
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

SERGIO EWERTON PUGLIANO

**USO DE GRAVADORES AUTÔNOMOS PARA
DETECÇÃO DE ESPÉCIES DE AVES NOTURNAS EM
PAISAGENS FRAGMENTADAS DE MATA ATLÂNTICA**

SERGIO EWERTON PUGLIANO

USO DE GRAVADORES AUTÔNOMOS PARA DETECÇÃO DE
ESPÉCIES DE AVES NOTURNAS EM PAISAGENS FRAGMENTADAS
DE MATA ATLÂNTICA

Orientador: Prof. Dr. Milton Cezar Ribeiro

Coorientador: Lucas Gaspar Pacciullio da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de
Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” - Câmpus de Rio Claro, para obtenção do grau
de Bacharel em Ciências Biológicas

Rio Claro

2021

P978u	Pugliano, Sergio Ewerton Uso de gravadores autônomos para detecção de espécies de aves noturnas em paisagens fragmentadas de mata atlântica / Sergio Ewerton Pugliano. -- Rio Claro, 2021 37 f. : tabs., mapas Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro Orientador: Milton Cezar Ribeiro Coorientador: Lucas Gaspar Pacciullio da Silva 1. Biologia. 2. Ecologia de paisagens. 3. Ecologia acústica. 4. Monitoramento acústico passivo. 5. Avifauna noturna. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à força universal eterna, sem começo nem fim, que com seus ciclos de criação e destruição me permite viver e desfrutar o tempo presente, seja ele qual for.

Agradeço a toda minha família, em especial minha mãe, Maria José; meu pai, Sérgio; e minha irmã, Héllen. Por todo o carinho e amor transmitidos ao longo dos anos, pelo companheirismo, pelos ensinamentos, broncas e também pelo apoio financeiro até aqui. Agradeço também aos meus avós, Dalva e José, por quem tenho profunda gratidão e admiração. Pela simplicidade e paciência de sempre me transmitirem seus conhecimentos sobre cultivo, manejo e respeito para com as plantas e animais, desde criança até os dias atuais. Vocês constituem grande parte do que sou e sem vocês nada disso seria possível.

Agradeço a todos os professores e professoras que cruzaram caminhos comigo e me ajudaram na construção intelectual do meu ser. Especialmente ao meu orientador, Miltinho, e coorientador, Lucas, pela oportunidade e confiança, além da receptibilidade no laboratório. Vocês me indicaram um novo caminho que eu não conhecia e passei a admirar. Agradeço também os integrantes do LEEC (Laboratório de Ecologia Espacial e Conservação), pelas conversas, críticas e ajudas providas sempre que necessárias. De cada mestre levo um tanto de amor por cada ensinamento e aprendizado.

Agradeço a todos os amigos que fiz durante esse percurso universitário até aqui, pessoas com quem convivi intensamente durante todos esses anos, pelo companheirismo, conversas, desabafos, inquietações e trocas de experiências que também contribuíram para meu crescimento e desenvolvimento pessoal. Agradeço também aos moradores e agregados da ex-república Bar do Moe, pelas conversas, companheirismo, aprendizados, risadas, apoio emocional e todos os momentos proporcionados. Com vocês dividi meus dias por vários anos e sou muito grato pela amizade construída. É difícil citar todos, pois felizmente foram muitos, mas vocês sabem quem são e terão para sempre um lugar especial em meu coração.

Agradeço a UNESP de Rio Claro e ao Departamento de Ecologia pela oportunidade e estrutura fornecida para que este trabalho fosse realizado.

Resumo

Com a rápida perda e fragmentação de habitat natural, as técnicas de monitoramento faunístico vêm se aperfeiçoando visando aumento da efetividade e redução de custos. Diversas são essas técnicas e, dentre elas, o MAP (monitoramento acústico passivo) ganha cada vez mais espaço, principalmente por facilitar o levantamento de dados acústicos e permitir o armazenamento permanente dos mesmos. Sendo a avifauna um grupo amplamente estudado, relativamente de fácil detectabilidade e sensível a degradação, são considerados bioindicadores de qualidade do habitat. Neste estudo, testamos a eficiência do MAP na detecção de aves noturnas a partir de dados acústicos obtidos por gravações realizadas em fragmentos de Mata Atlântica. Além disso, verificamos qual a correlação entre quantidade de cobertura vegetal nas variáveis riqueza, número de contatos e diversidade, obtendo uma correlação negativa, porém, considerando grupos com diferentes exigências ambientais, o padrão se manteve. Podendo ser amplamente utilizado para o monitoramento e gestão ambiental, o MAP se torna uma importante ferramenta para estudos em ecoacústica e bioacústica como um todo.

Palavras-chave: Ecologia acústica. Monitoramento acústico passivo. Avifauna noturna.

Abstract

With the natural habitat rapid loss and fragmentation, fauna monitoring techniques have been improving in order to increase effectiveness and reduce costs. These techniques are diverse and, among them, PAM (passive acoustic monitoring) is gaining more and more space, mainly because it facilitates the collection of acoustic data and allows its permanent storage. As avifauna being a widely studied group, relatively easy to detect and sensitive to degradation, they are considered bioindicators of habitat quality. In this study, we tested the PAM's efficiency on the detection of nocturnal birds from acoustic data obtained from recordings made in fragments of the Atlantic Forest. In addition, we verified the correlation between the amount of vegetation cover in variables such as richness, number of contacts and diversity, obtaining a negative correlation, however, considering groups with different environmental requirements, the pattern was maintained. As it can be widely used for environmental monitoring and management, the PAM becomes an important tool for studies in ecoacoustics and bioacoustics as a whole.

Key-words: Acoustic ecology. Acoustic monitoring. Nocturnal birdlife.

Lista de figuras

Figura 1 – Hipótese gráfica da ocorrência de espécies esperada.....	12
Figura 2 – Localização dos gravadores utilizados na área de estudo.....	13
Figura 3 – Quantidade de arquivos analisados.....	15
Figura 4 – Número de etiquetas obtidas por paisagem.....	16
Figura 5 – Frequência de ocorrência das espécies por paisagem.....	19
Figura 6 – Gráfico de rarefação.....	20
Figura 7 – Regressões lineares relativas.....	20
Figura 8 – Regressões lineares de correlação com espécies.....	21

Lista de tabelas

Tabela 1 – Áreas selecionadas e suas coberturas florestais.....14

Tabela 2 – Espécies de aves detectadas no levantamento.....18

Lista de abreviaturas e siglas

MAP – Monitoramento Acústico Passivo

MMA – Ministério do Meio Ambiente

FNT – Espécies Florestais Não Tolerantes a Degradação

FT – Espécies Florestais Tolerantes a Degradação

GE – Espécies Generalistas

Sumário

1. Introdução.....	9
2. Objetivo, Hipóteses e Predições.....	11
3. Materiais e Métodos.....	13
3.1 <i>Área de Estudo.....</i>	<i>13</i>
3.2 <i>Aquisição e seleção dos dados estudados.....</i>	<i>14</i>
3.3 <i>Detecção de espécies.....</i>	<i>15</i>
3.4 <i>Análise de dados.....</i>	<i>16</i>
4. Resultados.....	18
5. Discussão.....	22
6. Conclusão e direções futuras.....	26
Referências.....	27
Apêndice A.....	33
Apêndice B.....	34
Apêndice C.....	35
Apêndice D.....	36

1. Introdução

Atualmente, técnicas que aumentem o número de táxons estudados, além de proverem períodos de amostragem e extensão de área estudada maiores, são cada vez mais buscadas em pesquisas ecológicas (ACEVEDO & VILLANUEVA-RIVERA 2006). Por esta razão, o MAP (monitoramento acústico passivo) por meio de gravadores autônomos vem sendo amplamente utilizado em vários estudos por apresentar diversos benefícios quando comparados aos métodos tradicionais de monitoramento (SWISTON & MENNILL 2009).

Algumas das vantagens na utilização de gravadores autônomos são: (1) longos períodos de amostragem (ACEVEDO & VILLANUEVA-RIVERA 2006) podendo deixá-los gravando por várias horas ininterruptas durante o dia, bastando realizar a troca de bateria ou cartão de armazenamento de dados quando necessário (STOWELL & SUEUR 2020); (2) cobrir diferentes áreas simultaneamente resultando em uma ampla amostragem espaço-temporal, possibilitando obter informações acerca da variação no comportamento acústico da paisagem, tanto temporal quanto interespecífica (PETERSON & DORCAS 1994, PIJANOWSKI et al. 2011); (3) um registro permanente da pesquisa com a possibilidade de conferir e compartilhar esses dados com outros pesquisadores e até mesmo criar repositórios de dados acústicos (REMPEL et al. 2005); e (4) menos distúrbios comportamentais causados pela presença de observadores que, mesmo bem camuflados, podem causar eventuais ruídos, como quebra de galhos e afins, tanto na chegada quanto no deslocamento do observador no local de pesquisa (BRIDGES & DORCAS 2000). Além disso, como já temos documentado, gravadores podem ser utilizados para amostrar diversos grupos animais, tais como insetos (CHESMORE & OHYA 2004), anfíbios (HILJE & AIDE 2012), morcegos (PARSONS & JONES 2000), animais marinhos (OSWALD, BARLOW & NORRIS 2003; MARQUES et al. 2013) e aves (ANDERSON, DAVE & MARGOLIASH 1996).

