

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Zoologia de Vertebrados

Sara Gonçalves Santos

“THE SOUNDS OF THE SUBURBS”:
INVESTIGAÇÕES SOBRE A BIOFONIA E A ANTROPOFONIA EM UMA MATA
URBANA.

Belo Horizonte
2013

Sara Gonçalves Santos

“THE SOUNDS OF THE SUBURBS”:
INVESTIGAÇÕES SOBRE A BIOFONIA E A ANTROPOFONIA EM UMA MATA
URBANA.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia de Vertebrados da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Zoologia.

Orientador: Robert John Young
Colaboradora: Nadia Pieretti

Belo Horizonte
2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

S237s Santos, Sara Gonçalves
“*The sounds of the suburbs*”: investigações sobre a biofonia e a antropofonia em uma mata urbana / Sara Gonçalves Santos. Belo Horizonte, 2013.
67f.: il.

Orientador: Robert John Young

Colaboradora: Nadia Pieretti

Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.
Programa de Pós-Graduação em Zoologia de Vertebrados.

1. Acústica arquitetônica. 2. Fenômenos acústicos na natureza. 3. Parques urbanos - Belo Horizonte (MG) - Ruído. 4. Som produzido por animais. I. Young, Robert John. II. Pieretti, Nadia. III. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Zoologia de Vertebrados. IV. Título.

SIB PUC MINAS

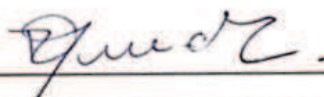
CDU: 591.58

“THE SOUNDS OF THE SUBURBS”:
INVESTIGAÇÕES SOBRE A BIOFONIA E A ANTROPOFONIA EM UMA MATA URBANA.

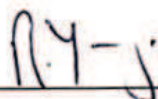
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia de Vertebrados da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Zoologia de Vertebrados.



Prof. Dr. Marcos Rodrigues (UFMG)



Prof. Dra. Danusa Guedes (PUC Minas)



Prof. Dr. Robert John Young (Orientador-PUC Minas)

Para minha filha, que ao invés de ter sido um obstáculo, se tornou meu maior incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador, Robert, que além de orientador, foi um amigo, um conselheiro, um pai. Obrigada Robert, por não ter desistido de mim, até quando eu não mais acreditava, muito obrigada pela confiança e credibilidade.

À Nadia, por ter caminhado comigo assiduamente, mesmo com um oceano e mais tantos quilômetros de terra nos distanciando. Nadia, obrigada pela paciência, pela doçura e disposição de escrever e responder incontáveis emails me ensinando um pouquinho do muito que você sabe. (*I want to thank Nadia for walking me assiduously, even with an ocean moving away. Nadia, thank you for your patience, gentleness and willingness to write and answer countless emails teaching me a little bit of what you know*).

À Marina Duarte, por ter sido tão fundamental no meu mestrado e na minha vida. Marina, você me ajudou nas coletas, me cedeu material, me passou artigos, me apresentou minha co-orientadora mas, acima de tudo, você me deu seu ombro amigo em todos os momentos. Você é um grande exemplo para mim.

À Marina Scarpelli, por me ter feito acreditar que o altruísmo existe. Obrigada pelo ajuda nas coletas, pelas horas descarregando os dados e tanto mais!

Ao professor Enemir, por ter me apresentado ao Robert e por me incentivar sempre. Enemir, não me canso de falar que você é um eterno exemplo a ser seguido.

Ao professor Marcelo Vasconcelos, por todas as contribuições no meu projeto.

Ao Miguel e Ítalo Moreira, pelas ajudas na fase inicial deste trabalho.

Ao Juan Espanha, pela amizade, pela disposição em me ajudar e ensinar um pouco de tudo que você sabe.

Ao Núcleo de Apoio à Inclusão da PUC Minas, por ter me ajudado a fazer a prova escrita de seleção do mestrado, o que possibilitou meu ingresso no Programa.

À minha filha, Beatriz, que mesmo nascendo durante o mestrado, nunca se tornou um obstáculo à conclusão deste projeto. Obrigada, minha querida, por ser meu maior motivo de luta, por ser a razão pela qual hoje estou de pé.

Ao meu pai, exemplo de seriedade e luta. Obrigada por estar do meu lado nos momentos mais difíceis. Obrigada pelas conversas ligeiras do dia-a-dia e conversas longas nas filas da Secretaria de Saúde.

À minha mãe, por ter me feito quem eu sou. Obrigada por sempre acreditar em mim e nunca me deixar desistir, por me ensinar a levar a vida de uma maneira otimista, tornando tudo mais fácil.

Ao meu irmão, por me mostrar que apesar de todas as adversidades da vida, a gente deve continuar e nunca desistir.

Ao Rodolfo, por estar ao meu lado a cada momento, dividindo angústias, medos e felicidades. Nossa amizade me traz alegria, e seu amor me dá forças, você é minha paz.

Ao Dr. Albert, por ter salvado minha vida, por me ensinar que salvar está além de medicamentos e internações. Obrigada por estar sempre disposto a me atender e ajudar.

A toda equipe de neurologia e enfermeiros do hospital Life Center.

Ao Dr. Antônio Pereira e toda equipe de neurologia da Santa Casa.

A toda minha família, em especial a tia Áurea e a Tia Zélia, que me amparam e acreditam em mim.

Aos meus sogros, pelo carinho e acolhimento.

Às minha amigas e irmãs, Shanti, Zú, Drê, Pri S., Nilsa, Marriam, Marininha, Jú, Rúbia, Pri Z. e Renatinha. Obrigada por serem minhas mãos, meus braços e minhas pernas, quando a esclerose não permite que meu corpo funcione bem.

À Naiara Sales e Luisa Mascarenhas, por terem sido, além de amigas, babás da minha filha no mestrado, quando precisava me reunir com o Robert.

Aos colegas de sala, em especial à Mariane, a Nath, ao André e ao Rafael Zeferino.

À Cledma, por me ajudar a resolver todos os problemas burocráticos, sempre com paciência e solidariedade.

À Renata Sousa-Lima pelos ensinamentos e apoio.

A todos os funcionários da PUC, em especial à Rosa do PROPPG, por terem sido solidários nos momentos que precisei.

A todos que me ajudaram de alguma forma, mesmo que indiretamente, para a elaboração deste trabalho.

À FAPEMIG pela concessão da bolsa de mestrado.

À Consciência Suprema, que sempre guia meus passos.

Não existiria o som, se não houvesse o silêncio
(Lulu Santos).

RESUMO

A paisagem acústica é caracterizada por todos os sons que são encontrados em um determinado ambiente, sendo composta por sons biofônicos, sons geofônicos e sons antropofônicos. Este estudo foi realizado de maio a julho de 2012, e teve como objetivo investigar a paisagem acústica da comunidade de animais da Mata da PUC Minas. Foram instalados dois sensores para monitoramento acústico passivo Song Meter Digital Field Recorder (SM2) na periferia e dois no centro da Mata. Para a análise dos dados, foram utilizados três minutos de gravação a cada quinze minutos durante 24 horas, tendo como total 96 arquivos de duração de três minutos por dia de coleta. Um índice desenvolvido recentemente, o Índice de Complexidade acústica (ACI), foi utilizado para quantificar vocalizações, processando as intensidades gravadas em arquivos de áudio, extraindo informações acústicas do ambiente natural, que provavelmente ajudarão a controlar a dinâmica dos animais. O software Wavesurfer, alimentado pelo SoundscapeMeter plug-in, foi utilizado para analisar os arquivos de som e calcular o ACI e ruído da Mata. A partir dos resultados, foi possível estabelecer os valores de ruído e ACI, sendo que os valores abaixo de 1.550 Hz foram caracterizados como ruído, e os valores entre 1.550 Hz e 16.000Hz foram consideradas bandas de frequência que continham biofonia. Os valores de ruído foram maiores nos pontos C e D (periferia), seguidos dos pontos B e A (centro). A paisagem acústica da área de estudo é composta por ruídos antropogênicos e sons biofônicos, abrangendo principalmente os sons produzidos por insetos, aves e mamíferos. Os valores de ACI foram maiores nos pontos D e C (periferia), seguidos pelos pontos B e A (centro). Os dados demonstraram uma correlação positiva (Correlação de Pearson) e as diferenças entre os pontos foram significativas de acordo com o teste ANOVA. Os animais presentes na periferia da Mata tentam ser tolerantes ao ruído e, assim sendo, continuam vocalizando, provavelmente com maior ênfase onde se tem grande incidência de barulho antrópico. O ACI é uma ótima ferramenta para monitorar a dinâmica da comunidade biótica, porém para uma melhor compreensão do impacto do ruído sobre a comunidade da fauna da Mata da PUC Minas, deve-se analisar a dinâmica de vocalizações durante o período de reprodução das aves, para explicar mais profundamente a dinâmica acústica da comunidade local.

Palavras chave: Paisagem acústica, mata urbana, ACI, ruído.

ABSTRACT

The Soundscape is characterized by all the sounds that are found in a given environment and is composed for biophony, geophony and anthrophony sounds. This study was conducted from May to July 2012, and aimed to investigate the soundscape of the community of animals from PUC Minas Forest. Two sensors for passive acoustic monitoring were installed (Song Meter Digital Field Recorder (SM2) in the periphery and two in the center of the forest. For data analysis, three minutes of recording every fifteen minutes during 24 hours were used, with a total of 96 files of three minutes per day of collection. A recently developed index, the Acoustic Complexity Index (ACI), was here used to quantify vocalizations by processing the recorded intensities in audio files, extracting acoustic information of the natural environment that may assist in controlling the dynamics of the animals. The software wavesurfer, powered by SoundscapeMeter plug-in was used to analyze the sound files and to calculate the ACI and forest's noise. From the results it was possible to establish the values of noise and ACI, whereas values below 1.550 Hz were characterized as noise, and values above 1.550 Hz to 16.000 Hz were considered frequency bands that contained biophony. Noise values were higher in the points C and D (periphery), followed by the points B and A (center). The soundscape of the study area consisted of anthropogenic noises and biophony sounds, covering mostly sounds produced by insects, birds and mammals. ACI values were higher in D and C (periphery), followed by points B and A (center). The data showed a positive correlation (Pearson Correlation) and the differences were significant among the points according to ANOVA test. In this way, it is possible that animals on the forest periphery tried to be tolerant to noise and therefore they continued vocalizing, probably even with more emphasis, where they had high rates of anthropogenic noise. The ACI is a great tool to monitor the dynamics of the biotic community; however for a better understanding of the noise impact on the community of animals from PUC Minas Forest, we should analyze the dynamics of vocalizations during the breeding period of the birds, to explain the acoustic dynamics of the local community.

Keywords: Soundscape, urban forest, ACI, noise.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- Gráfico representando o Índice de Complexidade Acústica.....	19
FIGURA 2- Mata da PUC Minas, em Belo Horizonte, MG, Brasil, mostrando os quatro pontos de coleta.....	23
FIGURA 3- Valores de ruído do SongMeter A durante o mês de maio.....	27
FIGURA 4- Gráfico ampliado dos valores de ruído do SongMeter A no mês de maio para evidenciar em qual banda de frequência foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica.....	27
FIGURA 5- Valores do ruído do SongMeter A durante o mês de junho.....	28
FIGURA 6- Gráfico ampliado dos valores de ruído do SongMeter A no mês de junho para evidenciar em qual banda de frequência foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica.....	28
FIGURA 7- Valores do ruído do SongMeter A durante o mês de julho.....	29
FIGURA 8- Gráfico ampliado dos valores de ruído do SongMeter A no mês de julho para evidenciar em qual banda de frequência foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica.....	29
FIGURA 9- Valores do ruído do SongMeter B durante o mês de maio.....	30
FIGURA 10- Gráfico ampliado dos valores de ruído do SongMeter B no mês de maio para evidenciar em qual banda de frequência foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica.....	30
FIGURA 11- Valores do ruído do SongMeter B durante o mês de junho.....	31
FIGURA 12- Gráfico ampliado dos valores de ruído do SongMeter B no mês de junho para evidenciar em qual banda de frequência foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica.....	31
FIGURA 13- Valores do ruído do SongMeter B durante o mês de julho.....	32
FIGURA 14- Gráfico ampliado dos valores de ruído do SongMeter B no mês de julho para evidenciar em qual banda de frequência foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica.....	32
FIGURA15- Valores do ruído do SongMeter C durante o mês de maio.....	33

FIGURA 16- Gráfico ampliado dos valores de ruído do SongMeter C no mês de maio para evidenciar em qual banda de frequência foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica.....	33
FIGURA 17- Valores do ruído do SongMeter C durante o mês de junho.....	34
FIGURA 18- Gráfico ampliado dos valores de ruído do SongMeter C no mês de junho para evidenciar em qual banda de frequência foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica.....	34
FIGURA 19- Valores do ruído do SongMeter C durante o mês de julho.....	35
FIGURA 20- Gráfico ampliado dos valores de ruído do SongMeter C no mês de junho para evidenciar em qual banda de frequência foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica.....	35
FIGURA 21- Valores do ruído do SongMeter D durante o mês de maio.....	36
FIGURA 22- Gráfico ampliado dos valores de ruído do SongMeter D no mês de maio para evidenciar em qual banda de frequência foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica.....	36
FIGURA 23- Valores do ruído do SongMeter D durante o mês de junho.....	37
FIGURA 24- Gráfico ampliado dos valores de ruído do SongMeter D no mês de junho para evidenciar em qual banda de frequência foi realizada a separação entre o ruído e índice de complexidade acústica.....	37
FIGURA 25- Valores do ruído do SongMeter D durante o mês de julho.....	38
FIGURA 26- Gráfico ampliado dos valores de ruído do SongMeter D no mês de julho para evidenciar em qual banda de frequência foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica.....	38
FIGURA 27- Resumo dos valores de ruído, em POW, de todos os SongMeters ao longo dos três meses de coleta.....	39
FIGURA 28- Exemplo de ruído antropogênico, em julho, no Song Meter A, dia 24 às 17:00.....	40
FIGURA 29- Exemplo de pessoas conversando próximo ao SongMeter, e outros ruído de fundo, em maio, no SongMeter B, dia 29 às 09:45.....	40
FIGURA 30 Exemplo de crianças gritando e outros ruído de fundo, em junho, no Song Meter C, dia 26 às 16:30h.....	41
FIGURA 31- Exemplo de ruído de sirene, no SongMeter D, em Junho, dia 24 às 00:00h.....	41

FIGURA 32- Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter A durante o mês de maio.....	42
FIGURA 33- Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter A durante o mês de junho.....	42
FIGURA 34- Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter A durante o mês de julho.....	43
FIGURA 35- Valor de índice de complexidade acústica do SongMeter A.....	43
FIGURA 36- Gráfico com valores de índice de complexidade acústica, mostrando o pico entre as bandas de frequências 82 e 110.....	44
FIGURA 37- Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter B durante o mês de maio.....	44
FIGURA 38- Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter B durante o mês de junho.....	45
FIGURA 39- Valores de índice de complexidade acústica do SongMeter B durante um dia de coleta.....	45
FIGURA 40- Exemplo de vocalizações de aves no Song Meter B, dia 25 de junho ao 12:00.....	46
FIGURA 41- Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter B durante o mês de julho.....	46
FIGURA 42- Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter C durante o mês de maio.....	47
FIGURA 43- Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter C durante o mês de junho.....	47
FIGURA 44- Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter C durante o mês de julho.....	48
FIGURA 45- Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter D durante o mês de maio.....	48
FIGURA 46- Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter D durante o mês de junho.....	49
FIGURA 47- Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter D durante o mês de julho.....	49

FIGURA 48- Soma dos valores do índice de complexidade acústica durante os dias da semana em todos os pontos ao longo dos três meses de coleta.....	50
FIGURA 49- Exemplo de vocalizações de mamíferos (<i>Callithrix penicillata</i>), do SongMeter A, em maio, dia 29 as 6:00h.....	50
FIGURA 50- Exemplo de vocalizações de aves e ruído de cortador de grama, do Song Meter A, em julho, dia 31 as 13:45h.....	51
FIGURA 51- Exemplo de vocalizações sociais de morcegos, do Song Meter A, em maio, dia 28 as 05:00h.....	51
FIGURA 52- Exemplo de biofonias realizadas por insetos, no SongMeter D, em junho, 21, às 16:15h.....	51
FIGURA 53- Gráfico com as somas dos valores de ruído ao longo dos três meses de coleta nos quatro pontos.....	52
FIGURA 54- Gráfico com as somas dos valores de ACI ao longo dos três meses de coleta nos quatro pontos.....	52
FIGURA 55- Esquema da Mata da PUC Minas com os valores de índice de complexidade acústica e ruído.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Paisagem acústica.....	15
1.2 Poluição sonora.....	16
1.3 Índice de Complexidade Acústica (ACI).....	17
2 OBJETIVO GERAL.....	20
3 HIPÓTESES E PREDIÇÕES.....	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1 Área de estudo.....	22
4.2 Coleta de dados.....	22
4.3 Análise de dados.....	24
5 RESULTADOS.....	26
5.1 Ruído.....	26
5.1.1 <i>Valores de ruídos e alguns exemplos observados no espectograma</i>	39
5.2 Valores de ACI e biofonias observadas nos espectogramas.....	41
5.2.1 <i>Alguns exemplos de biofonias registradas</i>	50
5.3 ACI x POW.....	51
5.4 Análises Estatísticas.....	53
5.4.1 <i>Correlação de Pearson</i>	53
5.4.2 <i>Comparando o ruído entre os grupos 1 e 2</i>	53
5.4.2.1 <u>Confirmando a hipótese</u>	54
5.4.3 <i>Comparando o ACI entre os grupos 1 e 2</i>	54
5.4.3.1 <u>Confirmando as hipóteses</u>	54
5.4.4 <i>Comparando o ruído e o ACI entre os três meses de coleta</i>	55
5.4.4.1 <u>Confirmando a hipótese</u>	55
6 DISCUSSÃO.....	56
6.1 Confirmação das hipóteses.....	56
6.2 Discussão dos resultados.....	57
7 CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

1.1 Paisagem acústica

A paisagem acústica é caracterizada por todos os sons que são encontrados em um determinado ambiente. (Pieretti, Balestrieri pers.comm., 2013) e este termo foi utilizado pela primeira vez por Southworth, em 1969. Schafer (1977) afirma que os sons são propriedades ecológicas das paisagens e define paisagens acústicas como as características acústicas que refletem os processos naturais de uma determinada área.

