

BRUNA RAPHAELA DA SILVA

**MONITORAMENTO ACÚSTICO PASSIVO DE MORCEGOS
INSETÍVOROS AÉREOS (MAMMALIA: CHIROPTERA) NO
PARQUE ESTADUAL XIXOVÁ-JAPUÍ, LITORAL DE SÃO
PAULO**

SÃO VICENTE - SP
2026

BRUNA RAPHAELA DA SILVA

**MONITORAMENTO ACÚSTICO PASSIVO DE MORCEGOS
INSETÍVOROS AÉREOS (MAMMALIA: CHIROPTERA) NO
PARQUE ESTADUAL XIXOVÁ-JAPUÍ, LITORAL DE SÃO
PAULO**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências,
Câmpus do Litoral Paulista, UNESP, para obtenção
do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação
em Biodiversidade de Ambientes Costeiros.

Área de Concentração: Biodiversidade

Orientador: Prof. Dr. Mario Manoel Rollo Junior

SÃO VICENTE - SP
2026

S586m Silva, Bruna Raphaela da
Monitoramento acústico passivo de morcegos insetívoros aéreos
(Mammalia: Chiroptera) no Parque Estadual Xixová-Japuí, litoral de
São Paulo / Bruna Raphaela da Silva. – São Vicente, 2026
62 p. : il., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Instituto de Biociências, São Vicente
Orientador: Mario Manoel Rollo Junior

1. Bioacústica. 2. Morcegos. 3. Diversidade acústica. 4. Unidades
de conservação. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE BRUNA RAPHAELA DA SILVA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE DE AMBIENTES COSTEIROS, DO INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS - CÂMPUS DO LITORAL PAULISTA.

Aos 12 de março de 2026, às 16h, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de BRUNA RAPHAELA DA SILVA, intitulada "*Monitoramento acústico passivo de morcegos insetívoros aéreos (Mammalia:Chiroptera) no Parque Estadual Xixová-Japuí, litoral de São Paulo.*". A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. MARIO MANOEL ROLLO JUNIOR (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Head of Acoustics / Ocean Science Consulting Limited, Prof. Dr. IVAN SERGIO NUNES SILVA FILHO (Participação Virtual) do(a) Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais / UNESP / Câmpus do Litoral Paulista - IB/CLP, Dra. LUCIANA DE MORAES COSTA (Participação Virtual) do(a) Piper 3D - Pesquisa, Educação e Consultoria Ambiental, Após a exposição pela mestrande e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: **APROVADA**. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Documento assinado digitalmente
 **MARIO MANOEL ROLLO JUNIOR**
Data: 13/03/2026 06:29:41-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. MARIO MANOEL ROLLO JUNIOR

Dedico este trabalho às mulheres que me criaram e me ensinaram o valor do estudo. Amo vocês, mãe e vó.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família: à minha avó, Clair, que, mesmo não estando mais fisicamente presente, sua luz me guiou até aqui – obrigada por tudo; e aos meus pais, Ivina e Marcos, que, com tanto esforço e dedicação, me apoiaram em todas as minhas conquistas, especialmente neste marco tão importante da minha trajetória acadêmica.

Ao meu orientador, Dr. Mario Manoel Rollo Junior, que, mesmo à distância, aceitou me orientar e compartilhar seus conhecimentos sobre acústica, assim como outros assuntos fundamentais para a minha formação. Espero que este seja apenas mais um passo na minha trajetória rumo a me tornar uma profissional tão competente e inspiradora quanto você.

Agradeço também à Fundação Florestal por permitir a realização da minha pesquisa no Parque Xixová-Japuí, e à gestão atual do PEXJ, que disponibilizou seus monitores para me auxiliar sempre que necessário. Um agradecimento especial aos ex-monitores Christian e Jonathan, que tiveram mais tempo me acompanhando nas trilhas durante as coletas, compartilhando não apenas o esforço físico, mas também as conversas e experiências ao longo desse período.

Aos meus melhores amigos: Júlia, que mesmo longe sempre tão presente, fazendo da minha vida mais leve; Yuri, Virgínia e Vitany, também meus colegas de academia, obrigada por compartilharem o mesmo sentimento de loucura durante a pós-graduação e me escutarem durante os meus surtos, pensamentos mais bobos e inseguros, me fazendo voltar para a realidade com muita risada quando eu preciso.

Ao Felipe, por estar comigo todos os dias, me aguentar nos momentos em que sou insuportável e me ajudar a me manter em pé nessa caminhada quando eu penso em desistir, me fazendo lembrar de toda minha capacidade como pesquisadora. Vejo um futuro brilhante para nós dois daqui para frente.

"... listen to them ... children of the night ... what
music they make!" (Bram Stoker's Dracula)

RESUMO

Os morcegos (Mammalia: Chiroptera) compreendem mais de 1.500 espécies globalmente, representando a segunda ordem de mamíferos mais diversificada. No Brasil, ocorrem 188 espécies, o que equivale a quase 25% da mastofauna nacional. Únicos mamíferos com capacidade de voo verdadeiro e de ecolocalização, desempenham serviços ecossistêmicos vitais como dispersores de sementes, polinizadores e controladores de populações de insetos. O estudo da diversidade acústica desses animais é fundamental para a ecologia e conservação, pois permite a identificação taxonômica, o monitoramento de atividades e a compreensão dos padrões de uso do habitat — elementos cruciais para a elaboração de planos de manejo em regiões de alta biodiversidade. Este trabalho teve como objetivo inventariar a diversidade de morcegos insetívoros aéreos no Parque Estadual Xixová-Japuí (PEXJ) por meio do monitoramento acústico passivo. A amostragem foi realizada com dois gravadores ultrassônicos *AudioMoth*, instalados em cinco pontos estratégicos e programados para registrar vocalizações do pôr ao nascer do sol. Os dados foram analisados no programa Raven Pro 1.6, mediante comparação com chaves de identificação e fonotecas de referência. Os resultados destacam o registro de *Noctilio leporinus* na Praia de Paranapuã, além de quatorze outras espécies das famílias Molossidae e Vespertilionidae, incluindo a confirmação de táxons previamente descritos no plano de manejo da unidade. A utilização da bioacústica ampliou significativamente a riqueza conhecida do PEXJ, aproximando os dados locais aos índices observados no bioma Mata Atlântica. Conclui-se que, apesar da pressão antrópica exercida pela urbanização na Baixada Santista, o PEXJ atua como um refúgio ecológico resiliente, sendo fundamental a integração do monitoramento acústico aos protocolos oficiais de gestão da biodiversidade da Unidade de Conservação.

Palavras-chave: bioacústica; conservação; Mata Atlântica; monitoramento acústico passivo; quiropterofauna.

ABSTRACT

Bats (Mammalia: Chiroptera) comprise over 1,500 species globally, representing the second most diverse order of mammals. In Brazil, 188 species have been recorded, accounting for nearly 25% of the national mammalian fauna. As the only mammals capable of true flight and echolocation, they provide vital ecosystem services as seed dispersers, pollinators, and insect population controllers. The study of the acoustic diversity of bats is fundamental for ecology and conservation, enabling taxonomic identification, activity monitoring, and an understanding of habitat use patterns — crucial elements for the development of management plans in high-biodiversity regions. This study aimed to survey the diversity of aerial insectivorous bats in the Xixová-Japuí State Park (PEXJ) using passive acoustic monitoring. Sampling was conducted using two *AudioMoth* ultrasonic recorders, deployed at five strategic points and programmed to record vocalisations from sunset to sunrise. The data were analysed using Raven Pro 1.6 software, supported by identification keys and reference sound libraries. The results highlight the recording of *Noctilio leporinus* at Paranapuã Beach, alongside fourteen other species from the Molossidae and Vespertilionidae families, including the confirmation of taxa previously described in the unit's management plan. The use of bioacoustics significantly expanded the known richness of PEXJ, bringing local data closer to the indices observed in the Atlantic Forest biome. In conclusion, despite the anthropogenic pressure exerted by urbanisation in the Baixada Santista region, PEXJ serves as a resilient ecological refuge, making the integration of acoustic monitoring into the official biodiversity management protocols of the Conservation Unit essential.

Keywords: Atlantic Forest; bioacoustics; conservation; passive acoustic monitoring; chiropterofauna.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO:.....	15
2.	OBJETIVOS:	19
3.	MATERIAL E MÉTODOS:	20
3.1	Área de estudo:.....	20
3.2	Coleta de dados:	21
3.2.1	Pontos de coleta:	22
3.2.2	Adaptação do protocolo amostral:.....	23
3.2.2.1	Pontos de coleta:	24
3.2.3	Cronograma e períodos de gravação:.....	24
3.2.3.1	Alteração do protocolo de gravação e períodos de coleta:.....	24
3.3	Análise de dados:.....	25
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO:.....	29
5.	CONCLUSÃO:.....	50
6.	REFERÊNCIAS:	52
	Apêndice A - Registro fotográfico dos pontos de coleta dos gravadores <i>AudioMoth</i> A e B.....	58
	Anexo A - Registro fotográfico de Molossídeo.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização do Parque Estadual Xixová-Japuí no estado de São Paulo.....	21
Figura 2: Gravador autônomo <i>AudioMoth</i> , empregado neste estudo. Fonte: https://www.openacousticdevices.info/	22
Figura 3: Caixa protetora para <i>AudioMoth</i> impermeável e com trava. Fonte: https://www.thingiverse.com/thing:6428228	22
Figura 4: Mapa dos pontos de amostragem para o monitoramento acústico passivo no PEXJ... 23	
Figura 5: Oscilograma e espectrograma com pulsos de <i>Noctilio leporinus</i> produzido no Raven Pro 1.6.....	25
Figura 6: Representação de pulsos de ecolocalização com os parâmetros usados para análise acústica: oscilograma com o Intervalo Entre Pulsos (IPI) e a Duração do chamado (Dur); espectrograma destacando as frequências inicial e final; e o espectro de potência detalhando as harmônicas, assim como as frequências mínima, máxima e de máxima energia. Fonte: Oliveira (2020).....	27
Figura 7: Representação ilustrada de um espectrograma, com as estruturas básicas de frequência de um chamado. Adaptado de Arias-Aguilar <i>et al.</i> (2018).	28
Figura 8: Etapas da análise bioacústica para identificação taxonômica. Adaptado de Arias- Aguilar <i>et al.</i> (2018).....	29
Figura 9: Espectrograma de pulsos de navegação do sonótipo <i>Molossus</i> spp 1.....	31
Figura 10: Espectrograma de pulsos de navegação do sonótipo <i>Molossus</i> spp 2.....	31
Figura 11: Espectrograma exibindo os pulsos de navegação de <i>Tadarida brasiliensis</i> , visíveis em maior intensidade.	32
Figura 12: Diferenças estruturais dos pulsos de navegação de Molossidae 1.	33
Figura 13: Estrutura e oscilograma de <i>Myotis lavalii</i> e <i>Myotis nigricans</i> , respectivamente. Adaptado de Arias-Aguilar <i>et al.</i> , 2018.	34
Figura 14: Espectrograma de pulsos de navegação de <i>Myotis lavalii</i>	35
Figura 15: Espectrograma de pulsos de navegação de <i>Myotis</i> ~63.	35
Figura 16: Espectrograma de pulsos de navegação, <i>approach</i> e <i>feeding-buzz</i> de <i>Myotis riparius</i>	36

Figura 17: Espectrograma de pulsos de navegação de <i>Myotis riparius</i>	36
Figura 18: Espectrograma dos pulsos de navegação de <i>Lasiurus villosissimus</i>	37
Figura 19: Espectrograma dos pulsos de navegação de <i>Lasiurus blossevillii</i>	37
Figura 20: Comparação da estrutura de inflexão arredondada do tipo “bengala invertida”. A) Pulso extraído de Arias-Aguilar <i>et al.</i> (2018); B) Pulso extraído do registro obtido em campo no PEXJ.	38
Figura 21: Espectrograma dos pulsos de navegação de <i>Eptesicus furinalis</i>	38
Figura 22: Comparação da estrutura do pulso da espécie <i>Eptesicus furinalis</i> . A) Pulso extraído do registro obtido em campo no PEXJ.; B) Pulso extraído do áudio de referência da SBEQ.....	39
Figura 23: Espectrograma dos pulsos de navegação do sonótipo <i>Vesp~16</i> , possivelmente <i>Histiotus velatus</i>	40
Figura 24: Espectrograma com os pulsos de navegação de <i>Vesp~26</i> , onde é possível ver a aparência semelhante a um arco recurvo.	40
Figura 25: Comparação da estrutura de pulso de <i>Natalus macrourus</i> . A) Pulsos extraídos de Arias-Aguilar <i>et al.</i> (2018); B) Pulsos extraídos do registro obtido em campo no PEXJ.	41
Figura 26: Vestígios de um possível segundo harmônico no espectrograma de pulsos de navegação do sonótipo não identificado Chiroptera 1.	41
Figura 27: Número de seleções de pulsos registrados para cada sonótipo e espécie no Ponto 1 (Pedreira do Curtume).....	43
Figura 28: Sinais de socialização encontrados nos arquivos analisados do ponto 1.	44
Figura 29: Diferenças na morfologia do pulso de A) <i>Molossus</i> spp 1. e B) <i>Molossus</i> spp 2.	45
Figura 30: Espectrograma com pulsos de navegação, <i>approach</i> e <i>feeding-buzz</i> de <i>Molossus</i> spp 1.....	46
Figura 31: <i>Feeding-buzzes</i> de <i>Molossus</i> spp 1.....	46
Figura 32: <i>Feeding-buzz</i> simultâneo ao chamado de maior intensidade no espectrograma.	47
Figura 33: <i>Feeding-buzz</i> do chamado principal, mais intenso de <i>Myotis nigricans</i>	47
Figura 34: Espectrograma dos pulsos de navegação de <i>Noctilio leporinus</i>	48
Figura 35: Número de seleções de pulsos registrados para cada sonótipo e espécie no Ponto 4 (Praia de Paranapuã).	49
Figura 36: Localização dos <i>AudioMoth</i> A e B no Ponto 1.	58
Figura 37: Localização dos <i>AudioMoth</i> A e B no Ponto 2.	58

Figura 38: Localização dos <i>AudioMoth</i> A e B no Ponto 3.	59
Figura 39: Novas localizações das posições A e B do Ponto 3 do <i>AudioMoth</i>	59
Figura 40: Localização do <i>AudioMoth</i> na posição A do Ponto 4.	60
Figura 41: Localização inicial (esquerda) e nova localização (direita) do gravador na posição B do Ponto 4.	60
Figura 42: Localização das posições iniciais A e B do Ponto 5 (CECOF).	61
Figura 43: <i>AudioMoth</i> no ponto de teste, próximo a guarita do PEXJ.	61
Figura 44: Espécime da família Molossidae. Fonte: Antônio Souza. Arquivo digital (@parqueestadualxixovajapui/@tonisouza970)	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros acústicos (Dur = duração do pulso, LF = frequência mínima, HF = frequência máxima, BW = largura de banda, FME = frequência de máxima energia) obtidos no Ponto 1.	42
Tabela 2: Parâmetros acústicos (Dur = duração do pulso, LF = frequência mínima, HF = frequência máxima, BW = largura de banda, FME = frequência de máxima energia) obtidos no Ponto 4.	48

1. INTRODUÇÃO:

Os morcegos são mamíferos taxonomicamente classificados na ordem Chiroptera. Diferente de outros mamíferos, são os únicos com capacidade real de voo sustentado, característica similar às aves (Jones & Teeling, 2006). Atualmente, o grupo constitui o segundo maior entre mamíferos em número de espécies, ficando atrás apenas dos roedores (López-Baucells *et al.*, 2016; Ratcliffe & Jakobsen, 2018; Mammal Diversity Database, 2025; Abreu *et al.*, 2025). Já foram identificadas mais de 1.500 espécies, distribuídas em 18 famílias e 202 gêneros, sendo 188 delas registradas oficialmente no Brasil (Garbino *et al.*, 2024; Simmons & Cirranello, 2025; Abreu *et al.*, 2025).

Presentes no planeta há aproximadamente 50 milhões de anos, são divididos nas subordens Yangochiroptera e Yinpterochiroptera, com a distinção de que os Pteropodidae, pertencentes à última subordem, não utilizam a ecolocalização e sim a visão e o olfato para se orientar (Eklof & Rydell, 2017). Devido à capacidade de voo sustentado e de ecolocalização, eles puderam conquistar o céu noturno, inacessível à maioria dos outros grupos, em quase todos os ecossistemas do mundo, o que contribuiu para o sucesso evolutivo do grupo (Jones & Teeling, 2006; López-Baucells *et al.*, 2016).

A importância dos morcegos para os ecossistemas em que se encontram se deve à diversidade de hábitos alimentares existentes entre as espécies (López-Baucells *et al.*, 2016; Bôlla *et al.*, 2023). Todos os grupos tróficos podem ser observados entre os morcegos (Reis *et al.*, 2007). Essa diversidade alimentar é ecologicamente relevante, uma vez que algumas espécies controlam o tamanho das populações de insetos, conseguindo comer o equivalente a uma vez e meia o seu peso em apenas uma noite (Goodwin & Greenhall, 1961), outras espécies dispersam sementes ao forragear e percorrem grandes distâncias para se alimentar (González, 1998) e por fim, há aquelas que polinizam diversas plantas neotropicais de grande importância econômica (Vogel, 1969).

No Brasil, país que faz parte da região Neotropical, quase 25% das espécies de mamíferos são representadas por morcegos da subordem Yangochiroptera (Abreu *et al.*, 2025), que incluem as famílias Emballonuridae, Furipteridae, Molossidae, Mormoopidae, Natalidae, Noctilionidae, Phyllostomidae, Thyropteridae e Vespertilionidae. Com exceção da

família Mormoopidae, todas ocorrem em praticamente todo o território nacional, com números relativamente alto para registros no biomas da Mata Atlântica (Reis *et al.*, 2007; Bernard, Aguiar, Machado, 2010; Do Amaral *et al.*, 2023).

Embora a ecolocalização seja utilizada por todas as famílias registradas no Brasil, ainda são observadas estratégias distintas de forrageamento, como no caso dos filostomídeos, que priorizam o olfato e a visão e dos insetívoros aéreos, que utilizam exclusivamente a ecolocalização para a captura de presas em voo (Metzner, 1991; Reis *et al.*, 2007). A ecolocalização, também presente em cetáceos, provavelmente evoluiu em conjunto com o voo e foi determinante para o processo evolutivo e estratégias de forrageamento (Norberg & Rayner, 1987; Metzner, 1991; Jones & Teeling, 2006; López-Baucells *et al.*, 2016).

A ecolocalização é um sistema de orientação e percepção baseado na emissão e recepção de ondas sonoras ultrassônicas - definidas padronizadamente como superiores a 20 kHz, limite superior da audição humana - permite localizar presas e objetos durante o voo, além de ser utilizada no comportamento social e reprodutivo das espécies. (Gould, 1970; Reis *et al.*, 2007; Fenton & Simmons, 2015; Browning *et al.*, 2017; Rodrigues, 2020). Embora o valor de 20 kHz seja o padrão para considerarmos um chamado de ecolocalização, existem exceções no grupo, como o caso de alguns vespertilionídeos, que emitem chamados de ecolocalização abaixo dessa faixa (Arias-Aguilar *et al.*, 2018).

A ecolocalização é um processo dividido em três etapas: produção e emissão, recepção de ecos e interpretação. Durante o voo, os morcegos emitem sons produzidos na laringe através da boca ou, em certas espécies, pela folha nasal. Essas ondas são refletidas ao encontrar obstáculos no ambiente e retornam sob a forma de ecos. O som refletido é captado pelos ouvidos externo e médio do animal até atingir o ouvido interno, o receptor final. Após a recepção, o eco é interpretado e comparado ao sinal original emitido nos domínios de frequência e tempo. Esse mecanismo permite que o morcego crie uma imagem detalhada do entorno, sendo que a precisão dessa percepção depende das frequências utilizadas e da cadência dos sons emitidos (Fenton, 1992 apud Reis *et al.*, 2007).

Utilizada para o forrageamento, a ecolocalização apresenta pulsos associados aos estágios de caça: navegação, aproximação (*approach*) e alimentação (*feeding-buzz*) (Jones &

Siemers, 2011; Oliveira, 2020). Na fase de navegação, o morcego emite pulsos com duração e intervalo entre pulsos constantes. Ao detectar uma presa, inicia-se a fase de aproximação, na qual a taxa de repetição aumenta para 40 a 50 pulsos por segundo. Imediatamente antes da captura, ocorre o *feeding-buzz*, caracterizado por uma sequência de curtíssima duração e altíssima repetição. Esse aumento progressivo na taxa de emissão permite obter informações em tempo real sobre a localização e a trajetória da presa (Jones & Siemers, 2011; Oliveira, 2020).