Quando falamos em estudos de avaliação de qualidade ambiental como um todo, o grupo das aves e dos anfíbios são ótimos bioindicadores da qualidade do habitat (PADOA-SCHIOPPA et al. 2006). Por serem extremamente sensíveis a mudanças ambientais e pela facilidade de se realizar levantamentos quantitativos dos

mesmos, são ótimos grupos para estes tipos de pesquisas (TOLEDO 2009). No presente estudo, nosso foco amostral foram as aves pelos seguintes motivos: são amplamente estudadas, portanto tem sua taxonomia, ecologia e comportamento bem conhecidos (NORRIS & PAIN 2002); podem ser registrados tanto de forma visual quanto sonora com facilidade, por apresentarem características físicas muitas vezes distintas, além de vocalizações específicas para cada espécie (HOLLING 1978); são sensíveis à modificação dos ambientes, respondendo à qualidade da vegetação e de outros atributos da área onde são observadas (PADOA-SCHIOPPA et al. 2006); e participam ativamente de diversos níveis da cascata trófica (BUNCE et al. 1981). Independentemente do tipo de paisagem, os sinais sonoros presentes nela já são indicadores de presença animal (VIELLIARD 2004) e a abundância de algumas espécies em determinada área pode estar diretamente relacionada à qualidade da mesma, os tornando ótimos indicadores de qualidade ecossistêmica (PIJANOWSKI et al. 2011).

Vários são os métodos de levantamento de espécies, tanto quantitativos quanto qualitativos, e a definição da metodologia utilizada é um dos passos mais importantes dentro de qualquer projeto (DEVELEY 2003). Para o monitoramento de algumas espécies, como as de hábitos noturnos, alguns métodos tradicionais acabam apresentando certas dificuldades e limitações, sobressaindo muito mais a experiência do ornitólogo ou pesquisador em campo, como os feitos através de expedições a pé e com a utilização de playback para detecção de espécies raras que podem ocorrer na região (ICMBio 2014, BISPO et al. 2016), sendo assim, muitas outras espécies podem passar despercebidas. A identificação visual através de características físicas também é dificultada em determinados horários do dia, ficando dependente da utilização de lanternas para a busca ativa e para a identificação visual, principalmente à noite (REIS et al. 2012). Nestas condições, a melhor forma de identificá-las é através do som, e a utilização do MAP pode facilitar esse processo. Mesmo que existam algumas espécies com chamados crípticos, ou seja, que imitam o canto de outras, o som ainda se torna um grande aliado na detecção, tendo em vista que a maior parte das vocalizações são espécie-específica (CATCHPOLE & SLATER 1995). Por conta disto, o MAP vem ganhando cada vez mais espaço nos mais variados campos da pesquisa (BLUMSTEIN et al. 2011).

Neste estudo utilizamos dados acústicos obtidos a partir do MAP para detectar e identificar todas as espécies de aves notívagas e crepusculares audíveis, presentes nos dados de áudios obtidos pelo levantamento realizado no Corredor Ecológico Cantareira-Mantiqueira, a fim de uma melhor compreensão dos benefícios e efetividade desse método.

2. Objetivo, Hipóteses e Predições

Neste estudo pretendemos responder às seguintes perguntas:

- O monitoramento acústico passivo é eficiente na detecção de espécies de aves noturnas?

Hipótese: Sim, o monitoramento acústico é efetivo para a detecção de espécies de aves noturnas principalmente por suas vocalizações serem espécie-específicas.

- A quantidade de floresta tem influência sob a ocorrência de espécies de aves noturnas?

Hipótese: Sim, espera-se que quanto maior for a cobertura florestal, menor será a frequência de detecção por conta de uma maior diluição desses indivíduos dentro da paisagem (Figura 1). Por estarmos falando de aves noturnas, durante seu período de maior atividade elas geralmente estão forrageando atrás de alimento ou, dependendo da época do ano, estarão se dedicando a vocalizar em busca de parceiros ou defendendo o território. Levando em consideração áreas com pouca floresta e disponibilidade de alimento, estas aves provavelmente estarão mais próximas, nos proporcionando uma maior detecção, mas talvez menor riqueza. Quando olhamos para áreas com maior cobertura florestal, essas aves terão uma maior disponibilidade de alimento por área, portanto espera-se que estarão mais esparsas pelo ambiente, o que pode resultar, mas não necessariamente, numa frequência de detecção menor, porém maior diversidade. No caso de espécies Florestais Não Tolerantes (FNT), espera-se que quanto maior a quantidade de floresta, maior será a frequência de ocorrência e, portanto, a frequência de contato com essas espécies, principalmente por serem aves que preferem o interior de florestas fechadas, como por exemplo o bacurau-ocelado (*Nyctiphrynus ocellatus*).

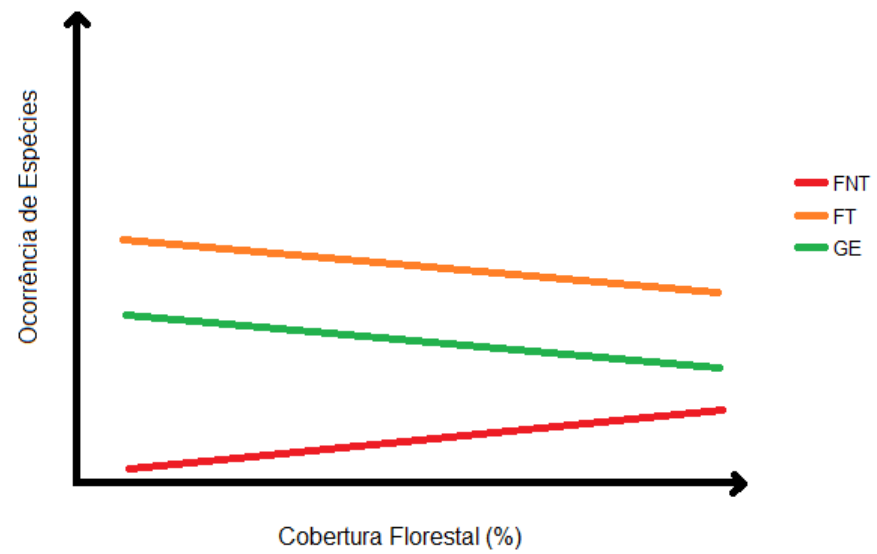


Figura 1 - Hipótese gráfica da ocorrência de espécies em relação a porcentagem de cobertura vegetal. FNT – Espécies Florestais Não Tolerantes a degradação. FT – Espécies Florestais Tolerantes a degradação. GE – Espécies Generalistas.

3. Materiais e métodos

3.1 Área de Estudo

A região do estudo é o Corredor Ecológico Cantareira-Mantiqueira, localizado no sul de Minas Gerais e no nordeste de São Paulo (Figura 2). A região faz parte da Mata Atlântica, a qual é classificada como *Hotspot* de biodiversidade devido aos seus altos níveis de riqueza e endemismo (MYERS et al. 2000). A vegetação na região de estudo é principalmente de florestas ombrófilas e semidecíduas, porém, devido às altas taxas de desmatamento, a região mantém apenas 29% das florestas originais atualmente (MMA 2019).

