

**TRAJETÓRIA DA RIQUEZA, COMPOSIÇÃO EM ESPÉCIES E
GRUPOS FUNCIONAIS DE AVES AO LONGO DE 14 ANOS
NUMA EXTENSA ÁREA RESTAURADA**

Yasmin Carolina Lopes de Oliveira

Orientação: Andréa Lúcia Teixeira de Souza

São Carlos - SP

2024

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS CENTRO DE CIÊNCIAS
BIOLÓGICAS E DA SAÚDE DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS**
CURSO DE BACHARELADO EM GESTÃO E ANÁLISE
AMBIENTAL

**TRAJETÓRIA DA RIQUEZA, COMPOSIÇÃO EM ESPÉCIES E GRUPOS
FUNCIONAIS DE AVES AO LONGO DE 14 ANOS NUMA EXTENSA ÁREA
RESTAURADA**

Yasmin Carolina Lopes de Oliveira

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de Ciências
Ambientais da Universidade Federal de São
Carlos como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em Gestão e
Análise Ambiental.

Orientadora: Prof^a Dr^a Andréa Lúcia Teixeira de Souza

São Carlos - SP

2024

RESUMO

Ambientes ripários possuem alta heterogeneidade de habitats e alta diversidade de espécies, contribuindo fortemente para a biodiversidade regional. A composição e estrutura das comunidades de aves podem responder rapidamente às mudanças da estrutura das florestas ao longo da sucessão, podendo assim ser um bom indicador da restauração de ecossistemas. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar as mudanças na comunidade de aves terrestres que ocorreram anualmente ao longo de 14 anos a partir do primeiro inventário conduzido em 2009, e avaliar o efeito das ações de restauração da floresta na riqueza, composição em espécies e de características da avifauna numa área restaurada às margens do reservatório da PCH-Anhanguera. A Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Anhanguera está situada no Rio Sapucaí Mirim, na região nordeste do estado de São Paulo. O levantamento da avifauna terrestre foi realizado nas florestas ciliares no entorno do reservatório da PCH Anhanguera, levando em consideração os fragmentos florestais remanescentes e nas áreas de restauração florestal compreendendo uma área total de aproximadamente 70 ha. As espécies da avifauna terrestre foram caracterizadas com relação a sua dieta, dependência florestal e estrato de forrageio. Nossos resultados mostraram que as ações de restauração da floresta resultaram num aumento expressivo da riqueza e na similaridade na composição em espécies de aves após 14 anos. O aumento da riqueza de aves foi fortemente dependente do aumento da biomassa de indivíduos de espécies arbóreas ao longo do tempo. A proporção de espécies com alta e média dependência florestal e a proporção de aves que forrageiam nas copas de árvores aumentaram fortemente na área restaurada ao longo do tempo. Detectamos também um aumento expressivo de aves frugívoras e o aparecimento de nectarívoros sugerindo que o restauro depois de 14 anos segue uma trajetória em direção às florestas de referência. Nossos resultados mostraram que a composição em espécies de aves variou muito ao longo do desenvolvimento da floresta, a partir da ação da restauração e em direção às áreas de referência. A identificação das mudanças na composição em espécies e grupos funcionais de aves, pode ajudar a orientar ações recuperação de florestas e de conservação de aves tropicais.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	5
1.1 Objetivo.....	7
1.2 Justificativa.....	7
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
2.1 Análise dos dados.....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
3.1 Riqueza e composição em espécies de aves ao longo do tempo.....	13
3.2 Mudanças nas características funcionais da avifauna ao longo do tempo.	18
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	24
7. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

As alterações no uso e ocupação do solo de paisagens não perturbadas, para o desenvolvimento de atividades agropecuárias e urbanização, têm impactado fortemente os ecossistemas em todo o mundo (ALLAN 2004). As zonas ripárias são áreas de transição fortemente influenciadas pelos corpos d'água, se estendendo desde as margens até as encostas (NAIMAN et al., 2005). Estes ambientes são dinâmicos, com grande heterogeneidade de habitats e alta diversidade de espécies compondo, na maioria dos casos, uma grande proporção da biodiversidade regional (NAIMAN et al., 2005, McCLUNEY et al., 2014). Além disto, as zonas ripárias influenciam fortemente a estrutura e funcionamento dos ecossistemas terrestres e aquáticos através da alta disponibilização de recursos (NAKANO & MURAKAMI 2001, BARTELS et al. 2012). Conseqüentemente, a degradação oriunda do desmatamento das zonas ripárias e florestas adjacentes tem resultado em perdas da funcionalidade e dos serviços de ecossistemas terrestres e aquáticos. O reconhecimento da importância de florestas ripárias e dos cursos d'água resultou em diversas ações para a sua restauração, como estratégia de recuperação destes ambientes.

As práticas de restauração que receberam os maiores incentivos foram feitas por empresas hidrelétricas, mas as primeiras ações conduzidas, principalmente nas décadas de 70 e 80, parecem não ter sido muito bem-sucedidas (KAGEYAMA; GANDARA, 2000), o que estimulou a legislação ambiental brasileira à determinação de estratégias de ações mais eficazes de recuperação do funcionamento dos ecossistemas. Dessa forma, a restauração de florestas ripárias e adjacentes visa a preservação dos corpos d'água e a conservação da biodiversidade também ao nível de paisagem (SER, 2004, MANSOURIAN; VALLAURI, 2014, STANTURF et al., 2014). O monitoramento de áreas restauradas tende a se resumir em avaliações da vegetação que incluem crescimento, densidade e diversidade de plantas, especialmente espécies arbóreas, uma vez que as técnicas de restauração são baseadas na reintrodução deste grupo de espécies (GONZÁLEZ et al., 2015, PERRING et al., 2015). No entanto, informações sobre a recolonização das comunidades da fauna são extremamente importantes para avaliar o nível de recuperação das funções ecossistêmicas, uma vez que, com o desenvolvimento das florestas é

esperado o aumento da similaridade entre as comunidades da fauna das áreas restauradas em relação aos remanescentes de florestas ripárias, consideradas como áreas de referência (CATTERALL et al., 2012; PAXTON et al., 2018).

A composição e estrutura das comunidades de aves podem responder rapidamente às mudanças da estrutura das florestas ao longo da sucessão (BRADY; NOSKE, 2010, REID et al., 2012; PAXTON et al., 2018), uma vez que as condições abióticas e a disponibilidade de recursos para as aves mudam com o desenvolvimento da floresta. As aves constituem um grupo muito diverso que envolve espécies pertencentes a vários níveis tróficos, como espécies nectarívoras e frugívoras que desempenham funções ecológicas importantes nos ecossistemas, como polinização e dispersão de sementes, tornando este grupo um excelente indicador da trajetória de áreas sob restauração (ZAMORA; MONTAGNINI, 2007; REY-BENAYAS et al., 2010; LINDELL et al., 2012). Devido à baixa disponibilidade inicial de recursos, um menor número de guildas alimentares seria esperado em áreas recém-restauradas quando comparadas com áreas de referência (BECKER et al., 2013, BATISTELLI et al., 2018).

As espécies de aves variam também com relação ao estrato de forrageamento, o que está diretamente relacionado com a sua dependência de florestas. Muitas espécies classificadas como de alta dependência de florestas forrageiam preferencialmente nas copas das árvores ou no sub-bosque, sugerindo que a ocorrência destas espécies depende muito da estrutura da floresta, como a densidade de árvores, estratificação e, em muitos casos, do tamanho das árvores (BATISTELLI et al., 2018). Assim, com o desenvolvimento da vegetação a proporção de aves dependentes de floresta na comunidade deve aumentar em relação às áreas abertas (BECKER et al., 2013; BATISTELLI et al., 2018).

A presença de aves de diferentes guildas alimentares, de diferentes graus de dependência de floresta e de diferentes estratos de forrageamento, em especial aves de sub-bosque, pode ser um excelente indicativo de que a área se encontra em um estágio de sucessão mais autossustentável (VOLPATO, et. al. 2018; ABREU et al., 2021). Apesar disto, as informações sobre a composição em espécies de aves e sua diversidade de características funcionais em áreas restauradas continuam escassas.

Uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) foi instalada entre os municípios de Guará e São Joaquim da Barra na região nordeste do estado de São Paulo em 2007. No final do ano de 2008, uma extensa área de aproximadamente 70 ha em torno do reservatório foi restaurada através do plantio de 150 mil árvores de 105 espécies arbóreas e arbustivas nativas. Em meados de 2009 foi feito o primeiro levantamento da avifauna nesta área depois do Projeto Básico Ambiental. Este procedimento foi repetido anualmente, nas estações reprodutivas e não reprodutivas até 2021 usando a mesma metodologia. Este monitoramento ofereceu uma excelente oportunidade de avaliar as mudanças na comunidade de aves ao longo deste intervalo de 14 anos.

1.1 Objetivo

O objetivo deste estudo foi avaliar as mudanças na comunidade de aves terrestres que ocorreram anualmente ao longo de 14 anos a partir do primeiro inventário conduzido em 2009, numa extensa área de 70ha restaurada em torno do reservatório da PCH-Anhanguera através de um extenso plantio de espécies arbóreas. Baseamos o estudo na hipótese de que a riqueza, a composição em espécies e o número de espécies de diferentes guildas alimentares, graus de dependência de floresta e estrato de forrageamento mudaram ao longo do tempo visando avaliar as mudanças na biodiversidade de aves decorrentes da implantação do empreendimento e das ações de restauração. Assim, as seguintes questões foram avaliadas: (1) a riqueza em espécies de aves e a similaridade na sua composição em espécies com as áreas de referência aumentaram ao longo dos 14 primeiros anos após as ações de restauração? (2) as mudanças de riqueza e composição em espécies de aves foi relacionada com o aumento da biomassa das árvores? (3) a proporção de espécies de diferentes guildas alimentares, de diferentes graus de dependência florestal e a proporção de espécies que forrageiam em diferentes estratos da floresta variaram neste intervalo de tempo?

1.2 Justificativa

A restauração de ecossistemas degradados é uma prática cada vez mais comum, mas há poucos estudos que avaliam o retorno da fauna em áreas

restauradas. Além disso, a maioria dos estudos de monitoramento de aves utiliza uma abordagem de cronosequências, que substitui os tempos de desenvolvimento da vegetação por áreas restauradas de diferentes idades, o que pode misturar os efeitos da variação espacial das condições ambientais entre as diferentes áreas e da idade da floresta. O monitoramento de uma mesma área ao longo do tempo, com enfoque em grupos funcionais, possibilitou maior compreensão dos processos ecológicos envolvidos na recuperação da biodiversidade e funcionamento de áreas degradadas em restauração através do estudo de relações diretas das comunidades de aves e o aumento da biomassa da floresta plantada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo está situada às margens do reservatório artificial da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Anhanguera, pertencente à Central Elétrica Anhanguera S.A. (CELAN), no Rio Sapucaí Mirim, na região nordeste do estado de São Paulo entre os municípios de Guará – SP e São Joaquim da Barra – SP, nas coordenadas 20°29'S – 20°31'S e 47°52'O – 47°50'O. As cotas de altitude na área de estudo oscilam entre 522 e 540 metros. A classificação climática de Köppen na região estudada é Cwa – clima subtropical úmido com inverno seco e verão quente (ALVARES et al., 2013). A precipitação média varia entre 1.300 e 1.600 mm por ano (NUNES et al., 2009). A área de estudo está localizada na Bacia do Paraná, pertencente à Formação Serra Geral, com rochas vulcânicas toleíticas dispostas em derrames basálticos (BISTRICHI et al., 1981). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico/Eutroférrico típico A, moderado com textura argilosa a muito argilosa (ROSSI, 2017). A vegetação original está inserida dentro dos limites da Floresta Estacional Semidecídua (FES) (VELOSO et al., 1991). A vegetação original foi retirada entre as décadas de 50 e 70, para o plantio de culturas agrícolas e pastagens. A partir da década de 80, houve uma substituição pelo cultivo de cana-de-açúcar. Com a construção da barragem da PCH Anhanguera em 2007, foi feito um projeto de restauração florestal, com interesse em recuperar o ecossistema às margens do reservatório (Figura 1). A implantação das ações de restauração ocorreu em dezembro de 2008, quando foram plantadas homogeneamente 105 espécies, sendo 101 arbóreas e quatro arbustivas, numa faixa de 100 metros de largura no entorno

do reservatório, envolvendo uma área de aproximadamente 70 hectares, totalizando 156 mil mudas.

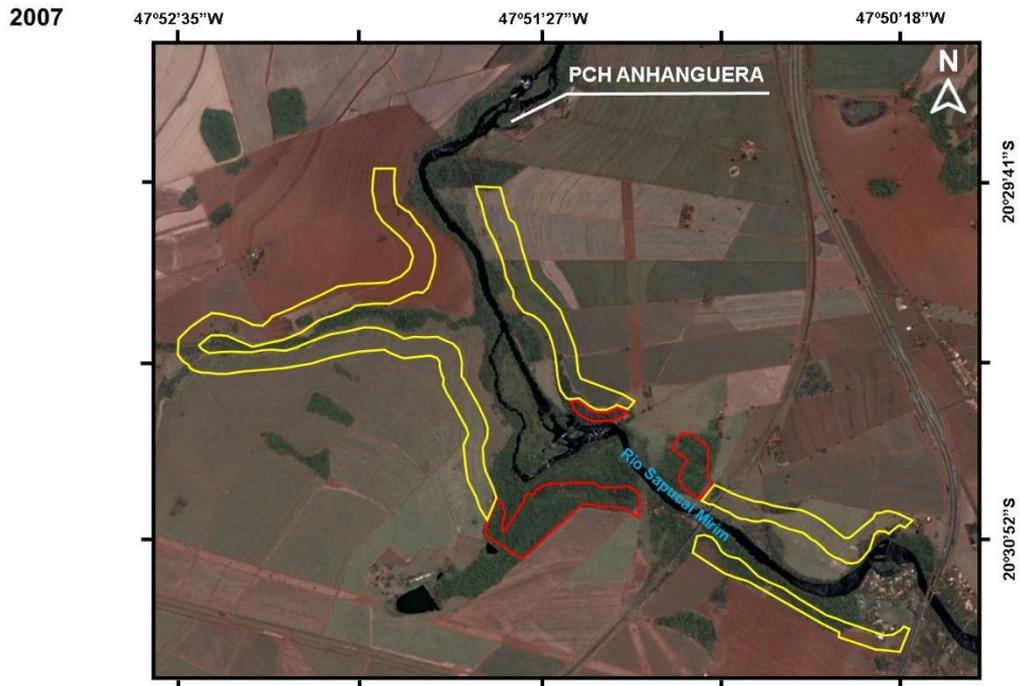


Figura 1 – PCH Anhanguera no ano de 2007. O contorno com linha de cor amarela representa os limites espaciais das ações de restauração a partir do plantio e mudas e o contorno com linha de cor vermelha representam os limites das áreas de remanescentes florestais.

Em 2022, a área apresentava um dossel totalmente fechado (Figura 2) com uma floresta com uma densidade média de 41,7 ind/100m², área basal média de 3,67 m/100m² e tamanho médio de árvores de 122,5 dm³ (NAKASATO,2024).

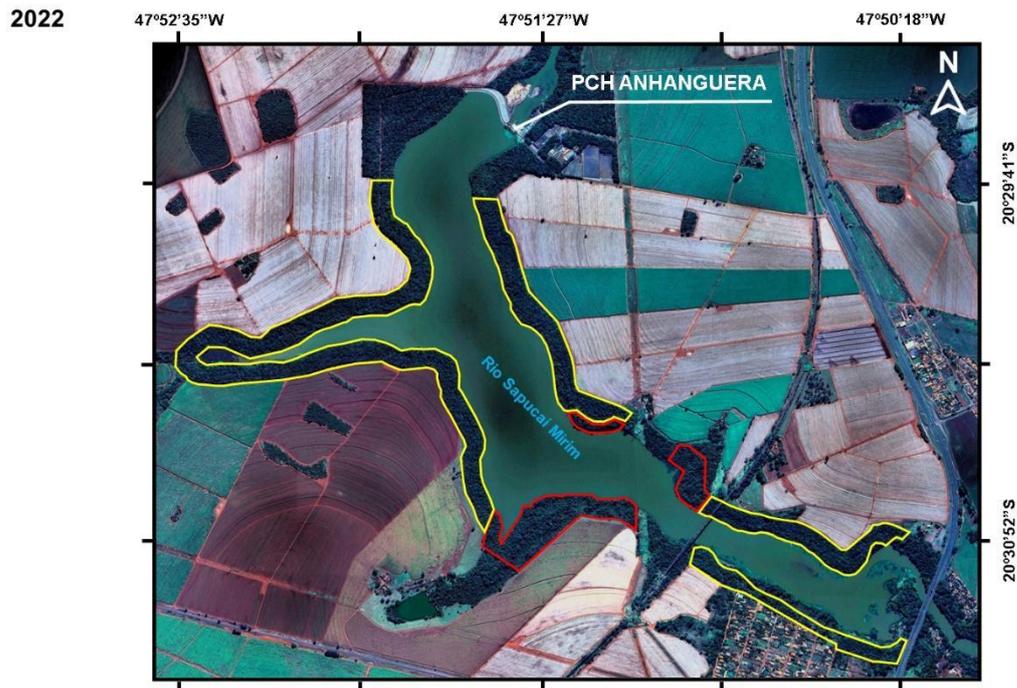


Figura 2 – PCH Anhanguera no ano de 2022. O contorno com linha de cor amarela representa os limites espaciais das ações de restauração a partir do plantio e mudas e o contorno com linha de cor vermelha representam os limites das áreas de remanescentes florestais.

