



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Instituto de Biociências - Câmpus do Litoral Paulista



Comunicação acústica em *Megaichnus major*

Marcelo Schreiber Munhoz

São Vicente - SP

2024



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Instituto de Biociências - Câmpus do Litoral Paulista



Comunicação acústica em *Megaichnus major*

Marcelo Schereiber Munhoz

Orientador: Francisco Sekiguchi Buchmann

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.

São Vicente - SP

2024

M966c Munhoz, Marcelo Schreiber
Comunicação acústica em *Megaichnus major* / Marcelo
Schreiber Munhoz. -- São Vicente, 2024
58 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(UNESP), Instituto de Biociências, São Vicente
Orientador: Francisco Sekiguchi Buchmann

1. Paleotocas. 2. Acústica. 3. Rio dos Bugres. 4.
Mylodontoidea. 5. Urubici. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, São Vicente.
Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Agradecimentos

Agradeço aqui ao apoio sempre presente dos meus pais Renato e Erika e irmão Pedro e a todos os meus avós, tios e primos.

Agradeço ao apoio instrutivo e lúdico de todos os meus amigos de jogos, da república; colegas, professores e funcionários da Unesp-CLP.

Agradeço ao apoio profissional e acadêmico de toda equipe do Projeto Paleotocas e aos meus colegas do Laboratório de Estratigrafia e Paleontologia.

Agradeço ao meu orientador Dr. Francisco “Chico” Sekiguchi Buchmann por todo o apoio acadêmico, logístico e instrutivo neste e outros projetos.

Agradeço a banca de avaliação, Dr. Rudemar Ernesto Blanco e Dr. Cristian E. Schleich por suas contribuições e revisão.

Agradeço a agência de fomento CAPES e a Paleontological Society pelo apoio financeiro.

Agradeço ao pessoal da Pousada Rio dos Bugres em Urubici (SC), por nos permitirem realizar o projeto e pesquisa em sua propriedade.

Epígrafe

“Then I understood it all. To make myself heard, I precisely had to speak along this wall which would conduct the sound of my voice just as wire conducts electricity.

But there was no time to lose. If my companions moved only a few steps away, the acoustic phenomenon would cease. I therefore approached the wall, and I pronounced these words as clearly as possible:

“Uncle Lidenbrock!”

*Jules Verne, **Journey to the Center of the Earth***

“What these narratives all suggest is something seemingly paradoxical: that darkness might be a medium of vision, and that descent may be a movement towards revelation rather than deprivation. Our common verb ‘to understand’ itself bears an old sense of passing beneath something in order fully to comprehend it. ‘To discover’ is ‘to reveal by excavation’, ‘to descend and bring to the light’, ‘to fetch up from depth’. These are ancient associations. The earliest-known works of cave art in Europe – taking the form of painted ladders, dots and hand stencils on the walls of Spanish caves – have been dated to around 65,000 years ago, some 20,000 years before *Homo sapiens* are believed to have first arrived in Europe from Africa. Neanderthal artists left these images. Long before anatomically modern humans reached what is now Spain, writes one of the archaeologists responsible for the dating of this art, ‘People were making journeys into the darkness.’”

*Robert MacFarlane, **Underland: A Deep Time Journey***

Resumo

Comunicação acústica em *Megaichnus major*

Megaichnus major são estruturas naturais subterrâneas atribuídas à Xenarthra Mylodontidae (preguiças-gigantes), representadas por túneis e salões escavadas durante o Plioceno e Pleistoceno. Há evidências de comportamento gregário em Mylodontidae, sendo necessário estimar a propagação sonora dentro dos túneis. Estimativas com base no ouvido médio de *Lestodon* sp. e *Glossotherium robustum* atribuem uma faixa de frequência auditiva de 44 Hz até 16.490 Hz. Este trabalho descreve experimentos de propagação do som dentro de *M. major* em várias frequências e distâncias do solo. Os experimentos ocorreram na *M. major* (Uru-01-P2) nas coordenadas Lat -27° 57' 54,7" e Long -49° 30' 33,2", um conjunto de túneis, trincheiras e dolinas, numa altitude de 1036m, no município de Urubici, Santa Catarina, Brasil. Escolheu-se o túnel Uru-01-P2 integralmente preservado, de secção elíptica, sem preenchimento, colapso do teto ou erosão do piso; com 15m de comprimento e 2,15m de altura média, atingindo altura máxima de 2,85m; 1,14m de largura média, atingindo largura máxima de 1,30m. Foram gerados tons puros nas frequências de 100 Hz, 600 Hz, 1.700 Hz, 2.300 Hz, 15.300 Hz e 16.500 Hz; com constante nível de intensidade 65 dB SPL. Com um decibelímetro mediu-se o nível da intensidade em dB SPL a partir da fonte nas distâncias de 3m, 6m, 9m e nas alturas de 0,1m, 1,2m e 2m. Foi observado que ao longo do túnel P2 houve atenuação reduzida (2-3 dB SPL) em frequências menores (100-600Hz). A propagação do som próximo ao solo obteve melhor desempenho em relação às mesmas distancias em alturas diferentes. Notou-se também que a geometria dos túneis gerou o “efeito de estetoscópio”, a magnificação da intensidade do som em certas frequências. Estas frequências, portanto, se propagam com menor atenuação em relação aos de maior frequência, e portanto, seriam mais eficientes para a comunicação dos Mylodontidae no ambiente fossorial.