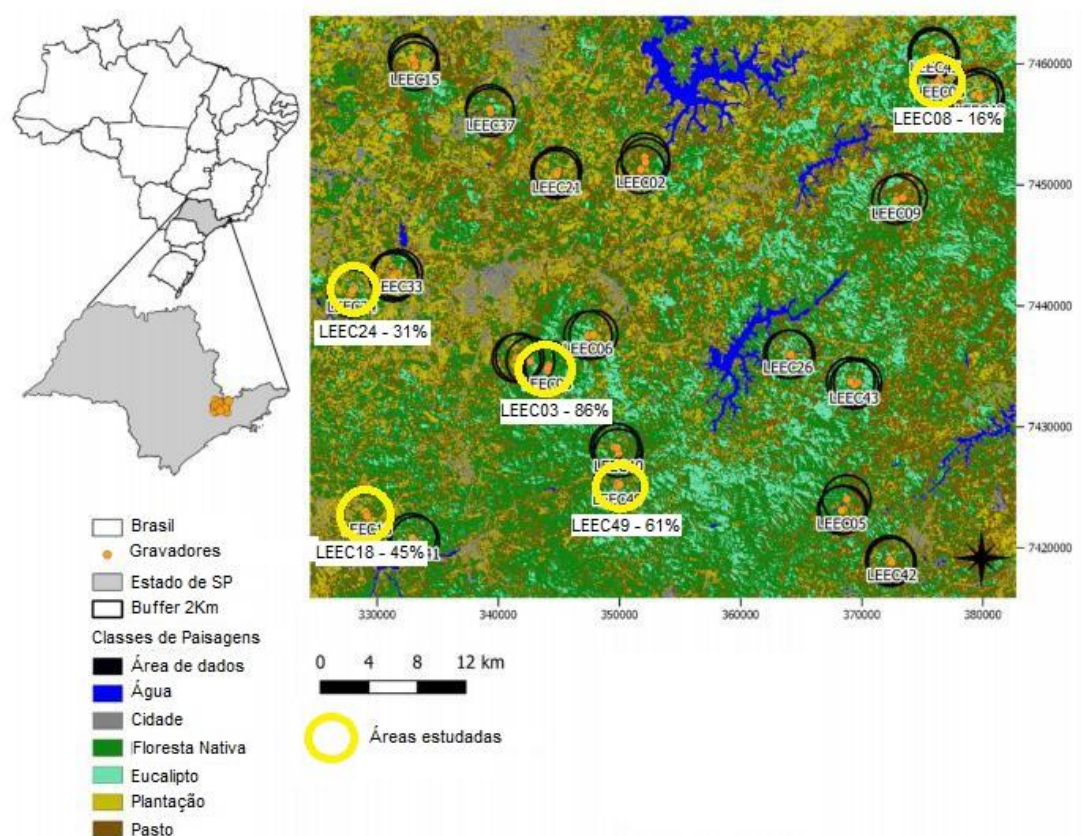


Figura 2 - Localização dos gravadores autônomos utilizados na coleta de dados. Em destaque, as paisagens amostrais escolhidas com as porcentagens de cobertura florestal indicadas.

Fonte: Gaspar, Lucas P. (2021). Dissertação de mestrado – UNESP Campus Rio Claro

3.2 Aquisição e seleção dos dados estudados

Os dados acústicos utilizados foram coletados no projeto FAPESP nº 2013/50421-2 em paisagens heterogêneas de fragmentos de Mata Atlântica, durante a estação chuvosa, entre outubro de 2016 e janeiro de 2017 (Figura 2) no estado de São Paulo, Brasil. Neste período, foram realizadas coletas em 22 paisagens, que apresentavam variação na porcentagem de cobertura florestal e heterogeneidade da paisagem num raio de 2km. Para uma melhor diferenciação foram registrados nomes distintos para cada uma das 22 paisagens, como demonstrado na figura 2 e dentro de cada área haviam três tipos de ambientes: 1) paisagens de mata atlântica (compreendendo áreas de floresta); 2) paisagens de brejo (compreendendo áreas propensas a alagamentos e próximas a rios ou riachos); e 3) paisagens de pasto (sendo áreas abertas, geralmente com uma maior presença de humanos e animais domesticados). O banco de dados possui 2.255 horas de gravação, sendo aproximadamente 102 horas por paisagem, distribuídos ao longo do dia e parte da noite. Os dados sonoros foram obtidos utilizando gravadores autônomos Song Meter 3 (WILDLIFE ACOUSTICS 2018), equipados com dois microfones omnidirecionais e os sinais amostrados em 48kHz e 16bits em formato WAV. A programação utilizada nos gravadores autônomos se encontra no material suplementar (Apêndice A).

No presente estudo selecionamos cinco paisagens (Tabela 1), com diferentes porcentagens de cobertura florestal considerando um buffer de 2km de raio. Também selecionamos arquivos de gravações de 15 minutos contínuos a partir das 18h30 da até às 2h15, por serem períodos em que as aves noturnas apresentam maior atividade (CLEERE 2010) a fim de aumentar a eficiência de detecção. Além disso, com o intuito de reduzir a captação de mesmos indivíduos repetidas vezes nos dias, utilizamos os áudios de forma a analisarmos um período inteiro de gravação e dando um intervalo de dois dias para cada nova gravação, totalizando dez dias dentro do mês.

Tabela 1 - Áreas selecionadas com suas respectivas porcentagens de cobertura florestal.

Área	Cobertura Florestal (%)
LEEC08	16%
LEEC24	31%
LEEC18	45%
LEEC49	61%
LEEC03	86%

3.3 Detecção de espécie

Para detecção das espécies, utilizamos o software de análises acústicas Raven Pro 1.5 (BIOACOUSTICS RESEARCH PROGRAM 2017), responsável por realizar a transformada de Fourier, que basicamente decompõe uma função temporal (um sinal) em frequências, tal como um acorde de um instrumento musical pode ser expresso pela amplitude dos sinais constituintes. Submetendo os dados das gravações a essa transformada de Fourier, teremos um gráfico visual das mesmas em forma de espectrogramas, tendo a intensidade do som demonstrada num plano de frequência pelo tempo. A partir disso, e para melhor compreensão da efetividade do MAP, realizamos a identificação de todas as espécies detectadas a partir da busca ativa auditiva e visual das vocalizações.

No total foram analisados 528 arquivos de áudio de 15 minutos cada, somando 7.920 minutos, dividido entre as cinco paisagens selecionadas (Figura 3). Há uma disparidade na quantidade de áudios presentes na paisagem com 0.31 de cobertura florestal pois, diferente das outras, havia uma quantidade reduzida de gravações nesta área devido à problemas na logística das coletas. Para equalizar os resultados, utilizamos a média dos resultados finais, realizando a divisão de cada resultado final pelo número total de arquivos analisados por paisagem.

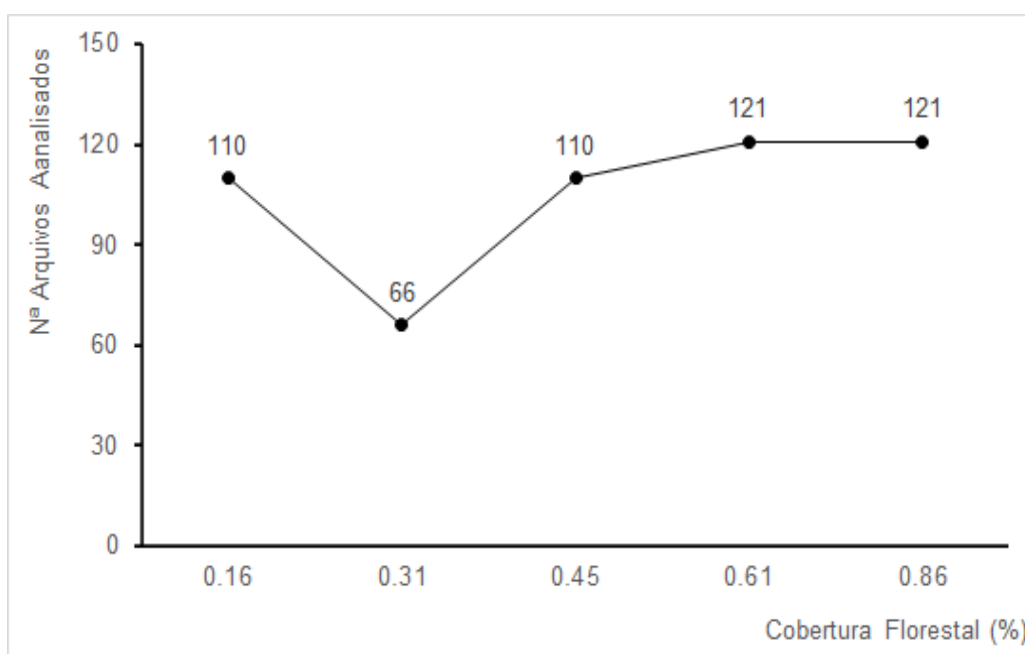


Figura 3 - Quantidade de arquivos de 15 minutos de áudio analisados por paisagem.

Dentre o número total de arquivos analisados, obtivemos um gráfico com o número de detecções em cada uma das paisagens, resultando num total de 85 etiquetas (Figura 4).

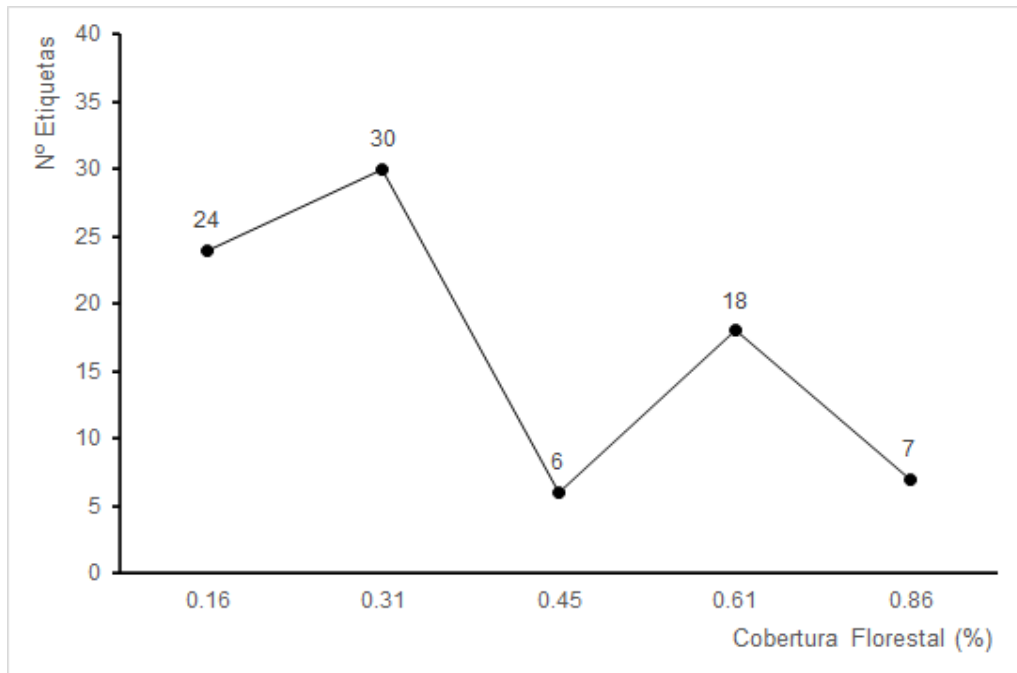


Figura 4 - Número de etiquetas obtidas por paisagem.