O levantamento da avifauna terrestre foi realizado no entorno do reservatório da PCH Anhanguera, levando em consideração os fragmentos florestais remanescentes (trilhas B e C) e as áreas de restauração florestal (trilhas A e D) (Figura 3).

No monitoramento anual da avifauna na área da PCH Anhanguera foi utilizado o método qualitativo de trajetos (BIBBY et al., 2000), que consiste em registrar todas as espécies observadas enquanto percorre-se uma trilha pré-estabelecida durante uma caminhada. Anualmente, durante oito dias (sendo quatro na estação não reprodutiva e quatro na estação reprodutiva) foram realizadas quatro visitas matutinas com início às 06:00 horas e término às 10:00 horas e, quatro vespertinas com início às 15:30 horas e término às 19:30 horas em cada trilha, sendo possível amostrar as espécies de hábitos diurnos e crepusculares/noturnos, conforme EFE (1999), totalizando um esforço amostral de 64 horas em cada ano. As identificações das espécies foram realizadas por meio de binóculos 8x40, guia de bolso (SIGRIST, 2015), câmera fotográfica e,

para atração das aves através do método de playback, foi utilizada caixa de som. A nomenclatura científica e ordem taxonômica seguiram o Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (PACHECO et al., 2021). Durante todos os anos entre 2009 e 2022 foi usado a mesma metodologia.



Figura 3 – Área de estudo às margens do reservatório da PCH Anhanguera e as áreas circunvizinhas com cultivo de cana-de-açúcar. As linhas em amarelo mostram os transectos usados na amostragem das aves.

As espécies foram classificadas em sete diferentes guildas alimentares, três graus de dependência de florestas e quatro diferentes estratos de forrageio. As classes de Guildas Alimentares foram: Granívoras, Frugívoras ou Nectarívoras (quando a espécie consome preferencialmente grãos, frutos e néctar respectivamente); Insetívoras/granívoras ou insetívoras/frugívoras (quando consome dois itens sem apresentar uma preferência clara); Onívoras (quando a espécie consome frutos e insetos além de ovos e pequenos vertebrados) e Carnívoras (quando a espécie consome preferencialmente vertebrados). As espécies foram classificadas também com relação à Dependência de Floresta: Alta, quando as espécies ocorrem preferencialmente em florestas densas e de estrato arbóreo; média, quando a ocorrência é predominantemente registrada em florestas de estrato arbóreo, mas também em áreas de estrato arbustivo e Baixa quando as espécies podem ocorrer em áreas

de estratos predominantemente herbáceos. A classificação com relação ao seu Estrato de Forrageamento considerando seu estrato preferencial de forrageio foram: Chão, quando as espécies forrageiam preferencialmente na camada inferior da floresta ou vegetação rasteira; Sub-bosque e Dossel quando as espécies forrageiam preferencialmente nestes estratos da vegetação; e vários, quando as espécies não apresentam um estrato da vegetação preferencial para o forrageio. A classificação foi feita com base nos estudos de GENTRY (1990), MOTTA-JÚNIOR (1990), STOTZ et al. (1996), SICK (1997), FRANCISCO; GALETTI (2002), MANICA et al. (2010) e GUSSONI et al. (2024).

2.1 Análise dos dados

A variação da riqueza foi descrita em função do tempo após o início do projeto de restauração e o efeito da biomassa de espécies arbóreas na riqueza de espécies de aves foi avaliado através de um modelo de regressão linear. A variação da biomassa de espécies arbóreas ao longo do tempo foi modelada através da regressão logística, uma vez que não seria esperado que o aumento da biomassa fosse contínuo ao longo do tempo (PAINE et al. 2012), através da equação:

$$y = a / (1 + \exp(-k \times (x - xc)))$$

onde, a representa a assíntota, xc representa o tempo em que ocorre a taxa de crescimento máximo e k representa a taxa de crescimento neste tempo. Os resíduos foram checados graficamente para avaliar possíveis tendências ao longo da estimativa (LEGRENDRE; LEGENDRE, 2012). A dissimilaridade na composição de espécies foi avaliada através da Análise de Escala Multidimensional Não-Métrica (NMDS – sigla em inglês). Esta análise é baseada na matriz de dissimilaridade estimada a partir do complemento do índice de dissimilaridade de Sorensen ($1 - S$) (JOST; CHAO; CHAZDON, 2011). A NMDS foi usada para reduzir o número de variáveis em apenas dois eixos. A análise de regressão linear e o ajuste de regressão logística foram conduzidos usando o software OriginPro 8.0, enquanto que a NMDS foi conduzida no Primer 6, versão 6.1.1.3. O nível de significância considerado foi de $p < 0,05$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Riqueza e composição em espécies de aves ao longo do tempo

Em 2009, aproximadamente entre seis meses e um ano após as ações de restauração, foram registradas 115 espécies de aves nas florestas de referência, distribuídas em 16 ordens e 35 famílias. Nesta mesma ocasião, 38 espécies foram registradas na área recém-restaurada distribuídas em 13 ordens e 19 famílias. Ao final do monitoramento, no ano de 2022, foram registradas 150 espécies nas florestas de referência, pertencentes a 19 ordens e 40 famílias e nas áreas restauradas foram registradas 148 espécies de aves distribuídas também em 19 ordens e 40 famílias. As famílias com o maior número de espécies tanto nas florestas de referência quanto na área de restauro foram Tyrannidae com 27 espécies e Thraupidae com 23 espécies. As famílias Tytonidae, Ramphastidae, Passeridae, Polioptilidae, Pipridae, Motacillidae, Mimidae, Estrildidae, Dendrocolaptidae, Nyctibiidae, Rallidae, Cracidae, Galbulidae, Bucconidae, Charadriidae, e Cariamidae foram representadas com apenas 1 espécie. Ao final do monitoramento, apenas duas espécies foram registradas nas florestas de referência e não foram registradas na área restaurada que foram *Myiothlypis leucophrys* e *Streptoprocne zonaris*. No entanto, estas espécies poderiam estar presentes na área restaurada, mas em baixa abundância e apenas não foram observadas na área de restauro.

Na área do restauro, a biomassa seca média dos indivíduos arbóreos aumentou de 0,795 kg para 1815.5 kg por 100 m² ao longo de 14 anos, a partir do plantio das mudas em 2008 (Figura 4A). O modelo de regressão logística se ajustou aos dados observados (Figura 4 A) e mostrou que a taxa de incremento máxima ocorreu entre 2016 e 2017, cerca de oito anos e meio após o plantio e que essa biomassa tende a se estabilizar com aproximadamente 2119,1 kg/100 m². A biomassa seca média das áreas de referência aumentou de 1319.5 para 1732.5 kg/100 m² (Teste *t* pareado, $t = -2,748$, $p = 0,028$) (Figura 4A). O número de espécies de aves nas florestas de referência aumentou logo após o enchimento da represa, entre o período de 2009 a 2012 e após este período, a riqueza de aves oscilou entre os anos 2012 e 2018, mas se manteve

relativamente constante até o final do monitoramento (Figura 4B). Por outro lado, a riqueza de aves na área do restauro aumentou de 38 para 148 espécies durante os 14 anos de monitoramento. No primeiro ano após o plantio das árvores houve apenas um pequeno aumento da riqueza de aves. Após este período, detectamos um período de relativa estabilidade entre os anos de 2010 e 2014, seguido de um acentuado aumento no número de espécies de aves a partir de 2014 com um pico de aumento entre os anos de 2017 e 2018 (Figura 4). A taxa de incremento no número de espécies tendeu a diminuir novamente apenas depois de 2020 (Figura 4B).