Para estudar sons de frequência mais altas, é preciso empregar gravadores que convertam sinais acústicos ultrassônicos em faixas audíveis ou visíveis para os humanos. É por meio de detectores desse tipo que se pode observar e diferenciar um morcego em deslocamento de outro em busca de alimento, além de permitir determinar quais espécies de morcegos estão ativas em uma área (Metzner, 1991; Fenton & Simmons, 2015). Esses equipamentos já foram de difícil aquisição, devido ao alto custo da tecnologia empregada para registrar sons com essas características. Atualmente, existem diferentes opções de gravadores como por exemplo o *AudioMoth* (Hill *et al.*, 2019), que é um equipamento de entrada para a bioacústica devido a sua simplicidade e acessibilidade, e o *Song Meter Mini Bat* e o *Echo Meter Touch 2* (ambos da empresa Wildlife Acoustics), igualmente simples, mas não tão acessíveis. Esses equipamentos gravam em tempo real e detalham a estrutura dos pulsos, energia e frequência, além de detectar as atividades dos quirópteros na gama de frequência que o pesquisador decidir amostrar.

Historicamente, os inventários de quirópteros no Brasil concentram-se no uso de redes de neblina (Pedro & Taddei, 1997; Arias-Aguilar *et al.*, 2018). Esse cenário deve-se, em grande parte, ao alto custo dos equipamentos de gravação, embora a amostragem por redes apresente vieses significativos: ela tende a subamostrar certas famílias, privilegiando espécies que voam baixo e possuem percepção menos acurada do obstáculo, principalmente os morcegos frugívoros, mas também os de hábitos nectarívoros, carnívoros e até mesmo os *trawling bats*, morcegos catadores que forrageiam mais próximos a superfície da água (Pedro & Taddei, 1997; Flaquer; Torre; Arrizabalaga, 2007; Silva & Bernard, 2017).

Nesse contexto, a recente redução nos custos dos dispositivos de gravação torna o monitoramento acústico uma alternativa cada vez mais vantajosa. Como ferramenta

complementar, a bioacústica permite preencher lacunas de inventários tradicionais, ampliando o conhecimento sobre a diversidade de espécies no país (Bernard *et al.*, 2011; Silva & Bernard, 2017). Além de ser um método não invasivo, que dispensa a captura e o manejo dos animais (Browning *et al.*, 2017), ele exige menor esforço de campo e apresenta alta eficiência na detecção de morcegos insetívoros e daqueles que forrageiam acima do dossel.

Operacionalmente, esse monitoramento divide-se em dois tipos de amostragem: ativa e passiva. Na amostragem ativa, o pesquisador está presente e seleciona os sinais de interesse em tempo real por meio de sistemas de conversão visual. Já a amostragem passiva ocorre sem a necessidade de intervenção direta durante a coleta; mesmo que o pesquisador esteja na área, o método é classificado como passivo se a análise dos dados for realizada apenas após a aquisição dos sons (Oliveira, 2020).

As Unidades de Conservação (UCs) são os melhores mecanismos para a preservação da natureza e da biodiversidade remanescente. Elas desempenham um papel fundamental em ambientes naturais que apresentam alto grau de destruição (Rylands & Brandon, 2005; Hassler, 2005; Manetta *et al.*, 2015). Essa realidade é evidente no caso da Mata Atlântica, a segunda maior floresta pluvial tropical do continente americano. Este bioma abriga diversas espécies endêmicas de flora e fauna, incluindo mais de 100 espécies de morcegos (Bernard *et al.*, 2011; Paglia *et al.*, 2012). Toda essa biodiversidade persiste mesmo com grande parte da área original dessa floresta tendo sido destruída (Tabarelli *et al.*, 2005; Neves, 2018).

Os Parques Estaduais (PE) são Unidades de Proteção Integral cujo objetivo é assegurar a preservação da natureza, proibindo o uso direto dos recursos naturais e permitindo-se apenas o uso indireto, como as pesquisas científicas e afins. As UCs da região Sudeste do Brasil surgiram nos anos 30 e 40 e, atualmente, representam a maior parte das UCs em número e extensão no estado de São Paulo (Brasil, 2000; Rylands & Brandon, 2005). Para que o objetivo de conservação dessas UCs se mantenha vivo é necessário que os Planos de Manejo, documentos técnicos com fundamentos e objetivos de uma unidade de conservação (Brasil, 2000), sejam elaborados e se mantenham atualizados já que essas informações são imprescindíveis para garantia da conservação da biodiversidade (Manetta *et al.*, 2015; Barros & Leuzinger, 2018), especialmente quanto ao inventário de espécies.

A importância de um inventário de espécies atualizado fica evidente ao comparar Planos de Manejo de Parques como o Parque Estadual Restinga de Bertiooga (PERB), Parque Estadual de Ilhabela (PEIb) e Parque Estadual da Ilha do Cardoso (PEIC), localizados em diversos pontos do Litoral de São Paulo, com os dados do Plano de Manejo do Parque Estadual Xixová-Japuí, localizado no Litoral Centro de São Paulo. Os três primeiros PE apresentam dados de ocorrência de Phyllostomidae, Molossidae, Vespertilionidae e Noctilionidae: o PEIb registra 22 espécies (sendo 17 de Phyllostomidae, 2 de Molossidae, 2 de Vespertilionidae e 1 de Noctilionidae), o PEIC, 25 espécies (sendo 1 de Emballonuridae, 2 de Noctilionidae, 15 de Phyllostomidae, 2 de Vespertilionidae e 5 de Molossidae) e por último, o PERB apresenta a ocorrência de *Desmodus rotundus*, filostomídeo hematofágo, enquanto o PEXJ apresenta 4 espécies de Phyllostomidae (*Artibeus* sp., *Carollia perspicillata*, *Anoura caudifer* e *Glossophaga soricina*) - conhecidas por serem frugívoras e nectarívoras mas com plasticidade alimentar - e apenas uma espécie de Vespertilionidae, o insetívoro aéreo *Myotis nigricans*. Essas diferenças provavelmente refletem as reduções significativas da diversidade original causadas pelas modificações antrópicas (Esbérard, 2003) e pelo método de coleta de dados adotado no plano de manejo desatualizado.

A conservação de espécies tão essenciais para os ecossistemas, como os morcegos, é fundamental para garantir que a biodiversidade remanescente de Mata Atlântica em lugares tão antropizados quanto a Baixada Santista prospere por muito tempo e para representar essa lista de espécies de forma mais completa, estudos de diversidade acústica aparecem como soluções promissoras, além de servirem como materiais para projetos de Educação Ambiental, assegurando ainda mais os objetivos das Unidades de Conservação.

2. OBJETIVOS:

O propósito deste estudo foi inventariar e caracterizar a diversidade de morcegos insetívoros aéreos no Parque Estadual Xixová-Japuí por meio do monitoramento acústico passivo (PAM). Por constituir uma abordagem não invasiva, essa técnica permitiu a obtenção de dados mais abrangentes em relação às espécies não capturadas usualmente por rede de neblina. O trabalho realizou uma comparação com as informações registradas no Plano de Manejo de 2010, visando preencher lacunas taxômicas e identificar táxons não catalogados devido às limitações do método utilizado anteriormente – como baixo esforço amostral

(apenas quatro noites com cinco horas de duração) e alguns dos lugares amostrados.

Os objetivos específicos foram: 1) identificar os chamados de ecolocalização dos morcegos presentes no PEXJ; 2) contrastar os dados obtidos com as informações previamente catalogadas no plano de manejo da unidade; 3) sistematizar esses chamados acústicos, contribuindo para um futuro catálogo sonoro das espécies do PEXJ, com inclusão em fonotecas biológicas já estabelecidas.

3. MATERIAL E MÉTODOS:

3.1 Área de estudo:

A pesquisa foi realizada no Parque Estadual Xixová-Japuí, uma Unidade de Conservação de Proteção Integral mantida pela Fundação Florestal, localizada entre os municípios de São Vicente e Praia Grande, litoral centro do estado de São Paulo (Figura 1).

No contexto da paisagem da Baixada Santista, o PEXJ se caracteriza por ser uma área natural relativamente pequena, com 600 ha de área terrestre - 350,9 ha (3,56%) equivalentes à Praia Grande e 249,1 ha (2,5%) à São Vicente -, 301 ha de área marinha e tipos fitofisionômicos diferenciados que equivalem a 0,33% do total de cobertura natural remanescente nas duas cidades. A área terrestre do Parque é dividida em três setores: Xixová, Japuí e Itaipu, enquanto a área marinha possui um único setor, compreendendo área protegida determinada pelos limites da UC (Fundação Florestal, 2010).

O PEXJ é delimitado pelas praias de Paranapuã e Itaquitanduva, bem como pelas áreas urbanas dos bairros do Canto do Forte (município de Praia Grande), Japuí e Parque Prainha (município de São Vicente). A região ao redor do Parque tem um histórico de ocupação antrópica datado de 1510, com a criação de um pequeno povoado atrás da baía de Paranapuã e uma expansão urbana contínua até os anos 1990 (Fundação Florestal, 2010).

Essa é mais uma das UCs necessárias para a preservação da biodiversidade que sobrevive ao quadro crescente de supressão, degradação e fragmentação resultantes da intensa antropização na Baixada Santista, o que torna o PEXJ tão essencial para o cenário de conservação no Litoral Centro de São Paulo.

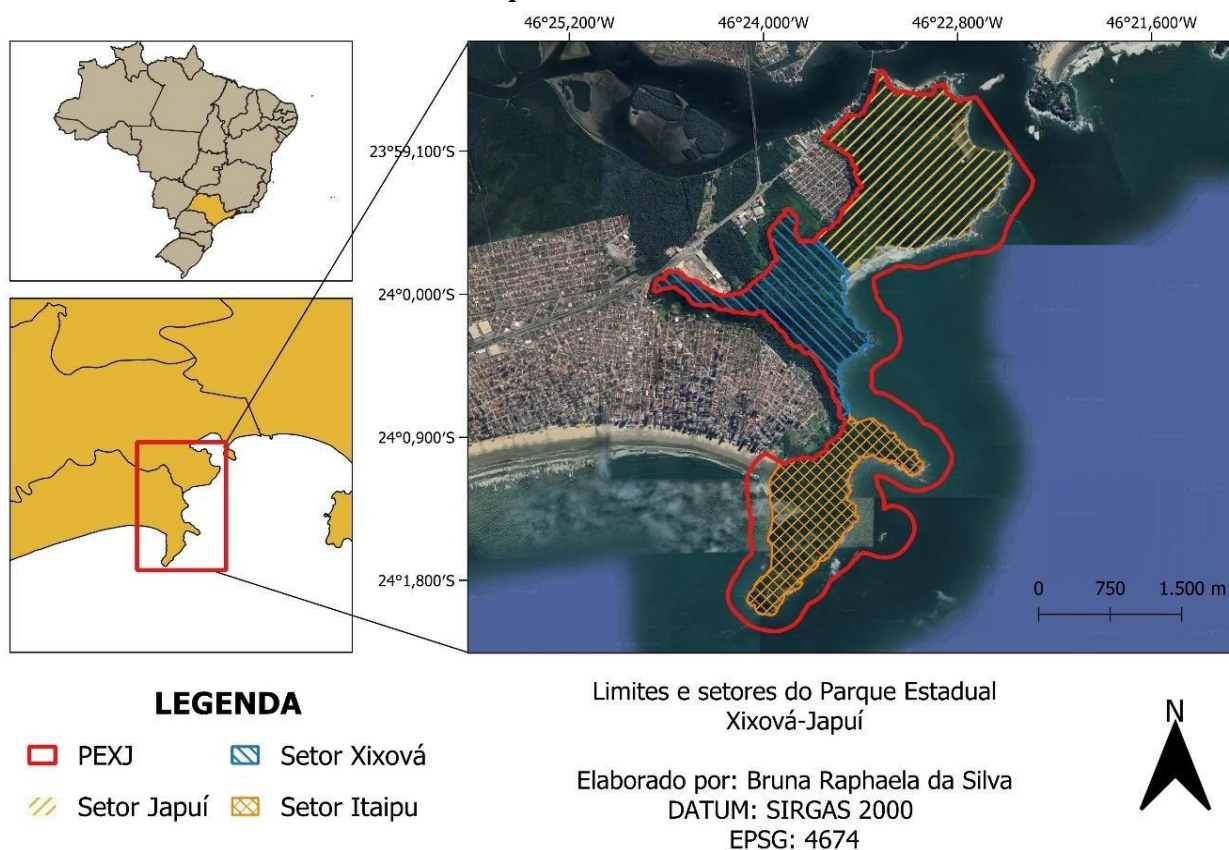


Figura 1: Mapa de localização do Parque Estadual Xixová-Japuí no estado de São Paulo.

3.2 Coleta de dados:

Os dados acústicos foram registrados por dois gravadores ultrassônicos autônomos *AudioMoth* (denominados "A" e "B") (Figura 2). Os dispositivos foram configurados com taxa de amostragem de 384 kHz e resolução de 16 bits, armazenando os arquivos no formato de áudio .wav em cartões microSD de 128 GB. Para o georreferenciamento e organização temporal dos dados, utilizou-se o aplicativo Avenza Maps e o relógio interno dos gravadores.



Figura 2: Gravador autônomo *AudioMoth*, empregado neste estudo. Fonte: <https://www.openacousticdevices.info/>

Para a proteção dos dispositivos em campo, foram utilizadas caixas protetoras (cases) fabricadas em impressão 3D com o polímero ASA (Acrilonitrila Estireno Acrilato), baseadas em modelo do repositório Thingiverse (Figura 3).



Figura 3: Caixa protetora para *AudioMoth* impermeável e com trava. Fonte: <https://www.thingiverse.com/thing:6428228>

A escolha do ASA em detrimento das caixas oficiais (que exigiriam importação) deveu-se à sua alta resistência a raios UV, variações térmicas e umidade. As cases foram seladas com juntas de silicone e membranas acústicas impermeáveis; adicionalmente, as dobradiças originais do projeto foram substituídas por cupilhas metálicas para aumentar a durabilidade, e o fechamento foi reforçado com cadeados para prevenir acessos não autorizados.

3.2.1 Pontos de coleta:

Os gravadores foram fixados com abraçadeiras de nylon em árvores à 1,5 m de altura, em cinco diferentes pontos do setor Japuí (Figura 4): três pontos na Trilha do Curtume (acesso à praia de Itaquitanduva) e dois pontos em Paranapuã. A seleção dos locais priorizou clareiras, potenciais áreas de forrageio e proximidade a abrigos, conforme reconhecimento prévio com monitores do PEXJ. Especificamente, o posicionamento do *AudioMoth* A no Ponto 1 visou investigar a atividade próxima aos afloramentos rochosos da Pedreira, descritos por Abreu, Tavares e Moras (2021) como potenciais abrigos. Os registros fotográficos de cada ponto encontram-se disponíveis no Apêndice A ao final deste trabalho.

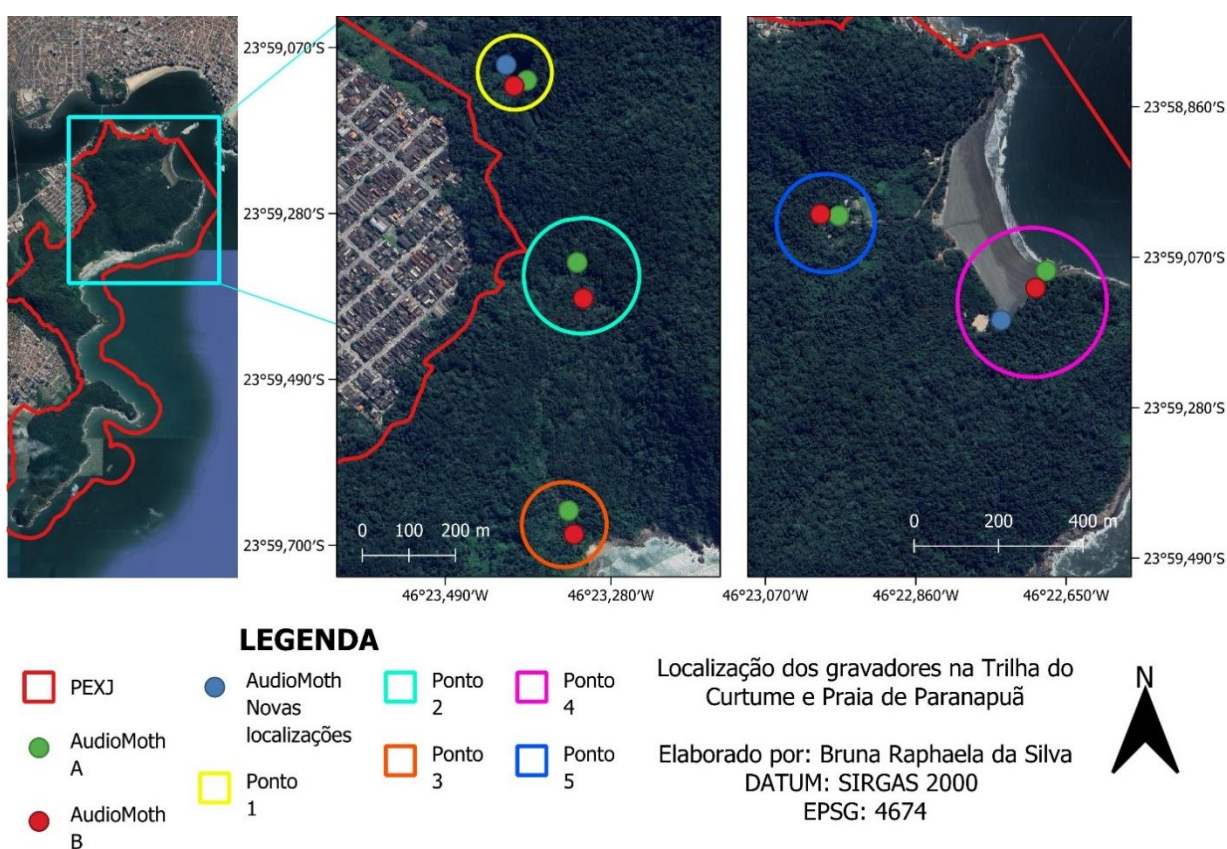


Figura 4: Mapa dos pontos de amostragem para o monitoramento acústico passivo no PEXJ.

3.2.2 Adaptação do protocolo amostral:

Devido ao extravio de um dos gravadores no segundo mês de coleta, foi necessário reformular o protocolo original para assegurar a continuidade da pesquisa. O esforço amostral foi redistribuído utilizando-se o equipamento remanescente de forma alternada entre os pontos antes monitorados simultaneamente. As medidas de segurança foram intensificadas com a

adoção de abraçadeiras metálicas de abertura restrita à ferramenta específica, dificultando remoções não autorizadas. Apesar das modificações, assegurou-se a manutenção da confiabilidade dos resultados.

3.2.2.1 Pontos de coleta:

Essa mudança impactou a logística nos pontos de coleta: no Ponto 3, a árvore original foi descartada para evitar novos incidentes, exigindo a realocação do gravador em indivíduos arbóreos próximos. Nos pontos 4 e 5 (Paranapuã), manteve-se o uso de abraçadeiras de nylon devido ao acesso restrito da área, embora o posicionamento no Ponto 4 tenha sido ajustado em função da variação da maré, que impossibilitou o acesso ao local planejado durante a instalação. As posições no Ponto 5 foram mantidas.

3.2.3 Cronograma e períodos de gravação:

O desenho experimental inicial previa o monitoramento do pôr ao nascer do sol durante quatro meses alternados, em ciclos de 25 dias (cinco dias por ponto). A janela de gravação baseou-se na literatura, que indica maior atividade dos morcegos nas duas primeiras horas após o anoitecer e nas duas horas que antecedem o amanhecer, devido ao jejum de aproximadamente 10 horas (Reis *et al.*, 2007). Essa configuração também segue o padrão predefinido de programação Sunset to Sunrise em gravadores ultrassônicos comerciais, como o *Song Meter Mini Bat 2* (Song Meter Mini Bat 2 User Guide, 2024).

3.2.3.1 Alteração do protocolo de gravação e períodos de coleta:

Após um teste inicial em setembro em um ponto extra (Apêndice A), e a análise do volume de dados e autonomia das pilhas, o protocolo foi ajustado:

1. **Duração:** O período total foi concentrado em dois meses de amostragem efetiva.
2. **Ciclos de Coleta:** A primeira fase ocorreu entre novembro e janeiro, estruturada em ciclos de cinco dias por ponto (três noites de gravação e um dia dedicado à transferência de dados e recarga de baterias). As gravações foram configuradas em segmentos de 5 minutos com intervalos de 5 segundos, totalizando 143 arquivos por

noite (18h às 06h).

3. **Segunda Fase:** Realizada entre abril e julho, esta etapa manteve a lógica de esforço da fase anterior, porém com o revezamento do único equipamento disponível e ajustes no cronograma devido a alterações na gestão do Parque e disponibilidade logística.

