MANEJO DA VIDA SILVESTRE

FOLHA DE APROVAÇÃO

"Aves como espécies chave em áreas em restauração: uma abordagem integrativa"

CAROLINE FARAH ZIADE

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **24 de novembro de 2021**, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Doutor(a) Celine de Melo
(UFU)

Doutor(a) Fernando Augusto de Oliveira e Silveira
(UFMG)

Doutor(a) Tatiana Garabini Cornelissen
(Presidente da Banca)

Belo Horizonte, 24 de novembro de 2021.

Assinaturas dos Membros da Banca



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Augusto de Oliveira e Silveira, Membro**, em 25/11/2021, às 13:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tatiana Garabini Cornelissen, Membro**, em 29/11/2021, às 09:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Celine de Melo, Usuária Externa**, em 30/11/2021, às 14:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1104241** e o código CRC **2BDC4D02**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por essa conquista. Agradeço à minha mãe Adriana, por ter sido pai e mãe por tantos anos e ter possibilitado com que eu chegasse até aqui. Sem você, nada disso seria possível. Agradeço a minha estrela guia mais linda que está no céu, o meu pai Charles. Tenho certeza que você sempre está presente em todos os momentos da minha vida, mesmo que apenas espiritualmente. Agradeço às minhas irmãs Michelle e Danielle por sempre estarem ao meu lado em todas as decisões da minha vida, em especial à Michelle por ter me dado o meu maior presente, meu sobrinho Fifipo, que nos momentos de estresse e cansaço me faz sempre feliz, com a sua ternura, amor e carinho.

Agradeço à minha orientadora Dra. Tatiana Cornelissen, por toda a paciência ao longo desses anos de mestrado. As suas palavras, o seu carinho, a sua calma me traziam a confiança em todos os momentos. Você é um ser humano incrível. Desconheço uma orientadora como você e não conseguiria expressar em palavras a minha gratidão, respeito e admiração.

Agradeço ao meu coorientador Dr. Cristiano Schetini por todos os ensinamentos durante o período do meu mestrado.

Agradeço à CEMIG e à equipe do Projeto Fênix pela parceria, em especial à Marcelinha, pela amizade, carinho e companheirismo! Uma grande amiga que o mestrado me deu a oportunidade de ter em minha vida.

Agradeço aos componentes da banca: Dr. Fernando Augusto, Dra. Celine de Melo e Dra. Giselle Martins.

Agradeço a todas as minhas amigas que sempre estiveram ao meu lado.

A todos, meu muito obrigada!

RESUMO

Embora seja inquestionável que a degradação do solo e dos recursos hídricos gerem impactos drásticos sobre a biodiversidade e serviços ecossistêmicos, ambientes degradados também possibilitam a restauração ecológica. De acordo com o Instituto de Recursos Mundiais, mais de 2 bilhões de hectares em todo o mundo podem ser restaurados, principalmente em regiões tropicais. Medidas como a complexidade no aumento na estrutura da vegetação, diversidade de espécies e processos do ecossistema são parâmetros para indicar o sucesso desses projetos de restauração ecológica. Vertebrados, especialmente aves, têm sido avaliados como elementos-chave no processo da restauração em função do serviço ecossistêmico da dispersão de sementes e funções associadas ao estabelecimento de comunidades vegetais. Nessa dissertação objetivou-se avaliar o papel das aves como espécies-chave em áreas em regeneração através de uma revisão integrativa. Para isso, realizamos uma revisão sistemática, que consistiu em 1) avaliar os estudos publicados na literatura científica com foco em restauração ecológica e aves e 2) realizar uma meta-análise avaliando os efeitos da presença de poleiros artificiais para aves em diversas variáveis de plantas (e.g., riqueza e abundância de plântulas; cobertura vegetal e sementes) associadas às comunidades em processo de restauração ecológica. Esses estudos foram publicados ao longo dos últimos 25 anos (1993-2020), com destaque para a última década (2010-2020), que abrigou mais de 60% dos estudos publicados. Os estudos foram conduzidos em 85 países diferentes e os Estados Unidos lideraram o número de artigos envolvendo aves e restauração, com cerca de 39% dos estudos publicados (n=104 estudos). Observou-se um efeito forte e significativo da adição experimental de poleiros artificiais para aves como técnica de restauração de áreas degradadas, independente da origem do dano e da variável da comunidade analisada. Áreas em que poleiros foram instalados sozinhos como técnica de restauração apresentaram um aumento de mais de 50% nas variáveis analisadas de plantas, mas o uso de poleiros associados com outras técnicas de nucleação, como a transposição de solo, aumentou em quase 200% as variáveis medidas nas comunidades de plantas em relação às áreas controle. Esses resultados em conjunto reforçam o papel chave de aves em processos de restauração ecológica e indicam que o uso de poleiros artificiais aumenta a velocidade da restauração ecológica, especialmente se estiver associado à outra técnica de nucleação.

Palavras-chave: Ciênciometria, Restauração Ecológica; Poleiros de aves; dispersão de sementes

ABSTRACT

While it is unquestionable that land degradation and water resources generate drastic impacts on biodiversity and ecosystem services, degraded environmental also represent possibility for ecological restoration. According to the World Resources Institute, more than 2 billion hectares worldwide can be restored, mainly in tropical regions. Measures such as the complexity in vegetation structure, species diversity and ecosystem process are parameters to indicate the success of ecological restoration projects. Vertebrates, especially birds, have been suggested as key stone species in restoration projects, especially due to the provision of ecosystem service of seed dispersal and associated functions in the establishment of plant communities. In this dissertation we aimed to evaluate the effects of birds as a key species in areas under regeneration. To this aim, we conducted an integrative systematic review, which consisted in 1) the evaluation of published studies focusing on ecological restoration by birds and 2) a meta-analysis evaluating the effects of bird perches on several plant variables associated with communities in the process of ecological restoration. These studies were published over the last 25 years (1993-2020), with emphasis on the last decade (2010-2020), which comprised more than 60% of the published studies. The studies were conducted in 85 different countries and the United States led the number of articles involving birds and restoration, with about 39% of the studies published (n=104 studies). A strong and significant effect of the experimental addition of artificial perches for birds was observed as a technique for restoration of degraded areas, regardless of the origin of the damage and the variable of the plant community evaluated. Areas in which artificial perches were installed alone as a restoration technique showed an increase of more than 50% in plant variables, but the use of perches associated with other nucleation techniques, such as soil transposition, increased by almost 200% the success of plant communities in relation to the control areas. These results reinforce the key role of birds in ecological restoration processes and indicate that the use of artificial perches might increase the speed of the restoration, especially if associated with other nucleation techniques.

Keywords: Scientometric, Ecological Restoration; Nucleation pews, seed dispersal.

Sumário

<u>RESUMO</u>	6
<u>ABSTRACT</u>	7
<u>INTRODUÇÃO</u>	9
<u>METODOLOGIA</u>	11
<u>Ciênciometria: Base de dados e Revisão Qualitativa</u>	11
<u>Meta-Análise - Efeitos de poleiros nas comunidades de plantas em áreas sob restauração</u>	12
<u>Análise de dados: Ciênciometria</u>	13
<u>Análise de dados: Meta-Análise</u>	13
<u>RESULTADOS</u>	15
<u>Ciênciometria</u>	15
<u>Meta-análise: efeitos de poleiros de aves em comunidades de plantas</u>	20
<u>DISCUSSÃO</u>	24
<u>CONSIDERAÇÕES FINAIS</u>	28
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	29
<u>APÊNDICE 1</u>	35
<u>APÊNDICE 2</u>	40

INTRODUÇÃO

Mudanças de origem antropogênica nos habitats terrestres e aquáticos representam uma das principais causas da perda de biodiversidade (McGill et al. 2015). Como consequência, importantes processos ecossistêmicos são alterados (Cardinale et al. 2011), resultando em profundos impactos no funcionamento dos ecossistemas (Wardle et al. 2011) e no fornecimento de serviços ecossistêmicos (Johnson et al. 2017). A perda de espécies por meio da extinção leva à perda direta e indireta de importantes relações ecológicas mutualísticas entre plantas e animais, como a polinização das flores e a dispersão das sementes de plantas (Ortega-Álvarez & Lindig-Cisnéros 2012, Dirzo et al. 2014), levando a mudanças detectáveis na estrutura das comunidades e nos processos que regulam os ecossistemas. Diante desses novos cenários de mudanças globais, a restauração ecológica torna-se uma importante ferramenta para reduzir ou mitigar a degradação dos habitats (Bullock et al. 2011, Strassburg et al. 2020) e restaurar as funções dos ecossistemas.

Interações entre animais e plantas têm papel central na evolução e diversificação da morfologia de frutos e na dispersão de sementes das Angiospermas e o entendimento do papel de dispersores na diversificação dos frutos e nas diferentes estratégias de dispersão permite avaliar os mecanismos evolutivos que agem nos processos-chave do ciclo de vida das plantas (Bascompte & Jordano 2007). Entretanto, a recente defaunação (*sensu* Dirzo et al. 2014), a perda de habitats naturais e a perda das interações entre as espécies (Valliente-Banuet et al. 2015) têm colocado em risco o serviço ecossistêmico da dispersão de frutos e estabelecimento de plântulas, tornando o processo de restauração de áreas degradadas ainda mais complexo e muitas vezes mais lento.

Inúmeras técnicas de restauração ecológica têm sido propostas ao longo das últimas décadas e revisões recentes (e.g., Guerra et al. 2020, Romanelli et al. 2021) indicam a multitude de elementos que devem ser considerados em planos de restauração ambiental, como o objetivo final, o tempo necessário para as medidas de sucesso e a trajetória dos ecossistemas restaurados. Algumas das técnicas de restauração ecológica se baseiam principalmente nas relações de facilitação e nos processos de sucessão ecológica secundária (Abreu 2010, Navarro-Cano et al. 2019). O conceito de facilitação por nucleação tem sido amplamente usado como estratégia de restauração e inclui a adição ou indução de núcleos de vegetação na área degradada (Reis et al. 2013). Tais técnicas visam a formação de microhabitats, a atração da fauna, o incremento do banco de sementes e a restauração do habitat como um todo, a partir da facilitação seguida de sucessão ecológica (Reis et al. 2013, Reis et al. 2010). Apesar da restauração ecológica ter uma abordagem muitas vezes inicialmente fitocêntrica, reconhece-se o papel fundamental dos

animais e microrganismos no processo de restauração (Majer 2009) e nas áreas degradadas restauradas após intervenção (Ortega-Álvarez & Lindig-Cisneros 2012). Técnicas de restauração por nucleação incluem abrigos artificiais para animais, adição de poleiros artificiais para aves, transposição de solo e de bancos de sementes dentre outras técnicas, possibilitando assim o desenvolvimento de núcleos dentro das paisagens alteradas, aumentando a conectividade da paisagem e restaurando o fluxo de propágulos entre áreas (Reis et al. 2010).

A dispersão de sementes por animais é um fenômeno intrinsecamente complexo e heterogêneo e envolve plantas com diferentes características funcionais e diferentes mecanismos evolutivos da manutenção dessa interação mutualística (Herrera & Pellmyr 2002). Aves e mamíferos são os principais dispersores da maioria das Angiospermas (Ericksson 2008) e a alta diversidade de aves frugívoras indica a importância desse grupo funcional para o recrutamento de espécies vegetais (Ericksson et al. 2000, Herrera & Pellmyr 2002). O entendimento da importância de animais no processo da dispersão de sementes e das fontes de variação na eficiência desse serviço permite, por exemplo, usar o conhecimento de forma aplicada para a restauração ecológica de ambientes degradados, onde dispersores são introduzidos (e.g., Sobral-Souza et al. 2017) ou atraídos através de técnicas de nucleação (e.g., poleiros artificiais, enleiramento de galharias). Poleiros artificiais são amplamente usados em projetos de restauração com o objetivo de fornecer locais de descanso para a avifauna, que ao defecarem podem aumentar a disponibilidade de sementes em áreas abertas, onde a dispersão é normalmente limitada pela falta de árvores (Guidetti et al. 2016).