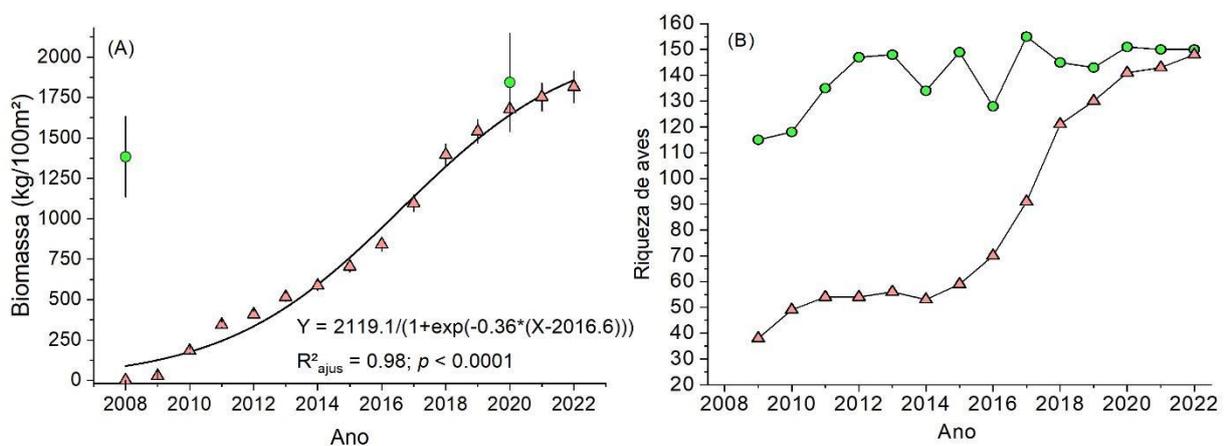


Figura 4 – Biomassa de indivíduos arbóreos(S) (A) e Riqueza de aves(B) ao longo de 14 anos de monitoramento. Triângulos rosa representam as áreas de restauro e os círculos verdes representam as áreas de referência. O ajuste da curva logística (resultados em destaque) se refere apenas às áreas de restauro.

A riqueza de aves foi fortemente e diretamente relacionada com a biomassa média de árvores por 100 m², sugerindo que a cada aumento de 100 Kg/100m² de biomassa arbórea resulta num aumento de 6,7 espécies de aves em toda a área, mesmo incluindo os dois tempos em que registramos a biomassa de indivíduos arbóreos dos remanescentes florestais (Figura 5).

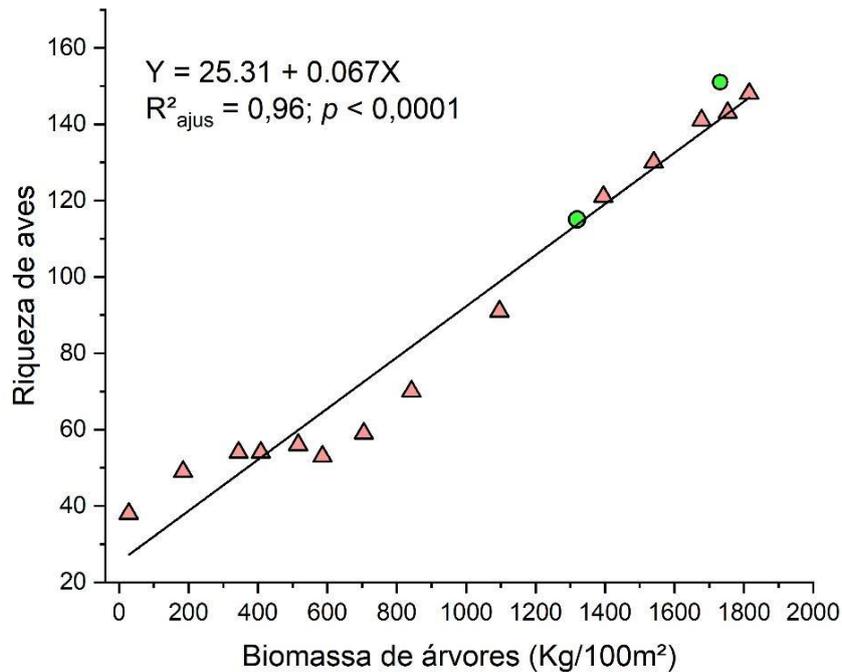


Figura 5 – Riqueza de aves em função da biomassa média de árvores por 100 m² de área em diferentes anos. Círculos verde claro representam a área de restauração e os triângulos vermelhos representam fragmentos de floresta remanescentes (áreas de referência).

O período de maior aumento na riqueza de aves foi de aproximadamente um ano após o período de maior taxa de incremento na biomassa das árvores, no ano de 2016, como demonstrado no gráfico (Figura 4 A, B). Nos anos em que registramos uma relativa estabilidade na riqueza das aves, de 2010 a 2014, foram também anos de baixo crescimento das árvores (Figura 4 A e B). MUNRO et al. (2011) mostraram que aumento da diversidade de aves de florestas restauradas é extremamente dependente do desenvolvimento da estrutura da floresta. Nós registramos a biomassa das árvores nas áreas de referência apenas nos anos de 2008 e 2020 (Figura 5). Entre estes anos detectamos um aumento de aproximadamente 413 Kg/100m² em média na biomassa de indivíduos arbóreos nas florestas de referência. O enchimento da represa pode ter levado a um aumento na biomassa das árvores e conseqüentemente um aumento de densidade de indivíduos e da estratificação da floresta, o que deve ter resultado no aumento de espécies de aves. Nakasato (2024) mostrou que as florestas de referência nesta área se tornaram mais densas e estratificadas após o enchimento da represa mesmo sem ter sofrido nenhum tipo de manejo. A maior densidade de indivíduos arbóreos e conseqüentemente o aumento da biomassa

de indivíduos de espécies arbóreas em locais mais próximos dos corpos d'água é resultado principalmente da maior umidade do solo que aumenta as chances de sobrevivência das plantas além de estimular o crescimento (NAKASATO et al., 2024). Além disto, a biomassa das árvores pode ter aumentado devido ao isolamento destas áreas com a construção da PCH. As ações de restauração de toda a área em torno da represa incluíram o isolamento da área de consequentemente de impactos ambientais, como a retirada seletiva de árvores ou deposição de resíduos sólidos, o que pode ter contribuído para a regeneração dos fragmentos florestais remanescentes. O modelo de regressão linear ajustado para estimar o efeito da biomassa de árvores na riqueza das aves prevê um aumento de aproximadamente 27 espécies em 2020 a partir de 2008 devido ao aumento da biomassa das árvores que ocorreu neste período (Figura 5). Nós detectamos um aumento de 35 espécies e, portanto, ligeiramente maior do que seria previsto apenas pelo aumento da biomassa de árvores. Outros parâmetros da estrutura da floresta podem ter contribuído para esta pequena diferença, como a biomassa vegetal não-arbórea ou mesmo a estratificação em altura da vegetação. No entanto, consideramos que essa diferença foi pequena e que o aumento da biomassa das árvores deve ser o principal fator que determina o aumento da riqueza de aves, uma vez que o modelo de regressão, considerando tanto as áreas de referência quanto as áreas sob restauração, explicou cerca de 96% da variação na riqueza de aves ao longo dos 14 anos de monitoramento.