3.4 Análise de dados

Para testar se a quantidade de cobertura florestal influencia a frequência de ocorrência de espécies de aves noturnas, utilizamos o índice inverso de diversidade de Simpson. Tal índice foi escolhido devido ao relativo baixo número de contatos para cada espécie. Para testar se a quantidade de cobertura florestal influencia a riqueza, número de contatos e diversidade da avifauna noturna, utilizamos modelos lineares (lm). As análises foram realizadas no software R para análises estatísticas, utilizando principalmente o pacote Vegan.

Além disso, analisamos a variação na diversidade das espécies encontradas em relação a quantidade de arquivos analisados pela curva de rarefação. Essa técnica é uma solução analítica proposta por Sanders (1968), muito utilizada em ecologia para calcular as combinações possíveis de amostras de determinado tamanho para uma

comunidade. Pode ser feita tanto através de uma reamostragem aleatorizada dos indivíduos ou apenas uma reamostragem da própria amostra, e com isso é possível termos uma estimativa do esforço amostral necessário para detectar as espécies de determinada área (SIEGEL 2006).

4. Resultados

Ao todo, foram registradas 16 espécies de aves, distribuídas dentro das famílias Caprimulgidae Vigors 1825, Nyctibiidae Chenu & Des Murs 1851 e Strigidae Leach 1820 (Tabela 2), sendo todas elas descritas em literatura como majoritariamente de hábitos crepusculares e noturnos (MASCARENHAS et al. 2009, CLEERE 2010, THURBER 2003). Dados meramente descritivos em relação aos horários de maior atividade vocal destas espécies constam no material suplementar (Apêndice B). As espécies com maior número de contatos, considerando todas as paisagens analisadas, foram *Lurocalis semitorquatus* (14 contatos), *Megascops choliba* (14 contatos), *Pulsatrix koeniswaldiana* (12 contatos) e *Nyctiphrynus ocellatus* (10 contatos).

Tabela 2 - Espécies detectadas no levantamento, separadas por respectivas ordens e famílias, com classificação florestal e número de contatos obtidos. FT – Espécies florestais tolerantes a degradação; FNT – Espécies florestais não tolerante a degradação; GE – Espécies generalistas.

- Classificação obtida a partir da Avibase – Lista de aves do Brasil (PIACENTINI et. al 2015)

Ordem	Família	Nome Científico	Nome Popular	Classificação	Número de Contatos
Caprimulgiformes	Caprimulgidae	<i>Antrostomus rufus</i>	João-corta-pau	FT	3
		<i>Hydropsalis torquata</i>	Bacurau-tesoura	GE	1
		<i>Lurocalis semitorquatus</i>	Tuju	FT	14
		<i>Nannochordeiles pusillus</i>	Bacurauzinho	FNT	1
		<i>Nyctidromus albicollis</i>	Bacurau	GE	9
		<i>Nyctiphrynus ocellatus</i>	Bacurau-ocelado	FNT	10
Nyctibiiformes	Nyctibiidae	<i>Nyctibius grandis</i>	Mãe-da-lua-gigante	FT	3
		<i>Nyctibius griseus</i>	Mãe-da-lua	GE	9
Strigiformes	Strigidae	<i>Asio clamator</i>	Coruja-orelhuda	GE	1
		<i>Athene cunicularia</i>	Coruja-buraqueira	FT	3
		<i>Bubo virginianus</i>	Jacurutu	FT	1
		<i>Glaucidium brasilianum</i>	Caburé	FT	1
		<i>Megascops choliba</i>	Corujinha-do-mato	FT	14
		<i>Pulsatrix koeniswaldiana</i>	Murucututu-de-barriga-amarela	FT	12
		<i>Strix huhula</i>	Coruja-preta	FNT	1
		<i>Strix virgata</i>	Coruja-do-mato	FNT	2

A partir das informações sobre presença/ausência das espécies nas paisagens, criamos um gráfico relacionando-as com a frequência de ocorrência das mesmas, ou seja, o número de vezes em que cada espécie foi detectada nas áreas amostradas em relação à porcentagem de cobertura florestal (Figura 5).

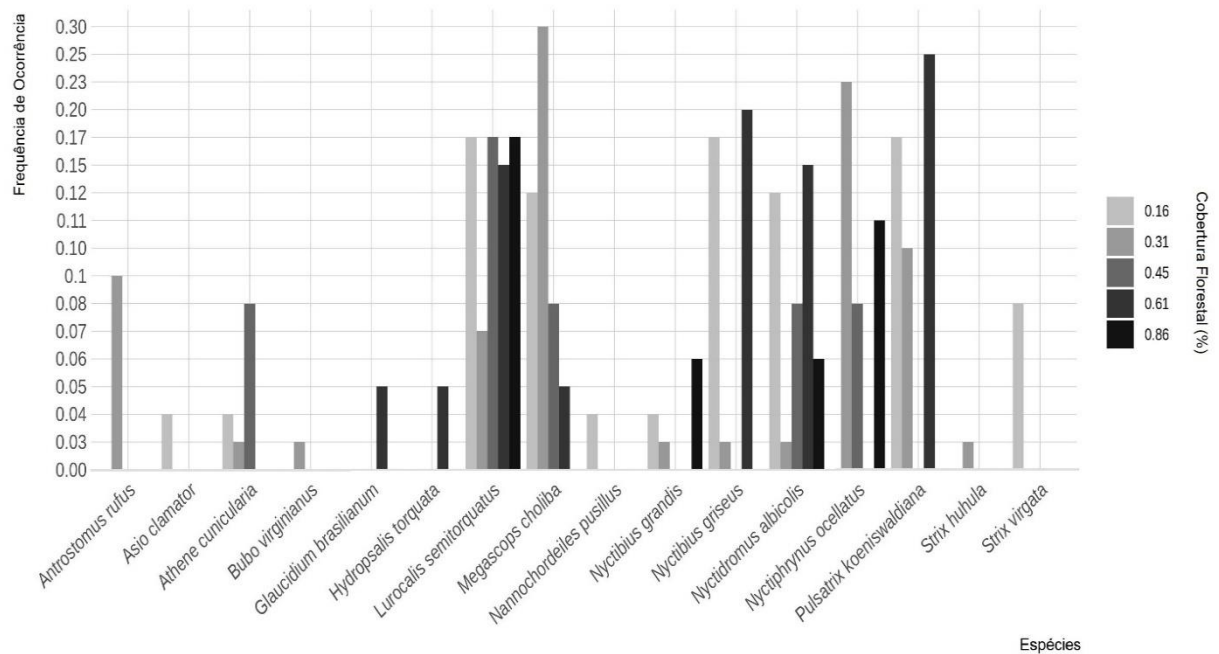


Figura 5 - Frequência de ocorrência das espécies de aves noturnas detectadas distribuídas por paisagem de acordo com a porcentagem de cobertura vegetal.

Submetemos à rarefação a quantidade total de espécies detectadas em todas as áreas, em relação à quantidade de arquivos de 15-min analisados (Figura 10). Pode-se notar que a curva teve um aumento exponencial entre 0 e 100 arquivos (1500 minutos), havendo detecção de 10 espécies. Após isto, a curva teve aumento gradual e não se estabilizou ao final das análises.

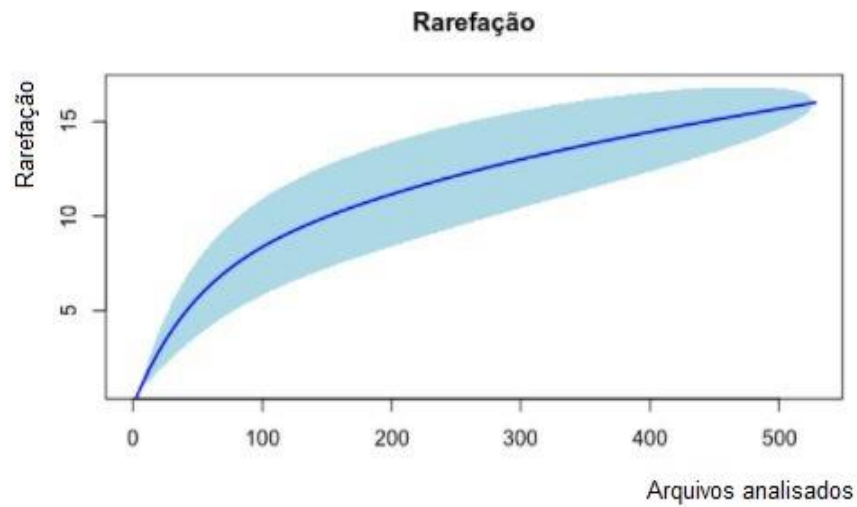


Figura 6 - Riqueza de espécies (rarefação) em relação ao esforço amostral total.