A paisagem acústica representa a pegada acústica de uma paisagem; portanto, é uma fonte de grande quantidade de informação, que pode ser empregada de forma eficiente, como por exemplo, utilizando sistemas de monitoramento (Farina *et al*, 2011).

Os sons são uma propriedade perpétua e dinâmica de todos os tipos de ambientes. Esses sons variam desde a vocalização e estridulação de animais, sons não biológicos, como os produzidos pela água corrente e ventos, até sons produzidos por humanos e sua crescente urbanização (Pijanowski, *et al*, 2011).

Existem diferentes componentes em uma paisagem acústica. Em um ambiente natural, podem ser descritos dois diferentes componentes: os sons biofônicos, compostos por sons biológicos e outros sons criados pelos organismos vivos, e os sons geofônicos, compostos pelos sons não biológicos do ambiente, como sons produzidos pelo vento, pela chuva e por trovões (Krause, 1987).

Áreas urbanas também apresentam sua própria paisagem acústica. O conceito de paisagem acústica urbana foi mencionado pela primeira vez na literatura de planejamento urbano na década de 70, por Schafer (1977). Os sons gerados pelos seres humanos são chamados sons antropofônicos; estes sons podem ser produzidos por uma variedade de fontes, tais como máquinas, sirenes, e até mesmo o atrito de rotação dos pneus no pavimento (Pijanowski, *et al*, 2011).

A ecologia da paisagem acústica, portanto, pode ser descrita pela caracterização dos sons (biofônicos, geofônicos e antropofônicos) provenientes de uma determinada paisagem, que permitem criar testes acústicos através de uma variedade de escalas espaciais e temporais (Pijanowski, *et al.*, 2011).

Todos os sons (biofônicos, geofônicos e antropofônicos) presentes em um ambiente, em um determinado momento, estão ocupando um espaço espectral. Este fenômeno é conhecido como hipótese do nicho acústico, descrita por Krause (1993) e descreve um processo de separação acústica, onde a fauna de determinados habitats ajusta suas vocalizações de acordo com a frequência e tempo de uso, para compensar o ruído de fundo e até mesmo vocalizações e outros sons criados por outras espécies. Embora haja claramente uma concorrência entre espécies simpátricas de animais para um determinado nicho acústico (Krause, 1992), cada espécie evolui para estabelecer e manter seu próprio território acústico, de modo que a sua vocalização não seja mascarada (Krause, 1993).

1.2 Poluição sonora

Todos os habitats apresentam algum nível de ruído, porém os sons urbanos usuais produzidos por tráfego de automóveis, motocicletas, trens, aviões, construções e indústrias (Brumm, 2006) são muito diferentes da maioria dos sons em habitats naturais (Slabbekoorn; Ripmeester, 2008), sendo o tráfego de veículos a fonte de ruído mais difundida na maioria das cidades (Warren *et al.*, 2006). Estas várias fontes de ruído antropogênico possuem características em comum, como o fato de emitirem sons em frequências geralmente abaixo de 2000 hertz (Slabbekoorn e Peet, 2003).

As áreas urbanas e muitos habitats naturais estão sendo reprimidos por uma nova forma de seleção, o ruído antropogênico (Slabbekoorn; Ripmeester, 2008). Distúrbios antropogênicos alteraram os padrões de comportamento, a fisiologia e a morfologia de organismos que vivem em cidades (Shochat *et al.*, 2006), e podem conduzir ao declínio de populações (Patthey, *et al.*, 2008; Mallord, *et al.*, 2007).

Altos níveis de ruído podem mascarar os sinais acústicos e dificultar certos comportamentos dos animais, como a defesa de territórios, a atração de parceiros ou a recepção de outros sinais importantes na comunicação, como os chamados de alarme, de chegada ou perigo (Brumm *et al.*, 2004). O aumento do ruído antropogênico tende a mascarar as texturas finas do ambiente acústico natural, forçando as espécies que utilizam a comunicação vocal a se adaptar de maneira incomum (Dooling e Popper, 2007; Nemethe e Brumm, 2009; Rheindt, 2003; Slabbekoorn e Peet, 2003). Algumas destas adaptações

consistem em mudanças na amplitude, na frequência e na duração das vocalizações, alterações no número de notas, (Warren *et al.*, 2006), e até mesmo mudanças no horário de vocalizações (Bergen e Abs, 1997).

Uma forma de caracterizar os sinais produzidos pelos ruídos é classificá-los em sinais de energia e em sinais de potência. Sendo os ruídos considerados sinais de potência aleatórios, comumente usa-se a densidade espectral de potência (*power spectral density* - POW) em sua mensuração (Noceti Filho, 2002).

A densidade espectral de potência é descrita por Norton e Karczub (2003) como a energia de um sinal que é distribuído em frequências diferentes, e é comumente expressa em watts por hertz. (Maral, 2003).

Em termos físicos, o ruído é um som de grande complexidade, resultante da superposição desarmônica de sons derivados de várias fontes. Seu espectro sempre será uma confusa composição de harmônicas, sem qualquer classificação ou ordem de composição (Fernandes, 2005). Geralmente o seu espectro apresenta bandas largas de frequências, e é compacto e uniforme, sendo comum aparecer uma maior predominância de uma só faixa de frequência, a grave, a média ou as agudas. (Fernandes, 2005).

A ruptura dos sistemas de comunicação entre os organismos (Carson, 1962; Harris-Jones, 2009), ou a exposição ao ruído antropogênico crônico (Barber *et al.*, 2009) continuam a ser mal compreendidos e se fazem necessários mais estudos sobre a paisagem sonora, para auxiliar a conservação de ambientes naturais.

A área de estudo foi escolhida porque estudos anteriores mostram que os efeitos da urbanização em comunidades de aves e outros animais levam a uma redução na riqueza das espécies e alterações na composição e tamanho das populações das espécies (Trombulak e Frissel, 2000; Forman *et al.*, 2002).

1.3 Índice de Complexidade Acústica (ACI)

O Índice de Complexidade Acústica (Farina e Morri, 2008), foi elaborado com a finalidade de quantificar as vocalizações, especificamente de aves, processando as intensidades registradas em arquivos de áudio (Farina, *et al.* 2011). A longo prazo, o ACI permite desenvolver um procedimento de extração de informações acústicas

do ambiente natural, representando uma ferramenta útil para determinar mudanças de comportamento e definir a composição da comunidade de vocalização, permitindo, conseqüentemente, controlar de forma mais eficiente e rápida a dinâmica dos animais (Pieretti *et al.*, 2011, e Farina *et al.*, 2011).

O cálculo do ACI baseia-se na variabilidade de intensidade de sons bióticos e sons antropogênicos, sendo que o ACI calcula a diferença absoluta entre dois valores de intensidades adjacentes numa única frequência (Farina, *et al.* 2011).

A forte correlação entre o ACI e a atividade de canto da comunidade aviária se deve à capacidade deste índice de destacar com sucesso variações rápidas de intensidade, uma característica que é típica do canto dos pássaros, ao contrário de outros sons, como os zumbidos de insetos e o ruído antropogênico, que são caracterizados por níveis aproximadamente constantes de intensidade, que produzem um valor muito pequeno do ACI (Pieretti *et al.*, 2011, e Farina *et al.*, 2011).

Os resultados do ACI podem ser administrados de formas diferentes, produzindo uma variedade de tipos de informação, que caracterizam a paisagem acústica local (Farina, Pieretti e Piccioli, 2011). Estes resultados também podem ser úteis para perceber a dinâmica diária da comunidade biótica, observando as suas mudanças entre os diferentes passos temporais de uma gravação. O ACI pode também permitir comparar o nicho acústico das diferentes comunidades, para assim compreender a presença de determinadas espécies com um nicho muito específico de canto (Farina, *et al.*, 2011).

O estudo das paisagens acústicas pode fornecer informações sobre a dinâmica de uma variedade de paisagens. Acredita-se que a paisagem acústica ecológica pode melhorar o entendimento de como os ruídos antropogênicos afetam os ecossistemas (Pieretti, *et al.*, 2011).

O ACI mede a diferença absoluta entre dois valores adjacentes de intensidade, em uma única banda de frequência (figura 1).

$$|I_k - I_{k+1}|$$

Sendo que k é o intervalo temporal nos valores de intensidade que deverão ser gravados ao longo de uma única frequência (i), em um único subconjunto temporal (j), e

extraído do espectrograma. Subsequentemente, a razão entre este somatório e o total de intensidade de som em j é calculado:

$$AC_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n |I_k - I_{k+1}|}{\sum_{k=1}^n I_k}$$

(Farina e Morri, 2008; Pieretti *et al.*, 2011).

FIGURA 1: Gráfico representando o Índice de Complexidade Acústica

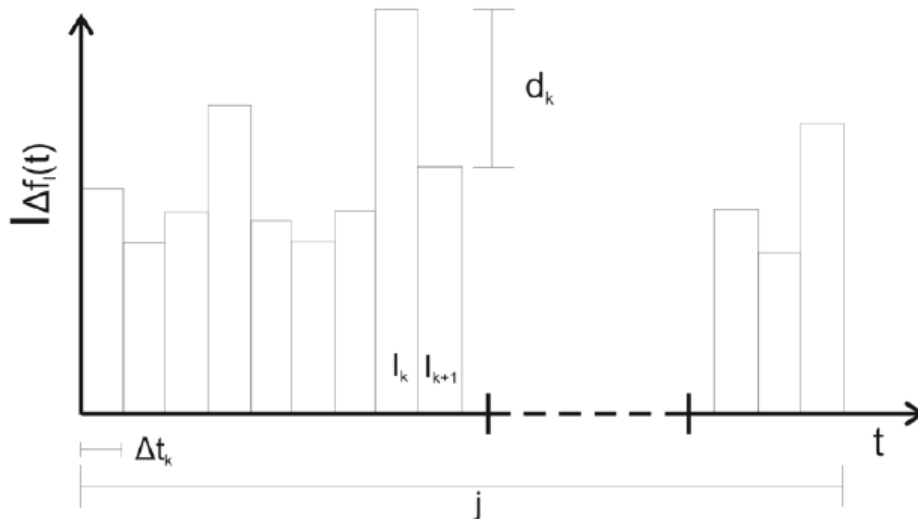


Gráfico explanatório do Índice de Complexidade Acústica, sendo que t = tempo; Δt_k = uma fração do tempo; Δf_i = uma fração de frequência; $|\Delta f_i(t)|$ = intensidade registrada em uma fração de frequência.

Fonte: Pieretti *et al.*, 2011

Utilizar gravações de origem animal em estudos é uma técnica relativamente recente, que permite avaliar as diferenças entre as comunidades que ocupam áreas diferentes; monitorar mudanças ao longo do tempo, tornando disponíveis novas representações de equilíbrio de espécies e, possivelmente, concentrar-se nas relações entre animais e o elementos externos, como a intrusão humana (Pijanowski *et al.* 2011).

Sensores para monitoramento acústico, como Song Meter Digital Field Recorder (SM) - (Wildlife Acoustics, Inc., Massachusetts), têm sido utilizados em todo o mundo e é comprovada a sua eficiência no campo da bioacústica. O SongMeter possui um amplificador configurável que permite gravar simultaneamente qualquer combinação de diferentes animais, em diferentes habitats, a partir de microfones acústicos, de ultrassom e hidrofones.

Pesquisas realizadas numa floresta montanhosa em um Parque Nacional (*Tuscan-Emilian Apennine National Park*), na Itália, onde ocorre a ausência de perturbação humana, porém há a presença de rotas de avião, o que gera ruído antropogênico, comprovam a eficiência do monitoramento das comunidades de aves canoras confrontados com o desafio de perturbações induzidas pelo homem, utilizando o ACI como ferramenta. (Pieretti, *et al* 2011). Outros estudos sobre a paisagem acústica, como o de Farina e Pieretti (2012), realizados em áreas ricas em endemismos biológicos e peculiaridades ecológicas, como ilhas e faixas costeiras do norte da Itália, ilustram o potencial de estudos com monitoramento acústico em aves, uma vez que permite, através do ACI, definir diferentes territórios, averiguar a disponibilidade de alimento e locais de nidificação.

O ACI foi desenvolvido para perceber a dinâmica do local, e estudos que utilizam este índice não foram feitos para serem comparados com outros estudos, uma vez que o valor do filtro de ruído, assim como as bandas de frequências utilizadas pela comunidade animal, varia de acordo com o tipo de ambiente (Pieretti, Balestrieri pers.comm., 2013).

2 OBJETIVO GERAL

Investigar como o ruído de uma área urbana afeta a paisagem acústica da comunidade de animais em uma floresta urbana neotropical.

3 HIPÓTESES E PREDIÇÕES

Hipótese 1: Os valores de ruído são diferentes na periferia e no interior da Mata da PUC.

Predição 1: Espera-se encontrar um maior valor de ruído na periferia da Mata da PUC Minas interior da mesma, uma vez que a periferia da Mata está mais exposta a ruídos de tráfego e outros ruídos urbanos.

Hipótese 2: O ACI é maior nas áreas centrais da Mata da PUC Minas.

Predição 2: Espera-se que os animais vocalizem mais nos pontos centrais, já que possivelmente a área central sofre menos impacto de ruído do que a periferia.

Hipótese 3: Nos locais mais ruidosos as aves vocalizam mais, com maiores intensidades e frequências.

Predição 3: Acredita-se que nos locais mais ruidosos os animais tentam contrastar o ruído, como aumentando a amplitude, a frequência e a taxa de suas vocalizações.

Hipótese 4: Os valores de ACI não variam ao longo dos três meses de coleta.

Predição 4: Espera-se que os valores de ACI não irão variar durante os meses de coleta, pois esta ocorre durante a estação seca e não inclui o período de reprodução das aves, quando aumenta a quantidade de suas vocalizações.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido na Mata da PUC Minas, uma reserva urbana de aproximadamente sete hectares, com características dos domínios fitogeográficos da Mata Atlântica e Cerrado. A mata da PUC Minas é caracterizada como mata secundária estacional semidecidual, onde habitam, aproximadamente, 134 espécies de aves (Vasconcelos, *et al*, 2013), e no mínimo três espécies de mamíferos, além de outras espécies de répteis e vários insetos (Portal da PUC Minas), e está localizada no bairro Coração Eucarístico (19°55'10" S e 43°59'31" W), na Zona Noroeste de Belo Horizonte, MG, Brasil.

Belo Horizonte está na região Sudeste do Brasil, e de acordo com o último censo, do INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), a área de unidade territorial da cidade é de 331,401 km²; a população tem 2.375.151 habitantes, sendo a densidade demográfica de 7.167,02 hab/km².

4.2 Coleta de dados

Foram instalados quatro sensores para monitoramento acústico passivo, Song Meter Digital Field Recorder (SM2) - (Wildlife Acoustics, Inc., Concord, MA, USA), na Mata da PUC Minas, sendo dois SMs na área central (pontos A e B) e os outros dois (pontos C e D) na periferia (figura 2).

O ponto A está localizado, em média, a 136 metros de distância de ruas e avenidas. O ponto B está, em média, a 150 metros de ruas e avenidas. O ponto C não se encontra próximo a ruas e avenidas, embora esteja, em média, a 68 metros de distância do Clube da PUC Minas. Já o ponto D está, em média, a 57 metros das ruas e avenidas, a 62 metros do Museu de Ciências Naturais da PUC Minas, e a 80 metros do clube da PUC Minas.

FIGURA 2: Mata da PUC Minas, em Belo Horizonte, MG, Brasil, mostrando os quatro pontos de coleta



Imagem da Mata da PUC Minas, mostrando onde os Song Meter Digital Field Recorder foram instalados. PTA= local onde foi instalado o SongMeter A; PTB= local onde foi instalado o SongMeter B; PTC= local onde foi instalado o SongMeter C e PTD= local onde foi instalado o SongMeter D.
Fonte: Google Earth.

Para a análise, os pontos de gravação foram divididos em dois grupos: o grupo 1, composto pelos pontos A e B; e o grupo 2, composto pelos pontos C e D, reduzindo assim a sobreposição de sons entre dois pontos adjacentes de gravação e garantindo uma boa amostragem espacial.