Para avaliar a importância das aves em áreas em regeneração ativa, a partir de projetos de restauração ecológica e especificamente avaliar como poleiros artificiais influenciam a trajetória de plantas em áreas em restauração, foi conduzida uma revisão sistematizada integrativa da literatura científica, usando técnicas ciênciométricas e de meta-análise para melhor caracterizar, compreender e quantificar os efeitos das aves e de poleiros artificiais em variáveis das comunidades de plantas em que técnicas de nucleação foram usadas como estratégias de restauração ecológica. A análise bibliométrica ou ciênciométrica permite avaliar a bibliografia disponível sobre determinado tema, evidenciando lacunas na pesquisa (Koricheva et al. 2013, Jia et al. 2013), enquanto a meta-análise fornece uma estimativa quantitativa da magnitude de determinado efeito (Gurevitch et al. 2018) e suas fontes de variação.

Assim, os objetivos deste estudo foram 1) avaliar as tendências e lacunas na pesquisa sobre o papel das aves na restauração ambiental ao longo das últimas décadas, 2) avaliar o papel das aves em áreas em regeneração por aumentarem a velocidade da restauração via chuva de

sementes e 3) quantificar os efeitos de poleiros artificiais em variáveis associadas às comunidades de plantas em áreas em processo de restauração ecológica.

METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento de artigos indexados na Web of Science e Scopus, entre 1945 e junho de 2020, utilizando a seguinte combinação de palavras-chave: [Topic of Search TS= (“Restoration Ecology” OR “Vegetation recovery” OR restoration) AND TS= (bird* OR “aves” OR “Seed disperser*” OR "bird perch*")]. A busca realizada utilizando-se essa combinação de palavras-chave abrangeu o título, resumo e palavras-chave indexadas da literatura primária. A base de dados foi complementada com estudos citados nas listas de referências dos artigos pesquisados e revisões narrativas previamente publicadas (e.g., Guerra et al. 2020; Guidetti et al. 2016). Após a pesquisa inicial, foi realizado o download dos artigos para o EndNote®, para o gerenciamento e organização das referências, de acordo com as palavras-chave definidas.

Ciênciometria: Base de dados e Revisão Qualitativa

Utilizamos o fluxograma do PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*; Page et al. 2021a) para explicitar os critérios de inclusão e exclusão dos estudos buscados eletronicamente. Para a inclusão na base de dados após o *screening* inicial, alguns critérios foram definidos: 1) artigos no idioma inglês; 2) artigos que abordam o tema restauração e que incluam o grupo da avifauna. Foram incluídos na base de dados qualitativa apenas os artigos encontrados na combinação de palavras-chave “Restoration Ecology” AND “Birds”, uma vez que o objetivo dessa revisão qualitativa foi avaliar o papel das aves na restauração ecológica. Todos os estudos que não envolviam aves e restauração ecológica foram excluídos. A partir da leitura dos títulos e resumos dos 1,369 artigos levantados inicialmente, restaram um total de 266 artigos.

Desses artigos, as seguintes informações foram extraídas para compor o banco de dados: a) author(s); b) year of publication; c) country of the study; d) article source (e.g., journal name); e) category of the paper (e.g., research article, review article, meta-analysis, opinion article); f) focus of the restoration program (primary or secondary theme); g) main question of the study (e.g., wildlife behavior, abiotic and biotic effects on biodiversity, conservation projects, community structure including species distribution, abundance, biodiversity and richness; other questions, including ethnobiology, for example), h) target group (birds alone or birds among other groups). Dos 266 artigos, 75% (n=200 estudos) apresentaram a lista de aves encontradas

nas áreas em restauração ou enviaram a informação após consulta aos autores por e-mail. A taxonomia das aves seguiu a explicitada na base de dados Avibase® (Lapage et al., 2014).

Meta-Análise - Efeitos de poleiros nas comunidades de plantas em áreas sob restauração

Para avaliar os efeitos das aves em diversas variáveis de plantas associadas às comunidades em processo de restauração ecológica, a meta-análise foi focada em estudos que utilizaram poleiros de aves ("bird perches") como técnica de restauração. Tais estudos (n=18 estudos) utilizaram poleiros exclusivamente (n=13 estudos) ou poleiros juntamente com outras técnicas de restauração (n=5 estudos; poleiros e nucleação= 2 estudos, poleiros e transposição de solo= 3 estudos). Foi adotado o protocolo de Nakagawa et al. (2017) e as diretrizes estipuladas pelo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*; Page et al. 2021a) e REPRIME (Reproducibility and Replicability in Synthesis of Evidence; Page et al. 2021b).

Todos os artigos incluídos na revisão qualitativa (n=266) foram avaliados para a inclusão ou não na meta-análise (Fig.1), adotando-se os seguintes critérios: i) estudos que reportaram variáveis das plantas em áreas com e sem poleiros de aves; ii) estudos que reportaram valores médios das variáveis das plantas com alguma medida de variabilidade em torno da média e tamanho amostral reportado de forma clara; iii) estudos publicados em inglês.

De cada estudo incluído na meta-análise foram registrados: 1) Autor(es) e ano da publicação, 2) o periódico onde o estudo foi publicado, 3) a localização onde o estudo foi feito (cidade, estado e país), 4) as coordenadas latitude e longitude do estudo (quando disponibilizadas pelo autor ou quando passível de busca), 5) as fitofisionomias predominantes na área de estudo, 6) o tipo de dano da área de estudo na qual as técnicas de restauração foram implantadas, 7) o tempo e a frequência de monitoramento da área (em anos), 8) os dados médios das variáveis (riqueza e abundância de plântulas, cobertura vegetal e visitação de aves) resposta de plantas em áreas com e sem poleiro, com a devida medida de variância e o tamanho amostral. Para o registro do país, utilizamos o nome dos sítios de coleta ou coordenadas presentes nos artigos e para o bioma utilizamos o tipo predominante de vegetação, como descrito pelos autores do estudo. Registramos todas as variáveis de plantas medidas nesses 18 estudos. As variáveis associadas às plantas foram divididas entre variáveis associadas às plântulas e às sementes e, quando eram descritoras da riqueza, foram utilizados apenas dados de riqueza bruta (*raw richness*) e excluídos dados de riqueza após rarefação ou técnicas de aleatorização e/ou riqueza estimada de espécies. Para os dados associados à abundância de plântulas foram

agrupados os dados registrados como número de plântulas e densidade de plântulas por m², mas foi mantido separadamente o dado de cobertura vegetal quando reportado pelos autores.

Para dados disponíveis em figuras, cada figura foi digitalizada e dela extraídos os dados de riqueza e/ou diversidade usando o software ImageJ® (Imagej.nih.gov/ij), após calibrar a figura usando os valores plotados no eixo y como escala numérica. Medidas de variância, como o desvio padrão, erro padrão ou intervalos de confiança foram convertidas em unidades de desvio padrão para a inclusão na base de dados, usando-se uma calculadora estatística (Metawin calculator, Rosenberg et al. 2000). O tamanho amostral foi registrado conforme indicado pelos autores em relação ao número de réplicas para cada variável resposta em cada tratamento (áreas com e sem poleiros de aves). Quando um mesmo artigo forneceu dados para sementes e plântulas, ou dados de mais de uma variável resposta da comunidade de plantas (e.g., riqueza de plântulas e mortalidade de plântulas), essas foram reportadas separadamente na base de dados. Quando um mesmo artigo forneceu dados temporais (ao longo de meses, estações do ano ou anos de amostragem), apenas um dado (último na sequência temporal) foi incluído na base de dados, seguindo as diretrizes de Koricheva et al. (2013).

Análise de dados: Ciênciometria

Todas as informações retiradas dos artigos para a análise ciênciométrica foram utilizadas para cálculos de estatística descritiva (média, desvio-padrão ou proporção). Foi realizada uma correlação de Pearson para testar se o número de artigos estava relacionado com o ano de publicação. As coordenadas geográficas dos estudos, sempre que disponíveis, foram utilizadas para confecção de um mapa de distribuição mundial. As análises foram feitas no software R versão 3.5.0 (R Core Team, 2018).

Análise de dados: Meta-análise

Para a análise dos dados dos efeitos da presença de poleiros artificiais nas variáveis das comunidades de plantas em áreas em restauração foi utilizada a abordagem meta-analítica para integrar uma coleção de resultados envolvendo tamanhos de efeito de estudos individuais (Koricheva et al. 2013) a fim de calcular um efeito cumulativo geral, com a devida variância, a partir dos dados primários da literatura.

Foi utilizada a diferença média padronizada (Hedge's d) como métrica de meta-análise, uma vez que essa métrica é adequada para estimar tamanhos de efeito comparáveis entre estudos que possuam comparações entre dois ou mais grupos, utilizando os valores de média, desvio padrão e tamanho amostral para cada grupo controle ou tratamento. Foram consideradas como grupo controle as áreas sem os poleiros e como grupo tratamento as áreas com os poleiros.

Para o cálculo do Hedges' d , foi utilizada a média do(s) grupo(s) controle(s) em relação à média do(s) grupo(s) tratamento. Assim, valores positivos de Hedge's d indicam efeitos positivos da presença dos poleiros nas comunidades de plantas e valores negativos indicam efeitos negativos da presença dos poleiros nas comunidades de plantas. A significância dos efeitos individuais foi dada pela avaliação dos intervalos de confiança (95%), com efeitos cumulativos sendo considerados significativos se os intervalos de confiança não se sobrepuserem ao zero (Hedges et al. 1999).

Para estimar o efeito cumulativo (E_{++}) para uma amostra de estudos que abordaram o mesmo efeito individual, os tamanhos dos efeitos foram combinados entre os estudos usando modelos mistos multiníveis. Foram utilizados três níveis na parte aleatória dos modelos para incorporar a não-independência entre os estudos (nível 1), a não independência entre registros de um mesmo estudo (nível 2) e o erro (nível 3). Inicialmente, foi construído um modelo geral, que agrupou todas as variáveis reportadas para as plantas em áreas sob restauração, de maneira a permitir entender o efeito do uso dessa técnica nas comunidades de plantas. Para a construção do modelo, foram utilizadas variáveis que possuíam pelo menos três réplicas de tamanho individual de efeito (E_{+}). Posteriormente, foi testado o efeito dos poleiros em cada variável resposta separadamente utilizando os modelos multiníveis hierárquicos. Dado o baixo número de comparações para cada variável resposta das plantas, não foi possível usar modelos mistos usando-se as variáveis categóricas como moderadoras da meta-análise.

Para testar diferenças entre os níveis usados nos modelos multiníveis foram utilizadas análises de heterogeneidade Q (Gurevitch e Hedges 1999), particionando variância dentre os grupos (Q_B , *between*) e avaliando se os grupos categóricos são homogêneos ou não com respeito aos tamanhos de efeito. Foram calculadas a heterogeneidade total (Q_T), heterogeneidade dentro (Q_W) e entre os grupos (Q_B), e usamos uma distribuição X^2 para avaliar a significância de Q com $\alpha=5\%$.

Para avaliar a presença de viés de publicação, foram calculados os números de segurança de Rosenthal (fail-safe numbers), que indicam quantos resultados não significativos, estudos não publicados ou ausentes, teriam de ser adicionados à amostra para alterar seus resultados de significativos para não significativos (Rosenthal 1979, Rosenberg et al. 2000). Como regra geral, os resultados são considerados robustos se os números de segurança excederem $5n + 10$, onde n é o número de comparações. Todas as análises foram feitas usando os pacotes Metafor e EsCalc (Viechtbauer 2010) no programa R (R Core Team, 2020).