Levando em consideração o esforço amostral, obtivemos gráficos de regressões lineares relativas de acordo com a quantidade de arquivos analisados por paisagem, além da riqueza e diversidade também relativas das espécies detectadas (Figura 7).

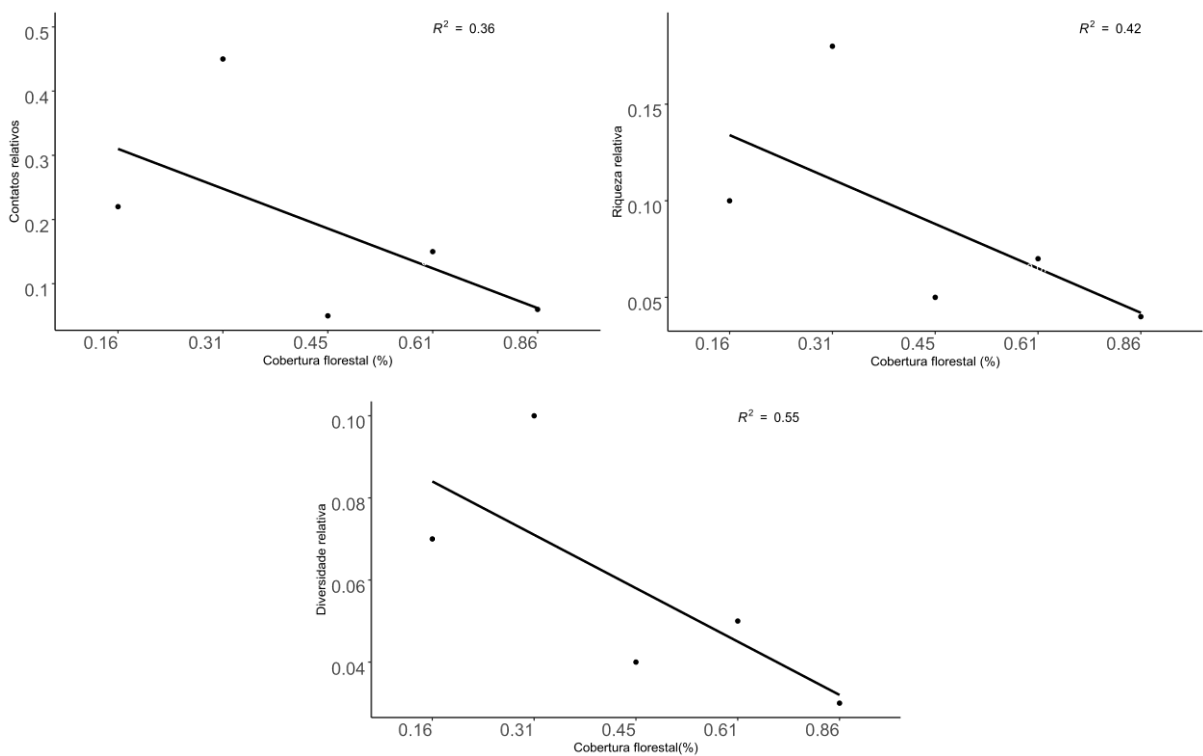


Figura 7 - Regressões lineares de contatos, riqueza e diversidade relativas em relação a porcentagem de cobertura vegetal das áreas estudadas.

Com relação aos dados obtidos, formulamos gráficos de regressão linear verificando a correlação entre a porcentagem de cobertura florestal e o número de contatos, riqueza e diversidade relativos, sendo R^2 o coeficiente de determinação (Figura 8). Quanto maior o valor de R^2 , em modelos de regressão linear, maior será o efeito da variável preditora (cobertura florestal) na variável resposta (riqueza, contatos e diversidade). Neste caso, foram usados valores relativos à média de arquivos avaliados em cada paisagem, tendo em vista que as paisagens diferem no número de arquivos analisados.

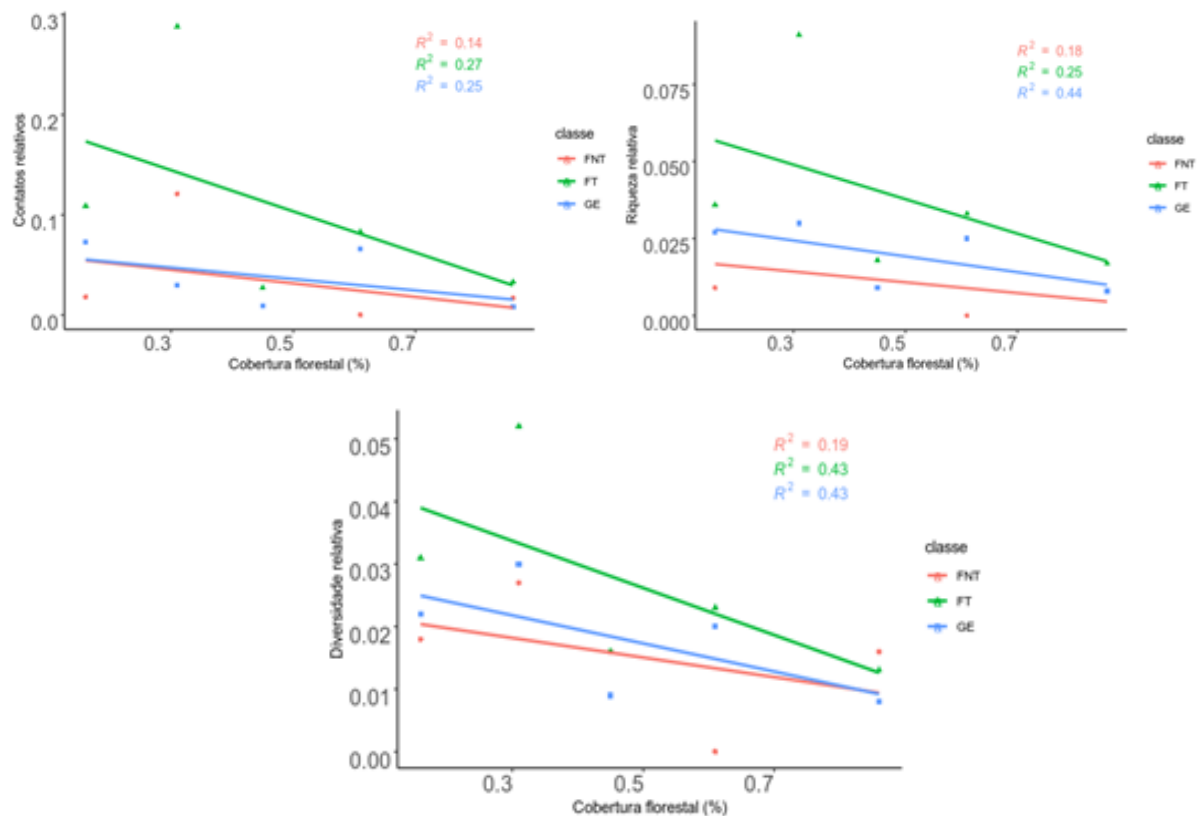


Figura 8 - Regressões lineares correlacionando cobertura florestal com número de indivíduos identificados (contatos relativos), riqueza relativa e diversidade relativa, divididas por classes. FNT: Espécie Florestal Não Tolerante à Degradação; FT: Espécie Florestal Tolerante à Degradação; GE: Espécie Generalista.

5. Discussão

Nós verificamos a efetividade do monitoramento acústico passivo (MAP) para detecção de espécies de aves noturnas em áreas fragmentadas de Mata Atlântica e a partir dos resultados obtidos pudemos comprovar a eficácia desse método. Além disso, também foi possível observar algumas relações entre a quantidade de cobertura vegetal e a frequência de ocorrência dessas espécies.

Encontramos 16 espécies de aves noturnas durante o levantamento (Tabela 2), sendo todas delas já documentadas ao menos uma vez em regiões próximas ao Corredor Ecológico Cantareira-Mantiqueira (TOLEDO 1993, GONZAGA & CASTIGLIONI 2004, VASCONCELOS & DINIZ 2008, TONETTI et. al 2017). Portanto, nossos resultados corroboram a hipótese da eficiência do MAP na detecção de espécies de aves noturnas. Além disso, os métodos tradicionais para monitoramento de aves noturnas requerem grande esforço de campo para realizar as detecções, além de gastos com eventual acomodação. A partir dos dados obtidos pelo MAP, realizamos a detecção manual de mais de 500 arquivos de 15 minutos na comodidade do laboratório, sem a necessidade de se expor horas seguidas às variáveis externas como frio, insetos e possíveis acasos do campo noturno. A paisagem sonora acústica noturna é menos complexa do que diurna (p. ex. primeiras horas da manhã com o coro das aves). Com isso, a maior parte da detecção é visual, o que otimiza o esforço para detecção das espécies.