Os dados foram coletados durante uma semana por mês, ao longo de três meses consecutivos, de maio a julho.

No mês de maio, realizaram-se as coletas do dia 24 ao dia 31; em junho do dia 21 ao dia 28; e em julho do dia 24 ao dia 31.

Foi escolhida uma semana por mês, para obter uma janela temporal que retratasse o que aconteceu nos pontos acústicos durante um mês e também porque uma menor quantidade de dias poderia ser insuficiente para retratar a variação meteorológica durante cada mês de coleta.

4.3 Análise de dados

Foram utilizados três minutos de gravação de cada quinze minutos, durante 24 horas, por sete dias consecutivos, para cada ponto, tendo como total 96 arquivos de duração de três minutos por dia de coleta, ou seja, foram analisadas 4,8 horas de gravações, por gravador, por dia.

O software Wavesurfer (Sjölander e Beskow, 2000), alimentado pelo SoundscapeMeter plug-in (Farina e Piccioli, em prep), foram utilizados para analisar os arquivos de som e cálculos do ACI e de ruído, sendo que o ruído foi mensurado através da densidade espectral de potência (POW).

Para realizar o conjunto de cálculos, chamados de elaborações, que resultam no ACI, utilizou-se como parâmetros 0 Hz na frequência mínima, e 16.000 Hz como a frequência máxima. Para a escolha da frequência máxima, foram elaborados espectogramas das gravações que continham vocalizações, e assim foram observadas as frequências máximas em que se encontravam as vocalizações.

Para processar as gravações, escolheu-se 3000 como o valor de filtro para remover o ruído de fundo. O uso do filtro permite melhorar o trabalho algoritmo, a fim de destacar os sons com uma boa relação *signal-to-noise* e eliminar o ruído de fundo presente em todo o local estudado.

Adotou-se uma janela de FFT (Transformação rápida de Fourier - *Fast Fourier Transformation*) de 512 pontos, e os arquivos de som foram amostrados a uma resolução temporal de 0,011 s. Foi utilizado um valor de agrupamento de (um) 1 segundo, o que resulta na transformação de 86 (n) blocos de dados por segundo. Ao longo de 3 minutos de gravação, foram obtidos 180 valores de ACI para cada uma das 185 bandas de frequências, de aproximadamente 86 Hz cada uma, tendo como total de 33.300 medidas de ACI total para cada arquivo de 3 minutos.

Todos os valores POW abaixo de 1550 Hz (que equivalem às 18 bandas de frequências) foram considerados como sons geofônicos e antropogênicos, e foram utilizadas para inferir a distribuição (diária e sazonal) temporal do ruído do ambiente.

Enquanto isso, os valores de ACI acima de 1550 foram considerados, principalmente, como o resultado dos sons biofônicos, emanados por insetos, anuros, mamíferos e, principalmente, pela comunidade de aves.

Posteriormente ao processamento dos dados no software Wavesurfer, foi possível, através dos valores obtidos de ACI e POW, escolher quais bandas de frequências seriam utilizadas para considerar a comunidade animal, e quais seriam utilizadas para considerar o ruído. Para a confirmação dos dados, as gravações que continham os maiores valores de POW e ACI foram ouvidas a fim de se saber quais biofonias e antropofonias foram registradas.

O Instituto Nacional de Meteorologia (2013) foi consultado para confirmar que não houve muita variação de temperatura e pluviosidade na estação seca durante o período de coleta, o que poderia influenciar nos resultados. Posteriormente à consulta, os dias de chuva foram excluídos.

Uma vez que a distribuição dos dados não demonstrou normalidade no teste de Kolmogorov-Smirnov, foi realizado uma transformação logarítmica $\log(1 + X)$, para remover os efeitos de ordens de diferenças de magnitude entre as variáveis, a fim de evitar os números negativos (Manly, 1997), normalizar os dados e aumentar a importância dos valores menores. Sucessivamente à normalização dos dados, foi escolhida uma análise de correlação paramétrica (Pearson, $p < 0,001$, $n = 96$), processada pelo software V8.0 Statistica (StatSoft, 2008), para investigar a relação entre a ACI e o ruído entre os pontos de coletas. Para verificar se a diferença de valores entre os pontos e entre os meses de coleta era significativa, utilizou-se o teste ANOVA.

5 RESULTADOS

5.1 Ruído

Primeiramente, definiram-se quais bandas de frequência caracterizavam o ruído. Para isso, foram elaborados gráficos com os valores de POW, obtidos nas gravações e processados pelo software Wavesurfer (Sjölander e Beskow, 2000), alimentado pelo SoundscapeMeter plug-in (Farina e Piccioli, em prep).

Pode-se observar que valores de POW são extremamente altos nas 18 primeiras bandas de frequência (figuras 3 a 26), caracterizando, portanto, as bandas de frequência nas quais os ruídos da área de estudo se encontram. Para melhor visualizar os resultados do ruído de cada SongMeter os gráficos foram ampliados para ser possível perceber os detalhes do ruído encontrado através do comportamento decrescente dos valores.

FIGURA 3: Valores de ruído do SongMeter A durante o mês de maio

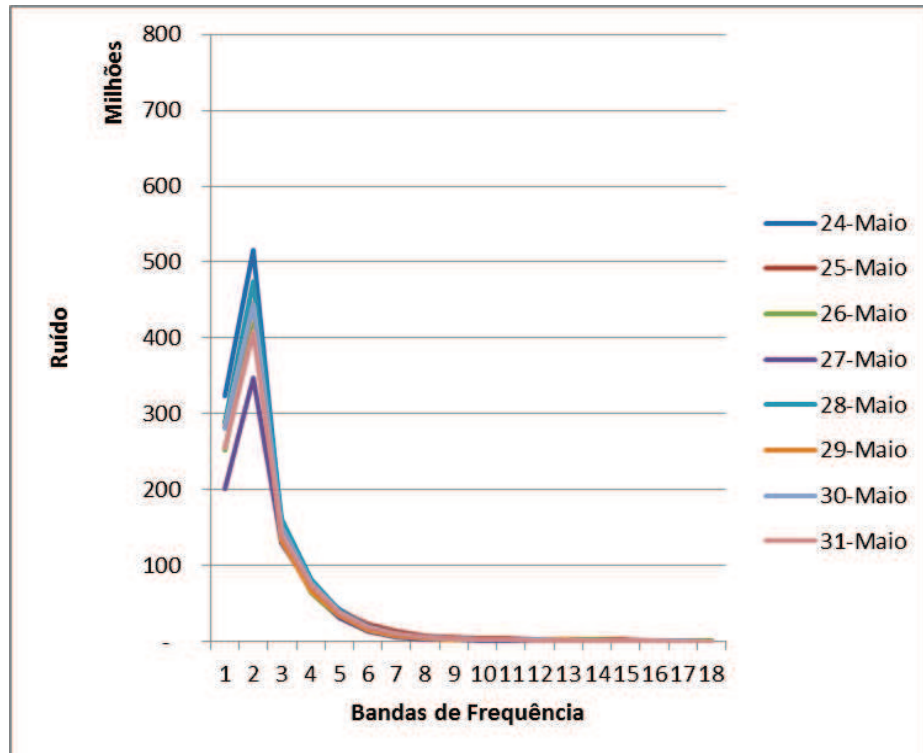


FIGURA 4: Ampliação do gráfico com os valores de ruído do SongMeter A no mês de maio evidenciando a banda de frequência que foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica

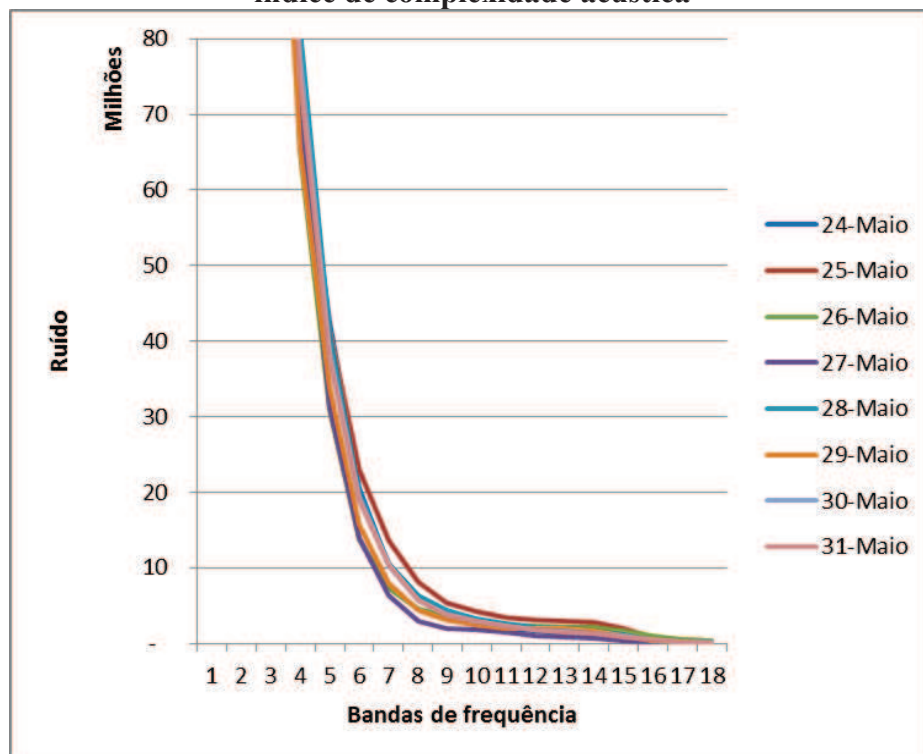


FIGURA 5: Valores do ruído do SongMeter A durante o mês de junho

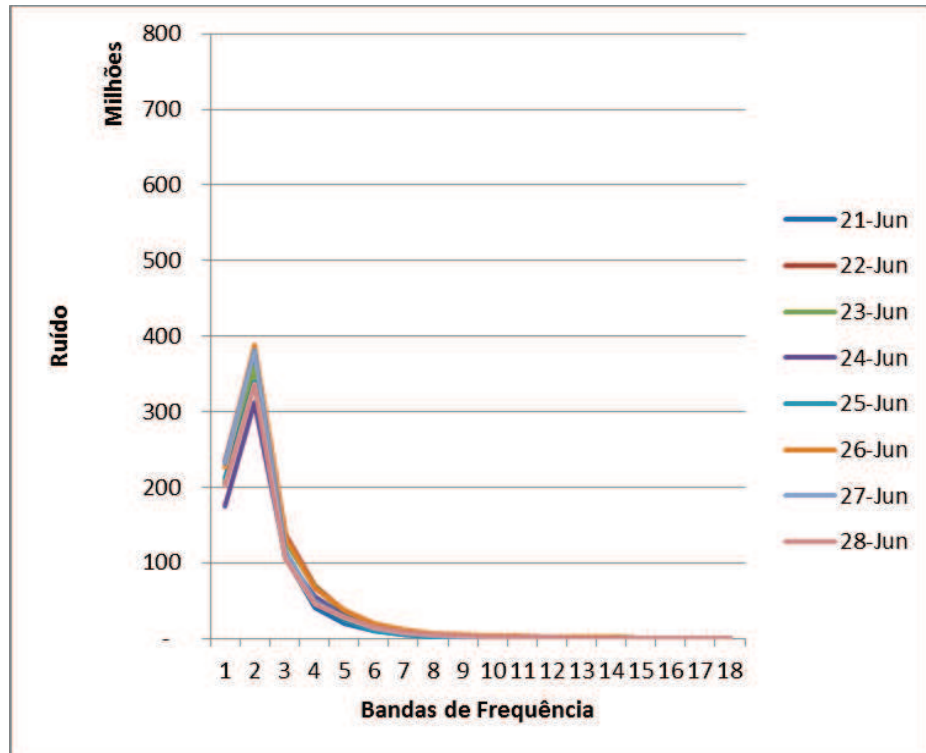


FIGURA 6: Ampliação do gráfico com os valores de ruído do SongMeter A no mês de junho evidenciando a banda de frequência que foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica

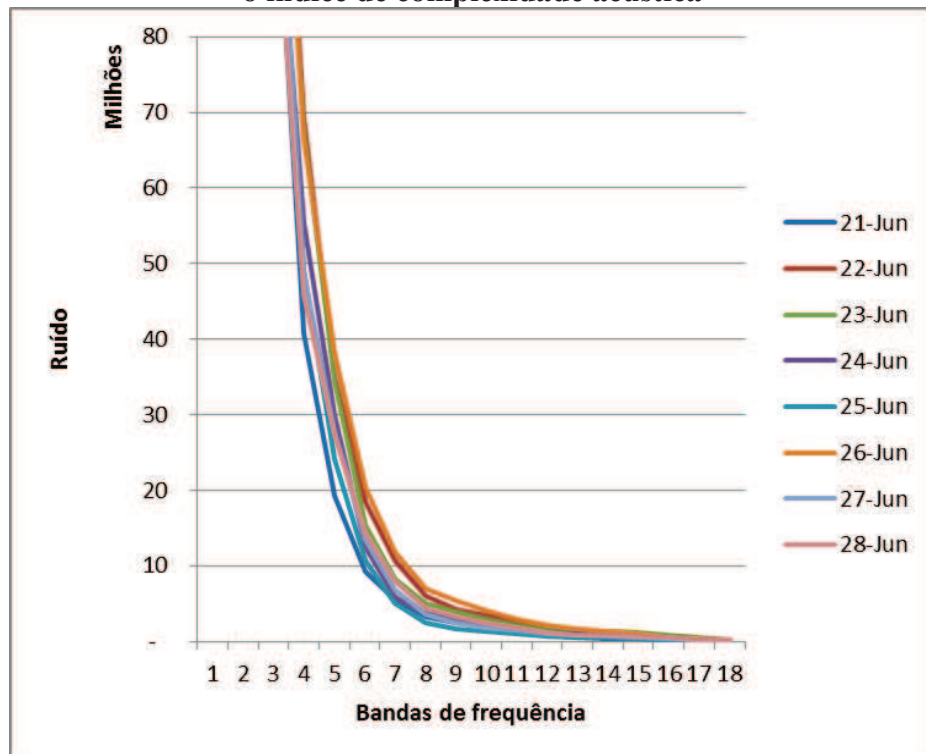


FIGURA 9: Valores do ruído do SongMeter B durante o mês de maio

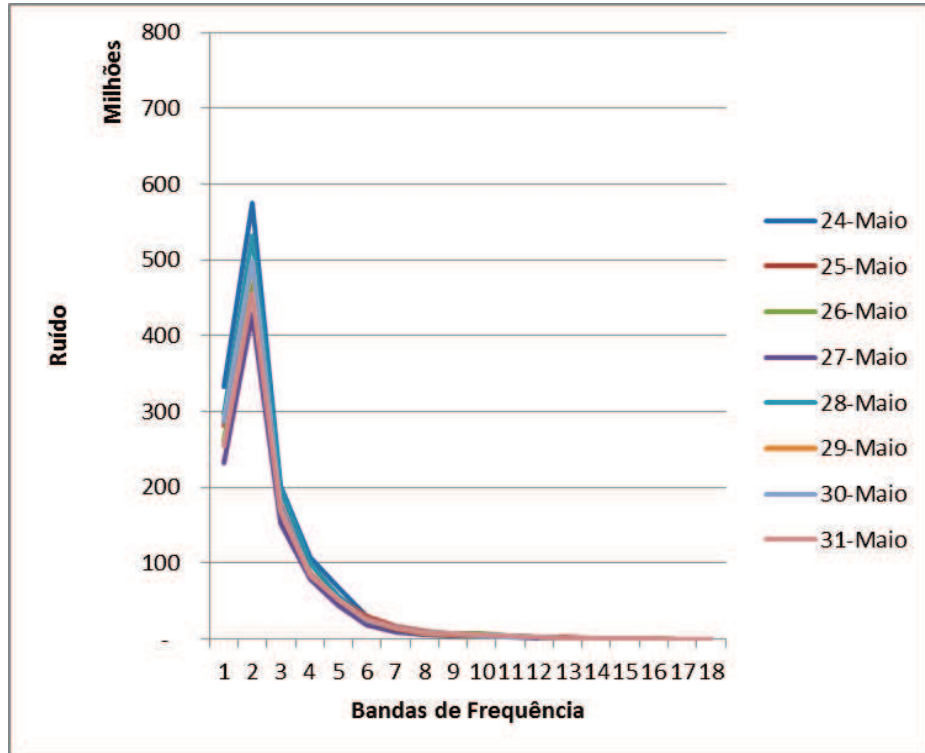


FIGURA 10: Ampliação do gráfico com os valores de ruído do SongMeter B no mês de maio evidenciando a banda de frequência que foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica

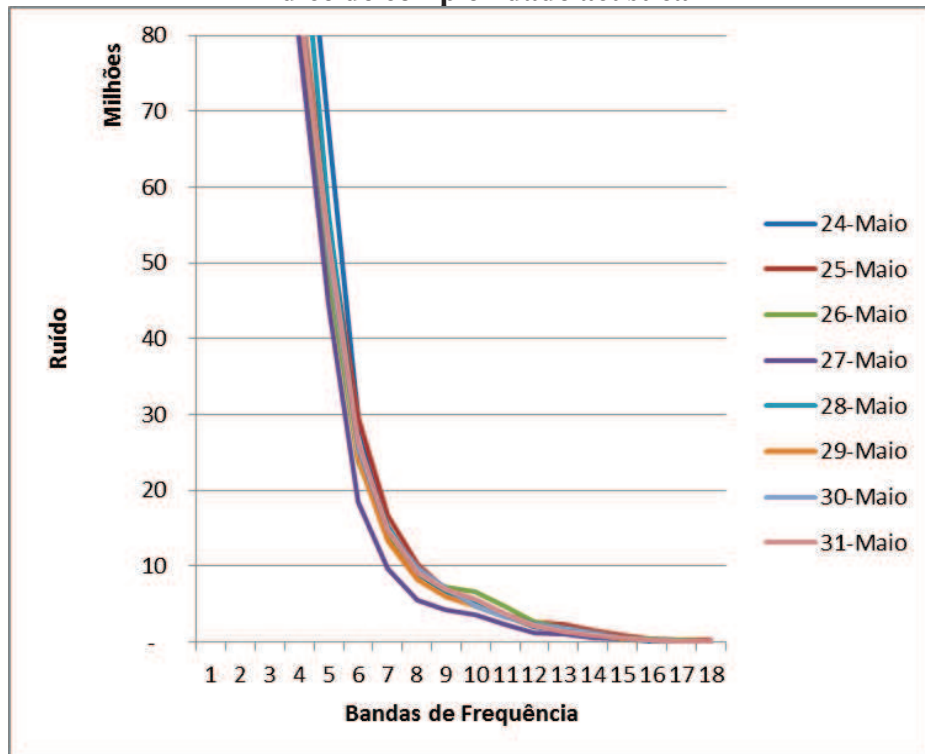


FIGURA 11: Valores do ruído do SongMeter B durante o mês de junho

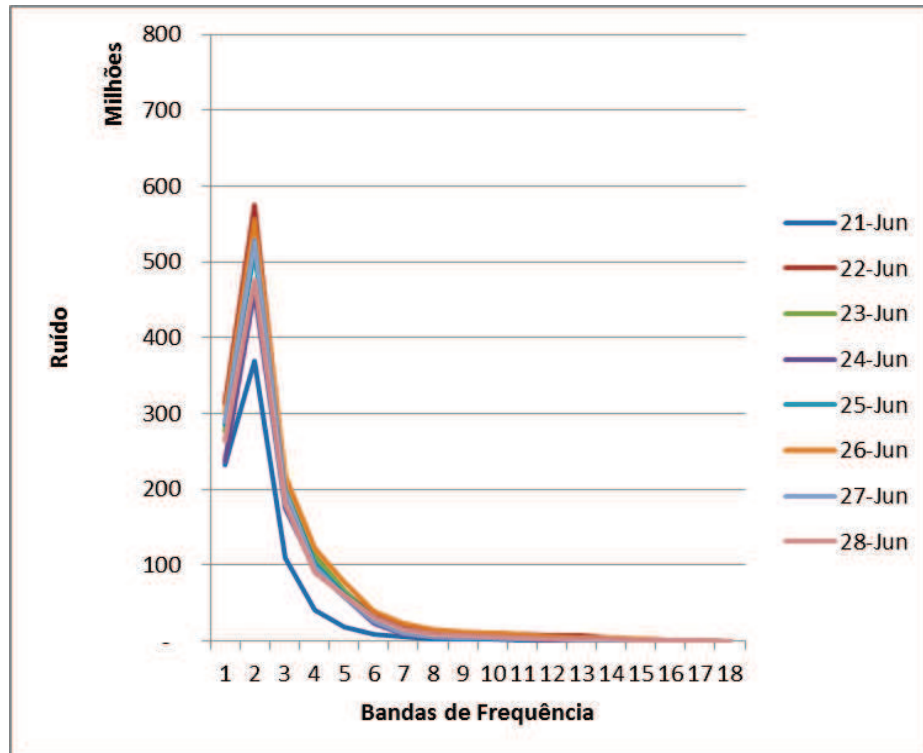


FIGURA 12: Ampliação do gráfico com os valores de ruído do SongMeter B no mês de junho evidenciando a banda de frequência que foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica

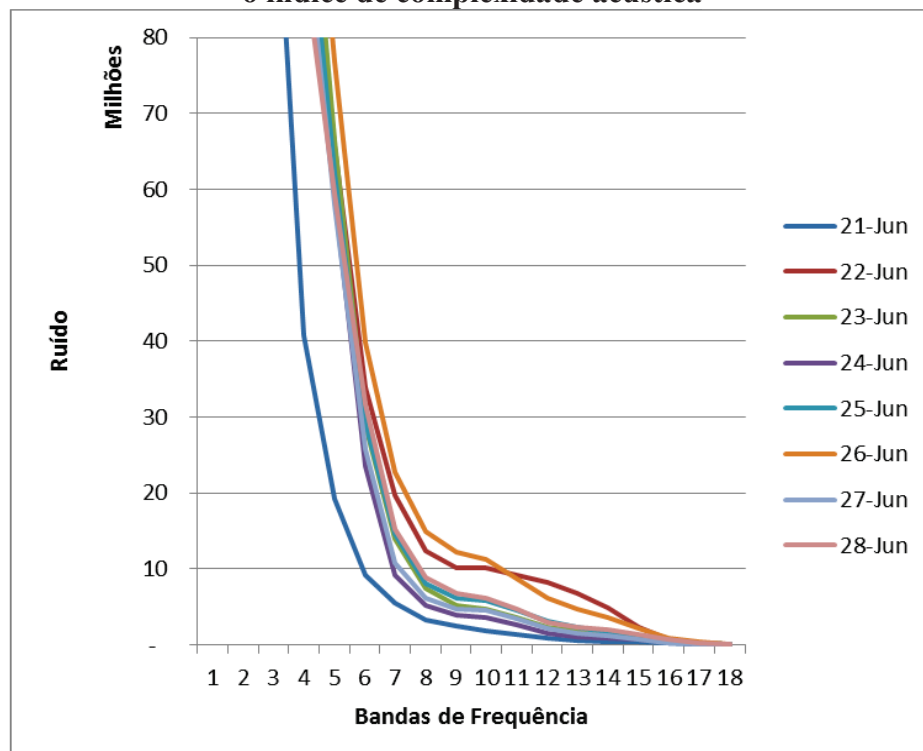


FIGURA 21: Valores do ruído do SongMeter D durante o mês de maio

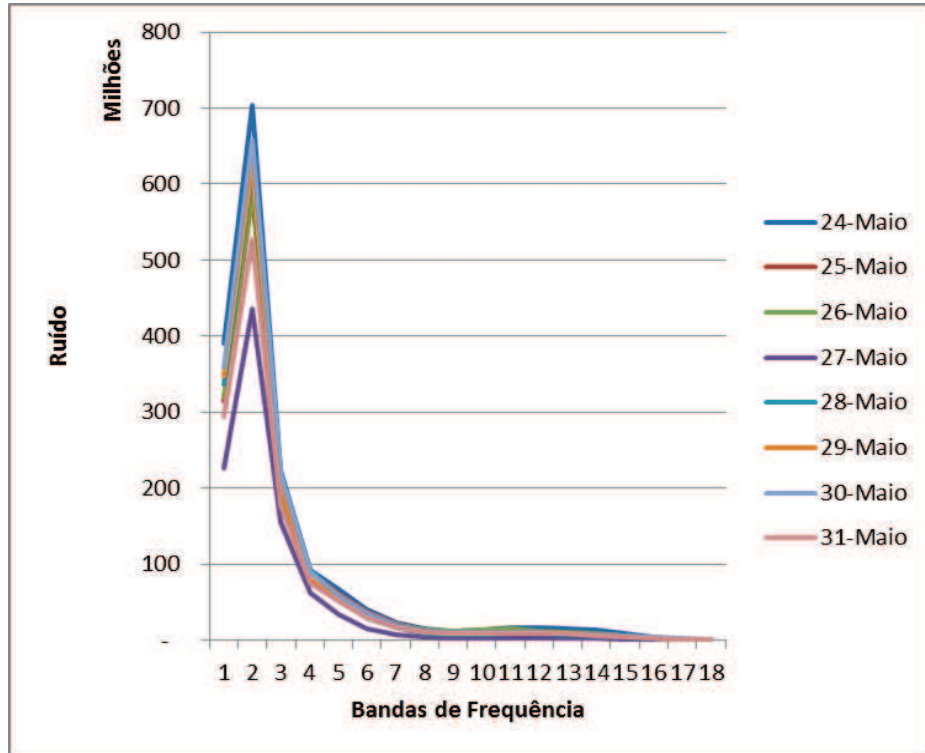
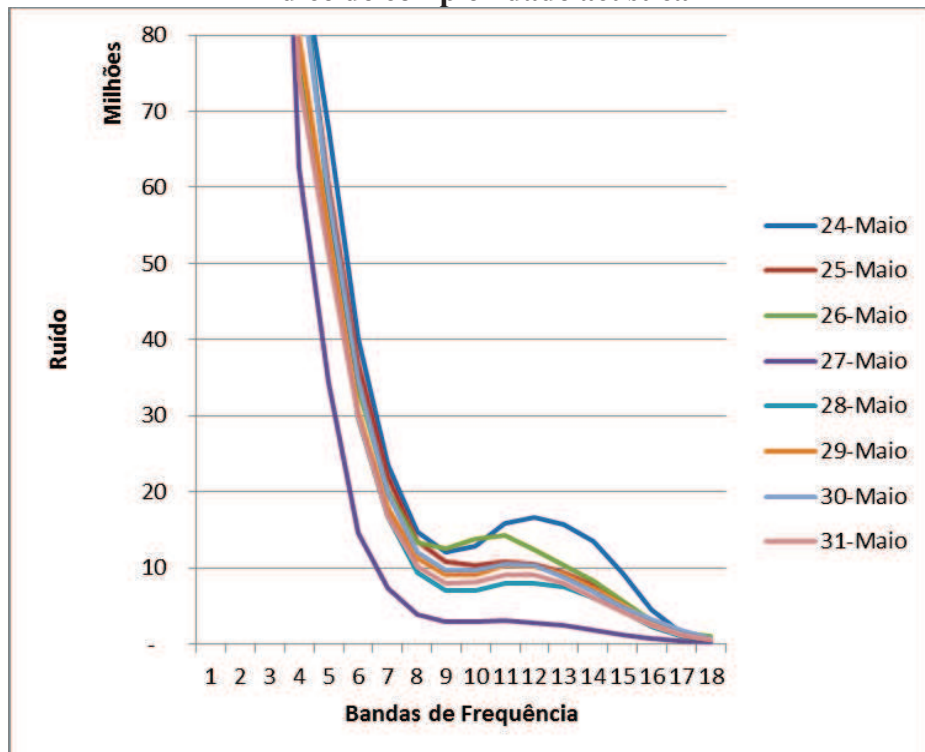


FIGURA 22 Ampliação do gráfico com os valores de ruído do SongMeter D no mês de maio evidenciando a banda de frequência que foi realizada a separação entre o ruído e o índice de complexidade acústica



É possível averiguar que a partir da banda de frequência 18, que corresponde a 1550 Hz, há um declínio nos valores. Com esta análise foi possível indicar qual banda de frequência é caracterizada por ruídos antropogênicos, e em qual banda de frequência começa a biofonia. Assim sendo, nas bandas de frequência acima de 1550 Hz começa a biofonia da Mata da PUC Minas.

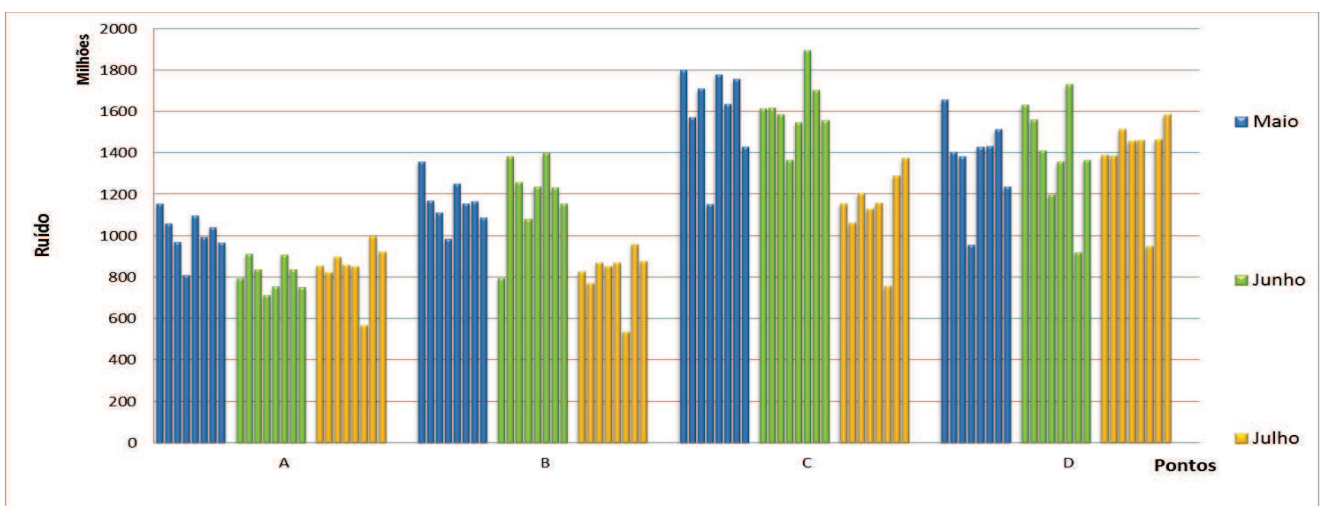
É possível observar que nos pontos C e D, o ruído se distribui de forma diferente. Isto provavelmente ocorre devido à maior incidência de ruído produzido pelas pessoas no clube ao lado da Mata e no Museu da PUC Minas.

5.1.1 Valores de ruídos e alguns exemplos observados no espectograma

Os resultados de ruído, retirando os valores de ACI nas bandas de frequência de 1 a 18, ressaltam o contexto ruidoso no qual a área de estudo se encontra.

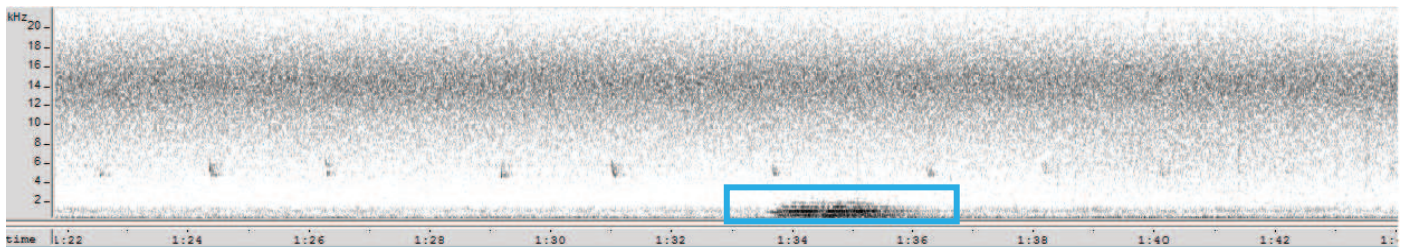
Os resultados demonstram que os pontos mais ruidosos, que são o que obtiveram maiores valores de POW, se encontram na periferia (pontos C e D) e os menos ruidosos se encontram no centro da Mata (pontos A e B) (figura 27), embora em toda a área de estudo os valores de ruído sejam extremamente altos.

FIGURA 27: Resumo dos valores de ruído, em POW, de todos os SongMeters ao longo dos três meses de coleta



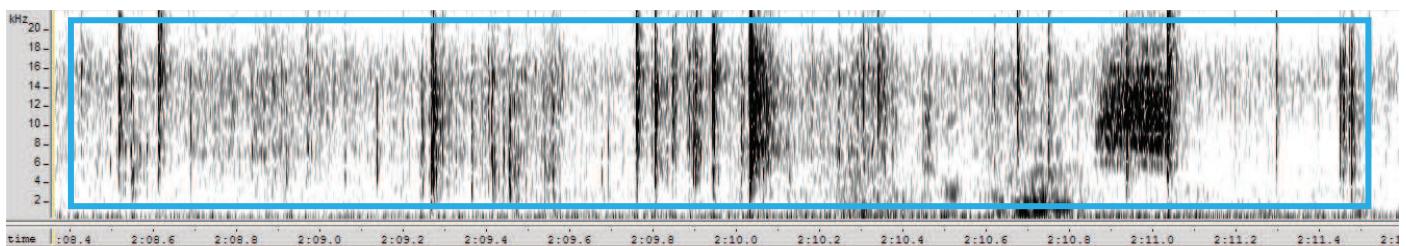
Os valores de ruído (figura 27) chegam a 1.900.000.000 watts/hertz, no ponto C, no mês de junho, sendo que neste ponto o menor valor esteve abaixo de 800 milhões. O ponto D foi o segundo maior em ruído, sendo que os maiores valores chegaram a 1.700.000.000 watts/hertz e os menores valores do ponto foram próximos de 1.000.000.000. O ponto B obteve os valores de ruído entre 1.400.000.000 watts/hertz e 600.000.000 watts/hertz. O ponto A foi o local com menos incidência de ruído, com o maior valor abaixo de 1.200.000.000 watts/hertz, e o menor valor abaixo de 600.000.000 watts/hertz.