RESULTADOS

Ciênciometria

O número de artigos encontrados na busca inicial foi de 1.369, sendo 1.326 provenientes de buscas no Web of Science e Scopus; 18 outros artigos provenientes de Guerra et al., (2020) e 25 artigos de Guidetti et al. (2016). Considerando-se apenas os que combinaram as palavras-chave “Restoration Ecology” e “Birds” e os estudos adicionados das revisões de Guerra et al. (2020) e Guidetti et al. (2016) um total de 375 artigos foram completamente analisados de acordo com os critérios estabelecidos. Desses, 109 foram excluídos de acordo com os critérios estabelecidos no PRISMA, resultando em 266 estudos que integraram a revisão sistematizada (Fig. 1).

Esses estudos foram publicados ao longo dos últimos 25 anos (1993-2020), com destaque para a última década (2010-2020), que abrigou mais de 60% dos estudos publicados (Fig. 2A) e um crescimento acentuado a partir de 2012 ($R^2=0.87$, $P<0.001$). Os estudos foram conduzidos em 85 países diferentes e os Estados Unidos lideraram o número de artigos envolvendo aves e restauração, com cerca de 39% dos estudos publicados ($n=104$ estudos). Países como Espanha, Portugal, Nova Zelândia, França, Costa Rica, China, Canadá e Brasil apresentaram um número de estudos inferior à Austrália e aos Estados Unidos, mas um número superior em relação aos demais países registrados (Fig. 2B). A maior parte dos estudos de restauração foram realizados em áreas continentais (85%), mas ilhas representaram mais de 12% das áreas de estudo (Fig. 2B). Os estudos foram conduzidos com frequência relativamente similar em áreas temperadas (57% dos estudos) e tropicais (43% dos estudos) (Fig. 2B).

Os artigos científicos que compõem a base de dados utilizada no presente estudo foram publicados em 131 diferentes periódicos científicos (Fig. 3A), com três periódicos apresentando um maior número de estudos publicados: *Restoration Ecology* ($n=21$ artigos), *Biological Conservation* ($n=18$ artigos) e *Ecological Applications* ($n=14$ artigos). Periódicos específicos da área de ornitologia também foram fonte de artigos do tema, incluindo *The Wilson Journal of Ornithology*, *The Condor*, *Ornithological Applications* e *Ornitologia Tropical*, dentre outros. A maioria das revistas científicas obtiveram um registro de estudos inferior a 10. A maioria dos artigos foram artigos de pesquisa original (Research articles, 86%), seguidos de revisões (26 artigos), incluindo meta-análises (4 artigos) (Fig. 3B). Em 135 dos 266 artigos (50.7%), o foco principal do estudo era restauração ecológica, onde foram abordados temas como comportamento de aves e o efeito positivo na restauração; implicações na limitação de sementes durante a sucessão florestal inicial e o manejo do fogo. Em quase 50% dos estudos, a

restauração era foco ou objetivo secundário, onde foram abordados temas como efeito da remoção de serpentes sobre as aves em nidificação; teoria do mesopredador; modelos de seleção de habitats, dentre outros. Um total de 139 artigos, ou seja 52% da base de dados, possuíam como objeto de estudo apenas as aves, enquanto 127 estudos (48%) incluíram aves juntamente a outros grupos animais como mamíferos, répteis, anfíbios, peixes e invertebrados. Um total de 4,008 espécies de aves foram registradas em todos os artigos, distribuídas em 202 famílias. Doze famílias foram melhor representadas na base de dados, perfazendo um total de 1,547 espécies somadas (Fig. 3C), enquanto 47 famílias apresentaram o registro de uma única espécie (Tabela S1).

Os estudos selecionados possuíam objetivos distintos ao avaliar projetos de restauração ecológica, mas a maioria focou em efeitos abióticos (e.g., qualidade do solo, qualidade da água) na trajetória da diversidade das áreas em restauração (36% dos estudos) e em efeitos bióticos na diversidade das áreas em restauração (24%), mas poucos estudos avaliaram esses dois fatores simultaneamente (2.2%). Aproximadamente 10% dos estudos focaram na conservação de espécies (12%) e na distribuição, abundância, biodiversidade e riqueza de espécies nessas áreas (11%).

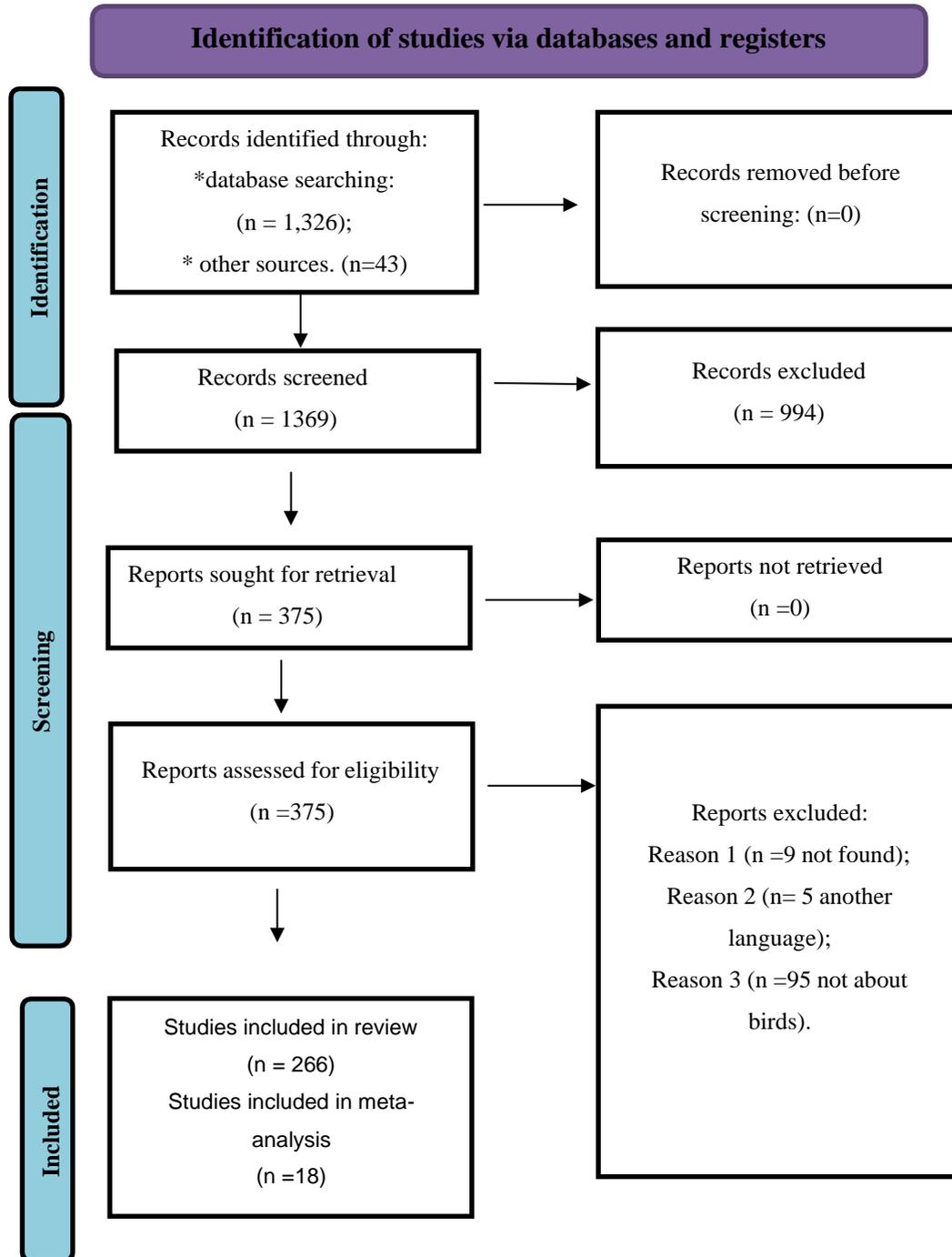


Figura 1. Fluxograma PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*) reportando as diferentes fases da busca e seleção de bibliografias utilizadas no presente estudo.

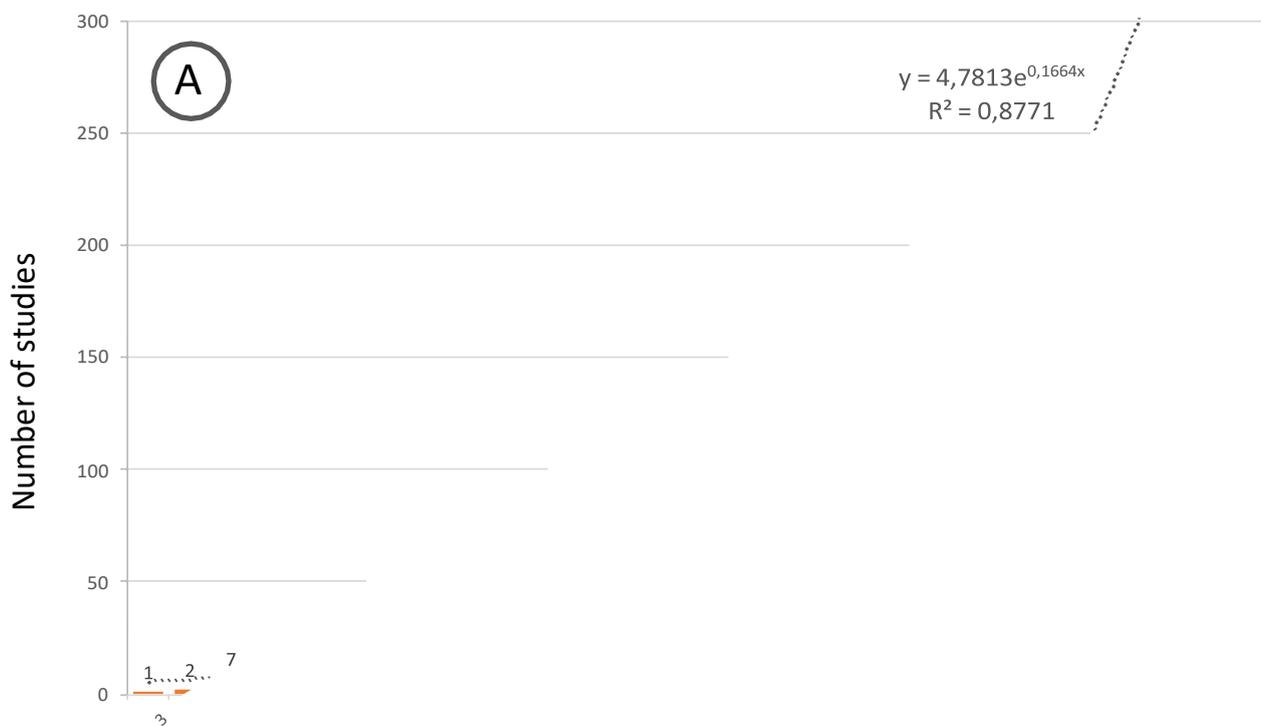


Figura 2. A) Número cumulativo de artigos publicados desde 1993 até 2020 sobre aves e restauração. As barras indicam número acumulado de estudos por ano e a linha pontilhada indica o crescimento exponencial dos artigos, mais acentuado na última década. B) Distribuição dos estudos encontrados (n=266) entre os países registrados na base de dados, onde cores mais escuras indicam maior número de registros. Os gráficos de setor mostram a porcentagem de estudos em ilhas (12%) e áreas continentais (85%) e entre as regiões temperada (57%) e tropical (43%).