3.3 Análise de dados:

Os dados obtidos foram transferidos do cartão microSD para a nuvem (Google Drive) e devido à alta taxa de amostragem utilizada - o primeiro período de coleta, realizado com dois gravadores, gerou aproximadamente 1 TB de dados; já o segundo período, realizado com apenas um *AudioMoth*, acrescentou cerca de 1,5 TB ao volume inicial -, foram convertidos para o formato .flac (*Free Lossless Audio Codec*). Esse formato foi adotado para comprimir o tamanho dos arquivos originais sem perder qualquer informação acústica, assim reduzindo a demanda de processamento durante a renderização dos espectrogramas durante as leituras dos arquivos no software de análise. Posteriormente, esses arquivos foram copiados para um HD externo de 2 TB, como forma de cópia de segurança.

Os arquivos foram inspecionados por meio do software Raven Pro 1.6 (Cornell Lab of Ornithology), com espectrogramas gerados nas seguintes configurações: janela Hann de 2048 pontos, sobreposição de 80% e escala de cores Jet Black (Figura 5).

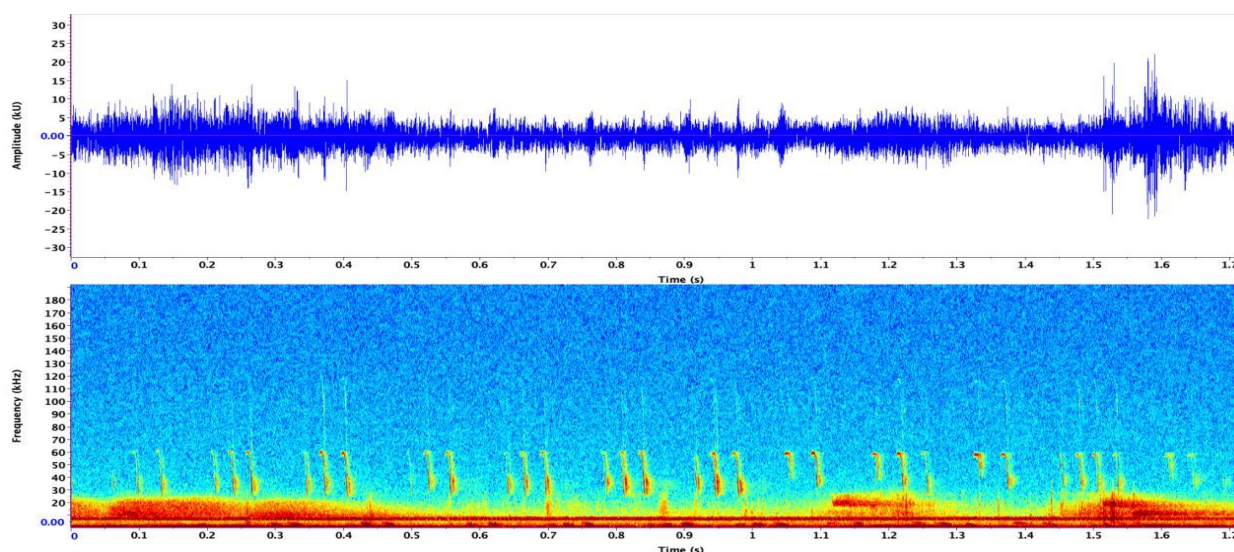


Figura 5: Oscilograma e espectrograma com pulsos de *Noctilio leporinus* produzido no Raven Pro 1.6.

Para otimizar o processamento do grande volume de dados, realizou-se uma triagem manual inicial. Os arquivos de cada gravador foram analisados separadamente e classificados em duas categorias: bat signal (sinal de morcego) e non-bat signal (ruído ou outros sons). Essa etapa consistiu na detecção preliminar de frequências ultrassônicas, incluindo a faixa a partir dos 10 kHz, visando não excluir espécies que emitem pulsos nessa faixa, embora sem uma análise detalhada dos parâmetros acústicos neste primeiro momento.

A identificação taxonômica baseou-se na comparação manual das amostras com bibliotecas digitais, especificamente a sonoteca da Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros (SBEQ) e a Morcegoteca do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Complementarmente, foram consultadas chaves de identificação de referência, como Arias-Aguilar *et al.* (2018), Barataud *et al.* (2013) e López-Baucells *et al.* (2016). A ferramenta Bat Auto-ID do software Kaleidoscope Pro foi utilizada pontualmente e com cautela, dada a variabilidade de confiabilidade descrita na literatura (Hintze *et al.*, 2016).

Para a análise visual e extração de parâmetros, os áudios de cinco minutos foram processados através do recurso de paginação de áudio (*Paging – Page sound*) do Raven Pro. Eles foram segmentados em janelas temporais de 15 segundos, o que permitiu uma análise mais detalhada dos espectrogramas. Definiu-se como "passagem de morcego" a presença de, no mínimo, três pulsos consecutivos com características semelhantes dentro desses segmentos de 15 segundos (Silva, 2017; Da Costa; Ramos Pereira, 2022; Pereira, 2022)

A qualidade dos pulsos selecionados foi assegurada pelo parâmetro de Razão Sinal-Ruído (SNR), estabelecendo-se um valor mínimo de 12 dB acima do ruído de fundo. O SNR mede a relação entre a potência do sinal de interesse e o ruído ambiental, sendo calculado via amplitude RMS (root mean squared) e expresso em decibéis (dB). Valores positivos indicam que o sinal sobressai ao ruído, enquanto valores negativos inviabilizam a detecção ou análise precisa dos parâmetros (Semmlow, 2012).

Os parâmetros de frequência e tempo foram extraídos via espectrograma e oscilograma (Figura 6), compreendendo:

- **Frequência Mínima ($F_{\min}$) e Máxima ($F_{\max}$):** limites inferior e superior do sinal.

- **Largura de banda (*Bandwidth* - BW):** diferença entre $F_{\min}$ e $F_{\max}$.
- **Frequência de Máxima Energia (FME):** ponto de maior intensidade energética, confirmada pelo espectro de potência.
- **Frequência Inicial e Final:** pontos de início e término do pulso, que podem divergir da $F_{\min}/F_{\max}$ conforme a inclinação do sinal.
- **Duração do Chamado (Dur) e Intervalo Entre Pulsos (IPI):** parâmetros temporais para caracterização do ritmo de emissão.

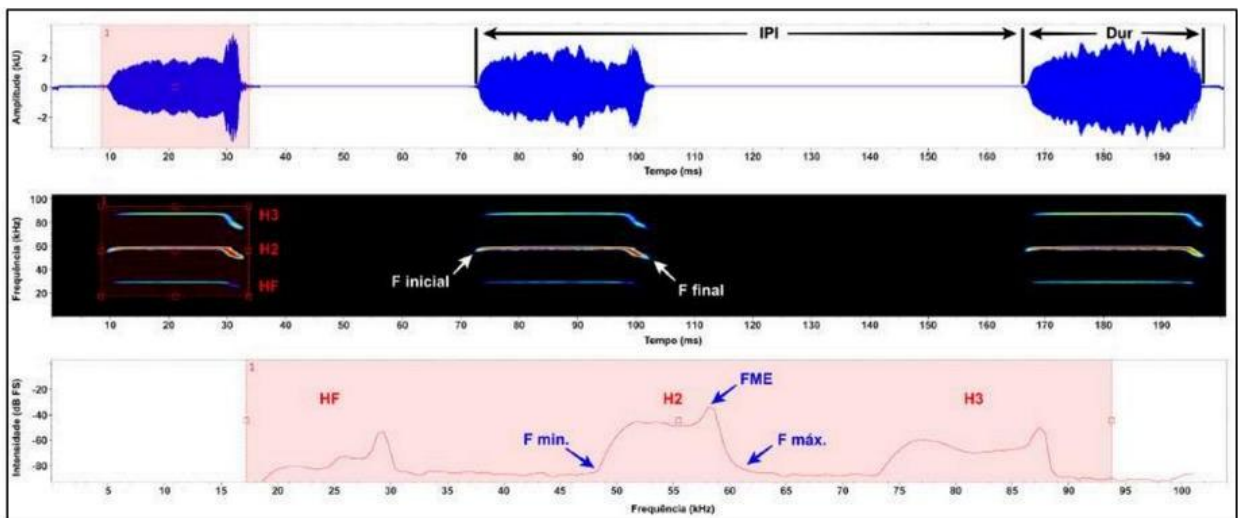


Figura 6: Representação de pulsos de ecolocalização com os parâmetros usados para análise acústica: oscilograma com o Intervalo Entre Pulsos (IPI) e a Duração do chamado (Dur); espectrograma destacando as frequências inicial e final; e o espectro de potência detalhando as harmônicas, assim como as frequências mínima, máxima e de máxima energia. Fonte: Oliveira (2020).

A identificação das espécies também considerou a estrutura básica dos pulsos, que reflete o uso do espaço aéreo e a guilda trófica (Arias-Aguilar *et al.*, 2018; Oliveira, 2020). Conforme a Figura 7, os sinais foram classificados como:

- **Frequência Modulada (FM):** pulsos com variação de frequência ao longo do tempo (ascendentes ou descendentes). Visualmente, apresentam-se alongados e verticais (*broadband*).
- **Frequência Constante (CF) ou *quasi*-Constante (qCF):** sinais com pouca ou

nenhuma modulação, apresentando aspecto horizontal e achatado em banda estreita (*narrowband*).

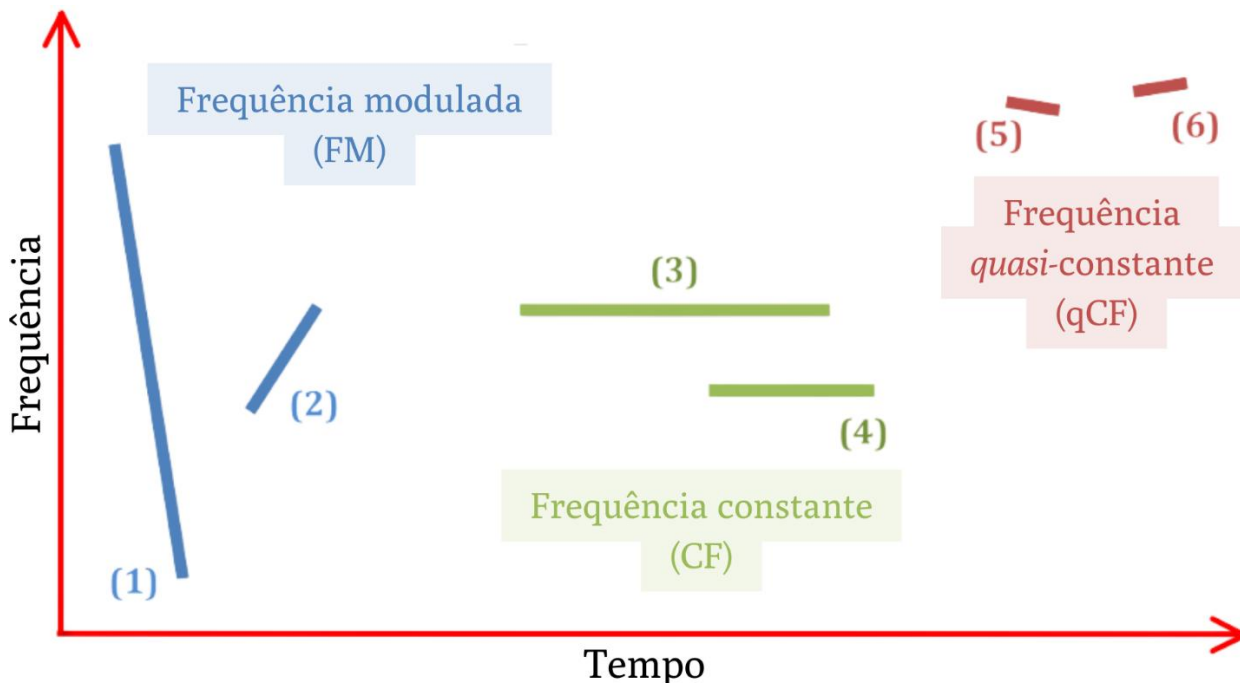


Figura 7: Representação ilustrada de um espectrograma, com as estruturas básicas de frequência de um chamado.
Adaptado de Arias-Aguilar *et al.* (2018).

Seguindo o protocolo de Arias-Aguilar *et al.* (2018), a identificação final obedeceu a três etapas sistemáticas, representadas na figura 8:

1. **Verificação de harmônicos:** análise da presença de múltiplos componentes sobrepostos.
2. **Identificação de componentes CF ou qCF:** sem sobreposição de harmônicos, busca por trechos de frequência estável na estrutura do pulso.
3. **Localização da intensidade:** identificação da concentração da FME no harmônico fundamental ou nos harmônicos secundários.

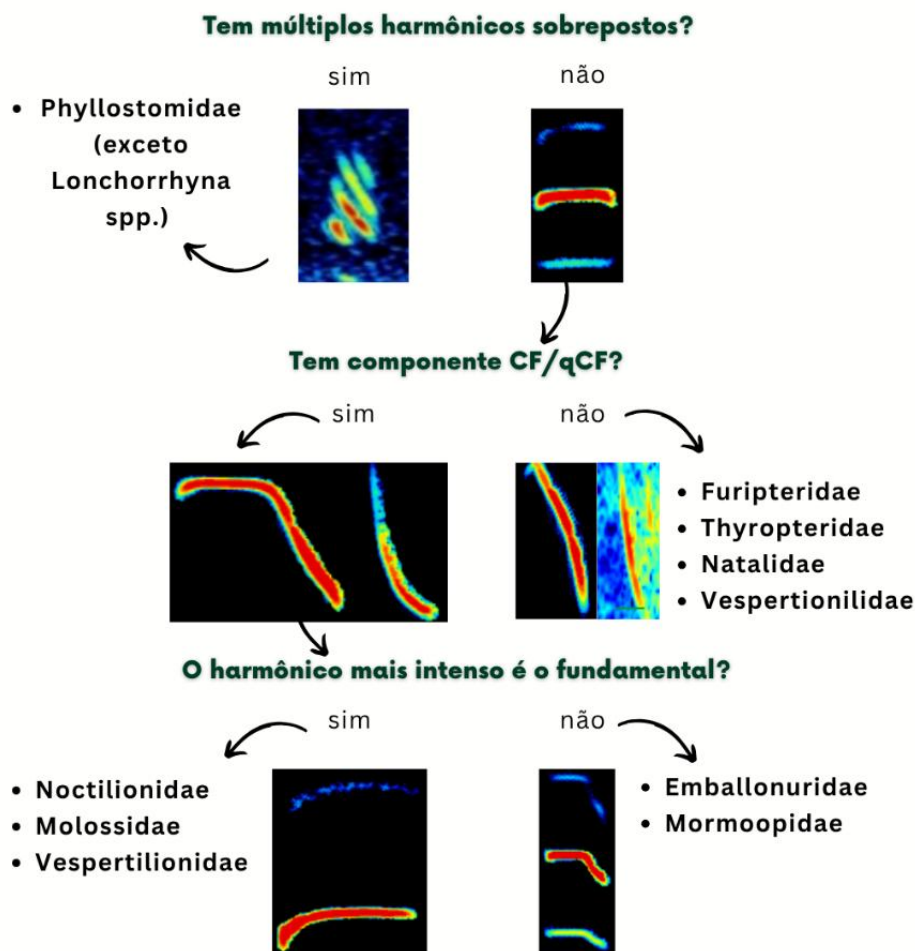


Figura 8: Etapas da análise bioacústica para identificação taxonômica. Adaptado de Arias-Aguilar *et al.* (2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Devido ao elevado volume de dados, a análise concentrou-se nos locais de maior atividade de morcegos registrados na triagem inicial: o ponto 1 (Pedreira do Curtume) e o ponto 4 (Praia de Paranapuã). A análise revelou a presença das famílias Noctilionidae, Molossidae e Vespertilionidae, caracterizadas pela ausência de harmônicos sobrepostos e predominância de componentes CF e qCF no harmônico fundamental.

A família Molossidae caracteriza-se pelo harmônico fundamental mais intenso e, em muitas espécies, pela alternância irregular entre dois ou três tipos de pulsos, refletindo uma alta plasticidade acústica que auxilia na identificação dos gêneros, a identificação fica no caso sendo pela FME. Já a família Vespertilionidae, apesar de também apresentar harmônico

fundamental mais intenso, é caracterizada majoritariamente pela ausência de alternância entre os pulsos, com sua diagnose sendo feita através dos valores de FME e $F_{\min}$. Por último, com harmônico fundamental mais intenso, a família Noctilionidade é diferenciada pela estrutura do pulso altamente característica, enquanto os parâmetros de frequência são utilizados para distinguir e identificar as espécies.

No Ponto 1 foram analisados 13 arquivos de 5 minutos, segmentados em janelas de 15 segundos, entre 18h25 e 19h26 - período que marca o início da atividade pós-crepuscular. Para garantir a qualidade analítica, selecionaram-se pulsos com maior energia espectral e Razão Sinal-Ruído (SNR) entre 9 e 11 dB. Embora estejam abaixo do padrão ideal de 12 dB, a justificativa é feita pela conferência manual dos valores: ao contrastar o pulso com o ruído de fundo via cursor, é observado uma diferença de 30 a 40 dB. Esse valor mostra que a energia de ecos adjacentes aos pulsos acaba interferindo no cálculo automático do SNR e que o pulso não apresenta baixa qualidade, validando então a utilização dos chamados.

Os primeiros pulsos verificados foram FM_a -qCF- FM_d (FM_d sendo perceptível ou não) com alternância entre três tipos e nem sempre completamente emitidos, sem modulação oposta, largura de banda menor que 10 kHz, caracterizando o gênero *Molossus* e para identificação, o parâmetro é a FME. Ao seguir a chave de identificação de Arias-Aguilar *et al.* (2018), a classificação mais próxima obtida apontou para a espécie *Molossus rufus*, a qual apresenta $BW \leq 2$ kHz, $FME_1 \approx 25$ kHz, $FME_2 \approx 28$ kHz e $FME_3 \approx 32$ kHz. Além disso, ao utilizar a chave de López-Baucells *et al.* (2016) e comparar os registros com os áudios da Morcegoteca (2016), verifica-se que *M. rufus* é classificada dentro de um sonótipo, i.e., uma categorização dos conjuntos de parâmetros e estruturas sem identificação precisa ao nível de espécie, denominado *Molossus* II, compartilhado com a espécie *Molossus currentium* (Morcegoteca, 2016, López-Baucells *et al.*, 2016) e com *Molossus sinaloae* (López-Baucells *et al.*, 2016).

Como os nossos sinais apresentaram valores de FME próximos aos de *M. rufus* descritos tanto por Arias-Aguilar *et al.* (2018) quanto por López-Baucells *et al.* (2016), mas também divergências em relação à largura de banda descrita pela primeira chave, optou-se por manter a identificação no nível de sonótipo o qual denominamos *Molossus* spp 1 (Figura 9). A hipótese final para esse sonótipo é de que se trate, de fato, de *M. rufus*.

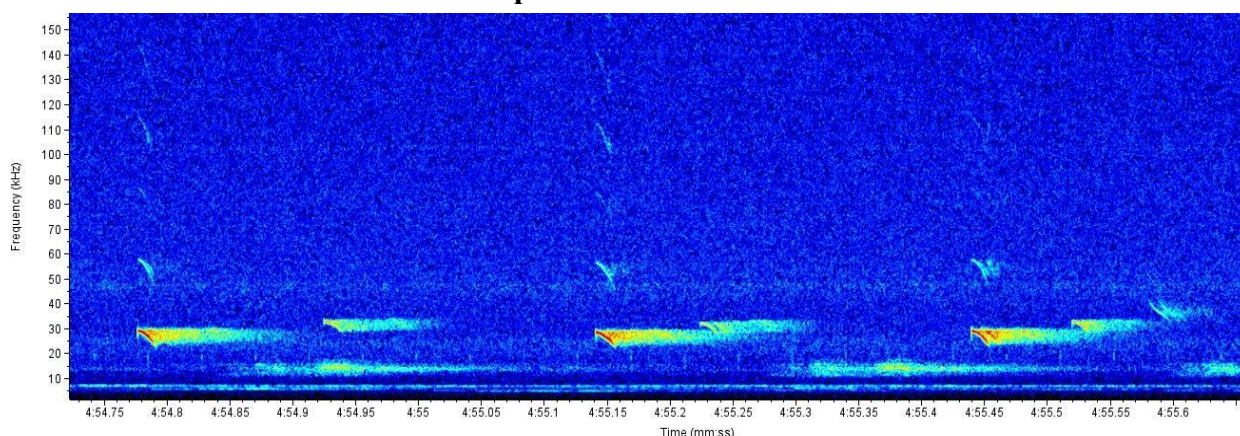


Figura 9: Espectrograma de pulsos de navegação do sonótipo *Molossus* spp 1.

Além dos chamados desse primeiro sonótipo, registraram-se pulsos de estrutura semelhante, mas com valores de frequência ligeiramente mais altos, os quais se aproximam dos parâmetros descritos para a espécie *Molossus currentium*. Embora os valores de FME de cada tipo de pulso descritos por Arias-Aguilar *et al.* (2018) para essa espécie sejam mais compatíveis com os nossos dados, há o fato de ela também ser classificada no sonótipo *Molossus* II, assim como *Molossus rufus* e apresentar valores próximos a esta última na chave de López-Baucells *et al.* (2016). Por esse motivo, seguimos o mesmo critério anterior e os classificamos como o sonótipo *Molossus* spp. 2 (Figura 10), ainda que a hipótese final seja de que esse sonótipo seja correspondente a espécie *M. currentium*.