FIGURA 28: Exemplo de ruído antropogênico, em julho, no Song Meter A, dia 24 às 17:00



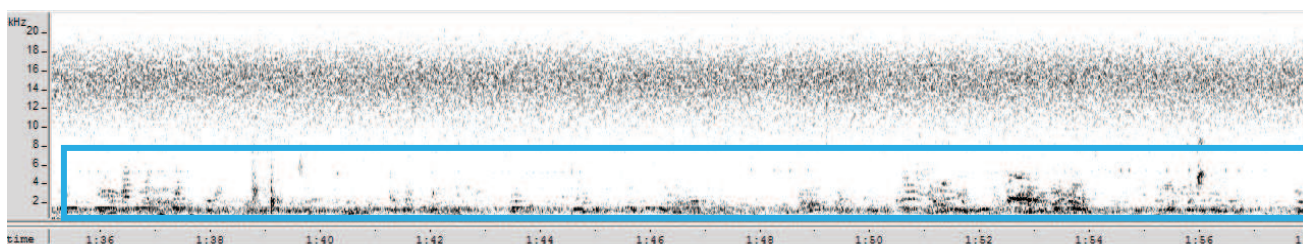
No retângulo azul, um ruído antropogênico causado por um trem de ferro, que ocorre frequentemente nas gravações, com a duração de aproximadamente 2 segundos e com a frequência abaixo de 2.000 Hertz.

FIGURA 29: Exemplo de pessoas conversando próximo ao SongMeter, e outros ruído de fundo, em maio, no SongMeter B, dia 29 às 09:45



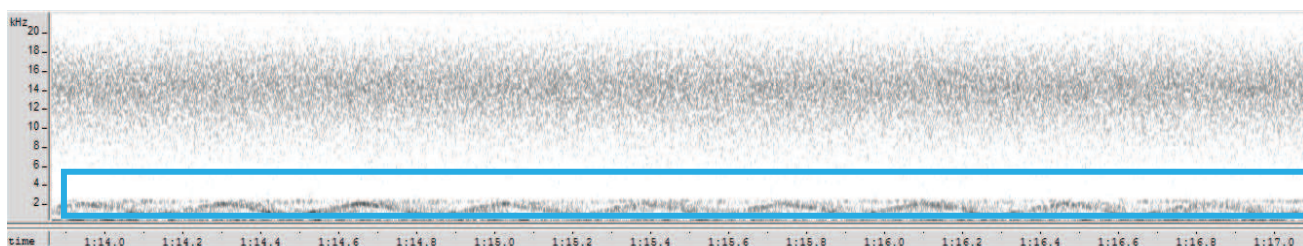
No retângulo azul, ruído antropogênico durante toda a gravação, evidenciando pessoas conversando próximo ao ponto B, ocupando todas as bandas de frequência utilizadas pela análise.

FIGURA 30: Exemplo de crianças gritando e outros ruído de fundo, em junho, no Song Meter C, dia 26 às 16:30h



A proximidade da Mata da PUC Minas de locais como o clube e o Museu de Ciências Naturais, faz com que barulhos produzidos por crianças seja comum nos pontos na periferia da Mata. No retângulo azul exemplos de crianças rindo e gritando.

FIGURA 31: Exemplo de ruído de sirene, no SongMeter D, em junho, dia 24 às 00:00h



No retângulo azul, ruído produzido por sirenes, que são comuns nos pontos próximos da periferia da Mata da PUC Minas.

5.2 Valores de ACI e biofonias observadas nos espectrogramas

Como os valores de ruído vão até a banda de frequência 18 (1.550 Hz), a biofonia está entre a banda de frequência 19 (1.550 Hz) e 185 (16.000 Hz).

É possível observar que os valores de ACI são maiores que zero e chegam a cinco; quanto maior os valores, maior a biofonia do local. Estes valores apresentam picos, em geral, nas bandas de frequência 19 a 53, que correspondem a 1.550 Hz a 4.650 Hz, e em alguns pontos houve picos de biofonias em bandas de frequências diferentes das supracitadas.

No SongMeter A (figuras 32 ao 36) houve picos de biofonias que variaram entre as bandas 65 a 111 (que correspondem a 5.590 Hz a 9.545 Hz). No SongMeter B (figuras 37 ao 41) houve picos de biofonias que variaram entre as bandas 55 a 99 (que correspondem a 4.730 Hz a 8.515 Hz). No SongMeter C (figuras 42 ao 44) houve picos que variaram entre as bandas 80 a 99 (correspondendo a 6.880 Hz a 8.515 Hz). Já no SongMeter D (figuras 45 ao 47) não

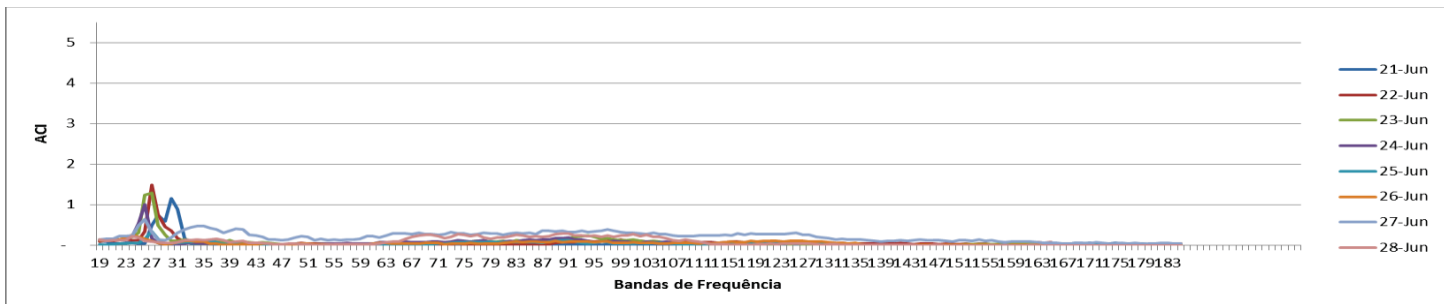
houve nenhum pico muito diferenciado, embora a biofonia fosse constante até aproximadamente a banda de frequência 110 (que corresponde a 9.460 Hz).

FIGURA 32: Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter A durante o mês de maio



Durante o mês de maio, no SongMeter A, é possível averiguar que os valores de ACI estão em torno de (1) um, para todos os dias de coleta. A comunidade acústica das espécies presentes neste ponto ocupam aproximadamente o nicho acústico entre as bandas de frequência 19 e 43 (1.635 Hz até 3.700 Hz).

FIGURA 33: Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter A durante o mês de junho

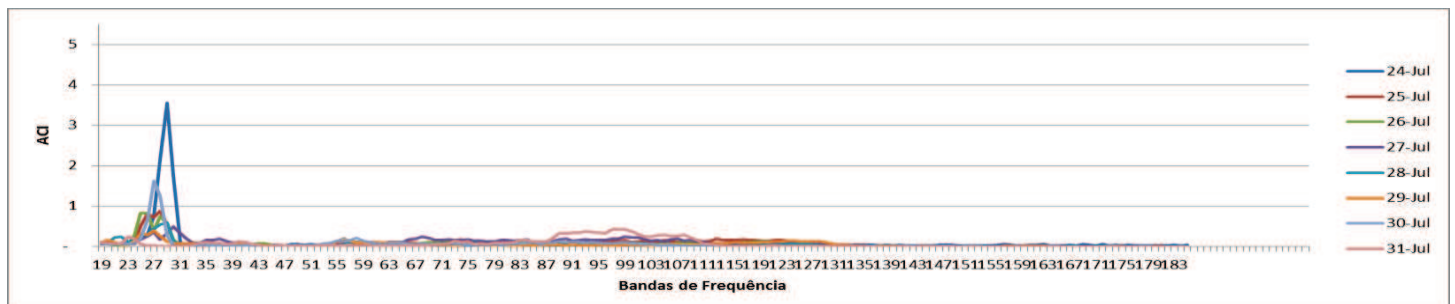


Durante o mês de junho, no SongMeter A, é possível averiguar que o valor do ACI se aproxima de (1) um, em todos os dias de coleta. A comunidade acústica das espécies presentes neste ponto e mês ocupam aproximadamente o nicho acústico entre as bandas de frequências 23 e 32 (1.990 Hz até 2.755 Hz). Há um outro pico de vocalizações entre as bandas de frequência que vão de 5.765 Hz até 9.460 Hz. No dia 27 o ACI se encontra mais

ou menos constante até a banda 140 (12.040 Hz), demonstrando que a biofoia ocorre em várias bandas de frequências diferentes.

Em especial nos dias 27 e 28, observou-se muita biofonia, caracterizada provavelmente por insetos, morcegos e aves.

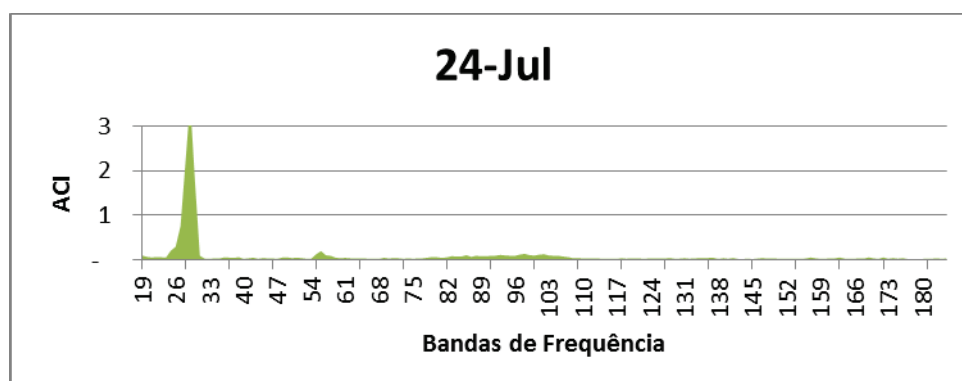
FIGURA 34: Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter A durante o mês de julho



Durante o mês de julho, no SongMeter A, é possível averiguar que houve dois picos nos valores do ACI. Um se aproxima de 4, no dia 24, e o outro se aproxima de 2, no dia 30. Os valores de ACI são menores que 1, nos outros dias. A comunidade acústica das espécies presentes neste ponto e mês ocupam o nicho acústico nas entre as bandas de frequências 19 e 32 (1.635 Hz até 2.755 Hz).

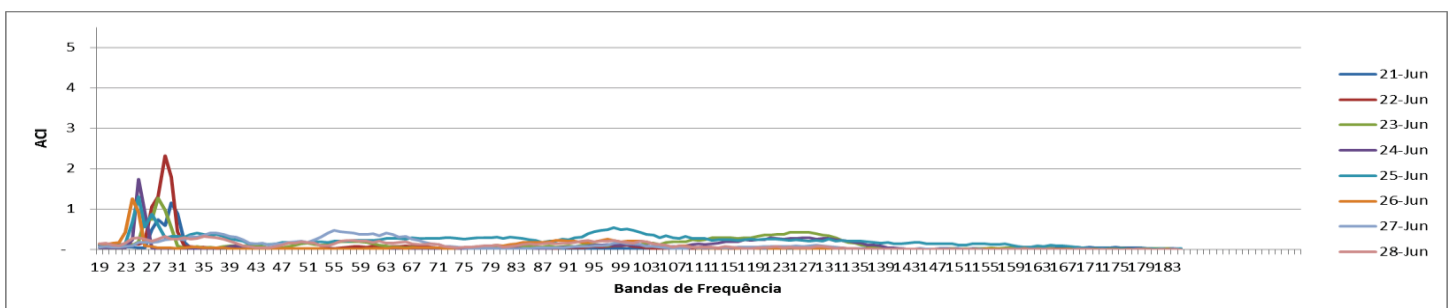
Pode-se observar também que houve alguns picos de vocalizações em frequências mais altas, que ocuparam as bandas de frequência entre 87 e 111 (7.485 Hz a 9.545 Hz).

FIGURA 35: Valor de índice de complexidade acústica do SongMeter A



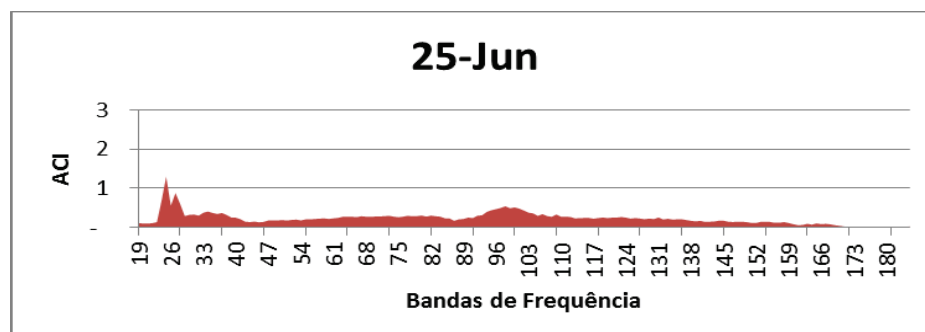
Durante o mês de maio, no SongMeter B, é possível averiguar que os valores do ACI se aproximam de 2, sendo que a comunidade acústica das espécies presentes neste ponto e mês ocupam o nicho acústico entre as bandas de frequências 19 e 47 (1.635 Hz até 4.045 Hz). Há também outros dois picos de vocalizações entre as bandas 52 a 67 (4.475 Hz a 5.765 Hz), e 79 a 99 (6.795 Hz a 8.515 Hz).

FIGURA 38: Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter B durante o mês de junho



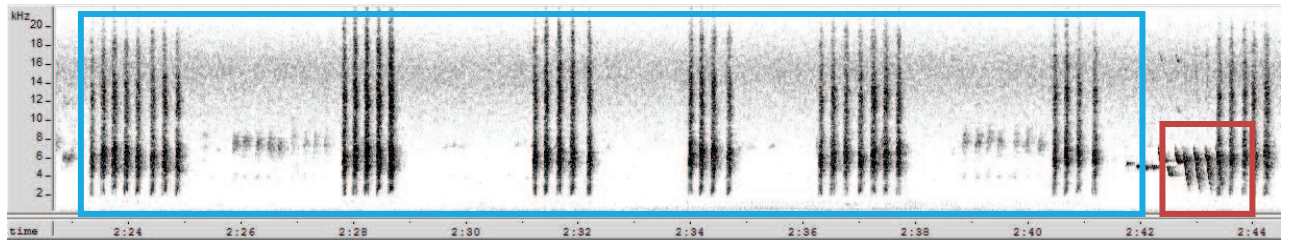
Durante o mês de junho, no SongMeter B, é possível averiguar que os valores do ACI são maiores que 2 no dia 22, e menores que 2 nos outros dias. Foi observada muito biofonia. A comunidade acústica das espécies presentes neste ponto e mês ocupam o nicho acústico entre as bandas de frequências 23 e 31 (1.980 Hz até 2.670 Hz). Embora tenha havido este pico de vocalizações nestas bandas, é notável que em quase todas as bandas de frequência houve biofonias constantemente.

FIGURA 39: Valores de índice de complexidade acústica do SongMeter B durante um dia de coleta



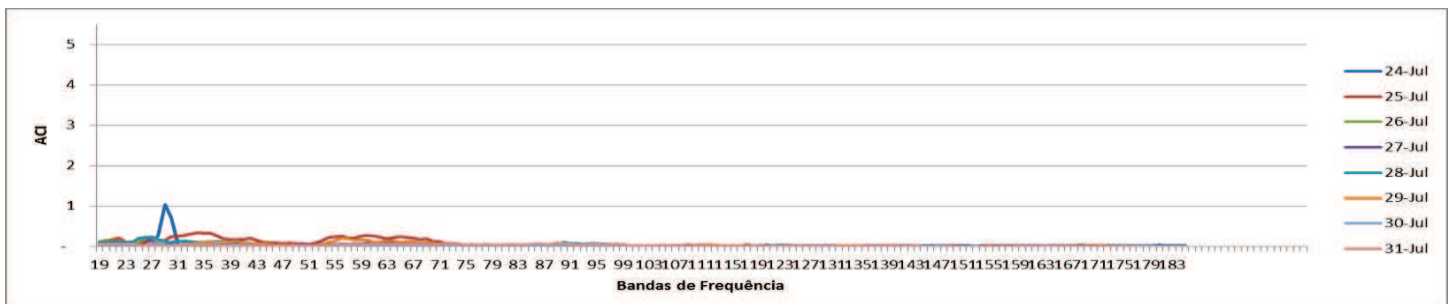
Nos dias 23 e 25 de junho houve biofonias até a banda de frequência 172 (14.695 Hz), com um pico de biofonias entre as bandas de frequência 22 e 33 (1.980 Hz e 2.840 Hz). Estes valores representam a biofonia realizada principalmente por aves, morecegos e insetos.