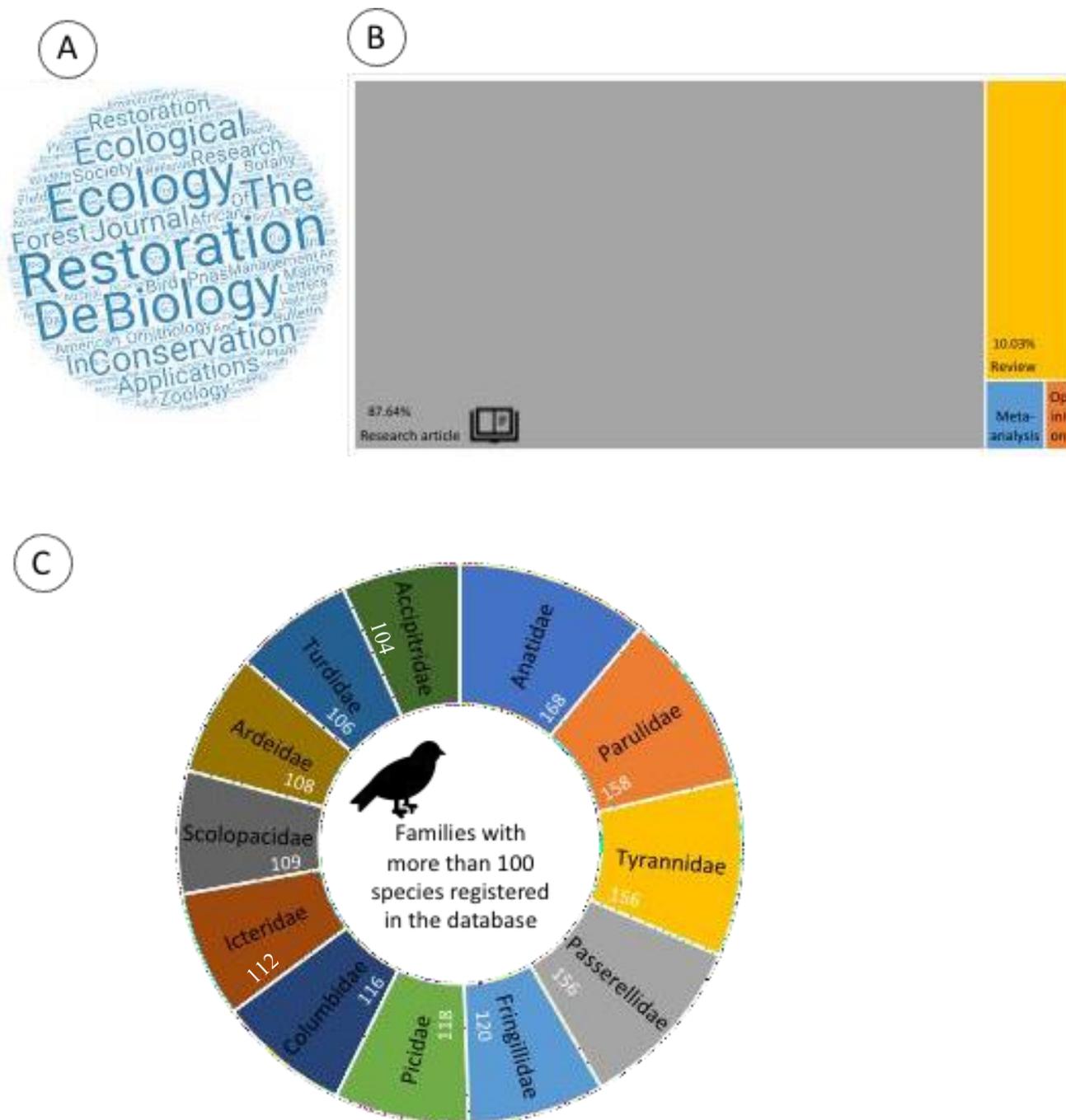


Figura 3. A) Revistas científicas que publicaram estudos de Restauração ecológica e aves. O tamanho da fonte é proporcional à frequência de ocorrência de estudos nas revistas. B) Distribuição dos estudos encontrados (n=266) entre as diversas categorias de publicação. Meta-análises representaram 1.5% dos estudos encontrados e artigos de opinião representaram apenas 0.77% dos estudos. C) De um total de 202 famílias de aves registradas, 12 famílias apresentaram mais de 100 espécies listadas e são apresentadas em área proporcional ao número de espécies.

Meta-análise: efeitos de poleiros artificiais para aves em comunidades de plantas

Foram identificados 18 estudos experimentais com adição de poleiros artificiais para aves em áreas em restauração, publicados entre 1993 e 2020, que atenderam aos nossos critérios de inclusão, gerando 172 comparações independentes de efeitos de poleiros nas comunidades vegetais. Dessas comparações, 138 foram utilizadas para a construção dos modelos multinível para levar em consideração a independência entre as amostras.

Esses estudos foram desenvolvidos em nove países (Fig. 4A), sendo o Brasil o país com o maior número de registros (n=68). Esses estudos foram desenvolvidos em biomas diferentes, sendo que mais de 70% foram realizados em áreas tropicais, incluindo áreas de floresta tropical úmida, florestas montanas e Cerrado (Fig. 4B). Mais de um terço dos estudos foram feitos em áreas em processo de restauração após uso para agricultura (Figura 5), seguidos de outros impactos de origem antrópica, incluindo pastagens, plantio de árvores para exploração comercial e mineração. A maioria dos estudos avaliou características das comunidades de plântulas nas áreas em restauração e poucos estudos focaram nas sementes (banco de sementes n=2; dispersão de sementes n=1; queda de sementes n=1; riqueza de sementes n=2 e densidade de exóticas n=1).

Observou-se um efeito forte e significativo da adição experimental de poleiros artificiais para aves como técnica de restauração de áreas degradadas, independente da origem do dano e da variável da comunidade de plantas analisada. Áreas em que poleiros foram instalados sozinhos como técnica de restauração apresentaram um aumento de mais de 50% nas variáveis de plantas analisadas ($E_{++}=0.57$, CI=0.6 a 1.21, n=97 comparações independentes), mas o uso de poleiros com outras técnicas de nucleação, como a transposição de solo, aumentou em quase 200% as variáveis medidas nas comunidades de plantas em relação às áreas controle ($E_{++}=1.99$, CI=0.3 a 3.95, n=136).

Modelos multiníveis indicaram heterogeneidade entre os estudos na base de dados ($Q=1113.27$, $P<0.0001$) e tal heterogeneidade foi explicada por variação entre ($\sigma=11.42$) e dentro ($\sigma=6.94$) os estudos que usaram poleiros de aves como técnica de restauração. Devido a essa heterogeneidade, avaliamos separadamente cada variável das comunidades de plantas que foram reportadas nos estudos primários. Observou-se maior efeito dos poleiros artificiais para aves na abundância e riqueza de plântulas em áreas com poleiros comparadas às áreas controle (Fig. 6). Entretanto, a visitação de aves, a cobertura vegetal e o estabelecimento de plântulas não foram significativamente afetadas pela presença dos poleiros (Fig. 6).

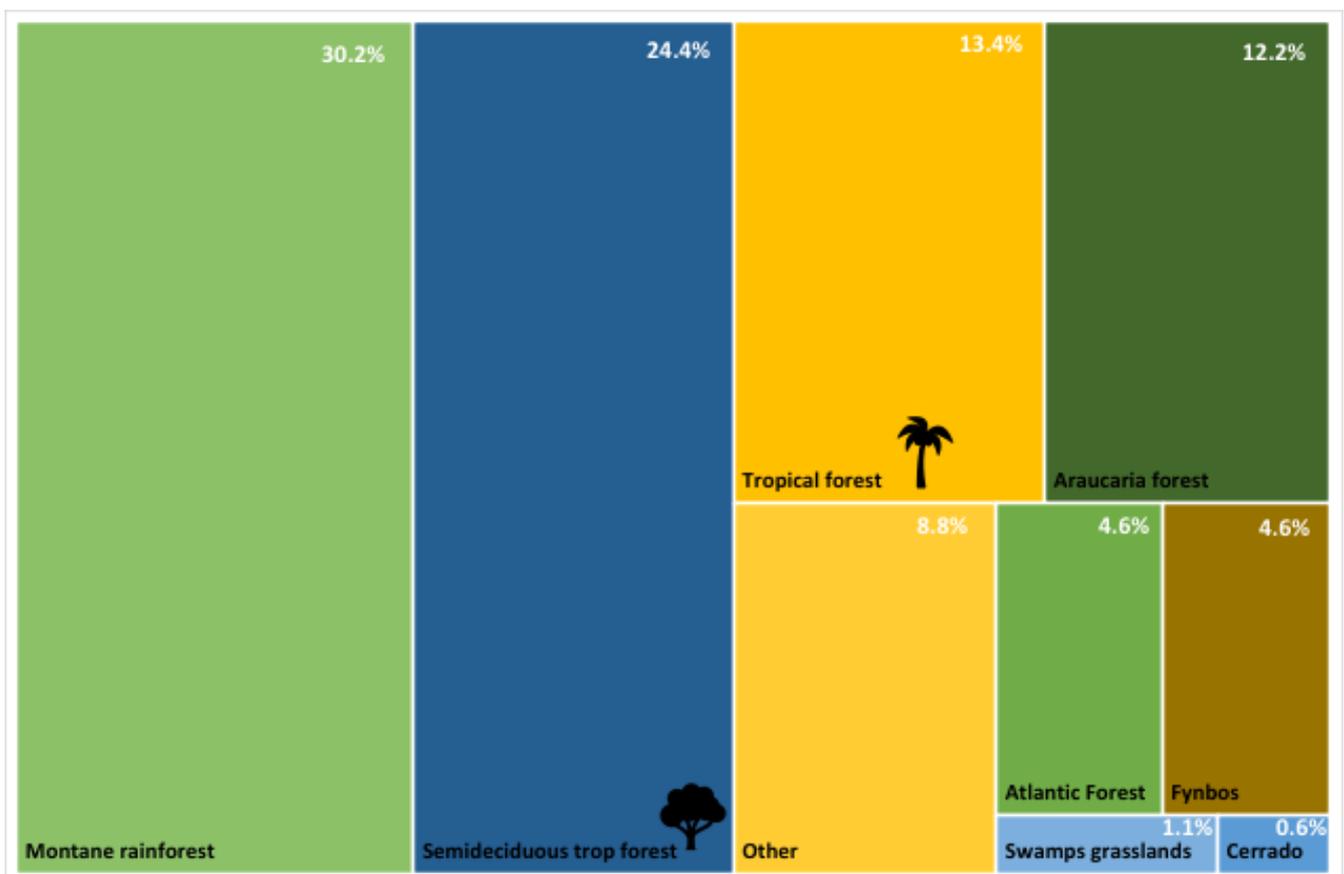
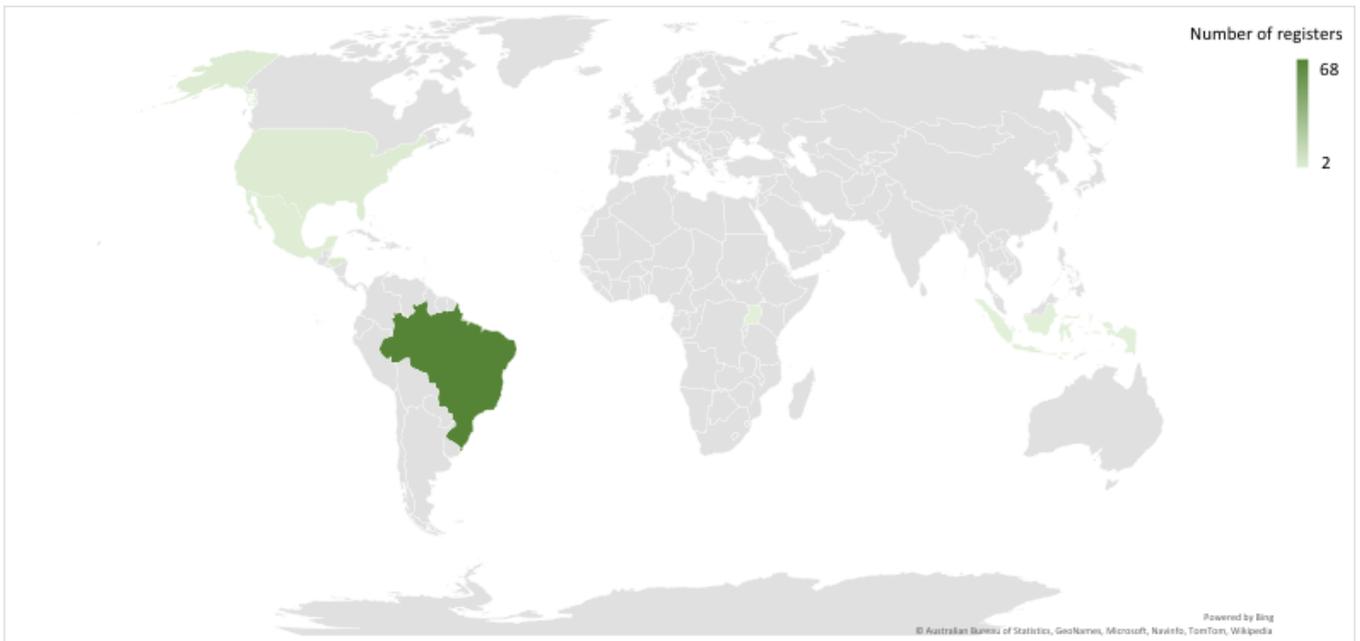