Podemos observar algumas espécies amplamente distribuídas, sem muita distinção na preferência entre as áreas. Isso se dá ao fato de serem espécies adaptadas a diversos ambientes, sendo consideradas generalistas em relação ao habitat (MOTTA-JUNIOR et al. 2017, CLEERE 2010). Também foi possível captar aves consideradas raras, como a coruja-preta (*Strix huhula*) (MENQ 2013). Esta coruja não constava em registros de levantamentos desde a década de 19, havendo registro de redescoberta apenas 170 anos depois, conforme consta em Vasconcelos & Diniz (2008), além de ser uma espécie considerada vulnerável no estado de São Paulo (ASSEMBLÉIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO 2018). Fazem parte desta lista também espécies como o mãe-da-lua-gigante (*Nyctibius grandis*), declarado como criticamente em perigo, além do jacuturu (*Bubo virginianus*), que até

recentemente se encontrava em situação vulnerável (BRESSAN et al. 2009). Isto nos leva a pensar no grande leque de possibilidades que o MAP abre para as pesquisas, além do quanto pode contribuir no levantamento de espécies para fins legislativos de proteção e gestão ambiental, principalmente por ser uma técnica que não causa perturbação ambiental, o que poderia inibir espécies mais ariscas.

A partir da curva de rarefação podemos ter uma estimativa de qual seria o esforço amostral aproximado para identificar todas as espécies que ocorrem em determinada região, por exemplo. Apesar disto, o esforço amostral não foi suficiente para estabilizar a curva de rarefação, sendo insuficiente para caracterizar um levantamento da avifauna noturna considerando as cinco paisagens estudadas. A curva de rarefação (Figura 6) transmite visualmente o esforço amostral necessário para conseguirmos detectar o total de espécies do levantamento. Ela nos dá uma curva acumulativa dos dados em razão da quantidade de arquivos analisados, permitindo estimar, dado um esforço amostral, qual a riqueza de espécies alcançada. Isso se torna importante pois a riqueza pode estar ligada à quantidade de indivíduos (SIEGEL 2006).

O coeficiente de determinação (R^2) obtidos a partir dos modelos lineares (Figura 7) nos mostra o quanto os dados se ajustam ao modelo. No caso dos contatos relativos, obtivemos um $R^2=0.36$, já na riqueza e diversidade relativas o valor foi um pouco maior, apesar de ainda baixos em relação à informação que esta variável representa, sendo $R^2=0.44$ para riqueza e $R^2=0.55$ para diversidade. A partir disto, vemos que além da cobertura florestal influenciar a diversidade de aves noturnas, outras variáveis não consideradas também podem ser determinantes. Entre elas a disponibilidade de recursos como alimento, abrigo e local de nidificação. Porém, como já discutido por Morante-Filho et al. (2021), o fator cobertura florestal tem sim grande influência sobre a diversidade da avifauna. Neste estudo, com base nas análises realizadas, ele determina que, para se ter uma diversidade alta (>60%), o mínimo de cobertura florestal necessária é de 54%. Este estudo também foi realizado em paisagem de Mata Atlântica com variação da cobertura vegetal. Outro fator determinante para detecção de aves noturnas é a presença de espécies maiores, como por exemplo alguns representantes da família Strigidae. Por serem predadores de topo de cadeia, se alimentando de diversos outros animais, bem como de aves menores e até mesmo outras corujas menores (p. ex. *Pulsatrix koeniswaldiana*)

(MENQ 2013, BOTELHO et al. 2014), a presença de alguma dessas aves maiores pode suprimir outras aves, afetando na detecção sem ter relação direta com a cobertura florestal. Ou seja, a baixa ocorrência ou não detecção de algumas das espécies menores pode ter uma maior relação com a presença ativa desses predadores que com outros fatores.

Essa diminuição nos números, tanto de diversidade quanto de riqueza, pode ser explicada por alguns fatores, como por exemplo o efeito de empacotamento de espécies (HARDIN 1960). Em áreas com cobertura vegetal reduzida, as aves estarão mais empacotadas, por fatores como menor disponibilidade de recursos, e principalmente menor disponibilidade de habitat. Dessa forma, o número de detecção das espécies nestas áreas tende a ser superior quando comparadas a paisagens com maior disponibilidade de habitat, uma vez que nestas últimas, as espécies dispõem de uma paisagem com mais habitat disponível, podendo ficar mais dispersas e diminuindo as chances de detecção. Dados meramente descritivos em relação a riqueza média e diversidade relativa destas espécies, nas diferentes paisagens, estão apresentados no material suplementar (Apêndices C e D, respectivamente).

Ainda sobre as análises de regressão linear, partindo para as correlações entre contatos e cobertura florestal (Figura 8), quando trabalhamos com espécies diferentes, vários fatores que não entram na equação podem influenciar o comportamento e consequentemente a ocorrência das mesmas. Como exemplo podemos citar os hábitos específicos de cada espécie, quantidade de predadores, complexidade do sub-bosque, distância de água, entre outros (NUNES 2009, WHITTINGHAM & MARKLAND 2002). Sendo assim, um valor de R^2 em torno de 50% pode ser considerado moderado para explicar essa correlação. Portanto, levando em consideração as variáveis apresentadas e os resultados obtidos, podemos afirmar que as análises estatísticas corroboram nossas previsões para espécies FT e GE, mas não para espécies FNT. Provavelmente por conta do esforço amostral, já que sabemos que quantidade de floresta influencia tanto nos valores de contatos quanto na riqueza e diversidade das espécies (MORANTE-FILHO et al. 2021).

Vale ressaltar também os fatores que podem ter afetado a análise, como ruídos de aviões presentes nos áudios, que ocupam a mesma faixa de frequências correspondente à muitas das aves registradas, o que compromete a identificação das

vocalizações, tanto visual quanto auditiva. Outros fatores também podem ser barreiras naturais e a competição interespecífica por espaço acústico, que ocorre quando uma ave disputa a mesma faixa sonora com outra da mesma espécie ou espécies diferentes (DE ARAÚJO et al. 2020).

No geral, ainda são poucos os estudos acerca da utilização do MAP para detecção de aves noturnas, sendo a maioria deles com enfoque principal no mapeamento de rotas migratórias. Estudos futuros são interessantes acerca deste assunto, e também para uma melhor compreensão na detecção dos representantes das ordens analisadas, tendo em vista as milhares de interações e influências que podem ocorrer a partir da vocalização dos mesmos durante o período de atividade.

6. Conclusões e direções futuras

Principalmente por proporcionar longos períodos de amostragem, sem interferência humana direta na paisagem, registro permanente das pesquisas e possibilidade de cobrir várias áreas simultaneamente, além de poder ser utilizado em qualquer tipo de ambiente, seja terrestre ou aquático, a utilização do MAP para levantamentos de espécies é efetivo. Para o melhor aproveitamento basta um plano de manejo e instalação adequados desses gravadores, para que os esforços amostrais sejam direcionados à pergunta principal do objetivo em questão. As análises mostram que o esforço amostral precisa ser maior para que tenhamos uma correlação mais clara e compatível com o esperado, tendo em vista que analisamos apenas uma parte do banco de dados, o que abre portas para estudos futuros de maior amplitude.

Quando tratamos de aves noturnas, a grande maioria delas possuem colorações escuras e comportamentos que auxiliam na camuflagem (SILVEIRA 2011), a exemplo do mãe-da-lua (*Nyctibius griseus*), que adota uma postura ereta onde pousa e é facilmente confundido com um toco, tornando-as praticamente impossíveis de detectar se não com a utilização de lanterna na busca ativa, visto que é perceptível o brilho dos olhos ao entrar em contato com a luz, ou pela vocalização.

Por estarmos falando em espécies que apresentam vocalizações espécie-específica, mesmo com a busca visual e a efetividade comprovada dos métodos tradicionais, a busca auditiva exerce um papel fundamental no levantamento de dados, sendo mais fácil localizar as aves pelo canto do que visualmente, inclusive durante o dia. Portanto, o MAP tem um grande potencial para levantamentos de biodiversidade e estudos em ecologia como um todo. Quando falamos em ecologia de paisagens e paisagens sonoras, com esses levantamentos é possível a criação de acervos que futuramente poderão ser utilizados para análises de flutuação populacional, tal qual avaliação das alterações espaço-temporais de habitat e melhor compreensão de rotas migratórias. Além disso, estudos relacionados à riqueza e diversidade contribuem para a criação de políticas públicas de preservação do meio ambiente, bem como restauração de áreas degradadas.

Referências

Acevedo, M. A., & Villanueva-Rivera, L. J. (2006). **Using Automated Digital Recording Systems as Effective Tools for the Monitoring of Birds and Amphibians**. *Wildlife Society Bulletin*, v. 34, p.211-214, mar.