A composição em espécies de aves da área restaurada variou fortemente ao longo do tempo convergindo com a composição em espécies registrada nas florestas de referência de forma que nos anos de 2021 e 2022 a diferença era apenas duas espécies. O MDS mostrou que no restauro, a composição em espécies de aves foi similar entre os anos de 2010 e 2015 e que essa comunidade sofreu fortes mudanças entre os anos de 2015 e 2018, coincidindo com o pico de aumento no número de espécies (Figura 6). Após este período as mudanças diminuíram entre anos, mas continuaram até que a comunidade de aves se assemelhou muito à comunidade de aves registrada nas áreas de referência. A comunidade de aves das florestas de referência também sofreu uma mudança mais expressiva entre 2015 e 2016 (Figura 6). Como mencionado anteriormente, o enchimento do reservatório provocou um impacto nestas

florestas, alterando sua estrutura (NAKASATO, 2024). Apesar deste estudo ter avaliado apenas as espécies de aves terrestres, o enchimento do reservatório em 2008 pode ter atraído muitas espécies que são típicas de florestas ciliares, mas o tempo de resposta foi de aproximadamente sete anos (Figura 6). De maneira geral, essas mudanças na composição em espécies de aves podem ser resultado através de um efeito direto, atraindo espécies de aves de vegetação ciliar ou que ocorrem preferencialmente em locais próximos a corpos d'água, ou através de um efeito indireto, via aumento da biomassa e da complexidade da estrutura da vegetação. Além do aumento da biomassa das árvores, pode ter ocorrido uma mudança também na diversidade de espécies arbóreas (NAKASATO, 2024) com a entrada de novas espécies vegetais que não ocorriam antes do enchimento do lago o que pode ter contribuído também para as mudanças na composição de aves.

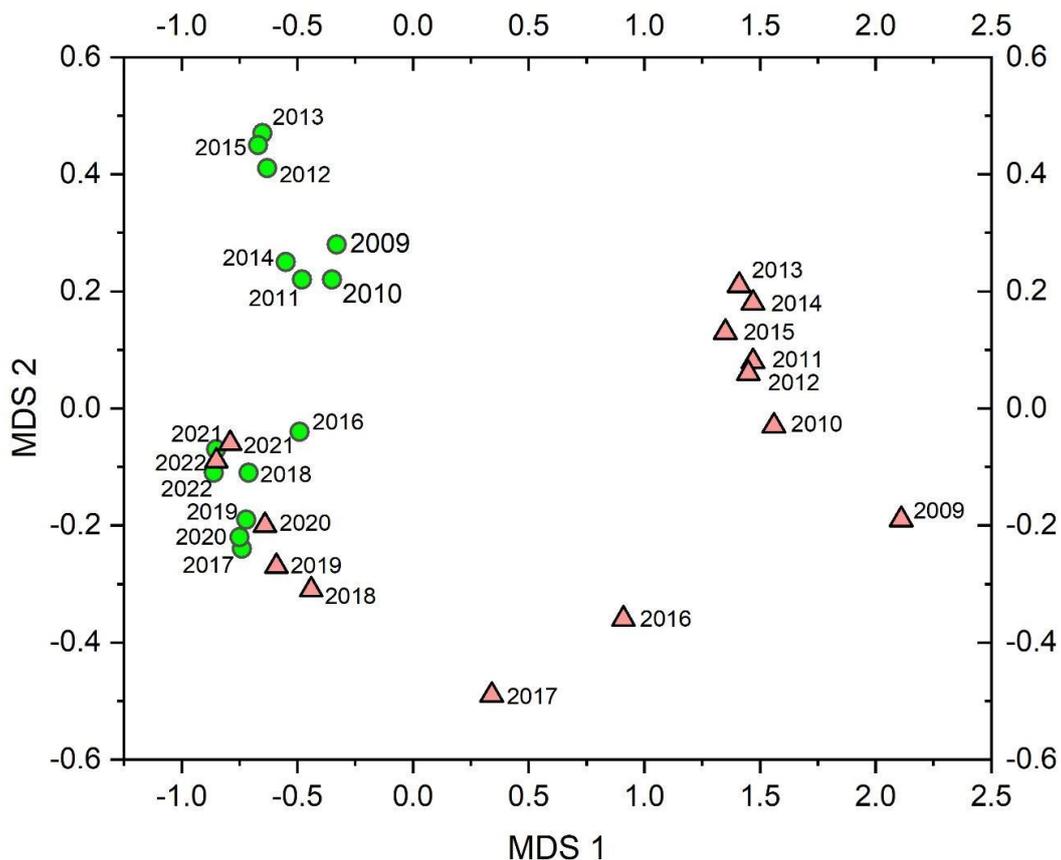


Figura 6 – Análise de Similaridade entre as espécies de aves das áreas de restauração e floresta referência ao longo do tempo. Triângulos rosa representam comunidades de aves na área do restauro e Círculos verdes representam as florestas de referência.

3.2 Mudanças nas características funcionais da avifauna ao longo do tempo.

Nas florestas de referência, as comunidades de aves não diferiram ao longo do tempo com relação à característica Dependência de Floresta. Ao longo de todo o período de monitoramento cerca 22% a 25% das espécies de aves eram de alta dependência de floresta e entre 26% e 29% das espécies eram de média dependência de floresta. Por outro lado, na área restaurada, a porcentagem de espécies de alta dependência de floresta passou de aproximadamente 5,3% em 2009 para 22,3% em 2022 e as espécies de média dependência de florestas passaram de 13% em 2009 para 28% em 2022 (Figura 7).

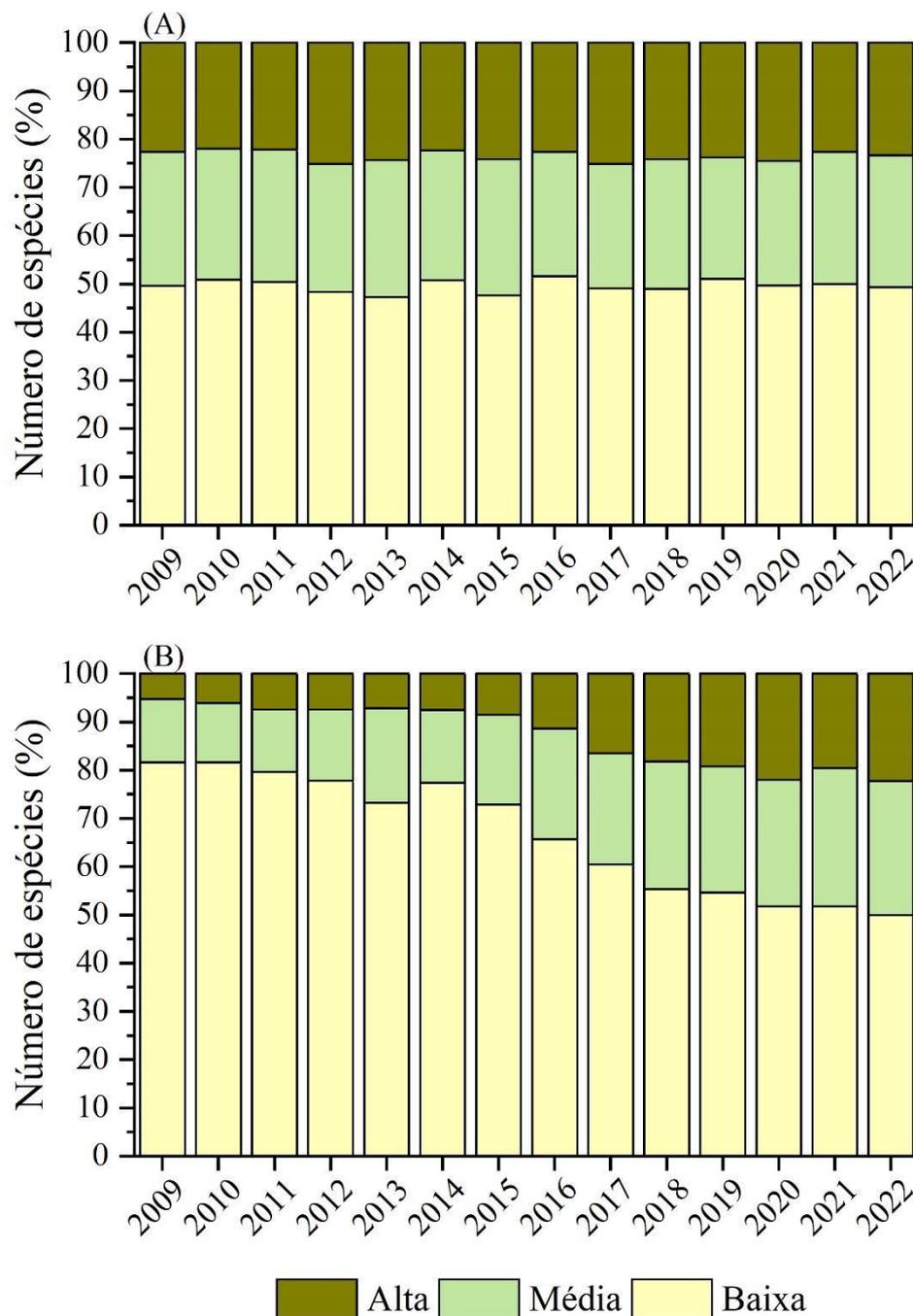


Figura 7 – Número de espécies de diferentes categorias de dependência de florestas ao longo do tempo registrados nas florestas de referência (A) e na área restaurada (B).