FIGURA 40: Exemplo de vocalizações de aves no Song Meter B, dia 25 de junho ao 12:00



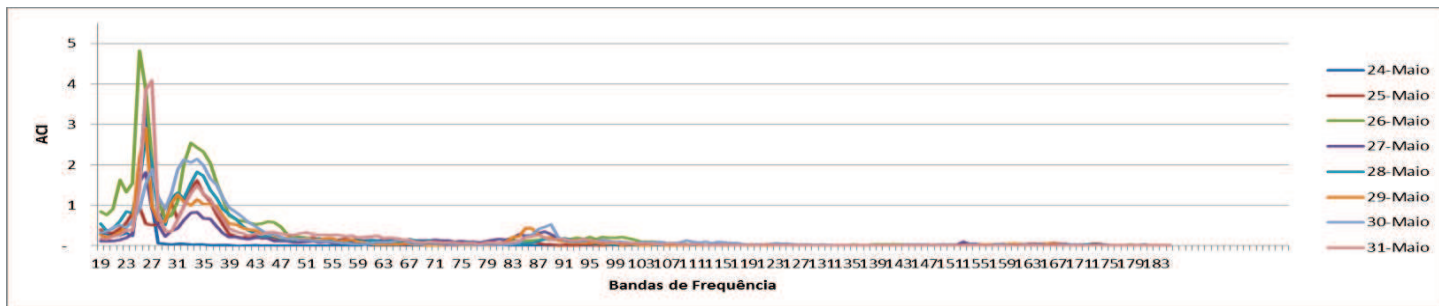
Em evidência, duas vocalizações diferentes de aves, mostrando as diferentes bandas de frequências, ao longo do tempo que estas biofonias estão ocupando. Nos retângulos é possível visualizar dois diferentes tipos de vocalizações.

FIGURA 41: Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter B durante o mês de julho



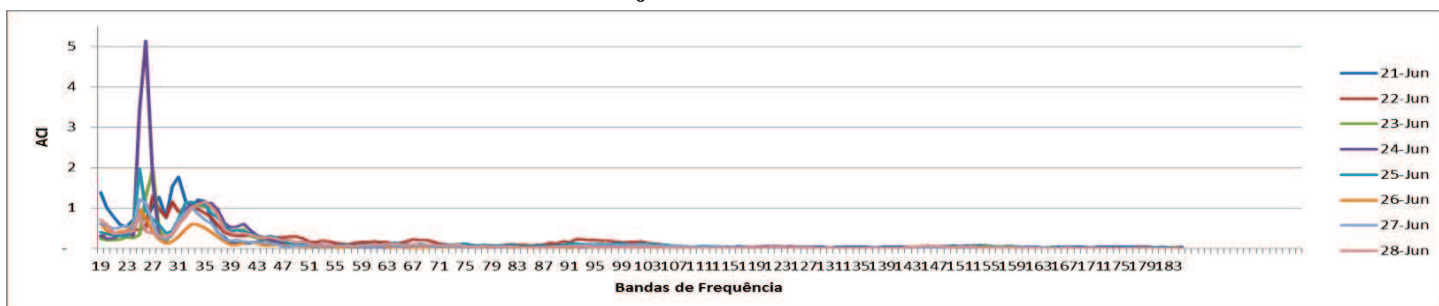
Durante o mês de julho, no SongMeter B, é possível averiguar que os valores do ACI são menores que (1) um, e no dia 24, o índice atingiu um pico e chegou a (1) um. A comunidade acústica das espécies presentes neste ponto e mês ocupam dois principais picos de vocalizações, o primeiro entre as bandas de frequências 23 e 43 (1.980 Hz até 3.700 Hz), e o segundo entre as bandas 55 a 71 (4.730 Hz a 6.100 Hz).

FIGURA 42: Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter C durante o mês de maio



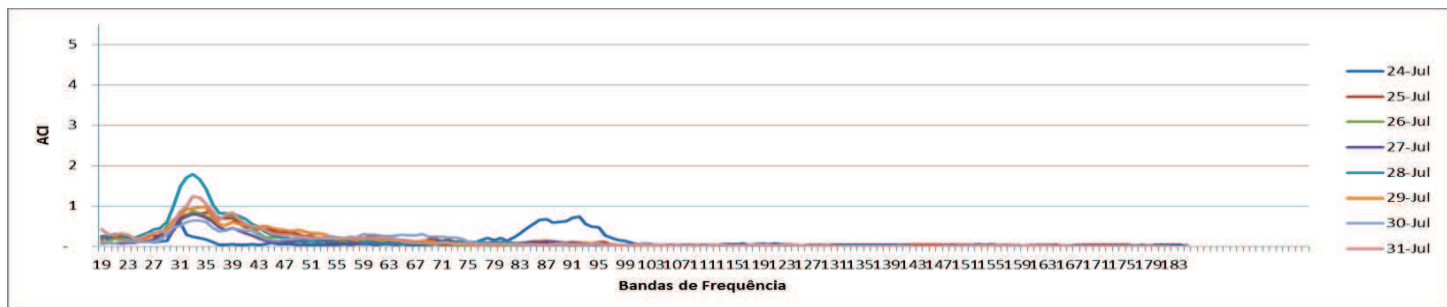
Durante o mês de maio, no SongMeter C, é possível averiguar que os valores do ACI se aproximam de 5 no dia 26, chegam a 4 no dia 25, e foram menores que 3 nos outros dias. A comunidade acústica das espécies presentes neste ponto e mês ocupam o nicho acústico aproximadamente entre bandas de frequências 19 e 51 (1.635 Hz até 4.385 Hz); e entre as bandas 80 e 103 (6.880 Hz e 8.860 Hz), sendo que nas frequências mais altas, foi possível visualizar, e algumas vezes ouvir, vocalizações de morcegos.

FIGURA 43: Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter C durante o mês de junho



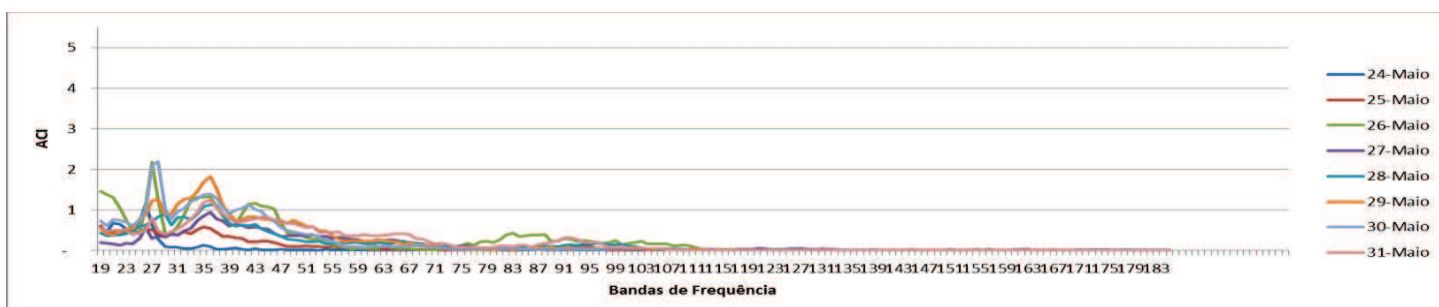
Durante o mês de junho, no SongMeter C, é possível averiguar que os valores do ACI chegam a 5. O maior valor se encontra no dia 24, sendo que nos outros dias o valor do ACI foram mais baixos, se aproximando de 2. A comunidade acústica das espécies presentes neste ponto e mês ocupam o nicho acústico aproximadamente entre as bandas de frequências 19 e 51 (1.635 Hz até 4.390 Hz).

FIGURA 44: Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter C durante o mês de julho



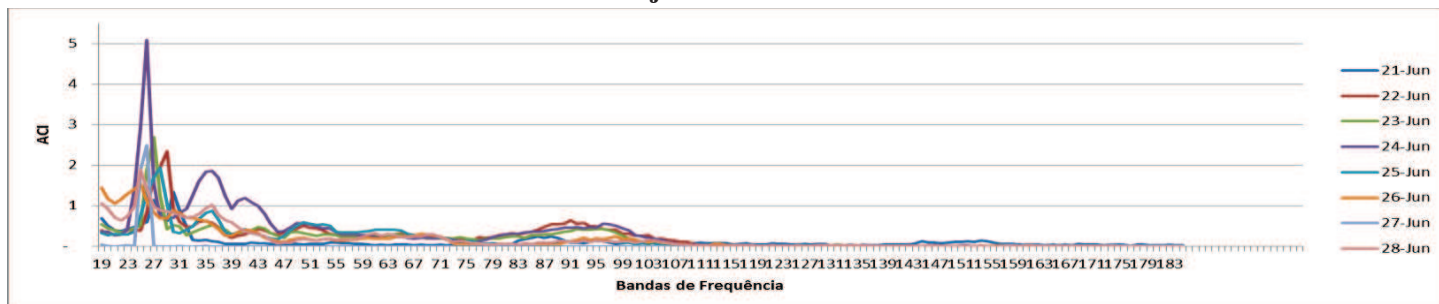
Durante o mês de julho, no SongMeter C, é possível averiguar que os valores do ACI são menores que 2. Houve dois picos em diferentes bandas onde o ACI foi maior. O primeiro se encontra entre as bandas 24 e 51 (2.065 Hz a 4.390 Hz), e a segunda entre as bandas de 83 e 99 (7.140 Hz a 8.515 Hz), que ocorreu no dia 24. Após escutar a gravação e elaborar o espectrograma do dia 24, pode-se afirmar que este pico de biofonia é composto por vocalizações de aves.

FIGURA 45: Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter D durante o mês de maio



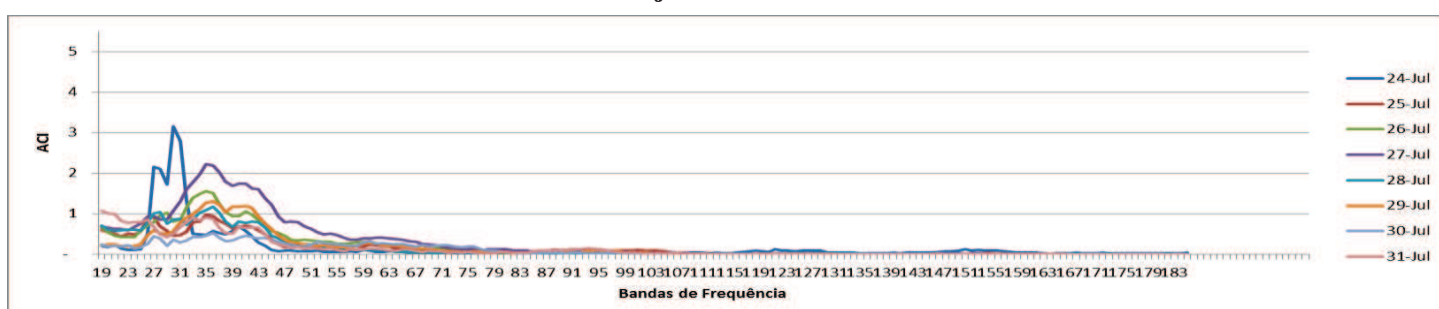
Durante o mês de maio, no SongMeter D, é possível averiguar que os valores do ACI chegam a 2. A comunidade acústica das espécies presentes neste ponto e mês ocupam o nicho acústico entre as bandas de frequências 19 e 54 (1.635 Hz até 4.645 Hz), embora sejam mais evidentes até aproximadamente a banda 110 (9.460 Hz).

FIGURA 46: Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter D durante o mês de junho



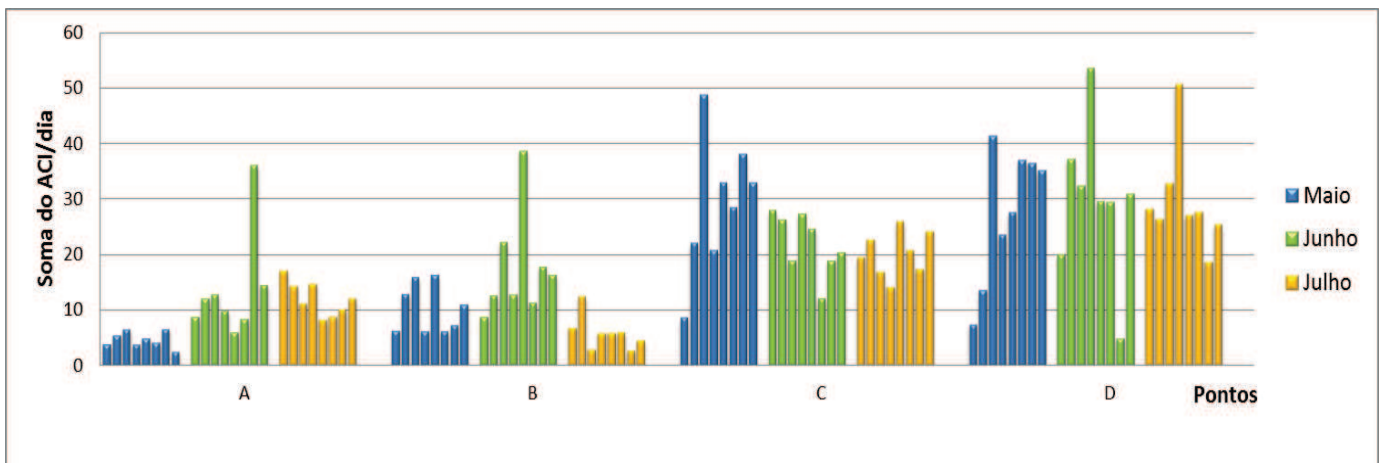
Durante o mês de junho, no SongMeter D, é possível averiguar que os valores do ACI chegam a 5. É possível observar que houve um pico no valor do ACI no dia 24, onde o valor foi igual a 5 e nos outros dias os valores foram menores que 3. A comunidade acústica das espécies presentes neste ponto e mês ocupam o nicho acústico entre aproximadamente as bandas de frequências 19 e 110 (1.635 Hz até 9.460 Hz). Há um pequeno pico de vocalizações entre as bandas 143 e 159 (12.300 Hz até 13.675 Hz) no dia 21, e o pico representado no gráfico corresponde principalmente a biofonias de aves e insetos, e possivelmente pulsos de morcegos em frequências elevadas.

FIGURA 47: Valores do índice de complexidade acústica do SongMeter D durante o mês de julho



Durante o mês de julho, no SongMeter D, é possível averiguar que os valores do ACI se aproximam de 3, no dia 24, chegam a 2, no dia 27, e se aproximam de 1, nos outros dias. A comunidade acústica das espécies presentes neste ponto e mês ocupam o nicho acústico entre aproximadamente as bandas de frequências 19 e 80 (1.635 Hz até 6.880 Hz).

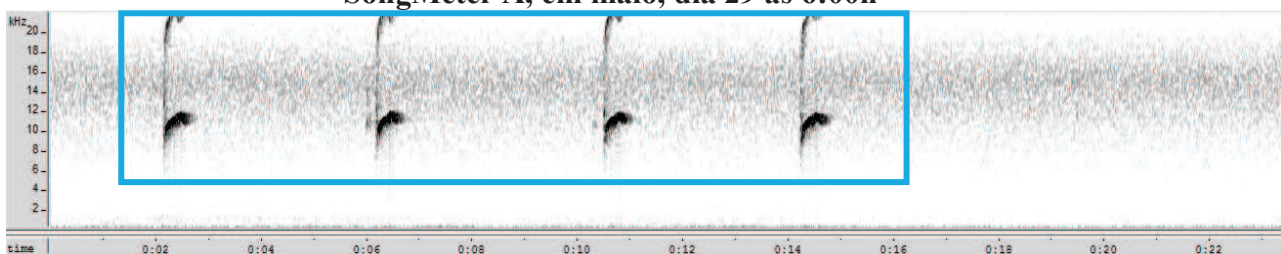
FIGURA 48: Soma dos valores do índice de complexidade acústica durante os dias da semana em todos os pontos ao longo dos três meses de coleta



Com os valores da soma do ACI, por dia, (figura 48), é possível averiguar que o ponto D obteve os maiores índices, sendo que no dia 27 de junho, a soma dos valores do ACI ultrapassaram 50. Os pontos C, B e A, nesta ordem, foram os que obtiveram maiores valores do ACI. No mês de maio, Song Meter A, foi o ponto que obteve o menor índice, sendo que a soma dos valores por dia não chegaram a 10.

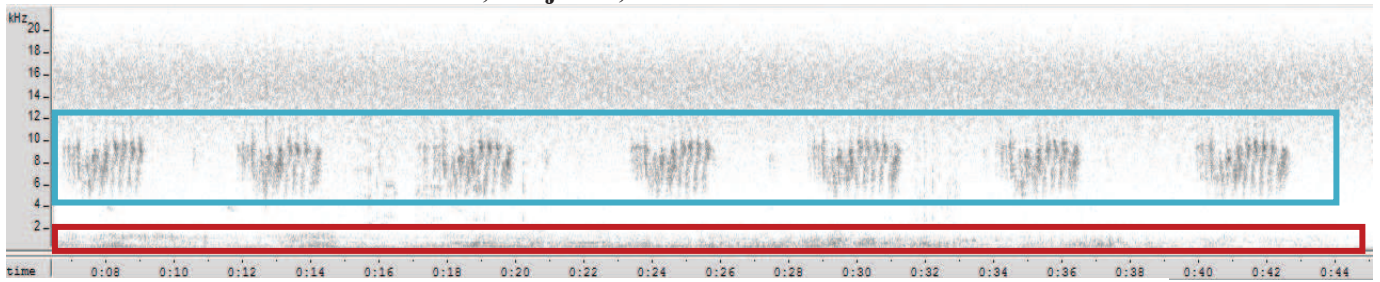
5.2.1 Alguns exemplos de biofonias registradas

FIGURA 49: Exemplo de vocalizações de mamíferos (*Callithrix penicillata*), do SongMeter A, em maio, dia 29 as 6:00h



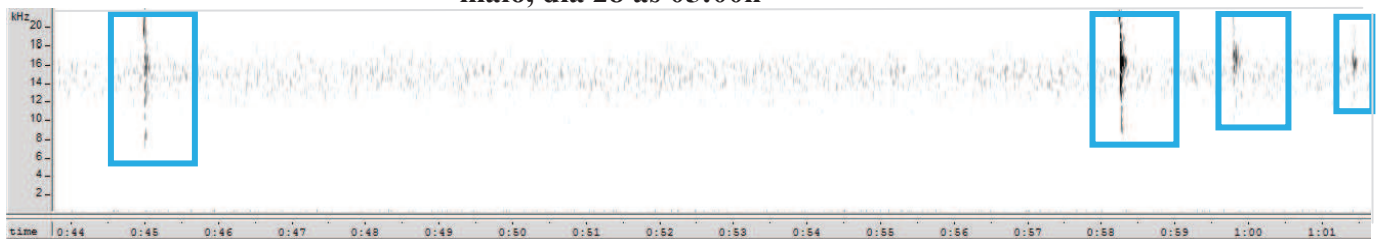
No retângulo azul, mamíferos vocalizando aproximadamente por 10 segundos, podendo ser visualizada a frequência fundamental, e mais acima um harmônio.