Anderson, S. E., Dave, A. S., & Margoliash, D. (1996). **Template-based automatic recognition of birdsong syllables from continuous recordings**. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 100(2), 1209-1219.

Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. (2018). **Decreto nº 63.853, de 27 de novembro de 2018**. São Paulo, Brasil. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2018/decreto-63853-27.11.2018.html>. Acesso em: 7 jun. 2021.

Aurício, P. & M. G. Salomão. (2002). **Técnicas de coleta e preparação de Vertebrados para fins científicos e didáticos**. Instituto Pau Brasil de História Natural, Arujá, São Paulo. 350p.

Bioacoustics Reserach Program. (2017). **Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software (Version 1.5)** [Computer software]. Ithaca, NY: The Cornell Lab of Ornithology. Available from <http://www.birds.cornell.edu/raven>.

Bispo, A. Â., Aguiar, A. G., de Almeida Nobre, R., Machado, C. G., Cohn-Haft, M., Develey, P. F., ... & Uehara-Prado, M. (2016). **Protocolo para monitoramento de comunidades de aves em Unidades de Conservação Federais**. *Biodiversidade Brasileira-BioBrasil*, (1), 153-173.

Blumstein, D. T., Mennill, D. J., Clemins, P., Girod, L., Yao, K., Patricelli, G., ... & Hanser, S. F. (2011). **Acoustic monitoring in terrestrial environments using microphone arrays: applications, technological considerations and prospectus**. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 758-767.

Botelho, L. M., Lindner, G. F., Teixeira, C. R., Czerechowicz, B., & Hang, M. L. Z. (2014). **Registro de ocorrência de *Pulsatrix koeniswaldiana* no Parque Estadual da Cabeça do Cachorro, São Pedro do Iguaçu, Paraná**. *Revista SimREA*, 2(1), 88-90.

Bressan, P. M., Kierulff, M. C. M., & Sugieda, A. M. (2009). **Fauna ameaçada de extinção no Estado de São Paulo**. São Paulo: Fundação Parque Zoológico de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente. 648p.

Bridges, A. S., & Dorcas, M. E. (2000). **Temporal variation in anuran calling behavior: Implications for surveys and monitoring programs**. *Copeia* 2000: 587–592.

Bunce, R. G. H., Barr, C. J., Whittaker, H. A. (1981). **An Integrated System of Land Classification**. Annual Report Institute of Terrestrial Ecology, pp. 28–33.

Catchpole, C.K., & Slater, P.J.B. (1995). **Bird Song: Biological Themes and Variations**. Cambridge University Press, Cambridge.

Chesmore, E., & Ohya, E. (2004). **Automated identification of field-recorded songs of four British grasshoppers using bioacoustic signal recognition**. *Bulletin of Entomological Research*, 94(4), 319-330. doi:10.1079/BER2004306.

Cleere, N. (2010). **Nightjars: a guide to nightjars and related birds**. A&C Black. 320p.

de Araújo, C. B., Furtado, S. N. M., Henrique, G., Vieira, C., & Simões, C. R. (2020). **O NICHOS ACÚSTICO: INTEGRANDO A FÍSICA, ECOLOGIA E TEORIA DA COMUNICAÇÃO**. *Oecologia Australis*. 24(4):762-769.

Develey, P. F. (2003). **Métodos para estudos com aves**. *Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre*, 2.

Gonzaga, L. P., & G. D. A. Castiglioni (2004) **Registros recentes de *Strix huhula* no Estado do Rio de Janeiro (Strigiformes: Strigidae)**. *Ararajuba* 12 (2): 141-144.

Hardin, G. (1960). **The Competitive Exclusion Principle**. *Science*, 131(3409), 1292-1297. Retrieved June 7, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/1705965>.

Hilje, B., & Aide, T. M. (2012). **Calling activity of the common tink frog (*Diasporus diastema*) (Eleutherodactylidae) in secondary forests of the Caribbean of Costa Rica**. *Tropical Conservation Science*, 5(1), 25-37.

Holling, C. S. (1978). **Adaptive Environmental Assessment and Management**. Wiley, New York.

ICMBio, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Protocolo Cemave; Projeto de Monitoramento da Avifauna em Unidades de Conservação Federais**. Janeiro, 2014.

Marques, T. A., Thomas, L., Martin, S. W., Mellinger, D. K., Ward, J. A., Moretti, D. J., & Tyack, P. L. (2013). **Estimating animal population density using passive acoustics**. *Biological Reviews*, 88(2), 287-309.

Mascarenhas, C. S., Coimbra, M. A., Müller, G., & Brum, J. G. W. (2009). **Ocorrência de *Ornithonyssus bursa* (Berlese, 1888) (Acari: Macronyssidae) em filhotes de *Megascops choliba* (corujinha-do-mato) e *Pitangus sulphuratus* (bem-te-vi), no Rio Grande do Sul, Brasil**. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 18(4), 69-70.

Menq, W. (2013). **Corujas do Brasil**. Aves de rapina Brasil (Artigos online) <https://avesderapinabrasil.com.br/arquivo/artigos/corujas_brasileiras.pdf>. Acesso em 06 de junho de 2021.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Mata Atlântica**. <https://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica_emdesenvolvimento>. Acesso em 02 de setembro de 2019.

Morante-Filho, J. C., Benchimol, M., & Faria, D. (2021). **Landscape composition is the strongest determinant of bird occupancy patterns in tropical forest patches**. *Landscape Ecology*, 36(1), 105-117.

Motta-Junior, J. C., Braga, A. C. R., & Granzinolli, M. A. M. (2017). **The Owls of Brazil**. *Neotropical Owls*, 97–158. doi:10.1007/978-3-319-57108-9_6

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A., & Kent, J. (2000). **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. *Nature*, 403(6772), 853.

Norris, K; Pain D. (2002). **Conserving Bird Biodiversity: General Principles and their Application**. [S.l.]: Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-78949-3.

Nunes, A. P. (2009). **Ocupação de manchas florestais por três espécies de aves insetívoras do sub-bosque no Pantanal da Nhecolândia, Corumbá, Mato Grosso do Sul.** . (Dissertação de Mestrado, UFMS). 71p.

Oswald, J. N., Barlow, J., & Norris, T. F. (2003). **Acoustic identification of nine delphinid species in the eastern tropical Pacific Ocean.** Marine mammal science, 19(1), 20-037.

Padoa-Schioppa E., Baietto, M., Massa, R., Bottoni, L. (2006). **Bird communities as bioindicators: The focal species concept in agricultural landscapes.** Ecological Indicators 6, 83-93. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.08.006>.

Parsons, S., & Jones, G. (2000). **Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks.** Journal of experimental biology, 203(17), 2641-2656.

Peterson, C. R., & Dorcas, M. E. (1994). **Automated data acquisition. In: Measuring and monitoring biological diversity - standard methods for amphibians** (W. Heyer, R. W. McDiarmid, M. Donnelly, and L. Hayek, eds.). Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. pp. 47–57.

Piacentini et al. (2015). **Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee / Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos.** Revista Brasileira de Ornitologia, 23(2): 91–298.

Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L. *et al.* (2011). **Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape.** Bioscience 61:203–216. doi: 10.1525/bio.2011.61.3.6.

Reis, R. S. L., Machado, P. C. M., & Lemos, R. P. (2012). **A transformada wavelet no tratamento de sinais sonoros de aves noturnas.** In CONGRESSO DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, CMAC-Norte (pp. 31-34).

Rempel, R. S., Hobson, K. A., Holborn, G., Vanwilgenburg, S. L. & Elliot, J. (2005). **Bioacoustic monitoring of forest songbirds: interpreter variability and effects of configuration and digital processing methods in the laboratory.** Journal of FieldOrnithology 76: 1–11.

Sanders, H. L. (1968). **Marine benthic diversity: a comparative study**. Amer. Nature. 102: 243-282.

Siegel, A. F. (2006). **Rarefaction Curves**. *Encyclopedia of Statistical Sciences*. doi:10.1002/0471667196.ess2195.pub2.

Silveira, L. F. (2011). **Mundo das Aves: A vida noturna das aves**. Cães & Cia. 388p: 60-61.

Stowell, D., Sueur, J., 2020. **Ecoacoustics: acoustic sensing for biodiversity monitoring at scale**. Remote Sens. Ecol. Conserv. 6, 217–219. <https://doi.org/10.1002/rse2.174>.

Swiston, K. A., & Mennill, D. J. (2009). **Comparison of manual and automated methods for identifying target sounds in audio recordings of Pileated, Pale-billed, and putative Ivory-billed woodpeckers**. Journal of Field Ornithology, 80(1), 42-50.

Thurber, W. A. (2003). **Behavioral notes on the Common Pauraque (*Nyctidromus albicollis*)**. Ornitol. Neotrop, 14, 99-105.

Toledo, L. F. (2009). **Anfíbios como Bioindicadores**. In: Neumann-Leitão, S. & El-Dier, S. (Orgs.) Bioindicadores da Qualidade Ambiental. Recife: Instituto Brasileiro Pró-Cidadania. Pp. 196-208.