Figura 4. Distribuição dos registros do efeito de poleiros artificiais para aves em áreas de restauração usados na meta-análise por A) Países onde os estudos foram realizados e B) Bioma ou fitofisionomia onde o estudo foi realizado (n=172 registros). Números dentro das barras indicam a porcentagem de registros em cada categoria.

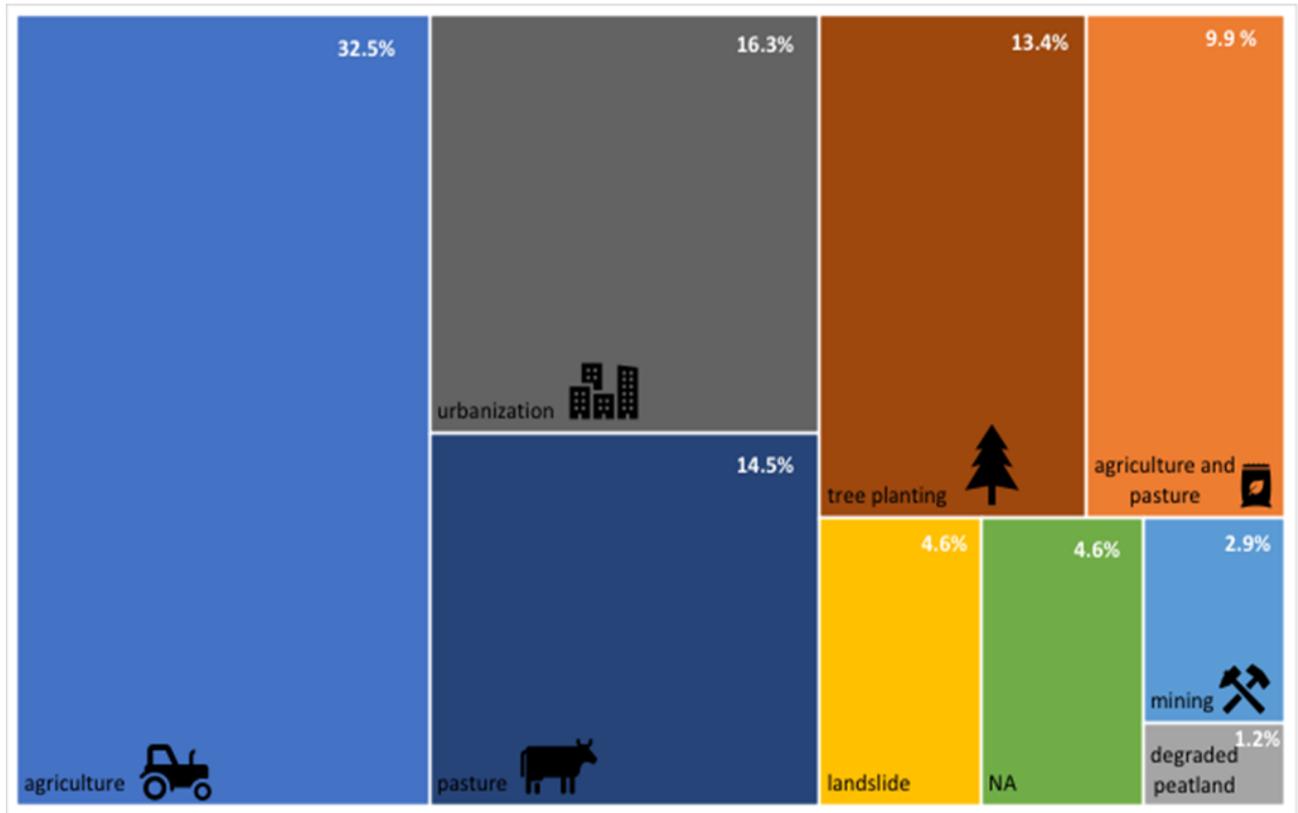


Figura 5- Distribuição dos registros do efeito de poleiros artificiais para aves em áreas de restauração usados na meta-análise por categoria de dano da área em recuperação (n=172 registros). Números dentro das barras indicam a porcentagem de registros em cada categoria. NA = not available.

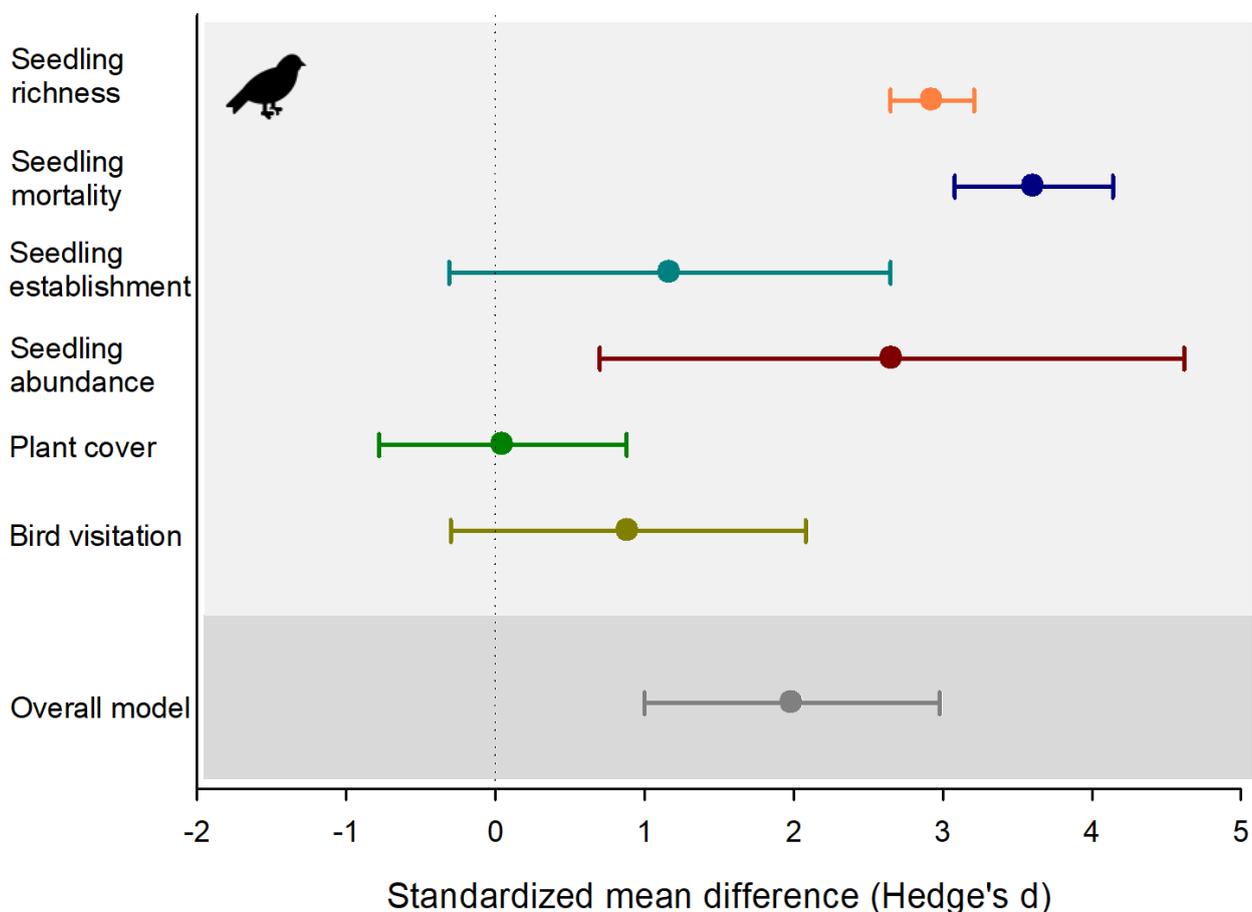


Figura 6. Tamanhos de efeito da presença de poleiros artificiais para aves (usados sozinhos ou em combinação com outras técnicas de restauração) em variáveis relacionadas à sobrevivência, performance e características de plântulas em áreas de restauração. Os pontos indicam o efeito cumulativo para cada variável medida e as linhas indicam o intervalo de confiança de 95%. Em destaque, na parte inferior do painel, o efeito cumulativo geral da presença de poleiros em todas as variáveis agrupadas (*overall model*). Apenas variáveis com pelo menos três réplicas advindas de estudos diferentes foram incluídas nas análises.

Os números de segurança foram altos para a maioria das comparações em todos os modelos (Apêndice 2), indicando a robustez dos resultados encontrados. Esses resultados indicam a robustez dos efeitos encontrados para os efeitos dos poleiros artificiais nas variáveis avaliadas das comunidades de plantas em áreas em restauração.

DISCUSSÃO

Aves são organismos chave em áreas em processo de restauração ambiental e tanto as análises ciênciométricas quanto as meta-analíticas demonstram o papel importante desses organismos em diversos habitats. O uso de poleiros artificiais se mostrou extremamente positivo para a atração das aves para as áreas degradadas, aumentando a riqueza e abundância de plântulas nesses locais. Quando associados à outras técnicas de nucleação, como a transposição de solo, os efeitos positivos dos poleiros artificiais aumentam significativamente, duplicando a possibilidade de regeneração das áreas degradadas.

Os resultados da análise ciênciométrica mostraram que, na última década (2010-2020), estudos relacionados à restauração ecológica e aves tiveram um considerável aumento. Levando-se em consideração que a ciência da restauração ecológica se desenvolveu na década de 1980 (WWF 2017), o conhecimento empírico sobre a restauração ecológica levou quase uma década para começar a ser investigado. O aumento da degradação ambiental, alterações climáticas e extinções de espécies ocorrida nos últimos anos motivou o estabelecimento de metas ambientais regionais, nacionais e globais pelas Organizações das Nações Unidas para a restauração dos ecossistemas do planeta (ONU 1992). Essas metas certamente motivaram o aumento dos estudos aqui observados. Atualmente, a ONU declarou o período entre 2021 e 2030 como a “Década das Nações Unidas para a restauração do ecossistema”, com a meta proposta de se restaurar 350 milhões de hectares em todo o mundo (Strassburg et al. 2020). Certamente o volume de estudos sobre o tema continuará alto ou aumentará nos próximos anos. Sendo assim, esta análise ciênciométrica se torna útil para apontar lacunas no conhecimento desta área da ciência e direcionar estratégias futuras para preencher tais lacunas.