FIGURA 50: Exemplo de vocalizações de aves e ruído de cortador de grama, do Song Meter A, em julho, dia 31 as 13:45h



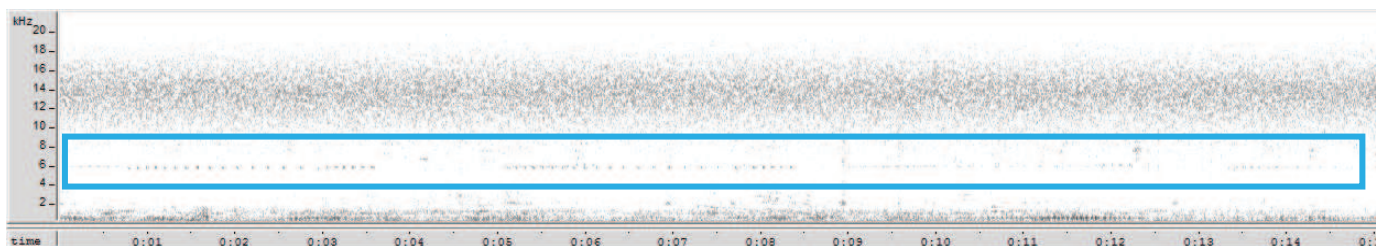
No retângulo azul, aves vocalizando durante toda a gravação, e no fundo um cortador de grama, no retângulo vermelho.

FIGURA 51: Exemplo de vocalizações sociais de morcegos, do Song Meter A, em maio, dia 28 as 05:00h



Nos retângulos azuis, pulsos de morcegos, com curta duração, chegando a altas bandas de frequências.

FIGURA 52: Exemplo de biofonias realizadas por insetos, no SongMeter D, em junho, 21, às 16:15h



No retângulo azul, vários pulsos de frequência constante, produzido por insetos, ao longo de toda gravação.

5.3 ACI x POW

A periferia da mata obteve tanto os maiores valores de ruído como também os maiores valores de ACI. Os valores de ACI e ruído foram menores no centro da Mata, embora o ruído permaneça elevado em toda a Mata, e os valores de ACI sejam menores nos pontos centrais.

FIGURA 53: Gráfico com as somas dos valores de ruído ao longo dos três meses de coleta nos quatro pontos

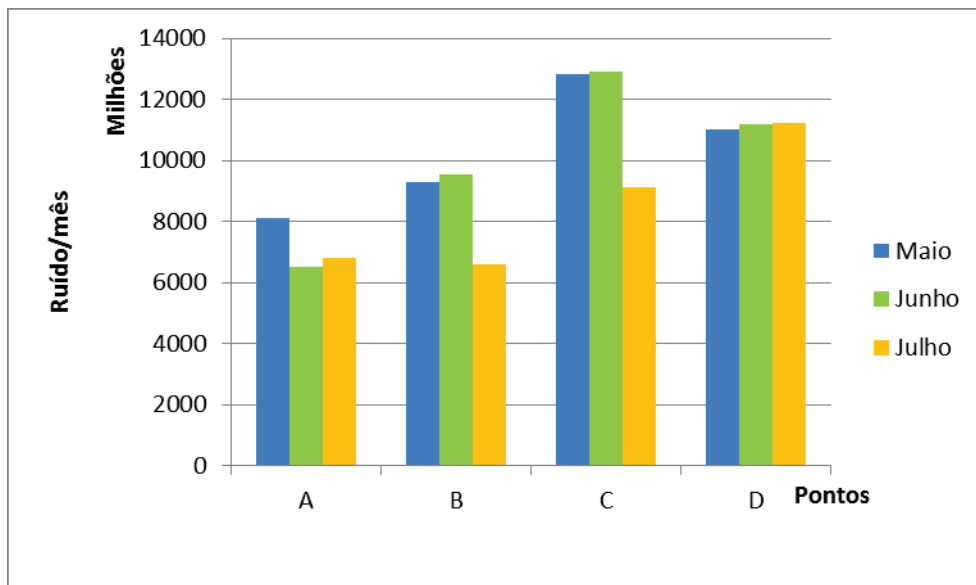
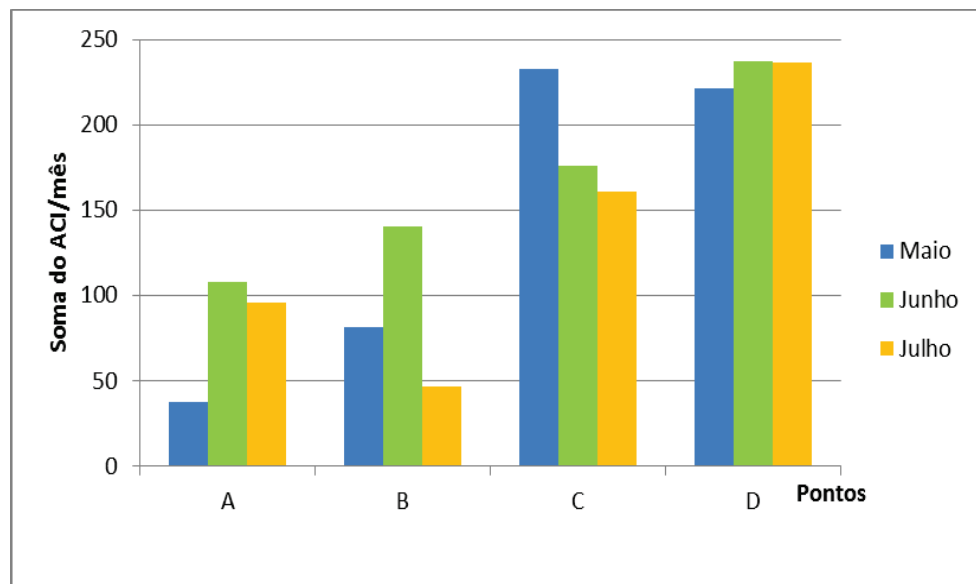
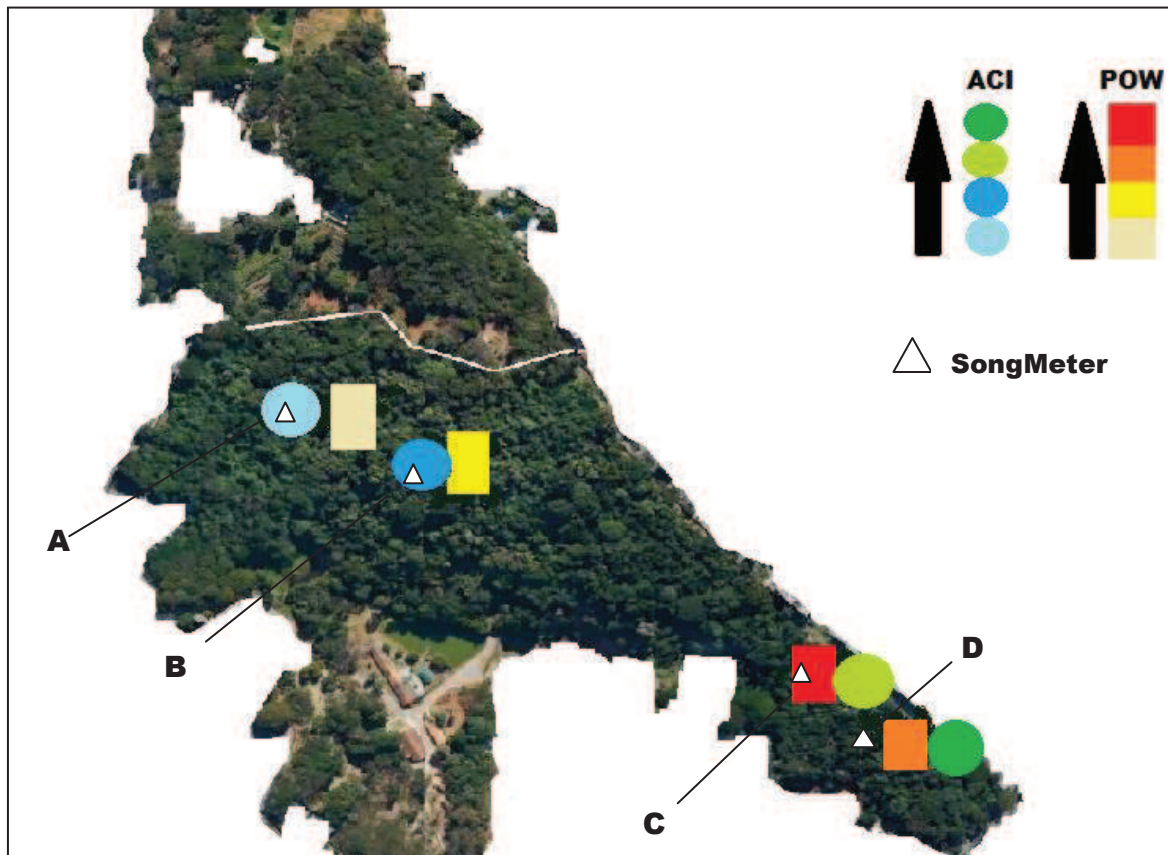


FIGURA 54: Gráfico com as somas dos valores de ACI ao longo dos três meses de coleta nos quatro pontos



Pode-se observar que os valores de ruído foram maiores no ponto C e D, seguidos dos pontos B e A (figura 55). Para o ACI, os maiores valores foram nos pontos D e C, seguidos pelos pontos B e A. É possível averiguar que tanto para o ruído, quanto para o ACI, os valores são maiores na periferia da mata e menores no centro.

FIGURA 55: Esquema da Mata da PUC Minas com os valores de índice de complexidade acústica e ruído



Esquema representativo da Mata da PUC Minas indicando os maiores e menores valores de ACI e POW nos pontos de coleta.

5.4 Análises Estatísticas

5.4.1 Correlação de Pearson

Na Correlação de Pearson = 0,56; N = 96 e $p > 0,001$, demonstrando que o ruído e o índice de complexidade acústica apresentam uma correlação média.

5.4.2 Comparando o ruído entre os grupos 1 e 2

Para analisar se a diferença entre níveis de ruído na periferia e no centro da Mata foi significativa, os pontos foram divididos em dois grupos: o grupo 1, composto pelos pontos A e B, e o grupo 2, composto pelos pontos C e D. Posteriormente utilizou-se o teste ANOVA para averiguar se a diferença foi significativa (figura 56).

Estatisticamente, o grupo 2 é mais ruidoso do que o grupo 1, onde $F = 85,67$; $DF = 1$; $MS = 0,657$ e $p < 0,0001$.

5.4.2.1 Confirmando a hipótese

Hipótese : Os valores de POW serão maiores na periferia da Mata da PUC Minas do que no interior da mesma

Os resultados confirmam que os pontos mais ruidosos se encontram na periferia e os menos ruidosos se encontram no centro da Mata, confirmando a hipótese proposta.

4.3 Comparando o ACI entre os grupos 1 e 2

Para analisar se a diferença do ACI na periferia e no centro da Mata foi significativa, os pontos foram divididos em dois grupos: o grupo 1, composto pelos pontos A e B, e o grupo 2, composto pelos pontos C e D. Posteriormente utilizou-se o teste ANOVA para averiguar se a diferença foi significativa (figura 57).

Os dois grupos são significativamente diferentes, sendo que o grupo 2 apresenta mais biofonia do que o grupo 1, onde $F = 83,6$; $DF = 1$; $MS = 3,866$ e $p < 0,0001$.

5.4.3.1 Confirmando as hipóteses

Hipótese: O ACI terá maiores valores nas áreas centrais da Mata da PUC Minas.

Os pontos D e C (grupo 2) foram os que obtiveram maiores valores de ACI, seguidos dos pontos B e A (grupo1), diferentemente do proposto na hipótese.

Hipótese: Nos locais mais ruidosos, as aves aumentam a capacidade acústica de suas vocalizações.

Os resultados demonstram que animais aumentam sua capacidade acústica na periferia da Mata da PUC Minas (grupo 2), confirmando a hipótese.

5.4.4 Comparando o ruído e o ACI entre os três meses de coleta

Os valores de ruído foram significativamente diferentes entre os meses, sendo que provavelmente só o mês de julho se difere dos outros meses (figura 58).

Para o teste ANOVA, $F = 5,949$; $DF = 2$; $MS = 0,078$ e $p < 0,04$.

Embora os valores de ACI tenham sido diferentes entre os três meses de coleta, esta diferença não foi significativa (figura 59).

Para o teste ANOVA, $F = 1,708$; $DF = 2$; $MS = 0,145$ e $p = 0,1887$.

5.4.4.1 Confirmando a hipótese

Hipótese: Os valores de ACI não variam ao longo dos três meses de coleta.

É possível confirmar que os valores de ACI não variam de acordo com o mês, em cada ponto de coleta, confirmando a hipótese.

6 DISCUSSÃO

6.1 Confirmação das hipóteses

A hipótese 1 foi confirmada, uma vez que os valores de ruído da periferia da Mata da PUC Minas foram maiores do que os valores no interior da mesma.

A hipótese 2 não foi confirmada pela pesquisa, uma vez que as áreas centrais da Mata da PUC Minas não obtiveram maiores valores de ACI em relação aos pontos da periferia.

A hipótese 3 foi confirmada, uma vez que os animais vocalizaram com maior ênfase nos locais mais ruidosos da Mata da PUC Minas, ou seja, na periferia.

A hipótese 4 foi confirmada, uma vez que os valores de ACI não variaram ao longo dos meses.

A partir dos resultados obtidos, é possível observar que os dados estão correlacionados de maneira mediana, demonstrando que quando o ruído é alto, há uma boa probabilidade de que o ACI seja alto, e quando o ruído é baixo, há uma boa probabilidade de que a ACI também seja baixo. Porém para uma melhor compreensão do impacto do ruído sobre a comunidade da fauna local da Mata da PUC Minas, deve-se analisar a dinâmica de vocalizações durante o período de reprodução das aves, o que poderia explicar mais profundamente a dinâmica acústica da comunidade local. Assim sendo, não se esperava variação entre o índice de complexidade acústica ao longo dos meses de coleta, uma vez que não se analisou o período de reprodução das aves, o que foi confirmado pelos resultados. O grupo 2, composto pelos pontos C e D, apresentaram maiores níveis de ruído que o grupo 1, composto pelos pontos A e B, assim como era esperado nas hipóteses. Os valores de ACI, no o grupo 2, compostos pelos pontos C e D apresentaram maiores valores do que o grupo 1, composto pelos pontos D e C; diferentemente do que era esperado nas hipóteses. Porém, nos locais mais ruidosos da Mata, os animais vocalizaram com maior ênfase, confirmando a hipótese. Ou seja, os resultados apoiaram três das quatro hipóteses propostas.

6.2 Discussão dos resultados

Estudos mostram que os efeitos da urbanização em comunidades de aves e outros animais levam a uma redução na riqueza das espécies e a alterações na composição e tamanho das populações (Trombulak e Frissel, 2000; Forman *et al* , 2002). Por isso, estudos como este se fazem necessários.

Este estudo é uma tentativa de investigar a variabilidade das vocalizações da comunidade animal em um contexto ruidoso. A dinâmica da paisagem acústica pode fornecer informações importantes em relação à comunidade de animais, em especial, a de aves (Farina *et al*, 2011); e é uma metodologia inovadora em um ambiente neotropical, com grande diversidade de espécies, quando comparado com estudos anteriores que foram realizados em ambientes de clima temperado.

Os valores de ruído chegam a 1.550 Hz, enquanto a biofonia varia de 1.550 Hz a 16.000 Hz. A paisagem acústica da área de estudo é constituída por alguns sons biofônicos, que abrange principalmente vocalizações de insetos, aves e mamíferos (em especial, morcegos), e também muito ruído antropogênico, que abrange sons como cortadores de grama, helicópteros, sirenes, buzinas, motocicletas, jogos com bolas e apitos, crianças brincando e conversas de pessoas.