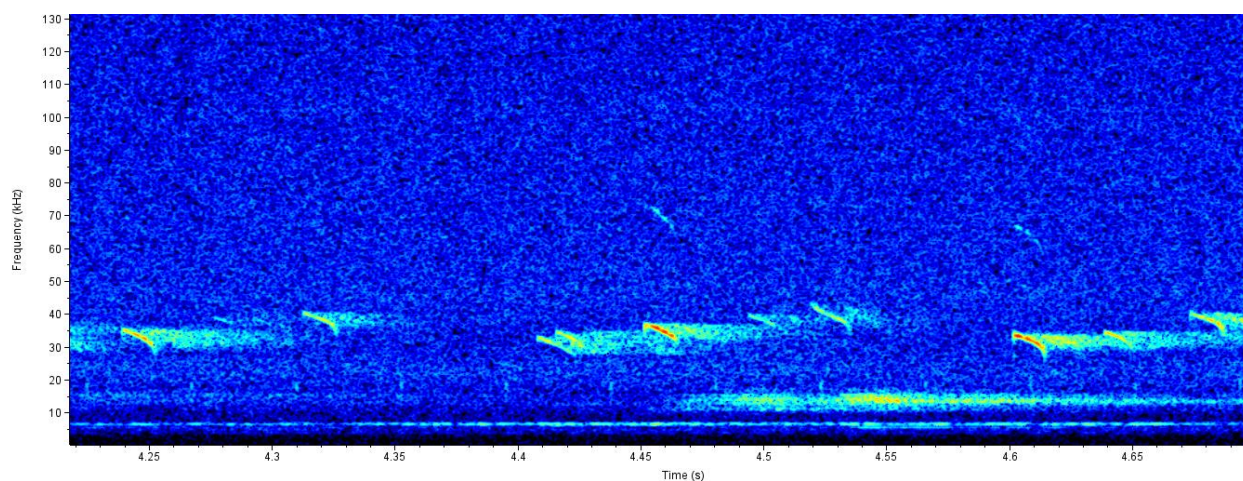


Figura 10: Espectrograma de pulsos de navegação do sonótipo *Molossus* spp 2.

Distanciando-se levemente do padrão acústico apresentado do gênero *Molossus*, obtivemos um registro distinto que exibía uma morfologia diferente das descritas até então, caracterizada por uma estrutura qCf_d (Figura 11). Seguindo a chave de Arias-Aguilar *et al.* (2018), esse padrão é compatível com o descrito para espécie *Tadarida brasiliensis*, pertencente à família Molossidae. Além de apresentar estrutura qCF_d, os pulsos também apresentam duração do chamado superior a 10 ms, largura de banda estreita (<5 kHz) e um declive (*slope*) reduzido (<1 Hz/ms) – parâmetro esse que representa a variação da frequência ao longo do tempo, calculado pela razão BW/Dur. Os valores obtidos nos nossos registros são condizentes com parâmetros diagnósticos, permitindo a identificação da espécie como *T. brasiliensis*.

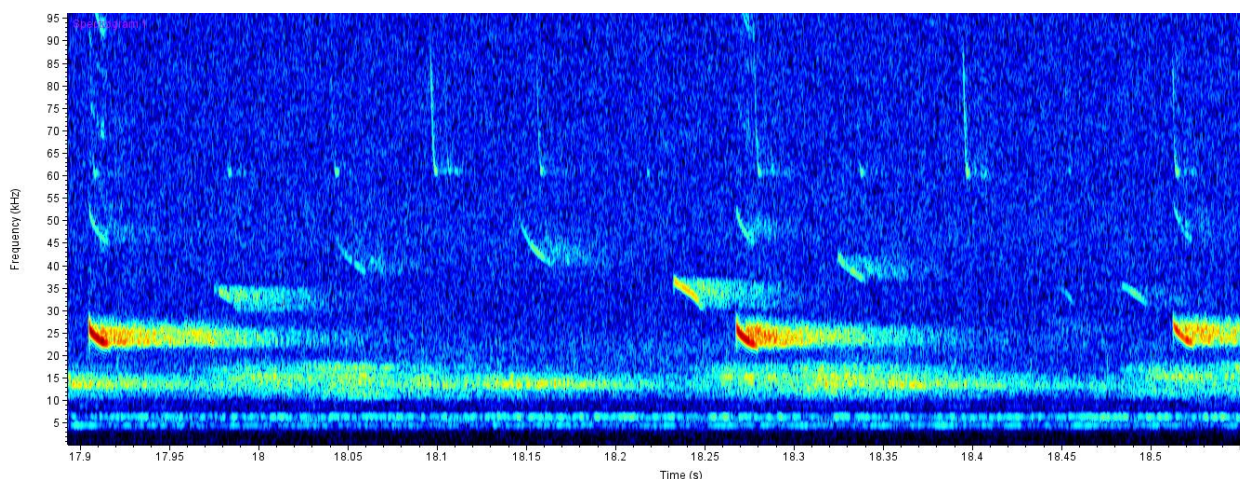


Figura 11: Espectrograma exibindo os pulsos de navegação de *Tadarida brasiliensis*, visíveis em maior intensidade.

Por fim, ainda na família Molossidae, houve um chamado diferente que não pôde ser identificado a nível mais específico e, por isso, foi classificado como Molossidae 1. A estrutura do pulso demonstrou forte similaridade com a morfologia descrita para *Neoplatymops mattogrossensis*, na qual o segundo tipo de pulso apresenta estrutura FM_d-qCF ao contrário do primeiro tipo tipo, que apresenta Fm_u-qCF_d (Figura 12). Os valores diagnósticos para *N. mattogrossensis* são definidos pelas frequências inicial e final de cada tipo de pulso, bem como pela FME do segundo tipo, que consistem em: Tipo I: F_{inicial} entre 31 e 34 kHz e F_{final} entre 27 e 30 kHz; Tipo II: F_{inicial} entre 36 e 38 kHz e F_{final} entre 32 e 35 kHz, embora este tipo possa ser omitido e FME ≈ 33 kHz.

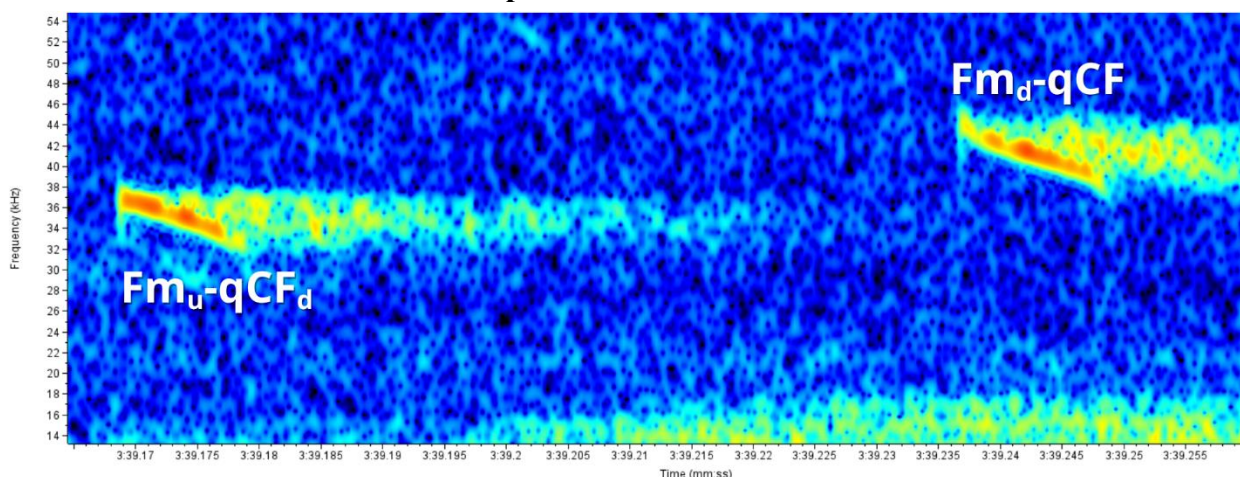


Figura 12: Diferenças estruturais dos pulsos de navegação de Molossidae 1.

Contudo, embora a estrutura do pulso registrado seja semelhante ao que é descrito para a espécie, os valores de frequência obtidos nos nossos dados divergem dos valores diagnósticos. Somado a isso, de acordo com os modelos de distribuição de morcegos nos biomas brasileiros de Do Amaral *et al.* (2023), publicados no site da SBEQ, a ocorrência de *Neoplatymops mattogrossensis* apresenta apenas um registro para o bioma da Mata Atlântica; para fins de confirmação, foi realizada uma busca por registros adicionais na plataforma *iNaturalist*, a qual também não apresentou ocorrências no bioma. Por tais motivos, os pulsos registrados foram classificados então apenas como Molossidae 1.

Além dos chamados descritos anteriormente descritos para a família Molossidae, foram registrados novos pulsos com frequências mais altas em comparação aos primeiros táxons, com harmônicos fundamentais mais intensos, ausência de alternância e com estrutura de pulso FM(d)-qCF_d, permitindo a identificação da família Vespertilionidae. Dentro dessa família, os dados apontam a ocorrência de espécies do gênero *Eptesicus*, *Myotis* e *Lasiurus*.

No gênero *Myotis*, os parâmetros de identificação são a $F_{\min}$ e a FME, esta última localizada no componente qCF e sujeita a variações caso o componente não esteja presente. Nossos resultados para esse gênero foram divididos em três, compreendendo duas espécies e um sonótipo:

- *Myotis lavalii*: identificadas pela $F_{\min}$ entre 45-51 kHz, FME entre 49-52 kHz, com duração do chamado até 7 ms.

- ***Myotis~63***: sonótipo cuja hipótese taxonômica recai sobre *Myotis ruber*, identificada pela $F_{\min} \approx 58$ kHz e duração do chamado até 5 ms.
- ***Myotis riparius***: identificado pela $F_{\min} \approx 55$ kHz, $FME \approx 58$ kHz, e duração do chamado até 5 ms.

Notavelmente, a espécie *Myotis nigricans*, já relatada no Plano de Manejo de 2010, tem parâmetros de frequência muitos semelhantes a *Myotis lavalii* e a forma de distinção adotada entre as duas foi a estrutura do pulso, que serviu como comparativo (Figura 13) contribuindo para o diagnóstico de *M. lavalii* para os pulsos detectados (Figura 14), além dos valores obtidos dos parâmetros diagnósticos para a espécie.

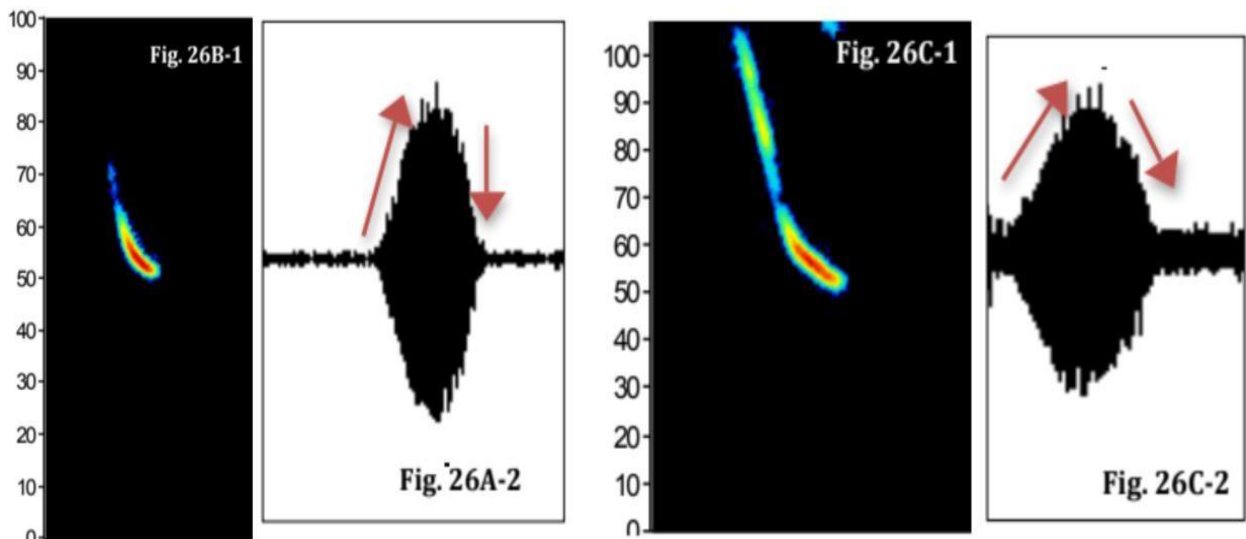


Figura 13: Estrutura e oscilograma de *Myotis lavalii* e *Myotis nigricans*, respectivamente. Adaptado de Arias-Aguilar *et al.*, 2018.

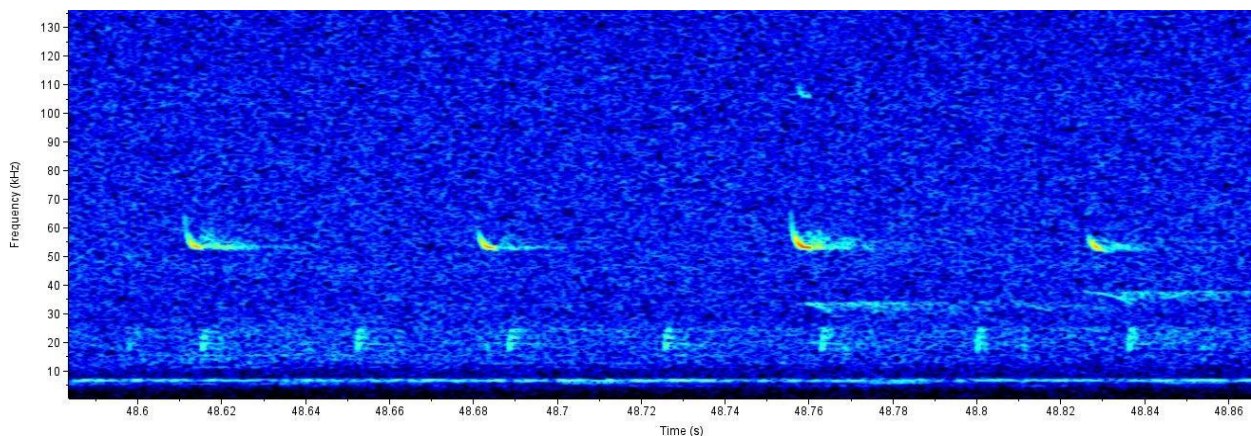


Figura 14: Espectrograma de pulsos de navegação de *Myotis lavalii*.

O sonótipo de *Myotis*~63 (Figura 15) recai na hipótese de ser *Myotis ruber*, que apresenta um valor médio de $F_{\min}$ de 58 kHz. Ainda que essa espécie tenha ampla distribuição na Mata Atlântica e registros visuais publicados na plataforma *iNaturalist* em áreas da Serra do Mar relativamente próximas ao PEXJ, a confirmação ainda depende do uso de chaves de identificação adicionais e até mesmo métodos complementares.

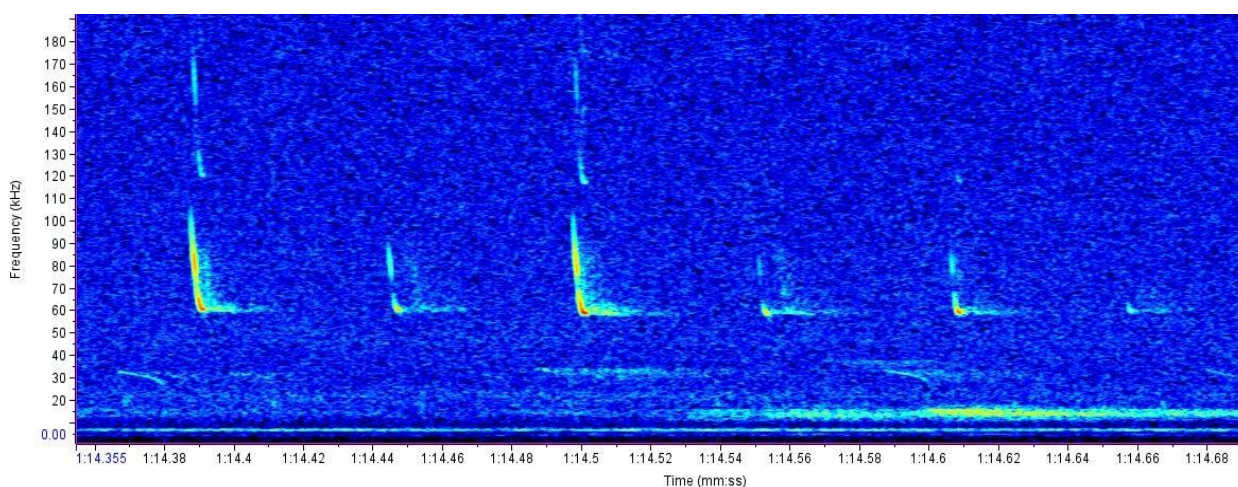


Figura 15: Espectrograma de pulsos de navegação de navegação de *Myotis*~63.

Ainda no gênero *Myotis*, foi registrada uma sequência de ecolocalização com fases de navegação e feeding-buzz nitidamente delineadas (Figura 16). Os pulsos apresentaram uma média de $F_{\min}$ de 57 kHz, FME de 61 kHz e duração de 3 ms, aproximando aos dados descritos para a espécie *Myotis riparius* (Figura 17). A identificação foi validada por meio da comparação com o áudio de referência da espécie disponível na Morcegoteca (2016), cujos valores extraídos coincidem com os registrados, especialmente a FME.

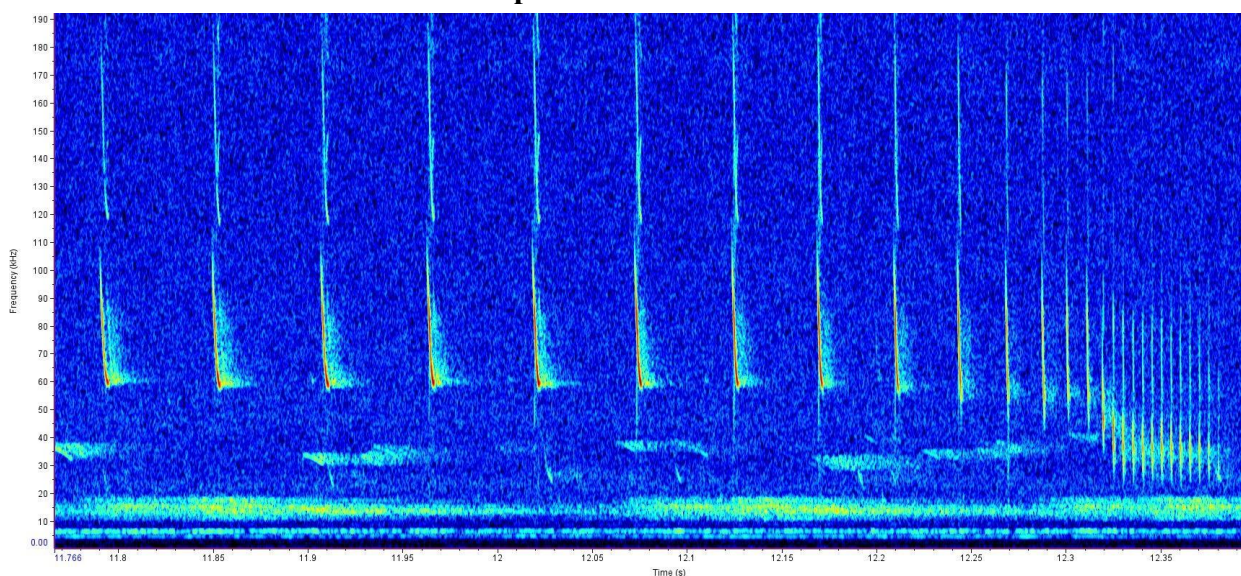


Figura 16: Espectrograma de pulsos de navegação, *approach* e *feeding-buzz* de *Myotis riparius*.