Uma dessas lacunas diz respeito à distribuição geográfica dos estudos que avaliaram as aves relacionadas à restauração ambiental. Os estudos foram conduzidos em 85 países diferentes, mas a maioria deles foi conduzida em um único país (Estados Unidos, 39% dos estudos). Esse alto número pode ser explicado pela quantidade de verba que os Estados Unidos investem em recuperação de áreas, que equivale a U\$9,5 bilhões anuais (Benini & Adeodato, 2017). Nos demais países, o número de estudos é bem menor e portanto, mais estudos que avaliem o potencial das aves na recuperação ambiental precisam ser conduzidos em mais países, como os africanos e os do Oriente Médio. Outro resultado interessante indicou que mais 10% dos estudos de recuperação ambiental envolvendo aves foram realizados em comunidades insulares e todos esses em ilhas grandes e com altas densidades populacionais humanas (e.g., Haváí e Filipinas). Ilhas são ambientes especialmente importantes para a conservação (Kueffer & Kinney 2017) e funcionam como laboratórios para projetos de restauração, onde aves são

importantes componentes da fauna local e envolvidas na dispersão de sementes. Finalmente, é importante ressaltar que os estudos foram similarmente conduzidos em regiões tropicais e regiões temperadas, mesmo que de forma concentrada em poucos países. Nossos resultados, mostram entretanto, que existe um viés biogeográfico dos estudos envolvendo aves em áreas em processo de restauração.

Os estudos da revisão bibliométrica foram publicados em 131 diferentes periódicos, ressaltando-se três revistas de grande relevância para pesquisas relacionadas à projetos de restauração ecológica: *Restoration Ecology*, *Biological Conservation* e *Ecological Applications*. Essas são três das principais revistas científicas voltadas para a conservação de ecossistemas e como quase 50% dos estudos foram publicadas nestas, sugere-se a importância da qualidade dos dados gerados e a confiabilidade em seus resultados (veja também Guan et al. 2019). Estudos publicados em revistas relacionadas especificamente às aves apresentaram um baixo número, com poucos estudos distribuídos na *Journal of Ornithology* (6 artigos); *Journal of Field Ornithology* (três artigos) e *Journal of African Ornithology* (um artigo). Este resultado também indica que os estudos envolvendo aves e restauração estão mais associados à teoria ecológica sobre a importância das aves como dispersoras de sementes em áreas em processo de restauração que ao grupo em si. Reforçando tal argumento, encontramos que diversos estudos focaram em aves e outros grupos (mamíferos, répteis e artrópodes) como dispersores importantes de sementes de plantas em áreas em restauração. Observou-se ainda que 50.7% dos artigos tinham como foco principal a restauração, mas outros 50% dos artigos abordaram mais do que um tema, não relacionando-os diretamente com o grupo das aves (e.g., efeito da restauração com ênfase no uso prescrito de fogo; efeito da agricultura em animais selvagens terrestres; biodiversidade em grandes centros urbanos, etc.). A multidisciplinaridade da ecologia da restauração certamente é a responsável por esse resultado, já que necessita de estudos não apenas abordando o componente biótico (plantas, animais e microrganismos), mas também o componente abiótico (solo, hidrologia) desses ecossistemas (Aradottir & Hagen 2013).

Apesar de nosso foco principal do levantamento bibliográfico ser aves e restauração ecológica, poucos estudos abordaram apenas o papel das aves na restauração ecológica (e.g., Boas et al. 2017, Shiels et al. 2003; Whittaker & Jones 2014), demonstrando dessa forma, lacunas importantes nas pesquisas sobre o papel chave de outras espécies como agentes restauradores. Alguns estudos, por exemplo, avaliaram como as aves respondem às ações instaladas com objetivo de restauração ambiental e como aspectos das comunidades de aves, como a riqueza e composição específica são afetadas por técnicas de restauração (e.g., Uezu &

Metzger 2016; Brawn et al. 2006). Um total de 4,008 espécies de aves foram registradas em todos os artigos, distribuídas em 202 famílias. Doze famílias foram melhor representadas na base de dados, perfazendo um total de 1,547 espécies somadas (Fig. 3C), enquanto 47 famílias apresentaram o registro de uma única espécie (Apêndice 1). A maior parte dos estudos avaliou o potencial de dispersão de sementes pelas aves que incluem frutos na dieta, especialmente Passeriformes (Tyrannidae e Fringillidae), mas avaliações de espécies que não incluem frutos na dieta, como as registradas na família Accipitridae, também foram realizadas. As aves que se alimentam de frutos são alvo dos estudos de recuperação ambiental pela capacidade de aumentar a chuva de sementes nas áreas degradadas; ao defecarem, sementes de plantas nativas de áreas próximas podem se estabelecer, aumentando assim a velocidade da restauração da vegetação (de la Peña-Domene et al. 2014; Silva et al. 2016; Villicaña-Hernandez et al. 2020). Já aves carnívoras, insetívoras e piscívoras, como algumas espécies registradas nos estudos, das famílias Accipitridae, Picidae e Ardeidae, também são consideradas indicadoras de restauração ambiental, pois seus registros estão ligados ao sucesso da restauração e reestabelecimento das funções ecológicas das áreas restauradas (Beerens et al. 2017; Vogel et al. 2017; Alsila et al. 2020; Melo et al. 2020), uma vez que a presença dessas espécies pode ser relacionada a presença de recursos essenciais para os indivíduos (e.g recursos alimentares e locais para abrigos). Os resultados apresentados aqui evidenciam mais uma lacuna nesta área do conhecimento: qual é o papel específico das espécies de aves na restauração ecológica.

Uma das principais barreiras à regeneração natural da vegetação é o baixo suprimento de propágulos (Elder et al. 2014) e o uso de poleiros artificiais como técnica de restauração ambiental aumenta a disponibilidade de sementes em áreas abertas, onde a ausência de árvores funciona como limitante para o uso da área pelas aves (Guidetti et al. 2016). Nossos resultados complementam a avaliação do papel de poleiros artificiais na densidade de sementes e plântulas em áreas em restauração realizado por Guidetti et al. (2016) por i) adicionar outras variáveis das comunidades de plantas e ii) por avaliarmos os efeitos de poleiros sozinhos ou em combinação com outras técnicas de nucleação. Entretanto, nossos dados demonstram também um viés biogeográfico (estudos concentrados em poucos países, notadamente o Brasil) e um viés taxonômico, uma vez que poucas espécies de plantas que regeneram em áreas alteradas foram até então avaliadas. O Brasil tem se destacado na área de restauração ambiental, desenvolvendo políticas públicas e técnicas para serem aplicadas em ambientes degradados (Bustamante et al. 2019) e o uso de poleiros artificiais é um método relativamente barato, fácil de ser implementado (Vogel et al. 2018; Guerra et al. 2020; Iguatemy et al. 2020) e eficiente, como demonstrado em meta-análise recente (Guidetti et al. 2016) e por nosso estudo.

A maior parte dos estudos que avaliaram poleiros artificiais na atração das aves teve origem a partir da degradação ambiental promovida por atividades agropecuárias, da expansão das cidades e urbanização não-planejada e também das atividades silviculturais. Todas essas atividades impactam fortemente o meio ambiente, normalmente diminuindo a riqueza e a abundância das espécies vegetais e animais (Torres & Saura 2008; Dudley & Alexander 2017; Kondratyeva et al. 2020), além de deteriorar componentes abióticos, como o clima, condição do solo e hidrologia locais (Marcotullio et al. 2008; Jactel et al. 2009; Oliveira et al. 2018). Assim, a implementação de ações de restauração que devolvam a esses habitats as funções e interações ecológicas, como a implementação de poleiros artificiais para a atração de aves, é crucial e pode ser eficiente em áreas abertas também. A maior parte dos estudos de restauração usaram poleiros artificiais em áreas florestadas. Florestas tropicais foram as mais restauradas com essa técnica, sendo os biomas mais abertos, como savanas (Cerrado no Brasil) e campos pantanosos muito menos estudados. Esse resultado aponta para uma lacuna do conhecimento da eficiência dos poleiros artificiais na atração de aves e aumento da chuva de sementes em biomas abertos (Overbeck et al. 2013).

A presença de poleiros de aves como técnica de restauração, resultou em um efeito geral e significativo em diversas variáveis que medem a trajetória das comunidades de plantas, independente da origem do dano e da variável da comunidade de plantas analisada. Ainda, o uso de poleiros artificiais associado à outras técnicas de restauração, como a transposição de solo, aumentaram em quase 200% as variáveis medidas nas comunidades de plantas em relação às áreas controle. O uso de poleiros associados a outras técnicas de nucleação possibilita superar ainda os obstáculos pós-dispersão, construindo assim uma ponte entre o número de sementes dispersas que chegam às áreas degradadas e o número de plântulas estabelecidas. A dispersão de sementes é importante na configuração de populações e ecossistemas e a falta de dispersores pode ser uma barreira à colonização de áreas degradadas (Uhl et al. 1991). Entretanto, não é suficiente apenas a chegada de propágulos nas áreas degradadas, mas também o seu estabelecimento e sobrevivência. Para que isso ocorra, condições abióticas adequadas, como a qualidade do solo (Mendes et al. 2018) precisam ser levadas em consideração como importantes filtros pós-dispersão para assegurar não somente a colonização, mas também o desenvolvimento das comunidades vegetais.

Nossos resultados mostraram que os poleiros artificiais aumentaram a riqueza e abundância de sementes nas áreas degradadas, mas também aumenta sua mortalidade. Esse resultado é compreensível, já que o aumento da mortalidade pode ser densidade-dependente (Almeida et al. 2016). Os poleiros artificiais não influenciaram significativamente o

estabelecimento de plântulas e o aumento da cobertura vegetal, corroborando a ideia de que sua maior importância talvez seja para as sementes e que outros fatores abióticos das áreas degradadas podem ter uma influência decisiva sobre a possibilidade de estabelecimento de plântulas e velocidade de regeneração do ambiente (Florentine et al. 2013; Silva et al. 2020). Tal argumento é sustentado pelos resultados que demonstram aumento do efeito de poleiros quando combinados com outras técnicas de nucleação, como a transposição do solo. A transposição de solo traz consigo componentes bióticos (fungos, microrganismos, invertebrados) e abióticos (nutrientes, aeração, retenção de umidade) que permitem um melhor estabelecimento e sobrevivência de plântulas (Neto et al. 2010; Borges et al. 2021). Assim, antes da instalação de poleiros artificiais, uma análise do solo pode ser importante para facilitar a regeneração do ambiente. Finalmente, um resultado interessante da meta-análise indicou que não há efeito dos poleiros artificiais sobre o número de visitas de aves. Assim, talvez seja interessante um manejo diferenciado nos poleiros, a fim de aumentar o seu poder de atração. A colocação de comedouros artificiais e/ou estruturas para sombreamento podem ser ações interessantes para a atração mais eficiente de aves (Carter-Brown et al. 2015; Athiê & Dias 2016). Uma avaliação da distância das áreas-fonte de aves e propágulos vegetais em relação aos poleiros (Iguatemy et al. 2020), bem como a caracterização da avifauna que permaneceu nas áreas adjacentes, que serão áreas-fonte (Gama et al. 2013) ou utilizou os poleiros (Vogel et al. 2016) são também fatores importantes para o uso e posicionamento dos poleiros artificiais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A restauração ecológica se mostrou uma área de estudo em ascensão nos últimos anos e é uma ferramenta de extrema importância para minimizar os impactos antrópicos causados ao meio ambiente. Os estudos provenientes da revisão bibliométrica, publicados ao longo dos últimos 25 anos (1993-2020), apresentaram temas muito abrangentes, como a restauração com a utilização do fogo, engenharia ecológica para a recriação de ecossistemas, a utilização de plantas para aumentar a dispersão de sementes por aves; mas poucos foram os estudos abordando exclusivamente o efeito das aves como um grupo chave na restauração ecológica. Dessa forma, há uma lacuna na literatura científica acerca desse tema. Entretanto, os dados disponíveis na literatura permitem sugerir que técnicas de nucleação atuam como facilitadores na recuperação de áreas degradadas, como o uso dos poleiros artificiais associados à transposição de solo. Estudos de revisão, como o presente, são importantes, pois trazem informações compiladas sobre o tema em um único documento, o que pode facilitar o entendimento de padrões e tendências globais sobre as técnicas de restauração ecológica, além