Locais recém-restaurados ou restauros pouco desenvolvidos que apresentam uma menor densidade de indivíduos arbóreos e árvores menores podem incluir espécies de aves de locais mais abertos e espécies com níveis intermediários de dependência florestal com dominância de espécies mais generalistas (BECKER et al., 2013). Assim, com o desenvolvimento da floresta

restaurada, a proporção de espécies consideradas de baixa dependência florestal decresceu ao longo do tempo, enquanto as proporções de espécies de média e alta dependência de florestas aumentaram ao longo dos anos. A avifauna pode apresentar mudanças em sua composição inferindo sobre o estágio de sucessão de um ecossistema (Brady e Noske 2010, Reid *et al.* 2012, Brady e Noske 2010, Becker *et al.* 2013), com diferentes espécies ocupando as áreas restauradas de acordo com a estrutura da vegetação (Munro *et al.* 2011, Twedt *et al.* 2002). Nossos resultados sugeriram que com o adensamento da vegetação, espécies de média e alta dependência de florestas aumentaram.

Em relação ao estrato de forrageio, registramos apenas pequenas variações nas florestas de referência ao longo do tempo, enquanto na área de restauro a proporção de espécies que forrageiam preferencialmente no solo diminuiu de 55,3% para 30,4% e a proporção de espécies que forrageiam em copas de árvores aumentou de 7,9% para 37,2% (Figura 8). A proporção de espécies que forrageia no sub-bosque se manteve relativamente constante, entre 20 e 24% (Figura 8). No entanto, o número absoluto de espécies de aves de sub-bosque aumentou de 9 para 33, e o número de espécies de aves que forrageiam nas copas das árvores aumentou de apenas 3 para 55. As ações de restauração consistiram no plantio de todas as mudas de árvores numa única época (num intervalo de apenas dois meses). Estas mudas tendem a crescer juntas, apesar de que a taxa de crescimento varia entre as espécies arbóreas. Com apenas 14 anos de idade, esta floresta provavelmente teve pouco tempo para formar um sub-bosque a partir de indivíduos arbóreos regenerantes e de recrutamentos de outras espécies de plantas típicas das camadas mais baixas da floresta e de sub-bosque. Por esta razão, esperávamos que a proporção de espécies de aves de copa aumentasse mais intensamente neste período do que espécies de aves típicas de sub-bosque. Um estudo conduzido por Garcia *et al.* (2015) em sítios de Mata Atlântica, mostrou que a riqueza de espécies arbóreas e a diversidade funcional de flores em sítios de áreas restauradas demoraram mais de duas décadas para se assemelharem aos em sítios de referência, e que o sub-bosque e espécies herbáceas dos sítios restaurados ainda diferiam muito dos registrados nas áreas de referência.

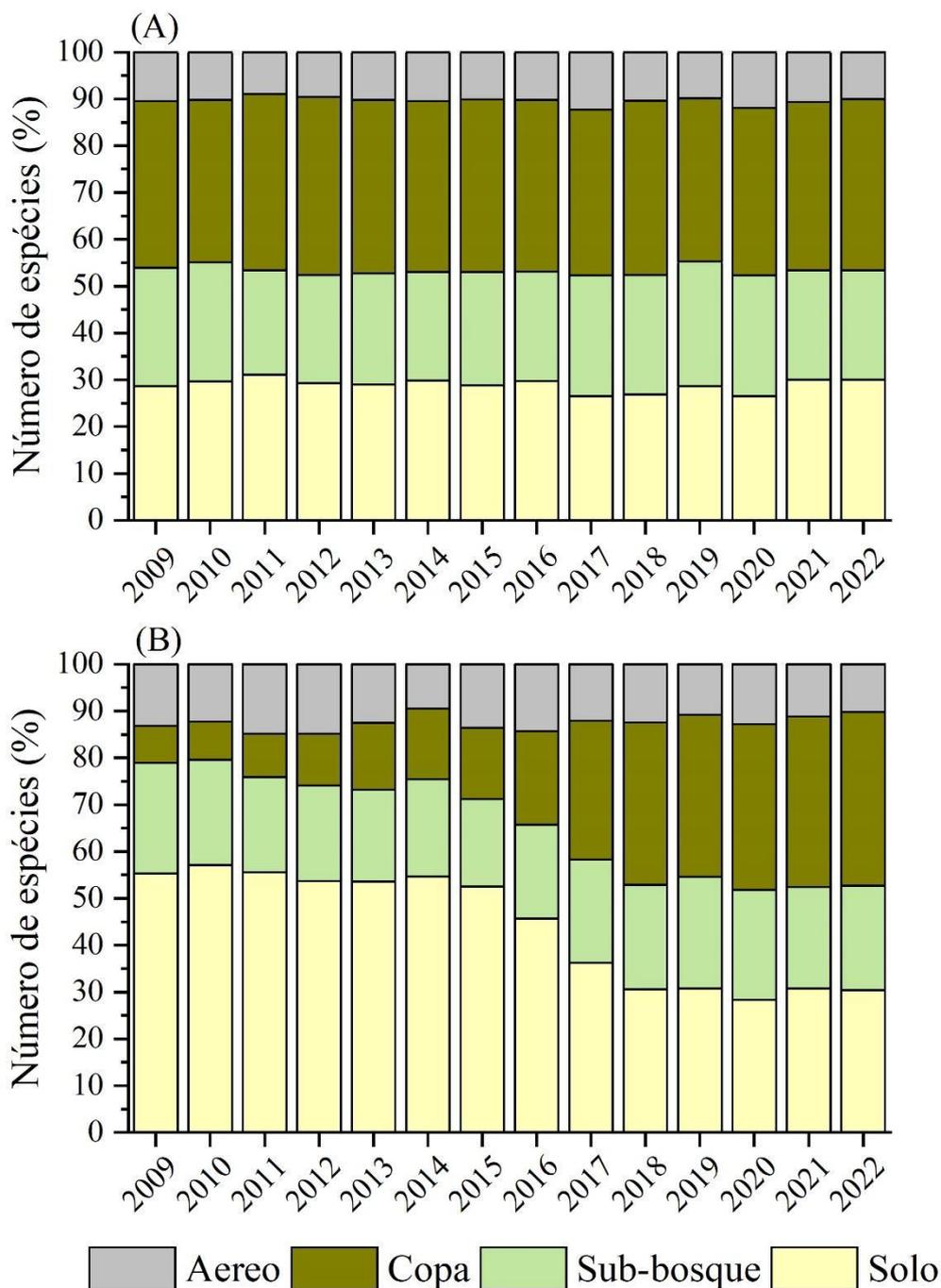


Figura 8 – Porcentagem de espécies de aves de diferentes estratos de forrageio ao longo do tempo registrados nas florestas de referência (A) e na área restaurada (B).

Nas florestas de referência observamos apenas pequenas variações nas proporções do número de espécies nas diferentes guildas alimentares, apesar do aumento do número total de espécies (Figura 9). De maneira geral, a maioria das espécies de aves registradas ao longo de todo o período de monitoramento

eram insetívoras que variaram entre 37% e 40% de toda a comunidade de aves. A proporção de nectarívoros foi a mais baixa durante todo o período e variou entre 4% e 6% de todas as espécies de aves (Figura 9). Por outro lado, na área do restauro, registramos uma forte variação nas proporções de espécies de diferentes guildas alimentares ao longo do tempo. A proporção de espécies exclusivamente frugívoras aumentou de 5,3% para 9,5%, alcançando um pico de aproximadamente 13% nos anos de 2017 e 2018. Os nectarívoros foram a segunda guilda que mais aumentou ao longo deste período, sendo que em 2009 não foram registradas nenhuma espécie e em 2022 esta guilda representou 4,0% de todas as espécies. Os primeiros nectarívoros na área de restauro foram registrados apenas a partir de 2016, portanto oito anos após o plantio das árvores. Em termos absolutos, o número de espécies insetívoras aumentou 3,9 vezes e de espécies que podem incluir frutos em sua dieta (o que inclui insetívoros/frugívoros e exclusivamente frugívoras) aumentaram 5,17 vezes.