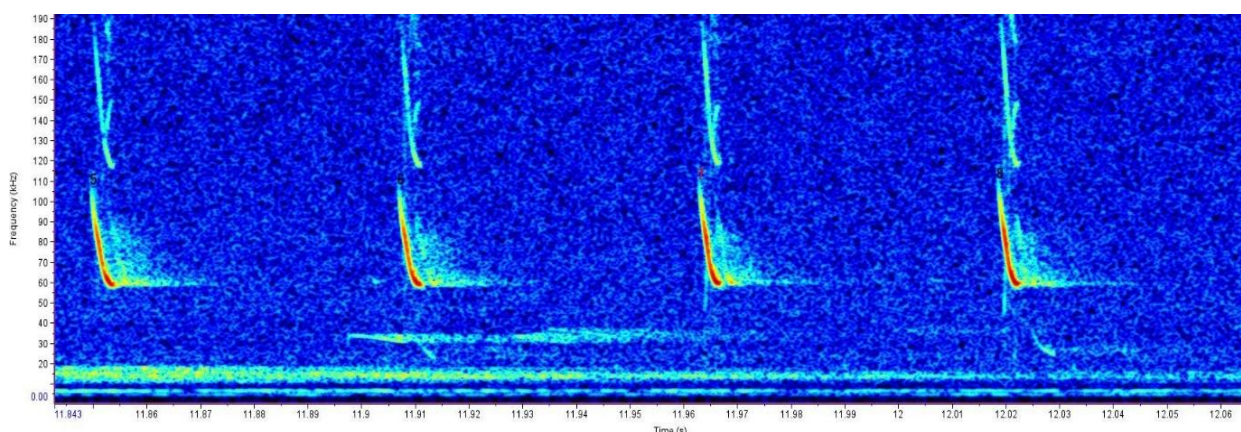


Figura 17: Espectrograma de pulsos de navegação de *Myotis riparius*.

Adicionalmente, registramos a ocorrência de pulsos compatíveis com o gênero *Lasiurus*. A análise permitiu identificar duas espécies distintas: *Lasiurus villosissimus* (Figura 18) e *Lasiurus blossevillei* (Figura 19). Em relação a *L. villosissimus*, é necessário fazer uma correção taxônica, já que, embora referida como *Lasiurus cinereus* no guia de identificação de Arias-Aguilar *et al.* (2018), esse táxon se refere a quirópteros que ocorrem apenas na América do Norte, sendo *L. villosissimus* a nomenclatura correta para as populações que ocorrem aqui na América do Sul (Díaz *et al.*, 2023).

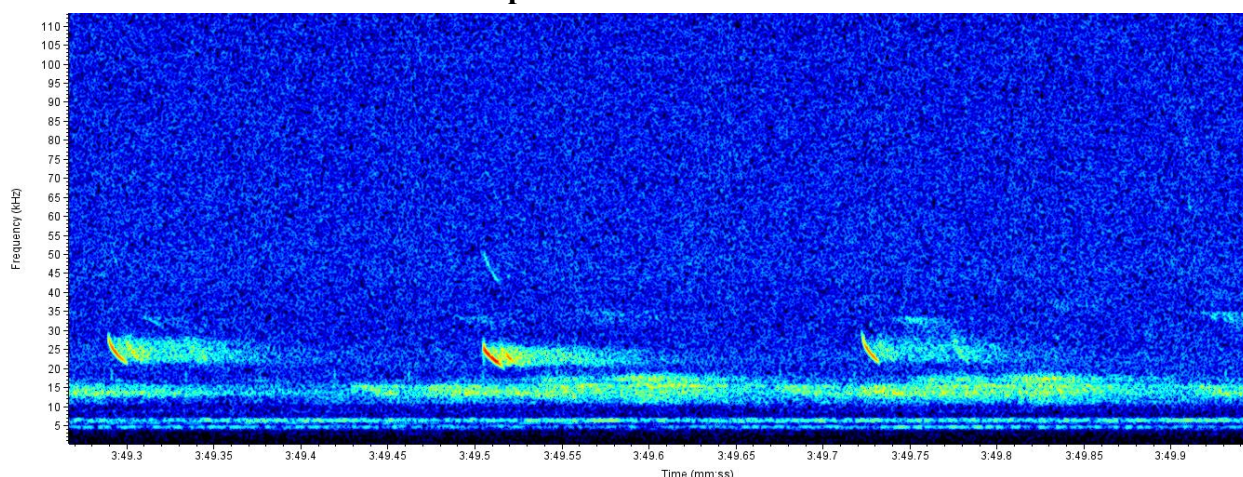


Figura 18: Espectrograma dos pulsos de navegação de *Lasiurus villosissimus*.

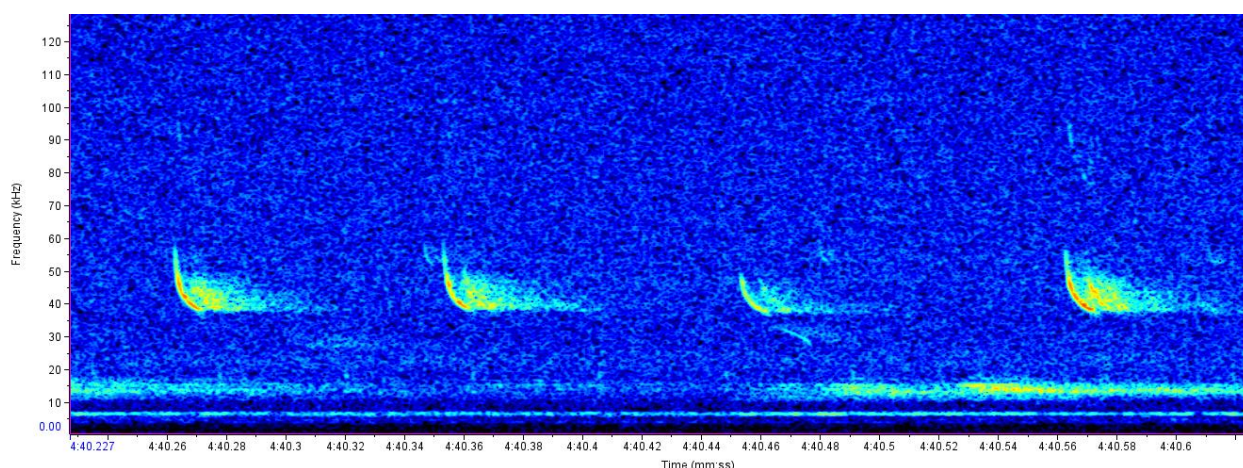


Figura 19: Espectrograma dos pulsos de navegação de *Lasiurus blossevillii*.

Estruturalmente, os pulsos do gênero *Lasiurus* apresentam um ponto de inflexão arredondado no corpo do sinal, dando o aspecto de “bengala invertida” (Figura 20). No caso de *Lasiurus villosissimus*, a identificação é atestada pela estrutura e similaridade dos valores obtidos com os valores diagnósticos da espécie ($F_{\min}$: 20-26 kHz, $F_{\max}$: 28-25 kHz, $FME \approx 25$ kHz, com duração do chamado de até 10 ms). Embora o valor de FME obtido apresente variação em relação a literatura, é justificável pela alta plasticidade da espécie em relação aos ambientes inseridos. Isso reforça a atividade de forrageamento em área aberta, onde os sinais podem sofrer atenuação atmosférica na hora do registro.

Da mesma forma, a confirmação da identificação de *Lasiurus blossevillii* foi atestada seguindo os parâmetros acústicos da espécie ($F_{\min} \approx 40$ [40-45] kHz, $FME \approx 46$ [38-45] kHz,

com duração do chamado variando até 12 ms) disponibilizados pela chave de identificação.

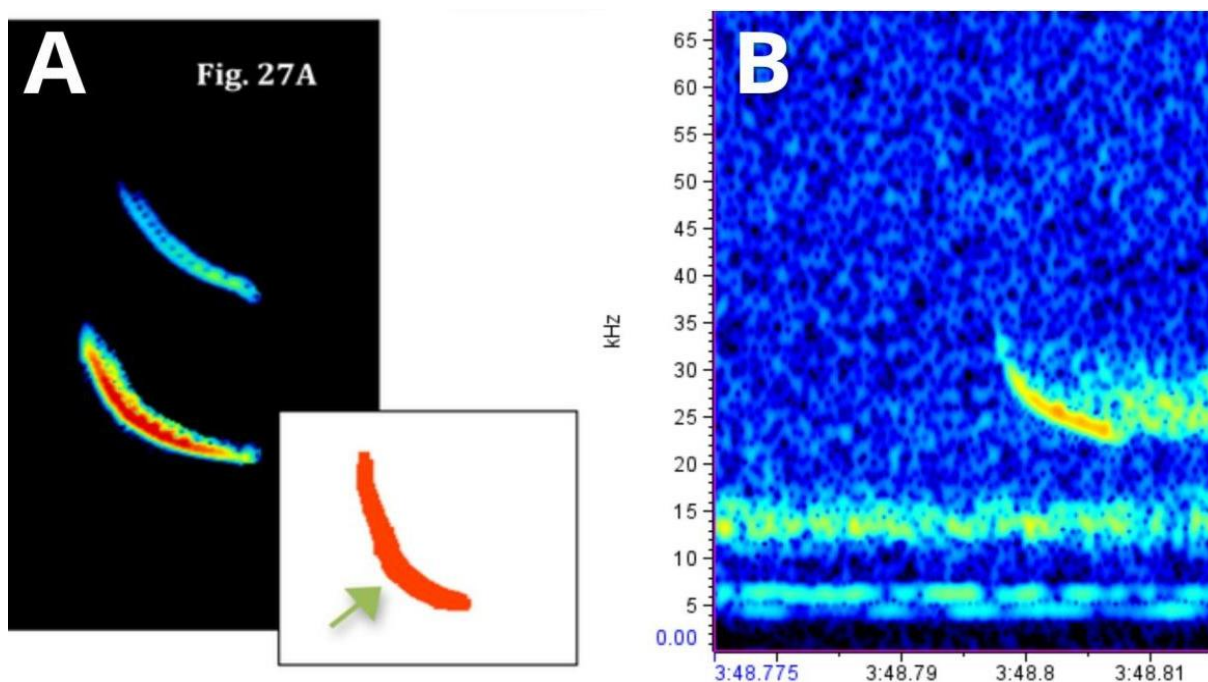


Figura 20: Comparação da estrutura de inflexão arredondada do tipo “bengala invertida”. A) Pulso extraído de Arias-Aguilar *et al.* (2018); B) Pulso extraído do registro obtido em campo no PEXJ.

Registrou-se também a ocorrência de *Eptesicus furinalis* (Figura 21), cujos pulsos foram identificados com base nos parâmetros diagnósticos da chave de identificação ($F_{\min} \approx$ kHz; FME ≈ 39 [37–41] kHz; com duração do chamado variando de 5 a 11 ms) e validados por meio de comparação com o áudio de referência disponibilizado pela SBEQ (Figura 22).

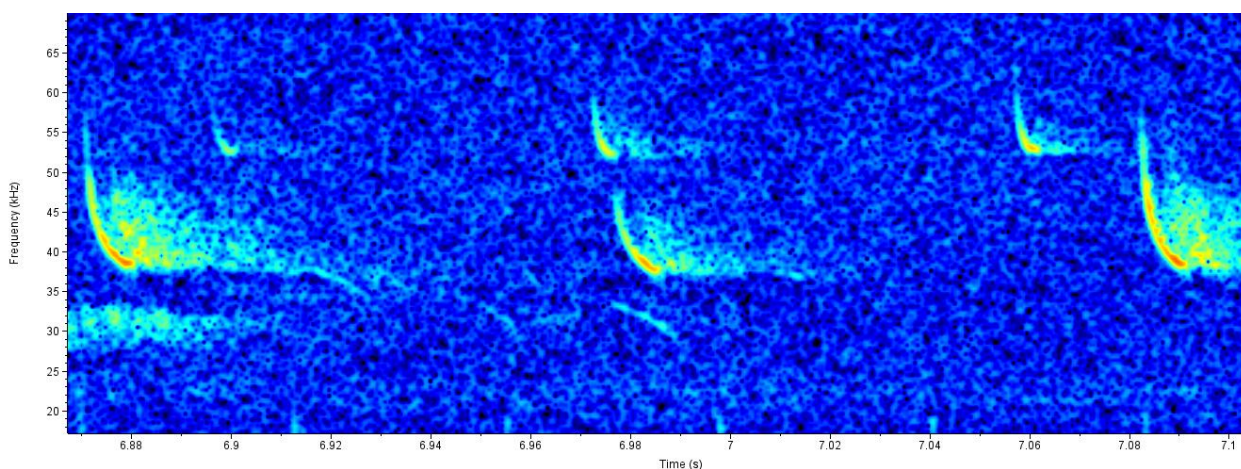


Figura 21: Espectrograma dos pulsos de navegação de *Eptesicus furinalis*.

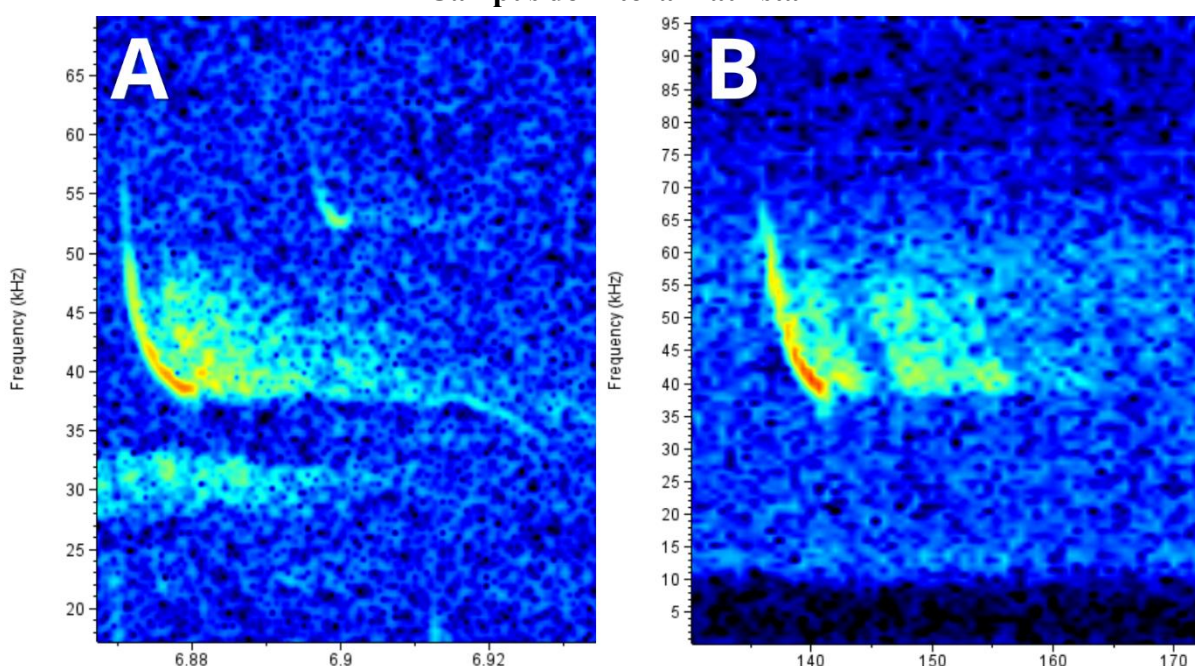


Figura 22: Comparação da estrutura do pulso da espécie *Eptesicus furinalis*. A) Pulso extraído do registro obtido em campo no PEXJ.; B) Pulso extraído do áudio de referência da SBEQ.

Além dos padrões apresentados anteriormente, identificou-se também um padrão de chamado de frequência modulada. Os parâmetros obtidos para esse sonótipo foram: $F_{\min}$ de 16 kHz, $F_{\max}$ de 27 kHz, FME de 16 kHz e duração entre 6 e 7 ms, representando os valores mais baixos observados até o momento. Comparando com o guia de Arias-Aguilar *et al.* (2018), esses parâmetros se aproximam dos descritos para *Histiotus velatus*, cujos valores diagnósticos são $F_{\min} \approx 15$ kHz, $F_{\max} \approx 25$ kHz e duração de 5 a 8 ms, com exceção da FME que, para essa espécie, não está disponível na literatura consultada. Diante da compatibilidade dos dados, classificamos este sonótipo como *Vesp~16* (Figura 23), considerando a hipótese de se tratar de *H. velatus*, até que a identificação possa ser confirmada.

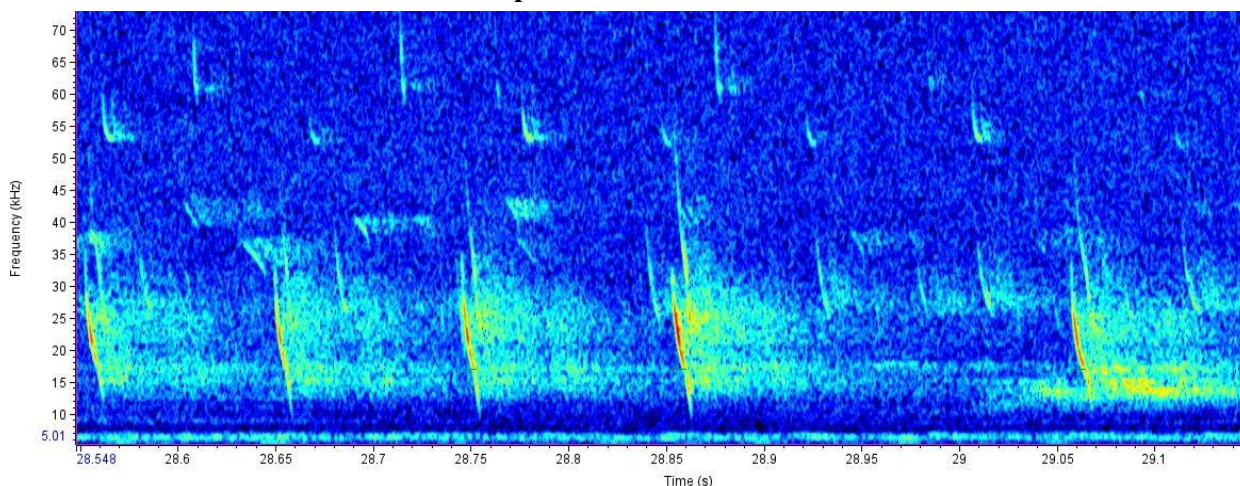


Figura 23: Espectrograma dos pulsos de navegação do sonótipo *Vesp~16*, possivelmente *Histiotus velatus*.

Ainda nos sonótipos de Vespertilionidae, um padrão de chamados foi caracterizado como o sonótipo *Vesp~26* (Figura 24), que apresenta pulsos de frequência modulada com o final qCF e frequências um pouco mais altas que o sonótipo anterior. O padrão estrutural é levemente parecido com o de *Vesp~16*, mas difere dos demais apresentados nas chaves de identificação, com uma aparência semelhante a um arco recurvo. Devido ao padrão estrutural distinto e parâmetros acústicos que não encaixam com nenhuma espécie, foi melhor caracterizá-lo como um sonótipo.

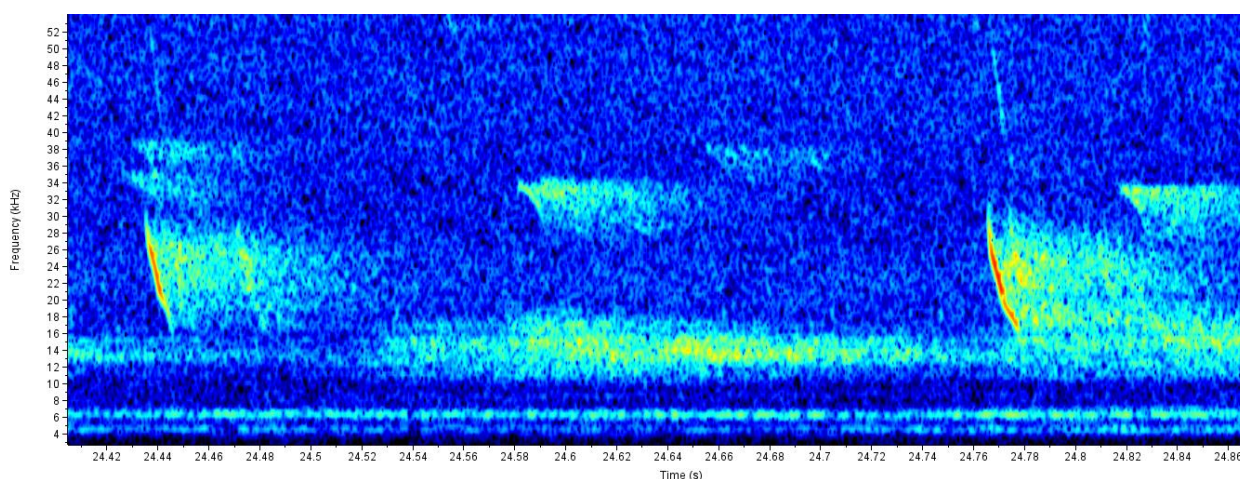


Figura 24: Espectrograma com os pulsos de navegação de *Vesp~26*, onde é possível ver a aparência semelhante a um arco recurvo.

Por fim, registrou-se um padrão de pulso de semelhança estrutural ao gênero *Myotis*,

porém com valores divergentes para o grupo, fundamentando a hipótese taxonômica de *Natalus macrourus* (Figura 25), insetívoro aéreo com ocorrência na Mata Atlântica (Rocha *et al.*, 2013; Delgado-Jaramillo; Barbier; Bernard, 2018; Vargas-Mena *et al.*, 2018). Segundo Arias-Aguilar *et al.* (2018), a espécie é caracterizada por pulsos com terminação qCF reduzida e FME localizada no segundo harmônico, superior à 100 kHz.