de permitir um melhor planejamento de ações futuras por apontar lacunas importantes neste tema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alsila, T., Elo, M., Hakkari, T., Kotiaho, J.S. (2020). **Effects oh habitat restoration on peatland Bird communities**. Restoration Ecology.pp. 1-9. <http://doi.org/101111/rec.13304>
- Abreu, I.M.C. (2010). **Restauração Ecológica: Comparação de métodos aplicados e atração de dispersores de sementes**. Dissertação de Mestrado- Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais. Ouro Preto, p.5.
- Aradottir, A.L & Hagen, D. **Advances in Agronomy**. In: chapter three- Ecological restoration: approaches and impacts on vegetation, soils and society. eds Elsevier Inc, vol 10, 2013. pp 174- 206.
- Athiê & Dias. (2016). **Use of perches and seed dispersal by birds in an abandoned pasture in the Porto Ferreira state park, southeastern Brazil**. Braz. J. Biol., vol. 76, no. 1, pp. 80-92
- Bascompte, J. & Jordano, P. (2007). **Plant-Animal Mutualistic Networks: The Architecture of Biodiversity**. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 38(1), 567–593. <http://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095818>.
- Beerens, J.M., Trexler, J.C., Catano, C.P. (2017). **Predicting wading bird and aquatic fauna responses to ecosystem restoration scenarios**. Restoration ecology. pp. 1-13. <http://doi.org/10.1111/rec.12518> .
- Borges, F.L.G., Oliveira, M. da Rosa., de Almeida, T.C., Majer, J.D., Garcia, L.C. (2021). **Terrestrial invertebrates as bioindicators in restoration ecology: A global bibliometric survey**. Ecological Indicators 125, pp 1-11.
- Bullock, J.M., Aronson, J. Newton, A.C., Pywell, R.F., Rey-Benayas, J.M.(2011). **Restoration of ecosystem services and biodiversity: conflicts and opportunities**. Trends in Ecology and Evolution, 26(10), 541-549. <http://doi.org/10.1016/j.tree.2011.06.011>.
- Bustamante, M.M.C., Silva, J.S., Scariot, A., Sampaio, A.B., Lascia, D.L., Garcia, E., Sano, E., Fernandes, G.W., Durian, G., Roitman, I., Figueiredo, I., Rodrigues, R.R., Pillar, V.D., de Oliveira, A.O., Malhado, A.C., Alencar, A., Vendramini, A., Padovezi, A., Carrasco, H., Freitas, J., Siqueira, J.A., Shimbo, J., Generoso, L.G., Tavarelli, M., Biderman, R., Salomão, R.D.P., Valle, R., Junior, B., Nobre, C. (2019). **Ecological restoration as a strategy for mitigating and adapting to climate change: lessons and challenges from Brazil**. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9837-5> .

Cardinale, B.J., Matulich., Hooper, D.U., Byrnes.,E., Duffy, E., Gamfeld, L., Balvanera, P., O'Connor, M.I., Gonzalez, A., 2011. **The functional role of producer diversity in ecosystems**. *Am.J.Bot.* 98, 572-592. <http://doi.org/10.3732/ajb.1000364>.

Carter-Brown, R., Bowie, M.H., Wright, M. (2015). **Artificial bird perches with supplementary feeding as a toll for ecological restoration**. In New Zealand Ecological Society Conference. At: University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.2561.4801> .

De la Peña-Domene, M., Martínez-Garza, C., Palmas-Pérez, S., Rivas-Alonso, E., Howe, H.F. (2014). **Roles of birds and bats in early tropical-forest restoration**. *Plos One* 9, (8): e104656. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0104656>.

Dudley, N. & Alexander. S. (2017). **Agriculture and biodiversity: a review**. *Biodiversity*. <http://doi.org/10.1080/14888386.2017.1351892> .

Dirzo, R., Young, H.S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N.J.B., Collen,B. (2014). **Defaunation in the Anthropocene**. *Science*, 345(6195), 401-406. <http://doi.org/10.1126/science.1251817>.

Elgar, A.T., Freebody, K., Pohlman, C.L., Shoo,L.P., Catterall, C.P (2014). **Overcoming barriers to seedling regeneration during forest restoration on tropical pasture land and the potential value of woody weeds**. *Front Plant Sci* 5:1–10. <http://doi.org/10.2289/fpls.2014.00200> .

Eriksson, O. (2008). **Evolution of Seed Size and Biotic Seed Dispersal in Angiosperms: Paleocological and Neocological Evidence**. *International Journal of Plant Sciences*, 169(7), 863-870.

Eriksson, O., Friis, E. M., & Löfgren, P. (2000). **Seed Size, Fruit Size, and Dispersal Systems in Angiosperms from the Early Cretaceous to the Late Tertiary**. *The American Naturalist*, 156(1), 47–58. <https://doi.org/10.1086/303367>.

Florentine, S.K., Gardner, J., Graz, F.P., Moloney, S. (2013). **Plant recruitment and survival as indicators of ecological restoration success in abandoned pasture land in Nurcoung, Victoria, Australia**. *Ecological Processes*, 2:34.

Gama, V.F., Martensen, A.C., Ponzoni, F.J., Hirota, M.M & Ribeiro, M.C. (2013). **Site Selection for Restoration Planning: A Protocol with Landscape and Legislation Based Alternatives**. *Natureza & Conservação* 11(2): 158-169. <http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2013.025> .

Guan, Y., Kang, R., Liu, J. (2019). **Evolution of the field of ecological restoration over the last three decades: a bibliometric analysis**. *Restoration Ecology* (27), 3, pp.647-660.

Guerra, A., Reis, L.K., Borges, F.L.G., Ojeda, P.T.A., Pineda, D.A.M., Miranda, C.O., Maidana, D.P.F.D.L., Santos, T.M.T., Sgubuya, P.S., Marques, M.C.M., Laurance, S.G.W., Garcia, L.C. (2020). **Ecological restoration in Brazilian biomes: Identifying advances and gaps**. *Foresty Ecology and Management* 458, pp. 1-7. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118500>

[/doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117802](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117802).

Guidetti, B.Y., Amico, G.C., Dardanelli, S., Rodrigues-Cabal, M.A. (2016). **Artificial perches promote vegetation restoration**. *Plant Ecol* 217, 935–942. <https://doi.org/10.1007/s11258-016-0619-4>.

Gurevitch, J., Koricheva, J., Nakagawa, S. et al.(2018). **Meta-analysis and the science of research synthesis**. *Nature* 555, 175–182 (2018). <https://doi.org/10.1038/nature25753>.

Gurevitch, J., and L.V.Hedges. (1999). **Statistical issues in ecological meta-analysis**. *Ecology* 80: 1142-1149.

Hedges, L.V., Gurevitch, J., Curtis, P.S. (1999). **The Meta-Analysis of Response Ratios in Experimental Ecology**. *Ecology* 80(4), p.p 1150-1156. <http://www.jstor.org/stable/177062?origin=JSTOR-pdf>.

Iguatemy, M.D.A., Vilatinhos, J.A., Oda, G.A.M., Conde, M.D.M.S., Záu, A.S. (2020). **Artificial Perches: Ecological and Functional Aspects of its Contribution in the Atlantic Forest**. *Floresta e Ambiente* 27(2): e20180301. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.030118> .

Jactel, H., Nicoll, B.C., Branco, M., Gonzalez-Olabarria, J.R., Grodzki, W., Langstrom, B., Moreira, F., Netherer, S., Orazio, C., Piou, D, et al.(2009). **The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage**. *Annals of Forest Science*, 66 (7): 1-18. <http://doi.org/10.1051/forest/2009054>

Johnson, C., Balmford, A., Brook, B., Buettel, J., Galetti, M., Guangchun, L., & Wilmshurst, J.(2017). **Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene**. *Science*, 356 (6335), 270275. <https://doi.org/10.1126/science.aam9317>.

Kondratyeva, A., Knapp, S., Durka, W., Kuhn, I., Vallet, J., Machon, n., Martin, G., Motard, E., Grandcolas, P., Pavoine, S. (2020). **Urbanization effects on biodiversity revealed by a tow-scale analysis of species functional uniqueness vc. redundancy**. *Frontiers in Ecology and Evolution*(8), 73: 1-16. <http://doi.org/10.3389/fevo.2020.00073> .

Koricheva, Julia., Jessica Gurevitch, and Kerrie Mengersen, eds. **Handbook of Meta-Analysis in Ecology and Evolution**. Princeton University Press, 2013. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt24hq6n>.

Kueffer, C., & Kinney, K. (2017). **What is the importance of islands to environmental conservation?** *Environmental Conservation*, 44(4), pp.311-322. <http://doi.org/10.1017/S0376892917000479> .

Lapage, D., Vaidya, G., Guralnick. (2014). **Avibase- a database system for managing and organizing taxonomic concepts**. *ZooKeys* 420: 117- 135. **Avibase – a database system for managing and organizing taxonomic concepts**. <http://doi.org/10.3897/zookeys.420.7089>.

Majer, J. D.(2009). **Animals in the restoration process: progressing the trends**. *Restoration Ecology*, v. 17, n. 4, p. 315-319, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2009.00528.x>.

Marcotullio, P.J., Brasimoh, A.K & Onishi, T. **Land Use and Soil Resources**. In: CHAPTER 10- The Impact of Urbanization on Soils. Vlek(eds), © Springer Science + Business Media B.V. 2008.

Melo, M.A., Da Silva, M.A.G & Piratelli, A.J. (2020). **Improvement of vegetation structure enhances bird functional traits and habitat resilience in an area of ongoing restoration in the Atlantic Forest**. *An Acad Bras Cienc* 92(Suppl. 2): e20191241. <http://doi.org/10.1590/0001-3765202020191241>.

Mendes, M. S., Latawiec, A. E., Sansevero, J. B. B., Crouzeilles, R., Moraes, L. F. D., Castro, A., Strassburg, Alves-Pinto, H.H., Brancalion, P.H.S., Rodrigues, R.R., Chazdon, R.L., Barros, F.S.M., Santos, J., Iribarrem, A., Mata, S., Lemgruber, L., Rodrigues, A., Horys, K., Strassburg, B.B.N (2018). **Look down - there is a gap - the need to include soil data in Atlantic Forest restoration**. *Restoration Ecology*. p. 1-10. <http://doi.org/10.1111/rec.12875>

McGill, B.J., Dornelas, M., Gotelli, N.J., Magurran, A.E.(2015). **Fifteen forms of biodiversity trend in the Anthropocene**. *Trends Ecol. Evol.* 30, 104-113. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.11.006>.

Navarro-Cano, J. A., Goberna, M. y Verdu, M. (2019). **La facilitación entre plantas como herramienta de restauración de diversidad y funciones ecosistémicas**. *Ecosistemas*, 28(2), pp. 20-31. <http://doi.org/10.7818/ECOS.1747>.