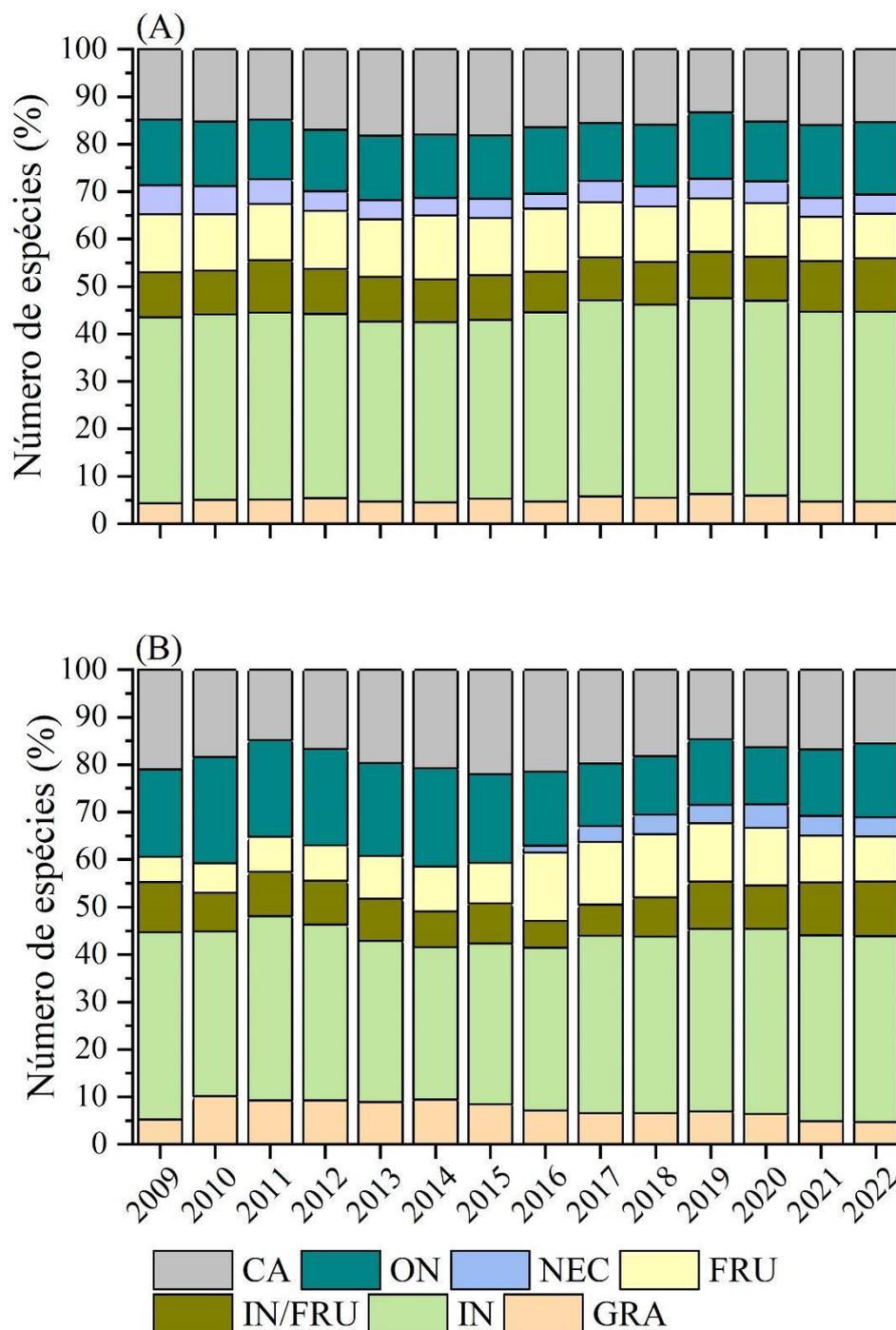


Figura 9 – Número de espécies de diferentes guildas ao longo do tempo registrados nas florestas de referência e na área restaurada, na qual CA= carnívoras, ON= onívoras, NEC = nectarívoras, FRU= frugívoras, IN/FRU= insetívoras/frugívoras, IN= insetívoras, GRA= granívoras.

De forma geral houve diferença na composição de espécies com diferentes hábitos alimentares ao longo dos anos que deve estar condicionada com as mudanças da estrutura da floresta e na disponibilidade de recursos para

diferentes guildas alimentares, uma vez que o desenvolvimento da floresta resulta numa maior variedade dos recursos alimentares. Observamos que ao final do monitoramento, cerca de 14 anos após as ações de restauração, as espécies com hábitos alimentares onívoros, nectarívoros e insetívoros e frugívoros aumentaram, inferindo que o estágio do restauro está mais próximo ao da floresta referência. Em estágios intermediários do restauro, podem ocorrer ao mesmo tempo aves de áreas de restauro e de áreas florestais, sendo comum o predomínio de espécies generalistas, como as parcialmente frugívoras (Becker *et al.* 2013). As espécies de aves nectarívoras foram registradas apenas a partir do oitavo ano após o plantio das mudas nas áreas restauradas, o que deve coincidir com as primeiras florações das espécies plantadas. Assim, estes resultados sugerem fortemente que o processo de restauração está tendo um impacto positivo na recuperação da biodiversidade avifaunística local e principalmente com relação à polinização de espécies de plantas e na dispersão de sementes, importantes aspectos do funcionamento de ecossistemas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo avaliar as mudanças na comunidade de aves terrestres ao longo de 14 anos numa área restaurada às margens do reservatório da PCH Anhanguera. Os resultados indicaram que a riqueza em espécies de aves aumentou muito ao longo desse período coincidindo com o desenvolvimento dos indivíduos das espécies arbóreas plantadas. Além disto, a similaridade na composição das espécies de aves entre a área restaurada e as áreas de referência aumentou fortemente. A restauração da floresta aumentou a diversidade de aves, a nível local e provavelmente também a nível de paisagem, uma vez que tende a recuperar populações já existentes, prevenindo extinções locais e a atrair espécies de outros locais, reestabelecendo funções ecossistêmicas por meio da restauração de interações interespecíficas. Estes resultados são importantes para a conservação da biodiversidade, pois indicam que a restauração de áreas degradadas pode ser uma estratégia eficaz para recuperar a riqueza e a diversidade de espécies de aves local e conservar a avifauna também a nível de paisagem. Apesar de estudos terem mostrado que a riqueza e a abundância de aves aumentam ao longo do desenvolvimento das

florestas restauradas, as informações sobre as espécies, considerando suas características ecológicas, podem ajudar a esclarecer se a trajetória da restauração tende à recuperação de funções do ecossistema. Sendo assim, as aves podem ser utilizadas como indicadoras, auxiliando no monitoramento tradicional florístico para um diagnóstico mais preciso, como parte essencial do processo de restauração florestal.

7. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, R. C. R. et al. Facilitation by isolated trees triggers woody encroachment and a biome shift at the savanna–forest transition. *Journal of Applied Ecology*, v. 58, n. 11, p. 2650-2660, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13994>.
- ALLAN J.D. 2004. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics** 35: 257-284
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAVOREK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** 22: 711-728.
- BATISTELLI, A. F.; TANAKA, M. O.; SOUZA, A. L. 2018. Bird functional traits respond to forest structure in riparian areas undergoing active restoration. **Diversity** 10(3): 90.
- BECKER, R. G.; PAISE, G.; PIZO, M. A. 2013. The structure of bird communities in areas revegetated after mining in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ornitologia** 21(4): 221-234.
- BIBBY, C. J.; BURGESS, N. D.; HILL, D. D.; MUSTOE, S. 2000. **Bird census techniques**. 2 ed. Londres: Academic Press. 302 p.
- BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; DANTAS, A.S.L.; PONÇANO, W.L.; CAMPANHA, G.A.C.; NAGATA, N.; ALMEIDA, M.A.; STEIN, D.P.; MELO, M.S.; CREMONINI, O.A. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo: Escala 1:500.000**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. 126 p.
- BRADY, C. J.; NOSKE, R. A. 2010. Succession in Bird and Plant Communities over a 24-Year Chronosequence of Mine Rehabilitation in the Australian Monsoon Tropics. **Restoration Ecology** 18(6): 855-864.
- CATTERALL, C. P.; FREEMAN, A. N. D.; KANOWSKI, J.; FREEBODY, K. 2012. Can active restoration of tropical rainforest rescue biodiversity? A case with bird community indicators. **Biological Conservation** 146: 53-61.