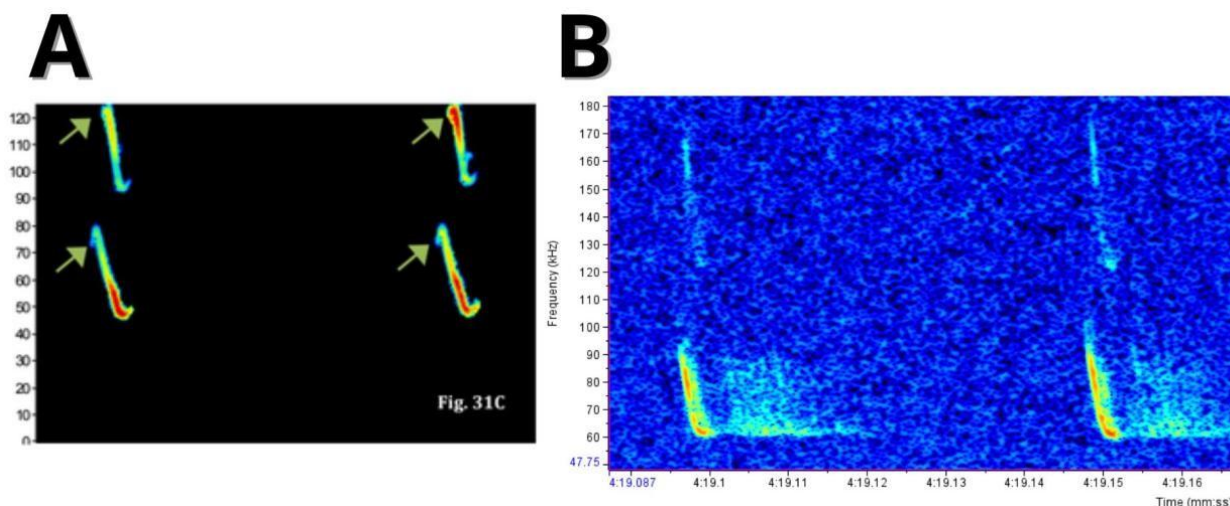


Figura 25: Comparação da estrutura de pulso de *Natalus macrourus*. A) Pulsos extraídos de Arias-Aguilar *et al.* (2018); B) Pulsos extraídos do registro obtido em campo no PEXJ.

Embora a FME registrada de 77 kHz não entre em acordo com o valor descrito para a espécie, a presença de vestígios de um segundo harmônico (Figura 26) e a ausência de compatibilidade com outras espécies mantêm essa identificação como a mais provável, sendo designada como Chiroptera 1 até confirmação posterior.

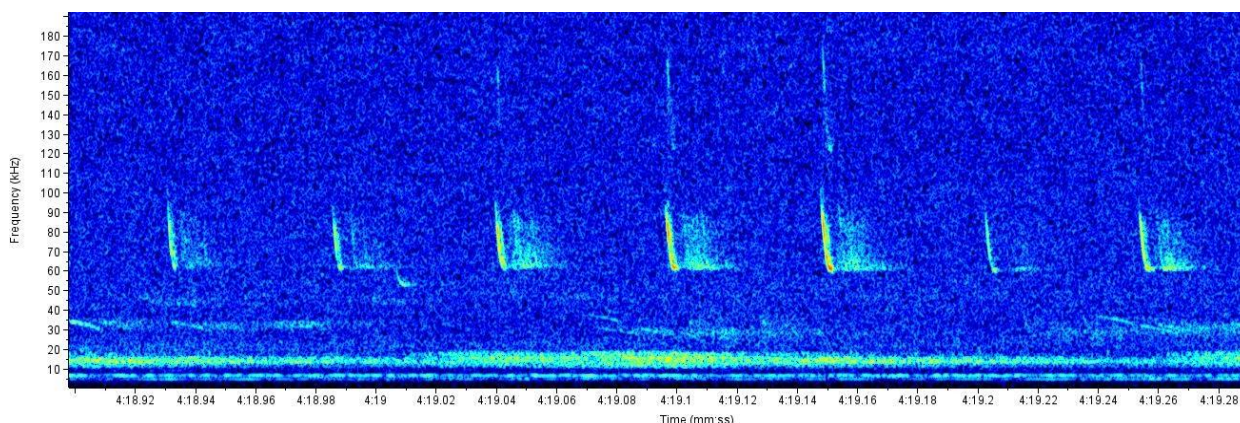


Figura 26: Vestígios de um possível segundo harmônico do sonótipo não identificado Chiroptera 1.

Para facilitar a leitura de todos os valores obtidos dos parâmetros acústicos de todas as espécies e sonótipos do Ponto 1 estão compilados na Tabela 1.

Tabela de Parâmetros Acústicos - Ponto 1 (Pedreira do Curtume)							
Valores expressos em Média $\pm$ Desvio Padrão (Valor mínimo - máximo)							
Sonótipo/ Espécie	Tipo do pulso	Estrutura do pulso	Dur (ms)	LF (kHz)	HF (kHz)	BW (kHz)	FME (kHz)
Chiroptera~77	-	stFM-qCF	2.8 $\pm$ 1.2 (1.5 - 3.7)	61.5 $\pm$ 3.3 (59.1 - 65.3)	85.8 $\pm$ 3.2 (82.9 - 89.2)	24.3 $\pm$ 6.3 (17.5 - 30)	77.3 $\pm$ 0.0 (-)
<i>E. furinalis</i>	-	FM-qCF	6.8 $\pm$ 1.0 (5.5 - 8.5)	38.1 $\pm$ 0.5 (37.1 - 38.8)	45.2 $\pm$ 3.0 (40.3 - 49.1)	7.1 $\pm$ 2.8 (3.2 - 10.9)	38.3 $\pm$ 0.5 (37.5 - 39)
<i>L. blossevillii</i>	-	FM-qCF	7.9 $\pm$ 1.0 (6.6 - 9.5)	38.0 $\pm$ 0.5 (37.4 - 39)	47.3 $\pm$ 2.2 (42.4 - 48.9)	9.3 $\pm$ 2.1 (5 - 11.3)	45.3 $\pm$ 1.3 (42 - 45.8)
<i>L. villosissimus</i>	-	FM-qCF	8.5 $\pm$ 2.2 (2.9 - 15.5)	23.5 $\pm$ 2.4 (18.2 - 27.5)	34.9 $\pm$ 6.8 (25 - 54.7)	11.4 $\pm$ 5.5 (4 - 28.1)	27.5 $\pm$ 5.1 (22.5 - 51)
Molossidae 1	I	FMa-qCF-FMd	10.7 $\pm$ 1.8 (8.6 - 12)	31.6 $\pm$ 1.0 (30.7 - 32.7)	37.5 $\pm$ 0.4 (37.1 - 37.7)	5.9 $\pm$ 0.8 (5.1 - 6.4)	35.6 $\pm$ 0.2 (35.4 - 35.8)
Molossidae 1	II	FMa-qCF-FMd	11.0 $\pm$ 1.2 (9.8 - 12.1)	38.0 $\pm$ 0.8 (37.1 - 38.5)	43.4 $\pm$ 1.6 (41.6 - 44.5)	5.4 $\pm$ 0.8 (4.4 - 6.1)	41.1 $\pm$ 0.8 (40.5 - 41.8)
<i>Molossus</i> spp 1.	I	FMa-qCF-FMd	13.6 $\pm$ 1.7 (7.7 - 18.4)	25.5 $\pm$ 2.2 (21 - 32.6)	32.0 $\pm$ 1.8 (28.6 - 37.7)	6.5 $\pm$ 1.1 (2.8 - 10.6)	28.0 $\pm$ 2.5 (24 - 35.4)
<i>Molossus</i> spp 1.	II	FMa-qCF-FMd	11.2 $\pm$ 1.9 (7 - 14.1)	32.3 $\pm$ 2.6 (26.7 - 36.3)	36.8 $\pm$ 2.1 (33.4 - 41.4)	4.5 $\pm$ 1.6 (1.7 - 8.7)	33.8 $\pm$ 3.1 (27.4 - 37.5)
<i>Molossus</i> spp 1.	III	FMa-qCF-FMd	9.3 $\pm$ 0.0 (-)	32.7 $\pm$ 0.0 (-)	35.8 $\pm$ 0.0 (-)	3.2 $\pm$ 0.0 (-)	34.9 $\pm$ 0.0 (-)
<i>Molossus</i> spp 2.	I	FMa-qCF-FMd	12.5 $\pm$ 1.9 (7.6 - 15.9)	28.5 $\pm$ 3.0 (24 - 37.1)	34.5 $\pm$ 2.1 (30.9 - 41.5)	5.8 $\pm$ 1.3 (3.1 - 8.5)	32.8 $\pm$ 2.1 (26.3 - 37.5)
<i>Molossus</i> spp 2.	II	FMa-qCF-FMd	9.6 $\pm$ 1.0 (8 - 10.9)	33.9 $\pm$ 0.8 (33 - 35.1)	38.1 $\pm$ 0.8 (37.2 - 39.3)	4.2 $\pm$ 0.6 (3.4 - 4.9)	36.3 $\pm$ 2.4 (33.4 - 38.4)
<i>Molossus</i> spp 2.	III	FMa-qCF-FMd	9.9 $\pm$ 0.0 (-)	34.5 $\pm$ 0.0 (-)	39.1 $\pm$ 0.0 (-)	4.6 $\pm$ 0.0 (-)	35.4 $\pm$ 0.0 (-)
<i>Myotis</i> ~63	-	FM-qCF	3.6 $\pm$ 1.3 (1.9 - 6.2)	58.0 $\pm$ 0.9 (56.5 - 60.3)	72.7 $\pm$ 13.3 (59.7 - 96.8)	14.7 $\pm$ 13.5 (1.9 - 39.8)	62.1 $\pm$ 1.7 (56.6 - 64.1)
<i>M. lavalii</i>	-	FM-qCF	4.1 $\pm$ 0.9 (1.3 - 6.1)	51.8 $\pm$ 0.5 (50.3 - 52.8)	56.3 $\pm$ 1.6 (53.6 - 60.4)	4.5 $\pm$ 1.9 (1.5 - 9.7)	53.3 $\pm$ 1.9 (51 - 58.7)
<i>M. riparius</i>	-	FM-qCF	3.7 $\pm$ 0.9 (1.3 - 5)	57.9 $\pm$ 1.1 (55.9 - 61.1)	90.3 $\pm$ 8.5 (62.5 - 100.6)	32.4 $\pm$ 8.8 (5 - 43.3)	61.7 $\pm$ 0.7 (58.3 - 62.3)
<i>T. brasiliensis</i>	-	(FMu)qCF	10.9 $\pm$ 1.0 (9.8 - 12.8)	22.1 $\pm$ 0.8 (20.9 - 23.7)	30.5 $\pm$ 3.9 (27.3 - 37.9)	8.5 $\pm$ 3.5 (5.2 - 15.9)	26.3 $\pm$ 0.0 (-)
<i>Vesp</i> ~16	-	FM-qCF	6.8 $\pm$ 0.1 (6.7 - 6.9)	16.6 $\pm$ 0.2 (16.4 - 16.8)	27.7 $\pm$ 0.9 (26.7 - 28.4)	11.1 $\pm$ 1.0 (10 - 11.7)	16.9 $\pm$ 0.0 (-)
<i>Vesp</i> ~26	-	FM-qCF	9.1 $\pm$ 2.7 (4.9 - 12.5)	17.5 $\pm$ 1.8 (16 - 20.8)	28.4 $\pm$ 1.6 (26.7 - 31.3)	10.9 $\pm$ 2.6 (7.4 - 14.7)	26.3 $\pm$ 0.0 (-)

Tabela 1: Parâmetros acústicos (Dur = duração do pulso, LF = frequência mínima, HF = frequência máxima, BW = largura de banda, FME = frequência de máxima energia) obtidos no Ponto 1.

Ao longo do período analisado para o Ponto 1, observou-se a predominância do sonótipo *Molossus* spp. 1, que concentrou o maior número de seleções de pulsos registradas

no software Raven Pro. *Lasiurus villosissimus*, *Myotis laval*i e *Molossus* spp. 2 também apresentaram elevado número de seleções, com valores semelhantes entre as duas primeiras espécies. Em contraste, os demais sonótipos e espécies foram selecionados com menor frequência (Figura 27).

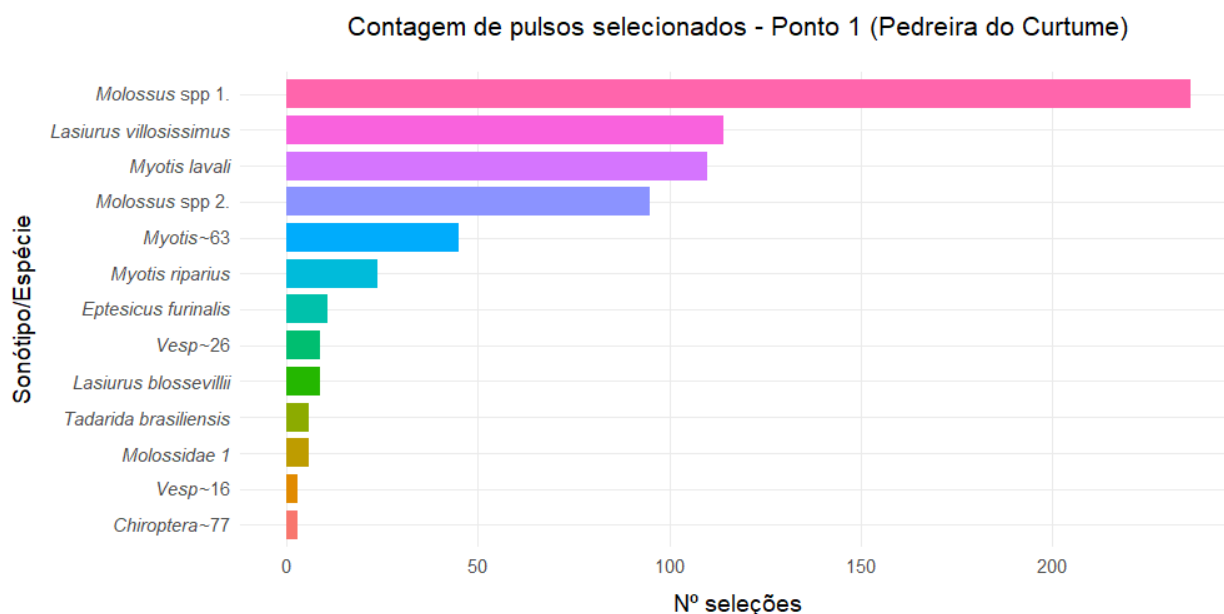


Figura 27: Número de seleções de pulsos registrados para cada sonótipo e espécie no Ponto 1 (Pedreira do Curtume).

Além dos sinais de ecolocalização obtidos no Ponto 1, também foi observado a presença de sinais de socialização intercalados entre os chamados. A identificação desses sinais é fundamental para a compreensão da comunicação e interações intraespecíficas dos quirópteros. A ampliação dessa base de dados de socialização permite estudos futuros visando decifrar os significados de cada emissão. A repetição de certos padrões sugere significado específico no repertório de comunicação das espécies (Figura 28).

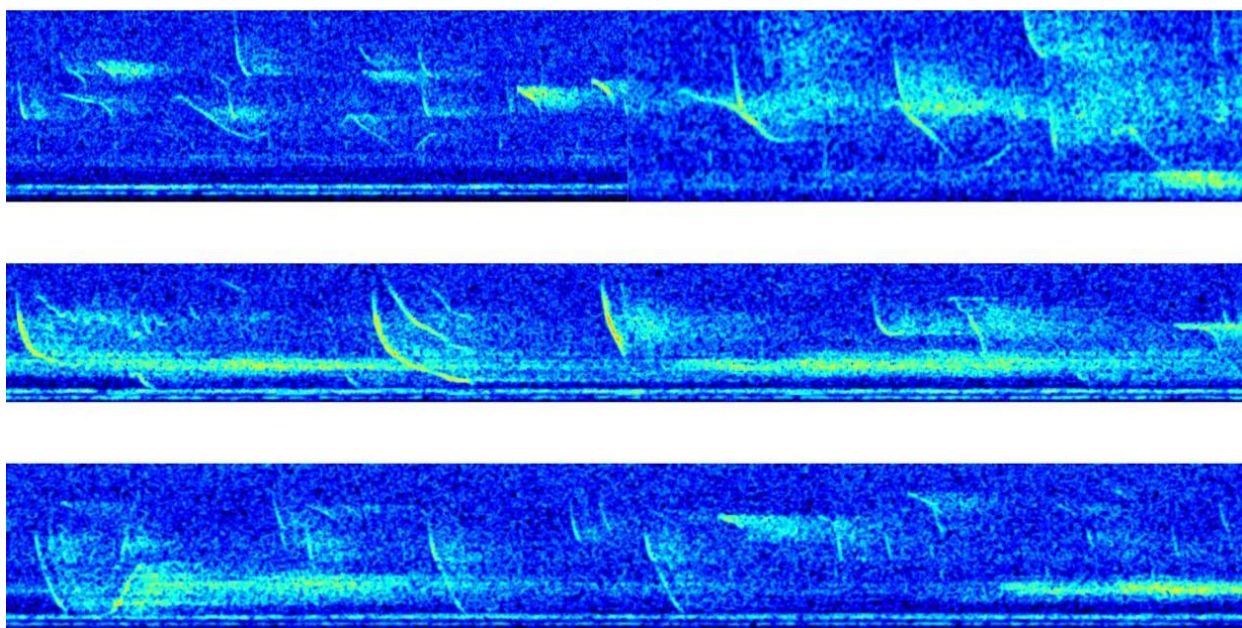


Figura 28: Sinais de socialização encontrados nos arquivos analisados do ponto 1.

No Ponto 4 (Praia de Paranapuã), foram analisados 13 arquivos de 5 minutos, segmentados em janelas de 15 segundos, dos horários das 18h35 às 19h46. Da mesma forma que no Ponto 1, para garantir a qualidade analítica nos resultados, os pulsos selecionados foram majoritariamente aqueles que apresentavam maior energia espectral. Estes foram validados pela conferência manual do SNR, que, como explicado anteriormente, apresentava diferença de 30 a 40 dB em relação ao ruído de fundo, mesmo quando os valores apresentados automaticamente pelo software eram de 9 a 11 dB.

Já no horário inicial, identificou-se um padrão de chamado composto por dois tipos de pulsos de ecolocalização de estrutura FM_u - qCF_d , características típicas da família Molossidae e mais especificamente, do gênero *Molossus*. Assim como os sonótipos de *Molossus* do Ponto 1, os valores obtidos aproximam-se muito das espécies *M. rufus* e *M. currentium*. Todavia, como ambas são incluídas no complexo *Molossus* II, optou-se por atribuir esse padrão ao nosso sonótipo *Molossus* spp 1, onde os valores coincidem.

Além desse padrão, registrou-se um segundo chamado, também com estrutura FM_u - qCF_d , mas com morfologia diferente do primeiro observado (Figura 29). Embora pertença ao gênero *Molossus*, os valores desse segundo se aproximam mais dos valores assimilados ao sonótipo *Molossus* spp 2. De forma similar ao processo adotado com *Myotis riparius*,

utilizou-se o áudio disponível na Morcegoteca do complexo *Molossus* II para ajudar na identificação.

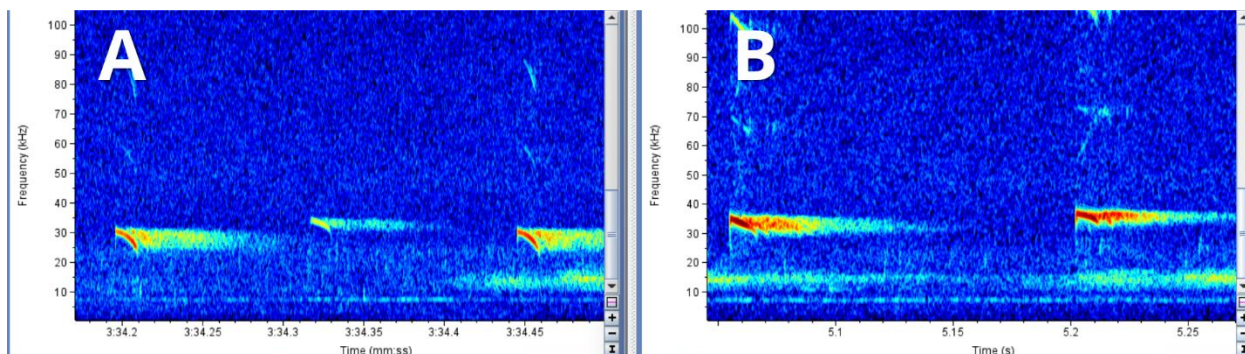


Figura 29: Diferenças na morfologia do pulso de A) *Molossus* spp 1. e B) *Molossus* spp 2.