Neto, A.M., Kunz, S.H., Martins, S.V., Silva, K. de Almeida., da Silva, D.D. (2010). **Transposição do banco de sementes do solo como metodologia de restauração florestal de pastagem abandonada em Viçosa, MG**. *Revista Árvore* (34), 6, pp. 1035-1043.

ONU - Organização das Nações Unidas. (1992). **Report of the United Nations Conference on Environment and Development**. A/CONF. 151/26(Vol.1).

Oliveira, V. A. Mello, C. R. Viola, M. R., Srinivasan, R.S. (2018). **Land-use change impacts on the hydrology of the upper grande river basin, brazil**. *Cerne*, v. 24, n. 4, p. 334-343.

Ortega-Álvarez & Lindig-Cisneros (Ortega-Álvarez, R., & Lindig-Cisneros, R. (2012). **Feathering the Scene: The Effects of Ecological Restoration on Birds and the Role Birds Play in Evaluating Restoration Outcomes**. *Ecological Restoration*, 30(2), 116–127. <http://www.jstor.org/stable/43441480>).

Page, M. J., Moher, D., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., et al. (2021a). **PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews**. *British Medical Journal* 372, n160.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., et al. (2021b). **The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews**. *British Medical Journal* 372, n71.

Reis, A., Bechara, F.C., Tres.D.R.(2010). **Nucleation in tropical ecological restoration.** Sci.Agric(Piracicaba,Braz),v.67,n.2,p.244-250.<https://doi.org/10.1590/S0103-90162010000200018>.

Rosenberg, M. S., D. C. Adams, and J. Gurevitch. 2000. **MetaWin: statistical software for meta-analysis.** Sinauer Associates, Sunderland, MA.

Rosenthal, R. (1979). **The 'file drawer problem' and tolerance for null results.** Psychological Bulletin, 86(3), 638-641. <http://doi.org/10.1037/0033-2909.86.3.638>.

Romanelli, J. P., Silva, L. G. M., Gonçalves, M. C. P., Naves, R. P., Almeida, D. R. A., Resende, A. F., & Rodrigues, R. R. (2021). **Repeatability of the searching process in reviews of restoration outcomes.** Restoration Ecology. <http://doi.org/10.1111/rec.13496>.

Sobral-Souza,T., Lautenschlager., Morcatty, T.Q.; Bello, C., Hansen, D., Galetti.(2017). **Rewilding defaunated Atlantic Forests with tortoises to restore lost seed dispersal functions.** Perspectives in Ecology and Conservation, 15(4), 300-307. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.08.005>.

Silva, E.P., Figueiredo, F.G., Fernandes, S.S.L & Pereira, Z.V. **Evaluation of the potential of seed rain as an alternative for forest restoration in permanent preservation areas.** Revista Árvores, 40(1), pp. 21-28. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48844658003>.

Silva, G.A., Pacheco, M.V., da Luz, M.N., Nonato, E.R.L., Delfino, R de. H., Pereira, C.T.(2020). **Fatores ambientais na germinação de sementes e mecanismos de defesa para garantir a sua perpetuação.** Research, Soceity and Development, 9(11). <http://dx.doi.org/1033448/rsd-v9i11.10524>.

Strassburg, B.B. N.; Iribarrem. A.; Beyer, H. L.; Cordeiro, C. L. C.; Crouzeilles, R.; Jakovac, C.C.; Junqueira,a.b.; Lacerda, E.; Latawiec, A.E.; Balmford, A.; Brooks, T.M.; Butchart, S.H.M.; Chazdon, R.L.; Erb, Karl-Heinz.; Brancalion, P.; Buchanan, G.; Cooper, D.; Diaz, S.; Donald, P.F.; Kapos, V.; Leclère, D.; Miles, L.; Obersteiner, M.; Plutzer, C.; de M. Scaramuzza, C. A.; Scarano, F.R.; Visconti, P. (2020). **Global priority areas for ecosystem restoration.** Nature 586: 724-729. <http://doi.org/10.1038/s41586-020-2784-9>.

Torras & Saura. (2018). **Effects of silvicultural treatments of forest biodiversity indicators in the Mediterranean.** Forest Ecology and Management 255, pp. 3322-3330.

UHL, C.; NEPSTAD, D.; SILVA, J. M. C.; VIEIRA, I.(1991). **Restauração da floresta em pastagens degradadas.** Ciência Hoje, Rio de Janeiro, v. 13, n. 76, p. 22- 31.

Valiente-Banuet, A., Aizen, M.A., Alcántara,J.M., Arroyo, J., Cocucci ,A., Galetti, M., García, M.B., García, D., Gómez, J.M., Jordano, P., Medel,R., Navarro, L., Obeso, J.R., Oviedo, R., Ramírez, N., Rey, P.J., Traveset, A., Verdú, M., Zamora, R.(2014). **Beyond species loss: the extinction of ecological interactions in a changing world.** Functional Ecology (29). 299-307. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12356>.

Viechtbauer W (2010). **Metafor: Meta-Analysis Package for R.** R package version 1.4-0, URL <http://CRAN.R-project.org/package=metafor>.

Villicana-Hernández, G.J., Martínez-Natarén, D.A.M., Alvarez-Espino, R.X & Munguía-Rosas, M.A. (2020). **Seed rain in a tropical dry forest and adjacent home gardens in the Yucatan**. *Tropical Conservation Science* 13, pp. 1-9.

Vogel, H.F., Spotswood, E., Campos, J.B & Bechara, F.C. (2016). **Annual changes in a bird assembly on artificial perches: Implication for ecological restoration in a subtropical agroecosystem**. *Biota Neotropical* 16(1): e0069, pp. 1-9.

Vogel, H.F., Campos, J.B., Sheldon, K.S., Bechara, F.C. (2017). **Comparative analysis of birdlife in different ecological restoration methods with emphasis on the role of artificial perches**. *Rev.Biol.Neotrop* 14(2), pp.111-134.

Vogel, H.F., Weiwanko, A.P., Zocche, J.J.(2018). **Artificial perches for ecological restoration: contributions of Brazilian universities**. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*. <http://dx.doi.org/10.17765/2176-9168.2018v11n1p143-160> .

Wardle, D.A., Bardgett, R.D., Callaway, R.M., Van der Putten, W.H., (2011). **Terrestrial Ecosystem Responses to Species Gains and Losses**. *Science*, 1273-1277. <http://doi.org/10.1126/science.1197479>.

WWF- World Wildlife Fund. (2017). **Restauração Ecológica no Brasil: Desafios e Oportunidades**. Associação ProScience(eds). Disponível em: https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/restauracao_ecologica_1.pdf. Acesso em: 26 de setembro de 2021.

APÊNDICE 1

Tabela 1: Número de espécies de aves, separadas por família e registradas durante a análise ciênciométrica. Dados foram retirados de 231 artigos.

Família	Número de espécies
Accipitridae	105
Acanthisittidae	2
Acanthizidae	53
Acrocephalidae	18
Aegithalidae	6
Aegithinidae	1
Aegothelidae	1
Alaudidae	20
Alcedinidae	31
Alcidae	6
Anatidae	168
Anhingidae	2
Apodidae	21
Apterygidae	2
Aramidae	2
Ardeidae	108
Artamidae	33
Bombycillidae	8
Bucconidae	4
Bucerotidae	6
Burhinidae	4
Cacatuidae	20
Calcariidae	1
Callaeidae	3
Campephagidae	18
Capitonidae	1
Caprimulgidae	6
Cardinalidae	60
Casuariidae	1
Cathartidae	9
Certhiidae	13
Cettiidae	4
Charadriidae	46
Chloropseidae	3
Ciconiidae	8

Cinclidae	3
Cisticolidae	20
Climacteridae	11
Coliidae	1
Colluricinclidae	8
Columbidae	116
Conopophagidae	1
Coraciidae	6
Corcoracidae	6
Corvidae	76
Cotingidae	14
Cracidae	6
Cuculidae	62
Dendrocolaptidae	11
Dicaeidae	13
Dicruridae	6
Dinornithidae	1
Diomedeidae	8
Emberizidae	32
Emeidae	2
Estrildidae	29
Eurylaimidae	3
Falconidae	35
Falcunculidae	3
Formicariidae	9
Fregatidae	3
Fringillidae	120
Furnariidae	41
Galbulidae	2
Gaviidae	3
Glareolidae	2
Grallariidae	9
Gruidae	8
Haematopodidae	3
Halcyonidae	1
Hirundinidae	66
Hydrobatidae	1
Icteridae	113
Indicatoridae	1
Irenidae	1
Jacanidae	1
Laniidae	25
Laridae	53
Leiothrichidae	9

Locustellidae	13
Lybiidae	1
Machaerirhynchidae	1
Malaconotidae	1
Maluridae	15
Megalaimidae	2
Megalapterygidae	1
Megapodiidae	3
Meliphagidae	80
Meropidae	8
Mimidae	30
Mohouidae	2
Momotidae	3
Monarchidae	22
Motacillidae	29
Muscicapidae	84
Nectariniidae	18
Neosittidae	4
Oceanitidae	1
Odontophoridae	16
Oriolidae	11
Orthonychidae	2
Otididae	3
Pachycephalidae	12
Pandionidae	7
Paradisaeidae	1
Paradoxornithidae	1
Pardalotidae	11
Paridae	50
Parulidae	160
Passerellidae	156
Passeridae	22
Pedionomidae	1
Pelecanidae	9
Pellorneidae	2
Petroicidae	28
Peucedramidae	1
Phaethontidae	3
Phalacrocoracidae	16
Phasianidae	34
Phoenicopteridae	1
Phylloscopidae	32
Picidae	118
Pipridae	10

Pipritidae	1
Pipromorphidae	7
Pistaculidae	1
Pittidae	4
Platyrynchidae	3
Ploceidae	16
Pnoepygidae	1
Podargidae	2
Podicipedidae	17
Polioptilidae	15
Pomatostomidae	10
Procellariidae	39
Prunellidae	7
Psittacidae	11
Psittaculidae	45
Psophodidae	3
Ptiliogonatidae	4
Ptilonorhynchidae	2
Pycnonotidae	22
Rallidae	57
Ramphastidae	22
Recurvirostridae	9
Regulidae	15
Remizidae	3
Rhinocryptidae	9
Rhipiduridae	21
Rhynchocyclidae	1
Sagittariidae	1
Scleruridae	2
Scolopacidae	109
Scotocercidae	1
Sittidae	22
Stenostiridae	2
Strigidae	32
Strigopidae	4
Sturnidae	21
Sulidae	1
Sylviidae	22
Thamnophilidae	37
Thraupidae	102
Threskiornithidae	27
Timaliidae	8
Tinamidae	4
Tityridae	9

Todidae	1
Trochilidae	61
Troglodytidae	69
Trogonidae	16
Turdidae	108
Turnicidae	5
Tyrannidae	166
Tytonidae	1
Upupidae	3
Urocynchramidae	1
Vangidae	1
Viduidae	1
Vireonidae	43
Zosteropidae	16

APÊNDICE 2

Tabela 2. Números de segurança para as variáveis utilizadas nos modelos aleatório (overall model) e nos modelos multinível. NA indica que o número de segurança não foi calculado (not available) uma vez que o efeito não foi significativo.

Variável	Modelo	Número de segurança (Rosenthal fail-safe number)	Número de comparações usadas nos modelos
Todas as variáveis agrupadas	Overall Model	912	156
Bird visit	Multinível	NA	6
Seedling richness	Multinível	604	26
Seedling mortality	Multinível	119	14
Seedling establishment	Multinível	NA	12
Seedling abundance	Multinível	406	61
Plant cover	Multinível	NA	19