Toledo, M. C. B. (1993). **Avifauna em duas reservas fragmentadas de Mata Atlântica, na Serra da Mantiqueira-SP**. (Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo). ESALQ - Piracicaba. 112p. Ilus.

Tonetti, V. R., Rego, M. A., Luca, A. C. D., Develey, P. F., Schunck, F., & Silveira, L. F. (2017). **Historical knowledge, richness and relative representativeness of the avifauna of the largest native urban rainforest in the world**. *Zoologia (Curitiba)*, 34.

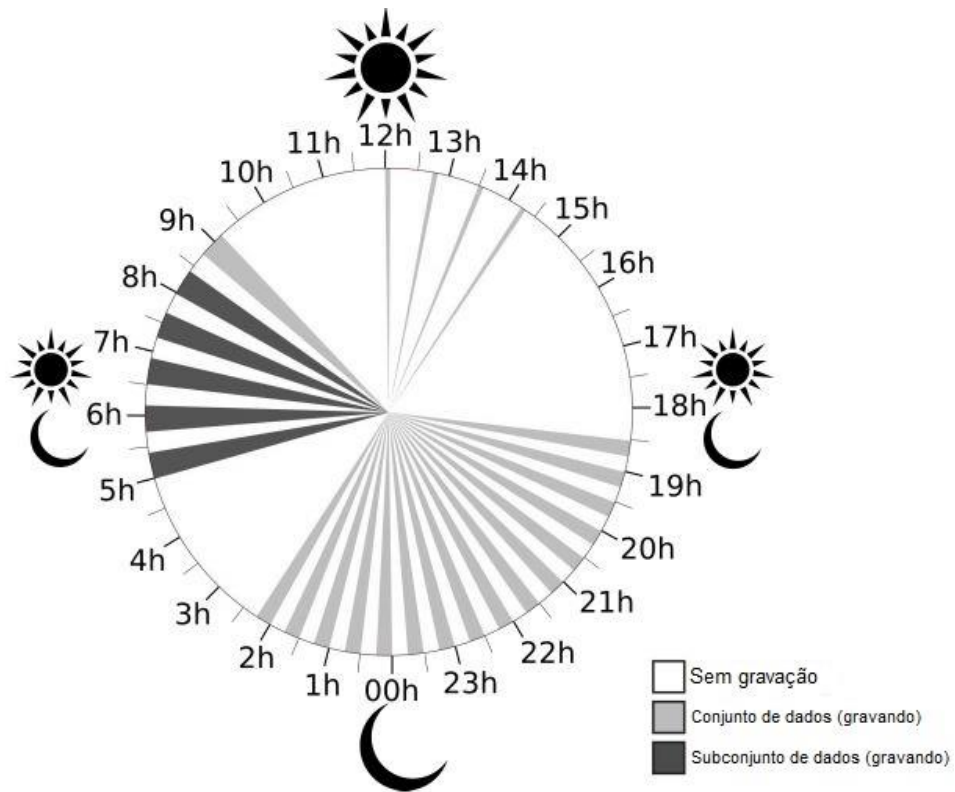
Whittingham, M.; Markland, H. (2002). **The influence of substrate on the functional response of an avian granivore and its implications for farmland bird conservation**. *Oecologia*, v. 130, n. 4, p. 637-644.

Wildlife Acoustics. (2018). **Equipment**. [WWW Document], n.d. URL <<https://www.wildlifeacoustics.com/>>

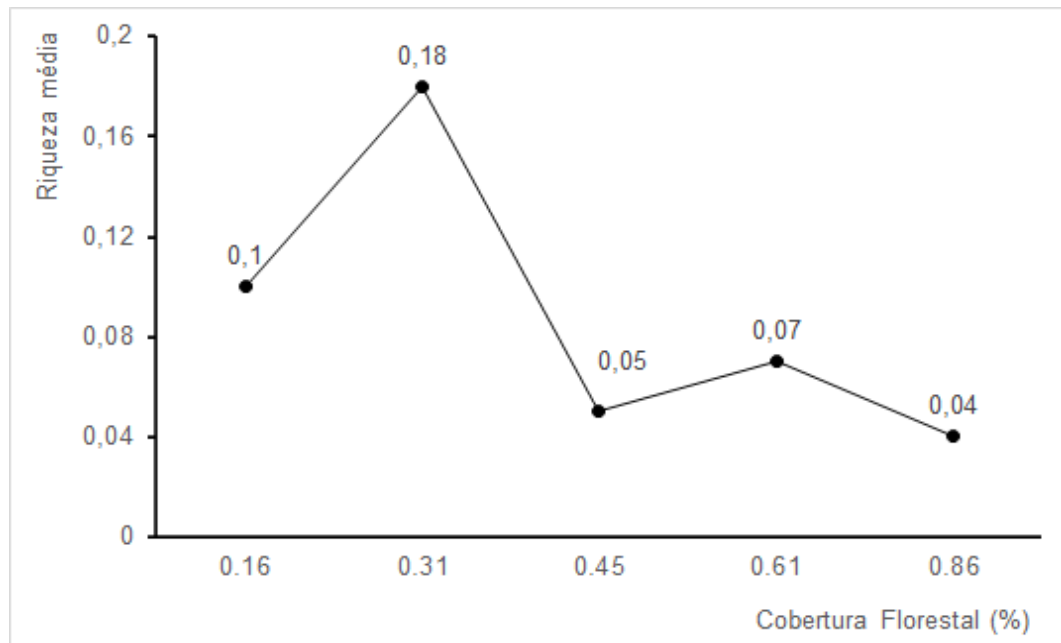
Vasconcelos, M. F. & Diniz, M. G. (2008). **170 years after Lund: rediscovery of the Black-banded Owl *Strix huhula* in the metropolitan region of Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil (Strigiformes: Strigidae)**. Revista Brasileira de Ornitologia, 16(3):277-280.

Vielliard, J. M. (2004). **A diversidade de sinais e sistemas de comunicação sonora na fauna brasileira**. Seminário Música Ciência Tecnologia, 1(1).

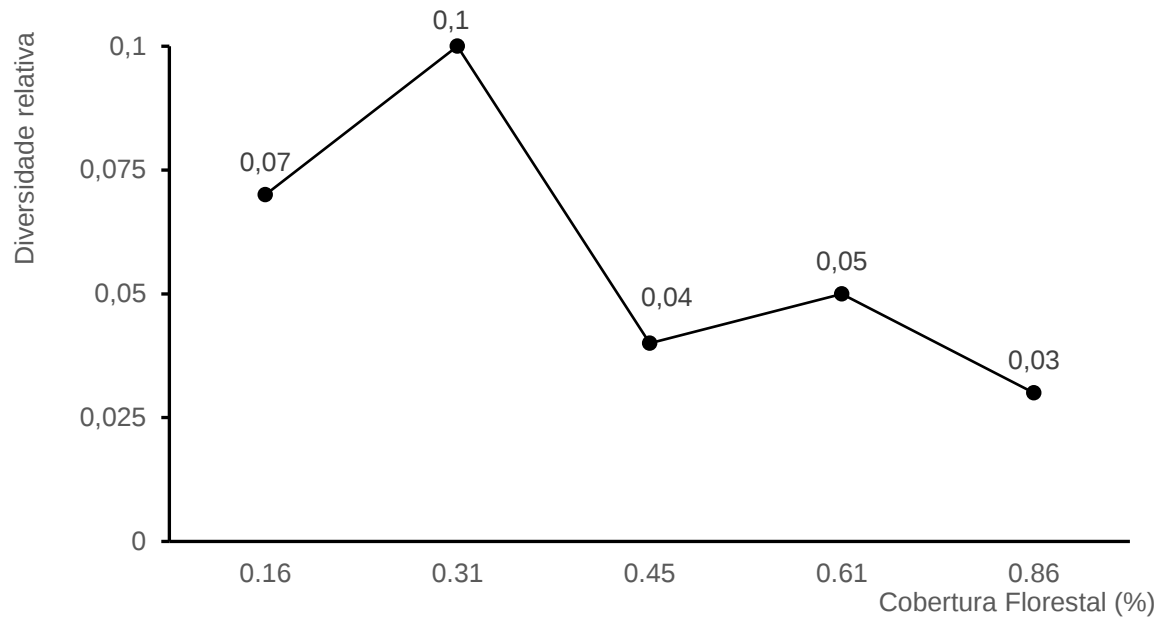
Apêndice A – Programação utilizada nos gravadores autônomos para o levantamento dos dados acústicos.



Apêndice C – Gráfico descritivo de riqueza média das espécies encontradas por paisagem de acordo com a variação de cobertura florestal.



Apêndice D – Gráfico descritivo do índice inverso de diversidade de Simpson, demonstrando a diversidade relativa por paisagem.





Orientador: Prof. Dr. Milton Cezar Ribeiro



Coorientador: Me. Lucas Gaspar Pacciullio da Silva



Discente: Sergio Ewerton Pugliano