- EFE, M. A. **Guia Prático do Observador de Aves**. Brasília: CEMAVE/IBAMA, 1999. 40 p.
- FRANCISCO, M. R.; GALETTI, M. 2002a. Aves como potenciais dispersoras de sementes de *Ocotea pulchella* Mart. (Lauraceae) numa área de vegetação de cerrado do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Botânica** 25(1): 11-17.
- GENTRY, A. H. (Ed.). (1993). **Four neotropical rainforests**. Yale University Press.
- GONZÁLEZ, E.; SHER, A. A.; TABACCHI, E.; MASIP, A.; POULIN, M. 2015. Restoration of riparian vegetation: A global review of implementation and evaluation approaches in the international, peer-reviewed literature. **Journal of Environmental Management** 158: 85-94.
- GUSSONI, C.O.; BATISTELI, A. F.; PIZO, M.A. 2024. Functional and conservation-related traits of bird communities in tropical restoration and second-growth forest patches. **Ornithology Research** 32: 78-84.
- JOST, L.; CHAO, A.; CHAZDON, R.L. 2011. Compositional similarity and beta diversity. *In*: MAGURRAN, A. E.; MCGILL, B.J. (eds.) **Biological diversity: frontiers in measurement and assessment**. Oxford University Press. p. 66-84.
- KAGEYAMA, P.; GANDARA F.B. 2000. Recuperação de áreas ciliares. *In*: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (eds). **Matas Ciliares – Conservação e Recuperação**. São Paulo. EDUSP/FAPESP. p 249-269.
- LEGENDRE, P.; LEGENDRE, L. **Numerical Ecology**. 3rd ed. Elsevier. 2012.
- LINDELL, C. A.; COLE, R. J.; HOLL, K. D.; ZAHAWI, R. A. 2012. Migratory bird species in young tropical forest restoration sites: effects of vegetation height, planting design, and season. **Bird Conservation International** 22: 94-105.
- MANICA L.T.; TELLES M.; DIAS, M.M. 2010. Bird richness and composition in a Cerrado fragment in the State of São Paulo. **Brazilian Journal of Biology** 70: 243-254.
- MANSOURIAN, S.; VALLAURI, D. 2014. Restoring Forest Landscapes: Important Lessons Learnt. **Environmental Management** 53: 241–251.
- McCLUNEY, K.E.; POFF, N.L.; PALMER, M.A.; THORP, J.H. et al. 2014. Riverine macrosystems ecology: sensitivity, resistance, and resilience of whole river basins with human alterations. **Frontiers in Ecology and the Environment** 12? 48-58.
- MOTTA-JUNIOR, J. C. 1990. Estrutura trófica e composição da avifauna de três habitats terrestres na região central do estado de São Paulo. **Ararajuba** 1: 65-71.

- MUNRO, N.T.; FISCHER, J.; BARRETT, G.; WOOD, J.; LEAVESLEY, A.; LINDENMAYER, D.B. 2011. Bird's response to revegetation of different structure and floristics—are “restoration plantings” restoring bird communities? *Restoration Ecology*, 19: 223–235.
- NAIMAN, R.J.; DECAMPS, H. McCLAIN, M.E. 2005. **Riparia: ecology, conservation, and management of streamside communities.** Academic Press.
- NAKANO, S. MURAKAMI, M. 2001. Reciprocal subsidies: Dynamic interdependence between terrestrial and aquatic food webs. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 98: 166-170.
- NAKASATO, M. V. SOUZA, A.L.T., BERNARDI, A.C. (2024). Waterline distance effects in the recovery of forest structure and soil organic matter 12 years after restoration. **Ecological Engineering** 206: 107315.
- NUNES, L.; VICENTE, A.K.; CANDIDO, D.H. 2009, Clima da região sudeste do Brasil. *In*: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J; DIAS, M.A.F. (Org.). **Tempo e clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos. p. 243-258.
- PACHECO, J. F.; SILVEIRA, L. F.; ALEIXO, A.; AGNE, C. E.; BENCKE, G. A.; BRAVO, G. A.; BRITO, G. R. R.; COHN-HAFT, M.; MAURÍCIO, G. N.; NAKA, L. N.; OLMOS, F.; POSSO, S. R.; LEES, A. C.; FIGUEIREDO, L. F. A.; CARRANO, E.; GUEDES, R. C.; CESARI, E.; FRANZ, I.; SCHUNCK, F.; PIACENTINI, V. Q. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee – second edition. **Ornithology Research**, 29: 94-105.
- PAINE, C. T.; MARTHEWS, T. R.; VOGT, D. R.; PURVES, D.; REES, M.; HECTOR, A.; TURNBULL, L. A. 2012. How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists. *Methods in Ecology and Evolution*, 3: 245-256.
- PAXTON, E. H.; YELENIK, S. G.; BORNEMAN, T. E.; ROSE, E. T.; CAMP, R. J.; KENDALL, S. J. 2018. Rapid colonization of a Hawaiian restoration forest by a diverse avian community. **Restoration Ecology**, 26(1), 165-173.
- PERRING, M. P.; STANDISH, R. J.; PRICE, J. N.; CRAIG, M. D.; ERICKSON, T. E.; RUTHROF, K. X.; WHITELEY, A. S.; VALENTINE, L. E.; HOBBS, R. J. 2015. Advances in restoration ecology: rising to the challenges of the coming decades. **Ecosphere** 6: 1-25.
- PCH'S PALMEIRA, ANHANGÜERA E RETIRO. Companhia Paulista de Força e Luz CPFL PCH'S Palmeira, Anhangüera e Retiro. Projeto Básico Ambiental. 8574/GE-6B-RL-0002-0 (2001).
- REID, J. L.; HARRIS, J. B. C.; ZAHAWI, R. A. 2012. Avian Habitat Preference in Tropical Forest Restoration in Southern Costa Rica. **Biotropica** 44(3): 350-359.

- REY-BENAYAS, J. M.; GALVANA, I.; CARRASCAL, L. M. 2010. Differential effects of vegetation restoration in Mediterranean abandoned cropland by secondary succession and pine plantations on bird assemblages. **Forest Ecology and Management** 260: 87–95.
- SER - SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL SCIENCE AND POLICY WORKING GROUP. 2004. **The SER International Primer on Ecological Restoration**. Society for Ecological Restoration International, Tucson. www.ser.org.
- SICK, H. 1997. **Ornitologia brasileira**, Rio de Janeiro, Ed. Nova Fronteira, 912p.
- SIGRIST, T. **Aves do Brasil Oriental: Guia de bolso**. Vinhedo: Avisbrasilis, 2015. 336 p.
- SILVA, R. A. et al. **Birds as bioindicators in ecological restoration: assessing habitat complexity and restoration success**. Ecological Indicators, v. 125, p. 107543, 2021.
- STANTURF, J. A.; PALIK, B. J.; DUMROESE, R. K. DUMROESE. 2014. Contemporary forest restoration: A review emphasizing function. **Forest Ecology and Management** 331: 292-323.
- STOTZ, D. F.; FITZPATRICK, J. W.; PARKER III, T. A.; MOSKOVITS, D. K. 1996. **Neotropical birds: ecology and conservation**. University of Chicago Press.
- VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991. 124 p.
- VOLPATO, G. H.; NETO, A.M. ; MARTINS, S. V. AVIFAUNA COMO BIOINDICADORA PARA AVALIAÇÃO DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL: ESTUDO DE CASO EM UMA FLORESTA RESTAURADA COM 40 ANOS EM VIÇOSA - MG. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 336–344, 2018.
- ZAMORA, C. O.; MONTAGNINI, F. 2007. Seed rain and seed dispersal agents in pure and mixed plantations of native trees and abandoned pastures at La Selva Biological Station, Costa Rica. **Restoration Ecology** 15: 453-461.