Os padrão descritos anteriormente foram observados repetidamente das 18h35 às 19h21, de forma isolada, sem detecção de outras espécies nesse intervalo, e com alta frequência de *feeding-buzzes* atribuídos aos sonótipos (Figura 30), indicando alta atividade de forrageamento no Ponto 4. Isso pode ser explicado pela localização do ponto, situado entre a ponta do costão da Praia de Paranapuã e a desembocadura de um rio assoreado. Esse sistema ecótono somado à proximidade com as residências da comunidade indígena do setor Japuú, onde a iluminação artificial proveniente dessas casas pode favorecer a abundância de insetos, cria uma zona de alimentação com mais disponibilidade de recursos, tornando-a mais atrativa para os morcegos. Além da localização, Garcez Militão (2017) explica que esse padrão de atividade concentrado na primeira hora crepuscular pode ser explicado pela sincronização entre o despertar dos morcegos e o pico de abundância de suas presas, como um reflexo de estratégia de forrageamento.

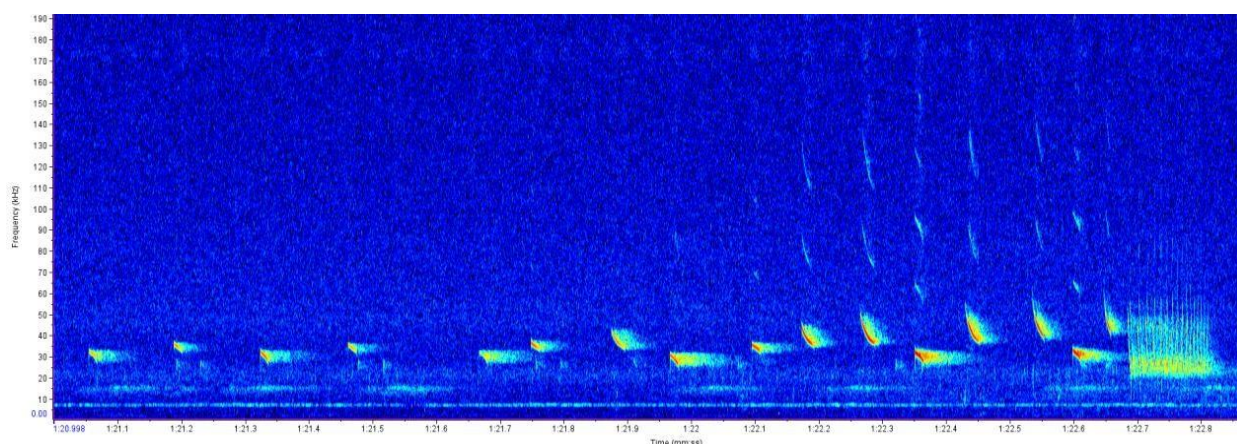


Figura 30: Espectrograma com pulsos de navegação, *approach* e *feeding-buzz* de *Molossus* spp 1.

No registro das 18h45, em especial, observou-se um novo *feeding-buzz* completo seguido de uma tentativa subsequente, evidenciada por uma fase de *approach* não finalizada. Em um intervalo inferior a 12 segundos, registrou-se ainda um terceiro *feeding-buzz* (Figura 31).

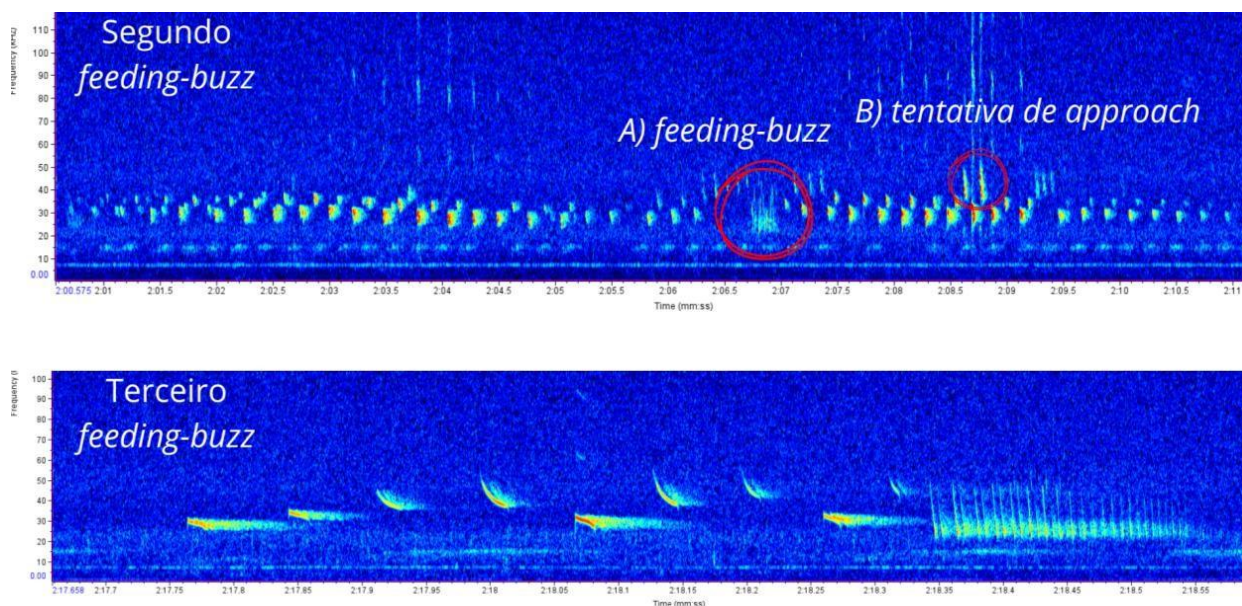


Figura 31: *Feeding-buzzes* de *Molossus* spp 1.

Como mencionado anteriormente, *Myotis nigricans* já havia sido registrada no plano de manejo do PEXJ, por meio de captura na Trilha I (Setor Japuí), na extremidade da Praia de Paranapuã. *Myotis nigricans* foi a terceira espécie a ser detectada no ponto de amostragem associado à praia, às 19h21. Os pulsos diagnósticos para essa espécie apresentam estrutura FM de banda larga com terminação qCF, duração de até 7 ms e um oscilograma com formato oval ou triangular. Os valores obtidos são confirmados com os valores de referência ($F_{\min}$: 50-55 kHz; FME: 52-55 kHz) dos guias utilizados.

Foram registrados ainda dois *feeding-buzzes* durante o intervalo de 15s: o primeiro ocorreu de forma simultânea ao chamado principal, sugerindo um segundo indivíduo mais distante, dada a baixa intensidade dos pulsos no espectrograma (Figura 32); já o segundo seguiu o chamado principal e mais intenso (Figura 33). Além disso, foi registrada a presença de *Molossus* spp. 1 com atividade reduzida em relação aos períodos anteriores, tornando-se

novamente a única detecção nos horários finais.

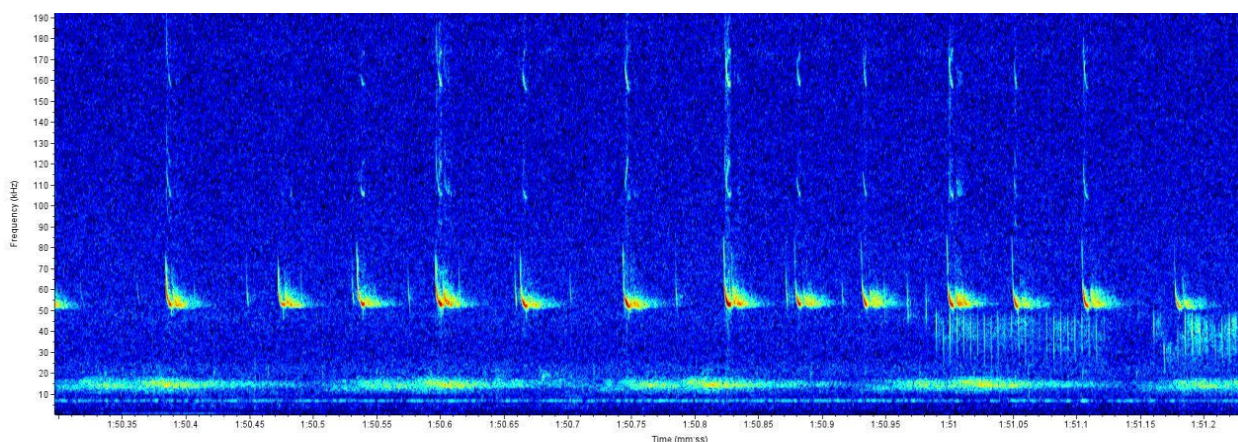


Figura 32: Feeding-buzz simultâneo ao chamado de maior intensidade no espectrograma.

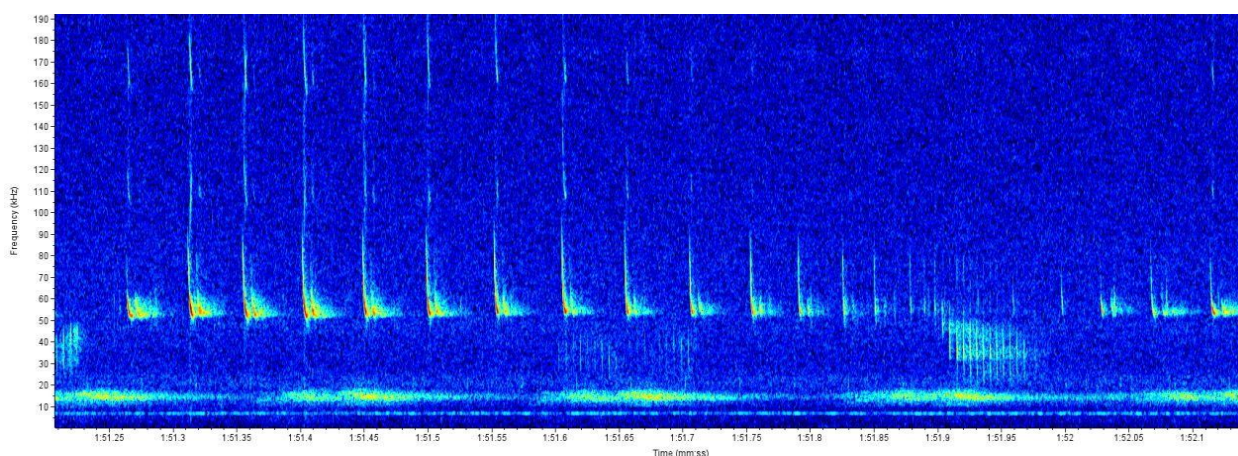


Figura 33: Feeding-buzz do chamado principal, mais intenso de *Myotis nigricans*.

Fora do intervalo amostral analisado, identificou-se *Noctilio leporinus* (Figura 34), sendo a primeira espécie detectada na triagem inicial dos arquivos. Essa espécie tem características muito específicas de estrutura (qCF-FM ou CF-FM) e frequência de emissão, o que facilitou o reconhecimento imediato durante as análises.

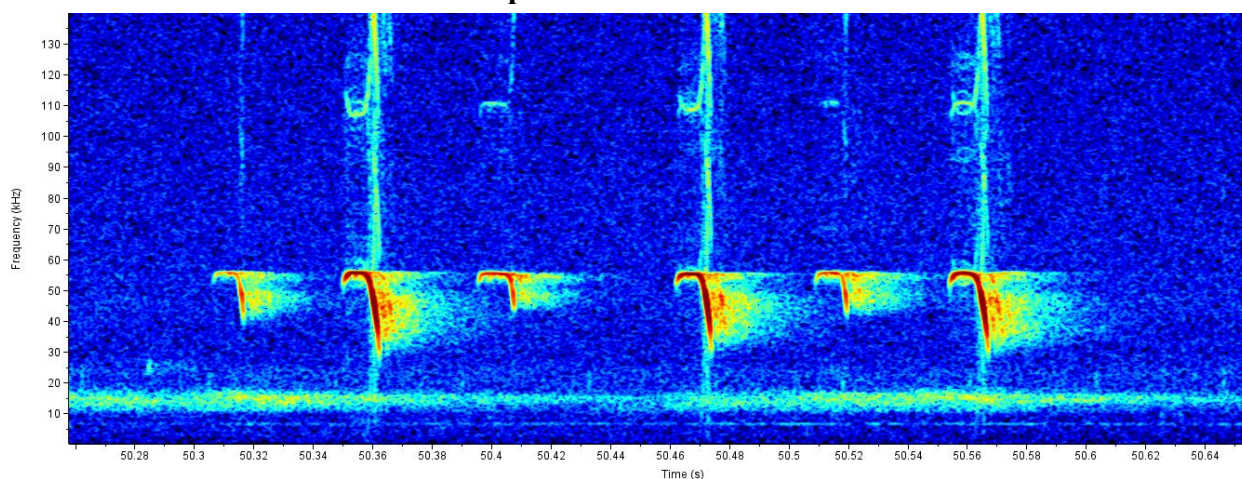


Figura 34: Espectrograma dos pulsos de navegação de *Noctilio leporinus*.

Para facilitar a leitura de todos os valores obtidos nos arquivos analisados do Ponto 4, os parâmetros acústicos de todas as espécies e sonótipos neste local foram compilados na Tabela 2.

Tabela de Parâmetros Acústicos - Ponto 4 (Praia de Paranapuã)							
Valores expressos em Média $\pm$ Desvio Padrão (Valor mínimo - máximo)							
Sonótipo/Espécie	Tipo do pulso	Estrutura do pulso	Dur (ms)	LF (kHz)	HF (kHz)	BW (kHz)	FME (kHz)
<i>Molossus</i> spp 1.	I	FMa-qCF-FMd	13.3 $\pm$ 1.9 (8.5 - 18.8)	25.6 $\pm$ 2.1 (21 - 32.1)	33.0 $\pm$ 1.6 (29.3 - 39.1)	7.4 $\pm$ 1.4 (3.7 - 10.9)	27.7 $\pm$ 2.7 (22.5 - 37.1)
<i>Molossus</i> spp 1.	II	FMa-qCF-FMd	12.7 $\pm$ 1.9 (7.2 - 17.3)	31.9 $\pm$ 1.5 (28.7 - 35.2)	37.8 $\pm$ 1.6 (34.5 - 41.9)	5.9 $\pm$ 1.1 (3 - 8.8)	34.9 $\pm$ 2.7 (29.6 - 39.9)
<i>Molossus</i> spp 2.	I	FMa-qCF-FMd	13.4 $\pm$ 1.5 (10.2 - 16)	25.6 $\pm$ 1.4 (22.8 - 29.3)	33.2 $\pm$ 1.1 (31.9 - 36.5)	7.6 $\pm$ 0.6 (6.9 - 9)	30.7 $\pm$ 3.2 (23.8 - 32.8)
<i>Molossus</i> spp 2.	II	FMa-qCF-FMd	13.3 $\pm$ 1.3 (10.2 - 15.1)	31.0 $\pm$ 0.7 (29.8 - 32.4)	36.7 $\pm$ 0.8 (35.5 - 38.4)	5.7 $\pm$ 0.7 (4.1 - 7.1)	34.5 $\pm$ 2.2 (32.8 - 37.9)
<i>Myotis nigricans</i>	-	FM-qCF	4.8 $\pm$ 0.9 (3.5 - 6.8)	51.0 $\pm$ 0.6 (50.2 - 52.2)	71.3 $\pm$ 8.7 (59.5 - 85.1)	20.4 $\pm$ 8.4 (9.1 - 34.7)	54.4 $\pm$ 0.0 (-)
<i>Noctilio leporinus</i>	-	qCF-FM ou CF-FM	12.0 $\pm$ 1.3 (9.8 - 13.5)	37.4 $\pm$ 6.7 (28 - 44.4)	56.7 $\pm$ 0.3 (56.3 - 57.1)	19.3 $\pm$ 6.8 (11.9 - 29)	55.3 $\pm$ 0.2 (55.1 - 55.5)

Tabela 2: Parâmetros acústicos (Dur = duração do pulso, LF = frequência mínima, HF = frequência máxima, BW = largura de banda, FME = frequência de máxima energia) obtidos no Ponto 4.

Em contraste com a maior riqueza de táxons no Ponto 1, o Ponto 4 apresentou um total de apenas quatro táxons (sonótipos/espécies). Dentro deles, observou-se predominância do sonótipo *Molossus* spp 1., que concentrou o maior número de seleções de pulsos registradas, assim como nos resultados do Ponto 1 (Figura 35).

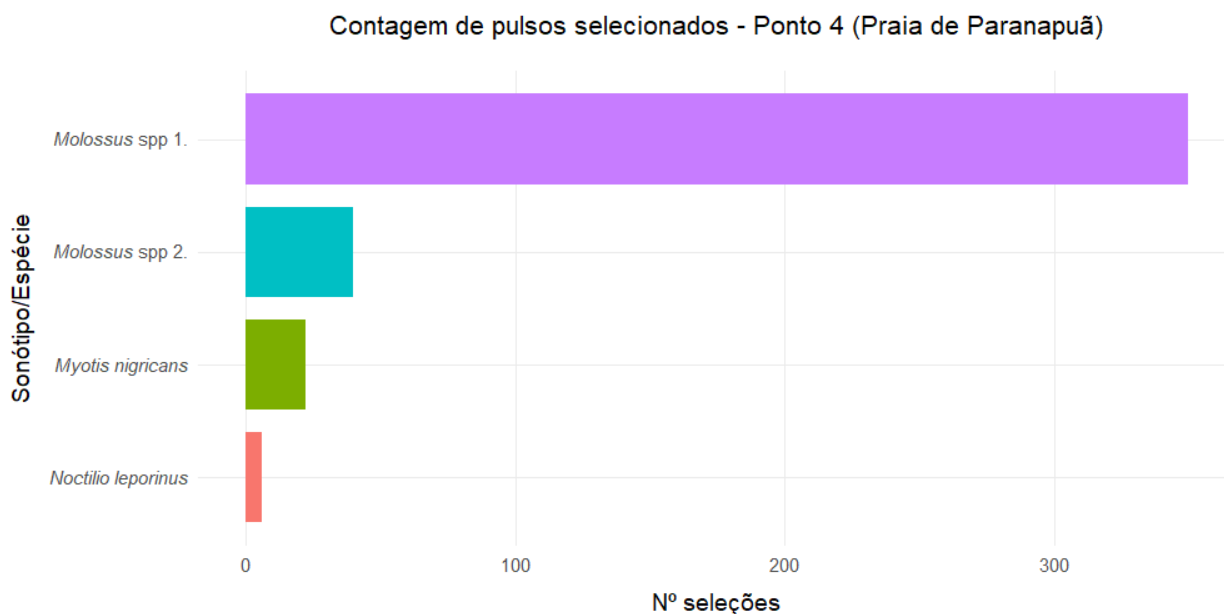


Figura 35: Número de seleções de pulsos registrados para cada sonótipo e espécie no Ponto 4 (Praia de Paranapuã).

As identificações na Pedreira e na Praia de Paranapuã reiteram a relevância do PAM para revelar espécies de difícil captura por métodos tradicionais, como as redes de neblina (Flaquer; Torre; Arrizabalaga, 2007; Ferreira *et al.*, 2021). Enquanto o inventário do PEXJ (2010) registrou apenas uma espécie insetívora (*Myotis nigricans*) e quatro filostomídeos, o presente levantamento expandiu significativamente esse número, detectando molossídeos e um vespertilionídeo, *Myotis lavalii*, *Myotis riparius*, *Myotis nigricans*, *Lasiurus villosissimus*, *Lasiurus blossevillii*, *Eptesicus furinalis*, *Tadarida brasiliensis*, *Noctilio leporinus* e possíveis registros de *Myotis ruber*, *Histiotus velatus* e *Natalus macrourus*.

Esse contraste evidencia a seletividade das redes de neblina e também do monitoramento acústico passivo. Embora as redes de neblina permitam a identificação taxonômica precisa e a obtenção de diversos dados complementares (Flaquer; Torre; Arrizabalaga, 2007), favorecem a captura de filostomídeos, devido ao voo em baixa altura e ao uso de pistas sensoriais multimodais (Barnett *et al.*, 2006; Mac Swiney González; Clarke; Racey, 2008; Appel *et al.*, 2022; Mancini *et al.*, 2024; Gessinger, 2025).

Em contrapartida, o PAM supera as limitações logísticas das redes - que exigem dedicação integral e elevam custos operacionais se feitos em larga escala (Murray *et al.*, 1999; Appel *et al.*, 2022) - ao permitir amostragens automatizadas e simultâneas em múltiplos

pontos, essenciais em biomas complexos como a Mata Atlântica. Contudo, a bioacústica demanda análise especializada e apresenta dificuldades na distinção de espécies crípticas (Roemer *et al.*, 2025), além de mostrar também um viés amostral taxonômico, uma vez que é mais eficaz para o registro de espécies insetívoras aéreas. Portanto, a integração entre capturas físicas e monitoramento acústico é a estratégia mais eficaz para o refinamento de planos de manejo em Unidades de Conservação.