As espécies que mais vocalizaram e realizaram outras biofonias, como estridulação ou bater de asas, durante este período, foram principalmente insetos, pássaros e morcegos, representando grande parte dos sons biofônicos locais, o que pode auxiliar a inferir sobre o bem-estar do ecossistema, uma vez que pássaros e sons em geral estão se tornando bons bioindicadores do bem-estar de uma comunidade (Pijanowski, *et al* 2011).

Hipoteticamente, esperava-se que as espécies vocalizariam menos na periferia da Mata, onde se esperava que o ruído fosse maior. Contudo observou-se que tanto os valores de ruído quanto os valores de ACI foram maiores na periferia em relação aos valores do centro na Mata. Este resultado era esperado somente para o ruído, uma vez que se pressupõe que na periferia da mata há uma maior incidência de ruído, como em estudos realizados em um parque urbano, onde as áreas mais ruidosas do parque durante a semana estão próximas às bordas do mesmo (Duarte, *et al*, 2011).

Com isso, os resultados mostram que as aves são capazes de tolerar o efeito do ruído, e continuar se comunicando, assim como em estudos realizados na Itália, onde as aves

demonstraram que adaptam o seu desempenho vocal, mantendo sua eficácia na comunicação, mesmo em um contexto ruidoso (Simone, Balestrieri pers.comm.). Slabbekoorn e Peet (2003) afirmam que indivíduos de *Parus major*, uma espécie de passeriforme, aumentam a amplitude de suas vocalizações e produzem sinais com frequências mínimas mais altas em áreas mais ruidosas da cidade, em comparação com outros indivíduos que viviam em áreas mais silenciosas. Este resultado provavelmente ocorre para os indivíduos da matinha, verdadeiro para o presente estudo, como mostra o resultado da Correlação de Pearson.

Estudos recentes mostram que a atividade acústica das aves parece ser mais intensa em locais onde os níveis de ruído são mais elevados. Com isso percebe-se que as aves se adaptam, vocalizando mesmo quando os níveis de ruído estão altos no ambiente; e permanecem ajustando suas vocalizações, mesmo na ausência de ruído em ambiente barulhentos, o que pode indicar que algumas aves são propensas a se comunicar com mais ênfase quando há perturbação de ruído, como pode ter ocorrido no presente estudo (Pieretti e Farina, 2013).

O custo energético direto do comportamento vocal inclui a energia necessária para produzir o som, bem como a energia perdida por não se alimentar durante o tempo gasto nas vocalizações. (Deecke, *et al.*, 2004). Já os custos indiretos da comunicação acústica incluem a possibilidade de passar a informação para receptores indesejados, como competidores (Hammond; Bailey, 2003), predadores (Hosken *et al.*, 1994; Mougeot; Bretagnolle, 2000), parasitóides (Lehmann; Heller, 1998; Muller; Robert, 2002), ou, no caso de animais predadores, da presa em potencial.

Estudos realizados com mamíferos afirmam que um gasto maior de energia na produção de vocalizações em situações de estresse pode comprometer o desempenho e até mesmo a sobrevivência dos indivíduos (Cordeiro, *et al.*, 2009). Outros estudos realizados com aves constataram que uma ave urbana consegue vocalizar com até 70 decibéis, em resposta à variação dos níveis de ruído. Porém, a atividade vocal diminuiu acentuadamente acima do limiar de 70 decibéis, o que sugere que esta estratégia é onerosa para as aves. O estudo ainda sugere que as populações de aves em ambientes ruidosos em cidades podem enfrentar um desafio maior para a sobrevivência em comparação com zonas tranquilas, mesmo para espécies que conseguem reduzir a interferência do ruído urbano em sua comunicação acústica (Díaz, *et al.*, 2011). Ou seja, apesar dos animais da Mata da PUC Minas continuarem se comunicando intensamente em locais muito ruidosos, estes animais podem estar gastando uma energia excessiva em sua comunicação.

Pierreti e Farina (2013), também consideram a possibilidade das aves permanecerem segregadas entre locais ruidosos e não ruidosos, com base em sua plasticidade vocal e capacidade de aumentar sua produção de canto. Sendo assim, os indivíduos predispostos geneticamente em produzir o comportamento de vocalizar intensamente podem tolerar o ruído antrópico e viver em locais mais ruidosos, enquanto outros indivíduos, que são menos adaptados, ou são mais sensíveis ao ruído, preferem viver em áreas mais silenciosas. Com isso pode-se inferir que os animais presentes na periferia da Mata demonstraram ser mais tolerantes ao ruído e assim sendo, continuam vocalizando mesmo com grande incidência de barulho antrópico.

Outra explicação possível para o fato de os animais vocalizarem mais na periferia, pode estar relacionada com uma maior disponibilidade de recursos alimentares nos pontos onde houve maior índice de vocalizações, acarretando maior disponibilidade de energia para que os animais despendessem em comunicação. Contudo não há estudos sobre a distribuição de recursos alimentares na Mata. Deve-se levar em conta também que simplesmente pode haver um maior número de indivíduos nos pontos onde há um maior índice de complexidade acústica.

Um dos fatores que podem influenciar no baixo índice de vocalizações dos animais nos pontos A e B, que são os pontos mais centrais, pode ser a presença de um muro de concreto próximo a estes pontos, uma vez que este muro é uma barreira física para os animais, e pode impedir o fluxo contínuo de animais. Bolson (2005) destaca que obstáculos impostos pelo homem, como os fios de luz ou telefone, fios de cerca, telas, grades, ou outras barreiras físicas impedem o voo livre das aves sem riscos, o que conseqüentemente pode ser que leve também à diminuição da taxa de suas vocalizações.

Em relação ao ruído, os pontos mais ruidosos foram àqueles situados na periferia e o ponto mais central da mata, o ponto A, foi o ponto mais silencioso. Embora seja o ponto mais silencioso da Mata, não obteve um valor alto de ACI, indicando que os animais não se comunicaram tão enfaticamente quanto nos outros pontos.

O ruído foi menor no mês de julho em relação aos outros meses, provavelmente por este mês ser período de férias na universidade, e assim sendo, pode ser que haja um menor número de alunos frequentando o Clube da PUC Minas, o que gera menos ruído produzido por apitos, bolas e pessoas conversando. Este período também é de férias escolares, o que diminui o número de excursões realizadas pelas escolas ao Museu de Ciência da PUC Minas, o que poderá acarretar em uma menor quantidade de ruído antropogênico, já que se constatou

que há muito ruído produzido por crianças no Museu que podem ser escutados nos pontos da periferia da Mata. E, provavelmente, no período de férias, há menor quantidade de ruído produzido por cortadores de grama, ruído que também foi muito escutado nas gravações.

As outras espécies presentes na Mata podem não se comportar da mesma maneira que as aves. Estudos mostram que a espécie *Callithrix penicillata*, também presente na Mata da PUC Minas, preferem sistematicamente áreas menos ruidosas, e até mesmo chegam a evitar áreas ricas em recursos alimentares, quando estas áreas apresentam altos níveis de ruído (Duarte, *et al*, 2011). A espécie *C. penicillata* também altera o pico de frequência de suas vocalizações, quando comparadas com animais de áreas não ruidosas (Santos, 2010), demonstrando que o ruído interfere em sua dinâmica usual.

É importante salientar que o ACI foi desenvolvido para perceber a dinâmica do local, e este estudo não deve ser comparado com outro, uma vez que o valor do filtro de ruído, assim como as bandas de frequências utilizadas pela comunidade animal varia de acordo com o tipo de ambiente.

7 CONCLUSÃO

Os pontos centrais da Mata da PUC Minas obtiveram os menores valores de ACI.

Os valores de ruído da Mata da PUC Minas foram maiores na periferia do que no interior da Mata.

Os animais vocalizam com maior ênfase nos locais mais ruidosos da Mata da PUC Minas, ou seja, nos pontos C e D.

Os valores de ACI não variaram ao longo dos meses.

O mês de julho, período de férias escolares e na universidade, obteve menores índices de ruído.

O ACI é uma ótima ferramenta para monitorar a dinâmica da comunidade biótica, fornecendo informações precisas de distribuição da fauna, dentre outras informações sobre a paisagem acústica de um determinado ambiente.

Mais estudos que analisam o efeito do ruído antropogênico na dinâmica das populações que utilizam a comunicação vocal são necessários, para auxiliar a compreensão da dinâmica da fauna em sistemas urbanos complexos.

8 REFERÊNCIAS

Barber, J. R., Crooks, K. R., Fistrup, K. M. **The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms.** Trends in Ecology and Evolution. 2009.

Bergen, F., Abs, M. **Etho-ecological study of the singing activity of the blue tit (*Parus caeruleus*), great tit (*Parus major*) and chaffinch (*Fringilla coelebs*).** Journal für Ornithologie, v.138, p. 451-467. 1997.

BOLSON, J. **Comportamento do polímero de mamona (*Ricinnus communis*) em ossos de codornas domésticas (*Coturnix japonica*).** 57 f. Dissertação (Mestrado em cirurgia) - Programa de Pós-graduação em Medicina Veterinária, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2005.

Brumm, H., Voss, K., Kollmer, I., Todt, D. **Acoustic communication in noise: regulation of call characteristics in a NewWorld monkey.** Journal of Experimental Biology, p. 443–448. 2004.

Brumm, H. **Signalling through acoustic windows: nightingales avoid interspecific competition by short-term adjustment of song timing.** Journal of Comparative Physiology. 2006.

Carson, R. **Silent Spring.** Houghton Mifflin, Boston. 1962.

Cordeiro, A. F. S., Pereira, E. M., Nääs, I. A., Silva, W. T., Moura, D. J. **Estimativa da energia gasta na vocalização de suínos (*sus scrofa*) em situações de estresse na fase de maternidade.** ZOOTEC, São Paulo, 2009.

Deecke, V. B.†, Ford, J. K. B.†, Slater, P. J. B. **The vocal behaviour of mammal-eating killer whales: communicating with costly calls.** Animal Behaviour. v. 69, p. 395–405. 2005.

Díaz, M.; Parra, A.; Gallardo C. **Serins respond to anthropogenic noise by increasing vocal activity.** Behavioral Ecology. 2011.

Dooling R. J., Popper, A. N. **The effects of highway noise on birds.** Report to the California. California Department of Transportation, Division of Environmental Analysis, Sacramento, California, USA. 2007.

Duarte, M. H. L., Vecci, M. A., Hirsch A., Young R. J. **Noisy human neighbours affect where urban monkeys live.** Biology letters. 2011.

Farina, A., Morri, D. **Source-sink e eco-field: ipotesi ed evidenze sperimentali.** Ata del X congresso nacional da SIEP-IALE. Ecologia e governance del paesaggio: esperienze e prospettive. Bari 365–372. 2008.

Farina, A., Pieretti, N., Piccioli L. **The soundscape methodology for long-term bird monitoring: A Mediterranean Europe case-study.** Ecological Informatics. 2011.

Farina A., Lattanzi E., Malavasi, R., Pieretti, N., Piccioli L. **Avian soundscapes and cognitive landscapes: theory, application and ecological perspectives.** Landscape Ecology. 2011.

Farina A., Pieretti N. **The soundscape ecology: A new frontier of landscape research and its application to islands and coastal systems.** Journal of Marine and Island Cultures. 2012.

Fernandes, J. C. **Acústica e ruídos.** Bauru, SP. UNESP. 2005

Forman, R. T. T., Reineking, B., Hersperger, A. M. **Road traffic and nearby grassland bird patterns in a suburbanizing landscape.** Environmental Management. 2002.

Hammond, T. J.e Bailey, W. J. **Eavesdropping and defensive auditory masking in an Australian bushcricket, *Caedicia* (Phaneropterinae: Tettigoniidae: Orthoptera).** Animal Behaviour. v. 140, p. 79–95. 2003.

Harris-Jones, P. **Honeybees, communicative order, and the collapse of ecosystems.** Biosemiotics. 2009.

Hosken, D. J., Bailey, W. J., Oshea, J. E., Roberts, J. D. **Localization of insect calls by the bat *Nyctophilus geoffroyi* (Chiroptera, Vespertilionidae): a laboratory study.** Australian Journal of Zoology. v. 42, p. 177–184. 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades. Belo Horizonte: IBGE, 2010.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: maio de 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados históricos.** Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: março de 2013.

Krause B. L. **Bioacoustics, habitat ambience in ecological balance.** Whole Earth Review 57: 14–18. 1987.

Krause, B. L. **The habitat niche hypothesis—a hidden symphony of animal sounds.** Literary Review 36: 40–45. 1992.

Krause B. L. **The Niche Hypothesis: A virtual symphony of animal sounds, the origins of musical expression and the health of habitats.** The Soundscape Newsletter. 1993.

Lehmann, G. U. C., Heller K. G. **Bushcricket song structure and predation by the acoustically orienting parasitoid fly *Therobia leonidei* (Diptera: Tachinidae: Ormiini).** Behavioral Ecology and Sociobiology. v. 43, p.239–245. 1998.

Mallord, J. W., Dolman, P. M., Brown, A. F., Sutherland, W. J. Linking. **recreational disturbance to population size in a ground-nesting passerine.** Journal of Applied Ecology, v. 44, p. 185-195. 2007.

Manly, B. F. **Randomization, Bootstrap, and Monte Carlo Methods in Biology.** 2nd ed. Chapman and Hall, London. 1997.

Maral, G. *VSAT Networks*. John Wiley and Sons. 2003.

Mougeot, F., Bretagnolle, V. **Predation as a cost of sexual communication in nocturnal seabirds: an experimental approach using acoustic signals**. *Animal Behaviour*. v. 60, p. 647–656. 2000.

Muller, P., Robert, D. **Death comes suddenly to the unprepared: singing crickets, call fragmentation, and parasitoid flies**. *Behavioral Ecology*. v. 13, p. 598–606. 2002.

Nemeth E., Brumm H. **Blackbirds sing higher-pitched songs in cities: adaptation to habitat acoustics or side-effect of urbanization?** *Animal Behaviour*. v. 78, p. 637–641. 2009.

Noceti Filho, S. **Fundamentos sobre Ruídos: Densidade Espectral de Potência**. *Backstage*, v. 8, n.88, p. 140-144. 2002.

Norton, M., P., Karczub, D., G. **Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers**. Cambridge University Press. 2003.

Patthey, P., Wirthner, S., Signorell, N., Arlettaz, R. **Impact of outdoor winter sports on the abundance of a key indicator species of alpine ecosystems**. *Journal of Applied Ecology*, v. 10, p. 2-8. 2008.

Pieretti N., Farina, A., Morri, D. **A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI)**. *Ecological Indicators*. 2011.

Pieretti, N., Farina A. **Application of a recently introduced index for acoustic complexity to an avian soundscape with traffic noise**. *JASA*. 2013.

Pijanowski, B. C., Villanueva-Rivera, L. J., Dumyahn, S. L., Farina, A., Krause, B. L. Napoletano, B. M., Gage, S. H., Pieretti, N. **Soundscape Ecology: The Science of Sound in the Landscape**. *Bioscience*.v. 61. n. 3 2011.

Portal da PUC Minas. **Mata da PUC Minas.** Disponível em: http://www.pucminas.br/graduacao/index1.php?tipo_form=infra_det&infra=60&pai=0&codigo=22&PHPSESSID=e54b820608c7a1d0ab7131e1661433b1. Acesso em Abril de 2013.

Rheindt, F. E. **The impact of roads on birds: does song frequency play a role in determining susceptibility to noise pollution?** *Journal of Ornithology* v. 144 p.295-306. 2003.

SANTOS, Sara Gonçalves. **O efeito da poluição sonora nas vocalizações do tipo *phoe* de mico-estrela *Callithrix penicillata* (GEOFFROY, 1812).** 2010. 44f. Monografia (Conclusão de Curso) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Belo Horizonte.

Schafer R. M. **Tuning of the World.** Knopf. 1977.

Shochat, E., Warren, P. S., Faeth, S. H. **The Future of Urban Ecology, Reply to letters to Trends in Ecology and Evolution,** v. 12, p. 661-662. 2006.

Sjölander, K., Beskow, J. **Wavesurfer: an open source speech tool.** *Proceedings of the ICSLP IV,* p. 464–467. 2000.

Slabbekoorn, H., Peet, M. **Birds sing at a higher pitch in urbannoise.** *Nature.* 2003.

Slabbekoorn, H., Ripmeester, E. A. **Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation.** *Molecular Ecology,* v.17, p. 72-83. 2008.

Southworth, M. **The sonic environment of cities.** *Environment and Behavior.* 1969.

Trombulak, S. C., Frissel, C. A. **Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities.** *Conservation Biology.* 2000.

Vasconcelos, M. F., Mazzoni, L. G., Perillo, A.; Guerra, T., Morais, R., Garzon, B., Santos, J. E., Guimarães, L. S. L., Oliveira, Almeida, T., Peixoto, H. J. C., Dutra, E. C., Pedroso, L. F., Valério, F. A., Petrocchi, D., Santos, L. P. S. Dias, J. E. M., Morais, S. A., Garcia, F. I. A., Benfca, C. E. R. T., Ribeiro, B. P. **Long-term avifaunal survey in an urban ecosystem from southeastern Brazil, with comments on range extensions, new and disappearing species.** Papéis Avulsos de Zoologia da Universidade de São Paulo. 2013.

Warren, P. S., Katti, M., Ermann, M., Brazel. **Urban bioacoustics: it's not just noise.** *Animal Behaviour*, v. 71, p. 491–502. 2006.