Por fim, destaca-se o registro visual feito por um monitor ambiental no Ponto 1, em dezembro, registrando um espécime da família Molossidae (Anexo A). Embora externo à metodologia do trabalho, é um registro relevante, já que preenche a lacuna desta família no Plano de Manejo. Apesar das limitações na qualidade do vídeo para o diagnóstico taxonômico específico, os dados dos pontos 1 e 4 confirmam a presença do grupo no Parque, corroborando o registro visual e fortalecendo os objetivos do trabalho.

5. CONCLUSÃO:

Os resultados deste estudo demonstram que a bioacústica é uma ferramenta indispensável para o inventário da quiropterofauna no Parque Estadual Xixová-Japuí (PEXJ). A aplicação do PAM não apenas ampliou significativamente o número de espécies registradas, como também preencheu lacunas históricas deixadas pelos métodos de captura tradicionais. Ao revelar a presença de espécies antes "invisíveis", esta metodologia fornece subsídios robustos para a elaboração de novos protocolos de conservação voltados aos morcegos insetívoros aéreos.

A relevância da inclusão desses animais em programas de monitoramento é corroborada pelos serviços ecossistêmicos vitais que desempenham, como a dispersão de sementes em áreas de restauração, a polinização da flora nativa e o controle de populações de insetos, beneficiando tanto a integridade do PEXJ quanto as áreas urbanas circundantes. A detecção dessa diversidade reforça que, apesar da fragmentação florestal imposta pela urbanização de São Vicente e Praia Grande, a paisagem do Parque ainda sustenta nichos ecológicos complexos e funcionais. Nesse sentido, o monitoramento acústico atua como um indicador sensível das respostas da fauna a estressores antrópicos e mudanças ambientais, consolidando o PEXJ como um refúgio ecológico estratégico na Mata Atlântica do Litoral Paulista.

Diante do exposto, recomenda-se que o monitoramento acústico passivo seja integrado formalmente ao Programa de Monitoramento de Biodiversidade (MonitoraBio) da Fundação Florestal. Arquivos audiovisuais são de extrema importância já que guardam a história natural, contendo informações precisas que podem ser utilizadas tanto em estudos comportamentais quanto no diagnóstico de espécies que podem se deteriorar com o tempo (Toledo; Tipp; Márquez, 2015; Dena *et al.*, 2018). A Fonoteca de Carajás (Trevelin *et al.*, 2025), lançada em 2025, utiliza o monitoramento acústico passivo para ampliar o conhecimento e entendimento sobre a fauna cavernícola da Floresta Nacional de Carajás (FLONA de Carajás), avaliando como a diversidade local responde às condições e mudanças ambientais e intervenções humanas. Na mesma região, o estudo de Gomes & Bernard (2025) demonstra como a mineração é uma atividade de alto impacto e potencialmente destrutiva para a biodiversidade local. A partir desses dois estudos e seus acervos de dados, é possível propor ações de conservação em áreas de interesse econômico e extrativista, identificando as espécies locais, com destaque aquelas que podem ser vulneráveis ao risco de extinção e cuja preservação deve ser assegurada.

Além de enriquecer os dados sobre quirópteros, essa tecnologia pode ser estendida a outros grupos taxonômicos, como aves e anfíbios, a exemplo do que já ocorre no MonitoraBio com a utilização do PAM no monitoramento de avifauna, integrado com dois métodos complementares: os pontos de escuta (observação auditiva direta em campo) e armadilhas fotográficas - método aplicado originalmente no monitoramento de mamíferos (Fundação Florestal, [S.d.]). Diante disso, a integração do monitoramento acústico passivo ao Programa apresenta alta viabilidade, considerando que a metodologia e a infraestrutura já estão em uso.

Por fim, a estruturação de uma biblioteca de sons do Parque representa um avanço estratégico para a conservação e educação ambiental, aproximando a comunidade científica e o público geral da fauna local e fortalecendo a conscientização sobre o papel essencial dos morcegos no equilíbrio dos ecossistemas.

6. REFERÊNCIAS:

ABREU, Marcella De Assis Araújo; TAVARES, Valeria Da Cunha; MORAS, Ligiane Martins. Bat diversity from an area of coastal Atlantic Forest in southeastern Brazil. **Check List**, v. 17, n. 6, p. 1731–1743, 16 dez. 2021.

ABREU, Edson F. *et al.* **Lista de Mamíferos do Brasil**. Zenodo, 31 dez. 2025. Disponível em: <<https://zenodo.org/records/18378485>>. Acesso em: 5 fev. 2026

ARÉVALO-CORTÉS, Johana *et al.* Description of the echolocation pulses of insectivorous bats with new records for Southwest Colombia. **Mammal Research**, v. 69, n. 2, p. 231–244, 1 abr. 2024.

ARIAS-AGUILAR, Adriana *et al.* Who’s calling? Acoustic identification of Brazilian bats. **Mammal Research**, v. 63, p. 231-253, 2018.

ARIAS-AGUILAR, Adriana *et al.* **Illustrated identification key to the calls of Brazilian bats**. 24 abr. 2018.

APPEL, Giulliana *et al.* Using active and passive methods to monitor cave-dwelling bats in Amazonian caves. **Biodiversity and Conservation**, 11 out. 2025.

Appel, G.; Pathek, D.B.; Di Ponzio, R., Colombo, G.T.; López-Baucells, A.; Bobrowiec, P.E.D. 2016. MORCEGOTECA: biblioteca virtual de ultrassons de morcegos. CENBAM, PDBFF, Manaus, Amazonas, Brasil.

APPEL, Giulliana *et al.* Use of Complementary Methods to Sample Bats in the Amazon. **Acta Chiropterologica**, v. 23, n. 2, 14 fev. 2022.

BARATAUD, Michel *et al.* Identification et écologie acoustique des chiroptères de Guyane Française. **Le Rhinolophe**, v. 19, p. 103–145, 1 jan. 2013.

BARNETT, Adrian *et al.* Bats of Jaú National Park, central Amazônia, Brazil. **Acta Chiropterologica**, v. 8, p. 103–128, 1 abr. 2006.

BARROS, Larissa Suassuna Carvalho; LEUZINGER, Marcia Dieguez. Planos de Manejo: Panorama, Desafios e Perspectivas. **Cadernos do Programa de Pós-Graduação em Direito – PPGDir./UFRGS**, v. 13, n. 2, 2018.

BERNARD, Enrico; AGUIAR, Ludmilla MS; MACHADO, Ricardo B. Discovering the Brazilian bat fauna: a task for two centuries?. **Mammal Review**, v. 41, n. 1, p. 23-39, 2011.

BÔLLA, Daniela *et al.* Na escuridão da Floresta Amazônica, lá estão os Morcegos da BR-319. 2023. ISBN: 978-65-00-79362-8

BRASIL. Lei 9985, de 18 de julho de 2000. **Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências**. Brasília: Diário Oficial da União. 2000.

BROWNING, Ella *et al.* Passive acoustic monitoring in ecology and conservation. 2017.

DA COSTA, Cíntia Fernanda; RAMOS PEREIRA, Maria João. Aerial insectivorous bats in the Brazilian-Uruguayan savanna: Modelling the occupancy through acoustic detection. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 10, 29 set. 2022.

DELGADO-JARAMILLO, Mariana; BARBIER, Eder; BERNARD, Enrico. New records, potential distribution, and conservation of the Near Threatened cave bat *Natalus macrourus* in Brazil. **Oryx**, v. 52, n. 3, p. 579–586, jul. 2018.

DENA, Simone *et al.* Lessons from recordings lost in Brazil fire: deposit and back up. **Nature**, v. 563, n. 7732, p. 473–473, 21 nov. 2018.

DÍAZ, M. Mónica *et al.* *Lasiurus villosissimus* (Chiroptera: Vespertilionidae). **Mammalian Species**, v. 55, n. 1029, p. sead004, 27 jun. 2023.

DO AMARAL, K. B. *et al.* **Modelos de distribuição de morcegos nos biomas brasileiros**. [S.l.]: Sociedade Brasileira para o Estudo de Quirópteros, 2023. Disponível em: <<https://www.sbeq.net/modelagem>>.

EKLÖF, Johan; RYDELL, Jens. **Bats: In a World of Echoes**. Springer, 2018.

ESBÉRARD, Carlos EL. Diversidade de morcegos em área de Mata Atlântica regenerada no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zoociências**, v. 5, n. 2, 2003.

FLAQUER, Carles; TORRE, Ignacio; ARRIZABALAGA, Antoni. Comparison of Sampling Methods for Inventory of Bat Communities. **Journal of Mammalogy**, v. 88, n. 2, p. 526–533, 20 abr. 2007.

FERREIRA, Diogo F. *et al.* Are bat mist nets ideal for capturing bats? From ultrathin to bird nets, a field test. **Journal of Mammalogy**, v. 102, n. 6, p. 1627–1634, 1 dez. 2021.

FENTON, M. Brock; SIMMONS, Nancy B. **Bats: A World of Science and Mystery**. Chicago, IL: University of Chicago Press, 2015.

FENTON, Brock *et al.* The diet of bats from Southeastern Brazil: the relation to echolocation and foraging behaviour. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 16, p. 1081–1085, 1 jan. 1999.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. **Programa de Monitoramento da Biodiversidade**. Disponível em: <<https://fflorestal.sp.gov.br/programa-de-monitoramento-da-biodiversidade/>>

FUNDAÇÃO FLORESTAL. **Plano de Manejo – PE Xixová-Japui**. Fundação Florestal, abr.

2010. Disponível em: <<https://fflorestal.sp.gov.br/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-concluidos/plano-de-manejo-pe-xixova-japui/>>

GARBINO, Guilherme S. T. *et al.* Updated checklist of bats (Mammalia: Chiroptera) from Brazil. **Zoologia (Curitiba)**, v. 41, p. e23073, 2024.

GARCEZ MILITÃO, Elba Sancho. **Padrão de atividade temporal de morcegos insetívoros no Cerrado**. Master—[S.l.]: Universidade de Brasília, 2017.

GESSINGER, Gloria. On the sensory ecology of phyllostomid bats. 2025.

GOODWIN, George Gilbert; GREENHALL, Arthur Merwin. A review of the bats of Trinidad and Tobago: descriptions, rabies infection, and ecology. 1961.

GOMES, Lidiane; BERNARD, Enrico. Listening to the bats of Carajás: Bioacoustics in a mosaic of forests, savannas, and industrial mining in the Brazilian Amazonia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 97, 11 ago. 2025.

GONZÁLEZ, Jorge Galindo. Dispersión de semillas por murciélagos: su importancia en la conservación y regeneración del bosque tropical. **Acta Zoológica Mexicana (ns)**, n. 73, p. 57-74, 1998.

GOULD, Edwin. Echolocation and communication in bats. **Fondren Science Series**, v. 1, n. 11, p. 9, 1970.

HASSLER, Márcio Luís. A importância das Unidades de Conservação no Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 17, n. 33, 2005.

HILL, Andrew P. *et al.* AudioMoth: A low-cost acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. **HardwareX**, v. 6, p. e00073, 2019

HINTZE, Frederico *et al.* Uma nota de precaução sobre a identificação automática de chamados de ecolocalização de morcegos no Brasil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Mastozoologia**, v. 77, p. 163–171, 1 dez. 2016.

JONES, Gareth; TEELING, Emma C. The evolution of echolocation in bats. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 21, n. 3, p. 149-156, 2006.

JONES, Gareth; SIEMERS, Björn M. The communicative potential of bat echolocation pulses. **Journal of Comparative Physiology A**, v. 197, n. 5, p. 447–457, 1 maio 2011.

LOPEZ-BAUCELLS, Adria *et al.* Field guide to Amazonian bats. 2016.

MANCINI, Matheus Camargo Silva *et al.* Better together: integrating mist-nets and bioacoustics reveals large-scale native vegetation as a key predictor of bat community

conservation in a fragmented landscape. **Biodiversity and Conservation**, v. 33, n. 4, p. 1503–1521, 1 mar. 2024.

MANETTA, Bárbara Romano *et al.* Unidades de Conservação. **Engenharias On-line**, v. 1, n. 2, p. 1–10, 2015.

METZNER, W. Echolocation behaviour in bats. **Science Progress (1933-)**, v. 75, n. 3/4 (298), p. 453–465, 1991.

MURRAY, Kevin *et al.* Surveying bat communities: A comparison between mist nets and the Anabat II bat detector system. **Acta Chiropterologica**, v. 1, p. 105–112, 1 jan. 1999.

NEVES, Carlos Henrique Campos Bezerra. **Eficiência das unidades de conservação da floresta atlântica na manutenção da biodiversidade de morcegos**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

NORBERG, Ulla; RAYNER, Jeremy. Ecological Morphology and Flight in Bats (Mammalia; Chiroptera): Wing Adaptations, Flight Performance, Foraging Strategy and Echolocation. **Royal Society of London Philosophical Transactions Series B**, v. 316, 1 set. 1987.

OLIVEIRA, Frederico Simão Hintze de. **Uso integrado de métodos bioacústicos e de modelagem espacial na distribuição de quirópteros insetívoros no Nordeste do Brasil**. doctoral Thesis. 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/40193>>. Acesso em: 1 nov. 2025.

PAGLIA, Adriano P. *et al.* Lista Anotada dos Mamíferos do Brasil 2ª Edição/Annotated Checklist of Brazilian Mammals. **Occasional papers in conservation biology**, v. 6, n. 6, 2012.

PEDRO, W. A.; TADDEI, Valdir Antônio. Taxonomic assemblage of bats from Panga Reserve, southeastern Brazil: abundance patterns and trophic relations in the Phyllostomidae (Chiroptera). **Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão**, v. 6, p. 3-21, 1997

PEREIRA, Alícia Alves Sá. Otimização do esforço de amostragem necessário para caracterizar comunidades de morcegos com estações acústicas. 2022.

RATCLIFFE, John M.; JAKOBSEN, Lasse. Don't believe the mike: behavioural, directional, and environmental impacts on recorded bat echolocation call measures. **Canadian Journal of Zoology**, v. 96, n. 4, p. 283-288, 2018.

REIS, Nelio R *et al.* **Morcegos do Brasil**. Universidade Estadual de Londrina, 2007.

ROCHA, Fernanda; BARBOSA, Fabiana Pestana; DE SOUZA ABESSA, Denis Moledo. Trilha ecológica como instrumento de Educação Ambiental: estudo de caso e proposta de adequação no Parque Estadual Xixová-Japuí (SP). **Revista Brasileira de Ecoturismo**

(RBEcotur), v. 3, n. 3, 2010. <https://doi.org/10.34024/rbecotur.2010.v3.5897>

ROCHA, Patrício *et al.* An update on the distribution of the Brazilian Funnel-eared Bat, *Natalus macrourus* (Gervais, 1856) (Mammalia, Chiroptera), with new records from the Brazilian Northeastern. **Check List**, v. 9, p. 675–679, 1 mar. 2013.

ROEMER, Charlotte *et al.* Current frontiers in the passive acoustic monitoring of bats. **Methods in Ecology and Evolution**, v. n/a, n. n/a, [S.d.].

RYLANDS, Anthony; BRANDON, Katrina. Unidades de conservação brasileiras. **Megadiversidade**, v. 1, 1 jan. 2005.

SBEQ - Sonoteca. Disponível em: <<https://sbeq.org.br/sonoteca>>.

SEMMLOW, John. The Big Picture: Bioengineering Signals and Systems. **Chapter 1 - The Big Picture: Bioengineering Signals and Systems**. In: Elsevier, 2012.

SILVA, Carina Rodrigues; BERNARD, Enrico. Bioacoustics as an important complementary tool in bat inventories in the Caatinga drylands of Brazil. **Acta Chiropterologica**, v. 19, n. 2, p. 409-418, 2017.

SILVA, Leonardo Henrique Dias da. Diversidade, uso da paisagem e distribuição espacial de morcegos em um ecótono Cerrado – Mata Atlântica. 7 dez. 2017.

SIMMONS, Nancy B. and Andrea L. Cirranello. *Bat Species of the World: A taxonomic and geographic database. Version 1.9. Accessed on 10/29/2025.*

Song Meter Mini Bat 2 User Guide. 2024. Disponível em:<https://www.wildlifeacoustics.com/uploads/user-guides/Song_Meter_Mini_Bat_2_User_Guide_mobile-friendly_2024-04-18-en.pdf>

TABARELLI, Marcelo *et al.* Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade**, v. 1, p. 132–138, 1 jul. 2005.

TREVELIN, Leonardo Carreira *et al.* FoCar - Fonoteca de Carajás. 2025.

TOLEDO, Luis Felipe; TIPP, Cheryl; MÁRQUEZ, Rafael. The value of audiovisual archives. **Science (New York, N.Y.)**, v. 347, p. 484, 30 jan. 2015.

TIPP, Cheryl. Preserving the sounds of nature: the collection, digitization and dissemination of the British Library’s wildlife sound recordings. **Archives of Natural History**, v. 52, n. 2, p. 385–402, 1 out. 2025.

VARGAS-MENA, Juan Carlos *et al.* The bats of Rio Grande do Norte state, northeastern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 18, p. e20170417, 2018.

VOGEL, Stefan. Chiropterophilie in der neotropischen Flora Neue Mitteilungen III. **Flora oder Allgemeine botanische Zeitung. Abt. B, Morphologie und Geobotanik**, v. 158, n. 4-5, p. 289-323, 1969.

WILDLIFE ACOUSTICS. User Guides: Recorders & Software. Disponível em: <<https://www.wildlifeacoustics.com/resources/user-guides>>

Apêndice A - Registro fotográfico dos pontos de coleta dos gravadores *AudioMoth* A e B.

Todas as fotografias apresentadas neste apêndice compõem o acervo pessoal da autora e dos monitores do PEXJ, Thomas Rebling, Luan Pereira e Alexandre Santos.



Figura 36: Localização dos *AudioMoth* A e B no Ponto 1.



Figura 37: Localização dos *AudioMoth* A e B no Ponto 2.



Figura 38: Localização dos *AudioMoth* A e B no Ponto 3.



Figura 39: Novas localizações das posições A e B do Ponto 3 do *AudioMoth*.



Figura 40: Localização do *AudioMoth* na posição A do Ponto 4.

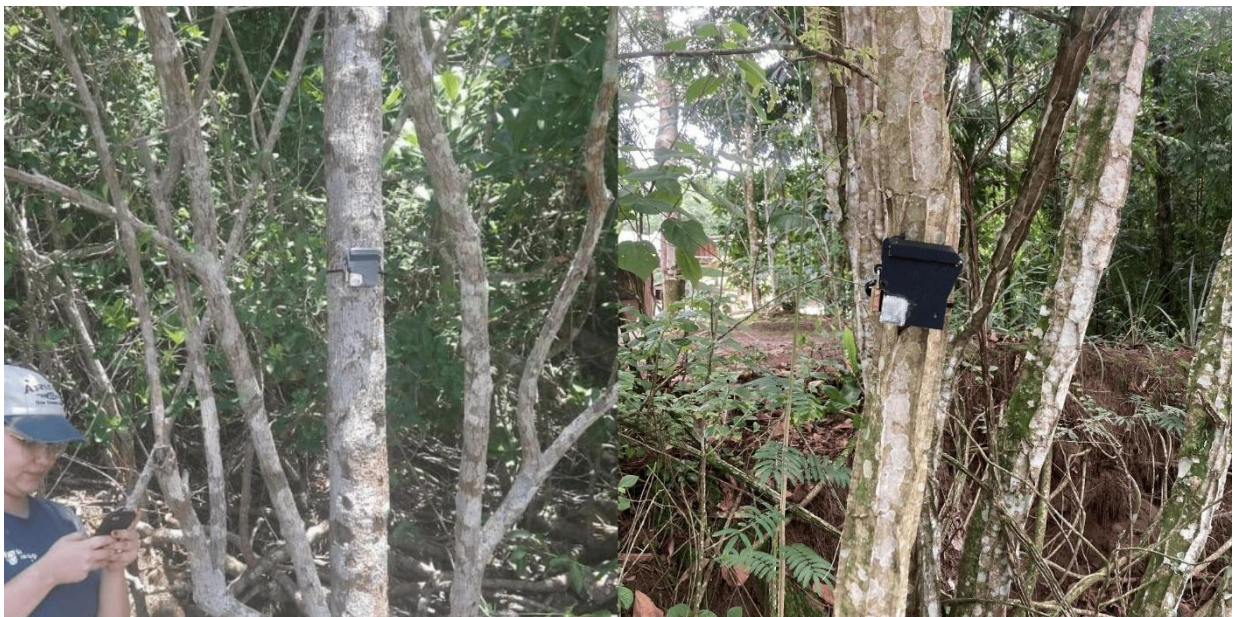


Figura 41: Localização inicial (esquerda) e nova localização (direita) do gravador na posição B do Ponto 4.



Figura 42: Localização das posições iniciais A e B do Ponto 5 (CECOF).



Figura 43: *AudioMoth* no ponto de teste, próximo a guarita do PEXJ.

Anexo A - Registro fotográfico de Molossídeo.



Figura 44: Espécime da família Molossidae. Fonte: Antônio Souza. Arquivo digital (@parqueestadualxixovajapui/@tonisouza970)