Palavras-chave: Paleotoca, Rio dos Bugres, Mylodontidae.

Abstract

Acoustic communication in *Megaichnus major*

Megaichnus major are natural underground structures attributed to the Xenarthra Mylodontidae (giant sloths), represented by tunnels and halls excavated during the Pliocene and Pleistocene. There is evidence of gregarious behavior in Mylodontidae, making it necessary to estimate sound propagation within the tunnels. Estimates based on the middle ear of *Lestodon* sp. and *Glossotherium robustum* put an auditory frequency range from 44 Hz to 16,490 Hz. This work describes sound propagation experiments within *M. major* at various frequencies and distances from the ground. The experiment took place in the *M. major* (Uru-01-P2) in coordinates Lat -27° 57' 54,7'' e Long -49° 30' 33,2'', a set of tunnels, trenches and sinkholes, at an altitude of 1036m, in the municipality of Urubici, Santa Catarina, Brazil. An integrally preserved tunnel Uru-01-P2 was chosen, with an elliptical section, without sediment filling, roof collapse or floor erosion; 15m long and 2.15m high, reaching a maximum height of 2.85m; 1.14m in average width, reaching a maximum width of 1.30m. Pure tones were generated at frequencies of 100 Hz, 600 Hz, 1,700 Hz, 2,300 Hz, 15,300 Hz, and 16,500 Hz; with constant intensity level 65 dB SPL. With a decibel meter, the intensity level was measured in dB SPL from the source at distances of 3m, 6m, 9m and at heights of 0.1m, 1.2m and 2m. It was observed that there was reduced attenuation (2-3 dB SPL) at lower frequencies (100-600Hz) along the tunnel P2. Sound propagation near the ground had a better performance in relation to the same distances at different heights. It was also noted that the geometry of the tunnels generated the "stethoscope effect", the magnification of the sound intensity at certain frequencies. These frequencies, therefore, propagate with less attenuation in relation to those of higher ones, which would be more efficient for the communication of Mylodontidae in the fossorial environment.

Keywords: Paleoburrows, Rio dos Bugres, Mylodontidae.

Sumário

Capítulo 1 : Introdução

1.1	Paleotocas	1
1.2	Contexto geomorfológico da região de Urubici, SC	8
1.3	As paleotocas de Urubici (SC)	10
1.4	Comunicação acústica em <i>Xenarthra</i>	11
	Referências	13
Capítulo 2: Artigo científico.....		19
“Comunicação acústica em <i>Megaichnus major</i> ”		19
Introdução		20
<i>Megaichnus</i>		20
Considerações sobre a audição e comunicação de <i>Mylodontidae</i>		23
Bioacústica em tocas de animais fossoriais		26
Objetivos.....		27
Métodos		28
Área de estudo		28
Trabalho de campo		30
Simulação controle		31
Integração dos dados		31
Resultados e discussão		31
Conclusão		32
Agradecimentos.....		32
Referências		37
Legendas		45
Conclusão		47
Considerações futuras.....		47
Apêndice.....		48

Estrutura da Dissertação:

Esta dissertação foi montada em torno de um artigo científico submetido a um periódico indexado.

Capítulo 1: Introdução e desenvolvimento de temas pertinentes ao artigo científico, porém não desenvolvidos na introdução deste.

Capítulo 2: O artigo científico “Comunicação acústica em *Megaichnus major*”, submetido à Revista Brasileira de Paleontologia.

Conclusão e considerações futuras.

Capítulo 1: Introdução

1.1 Paleotocas

Paleotocas (*Megaichnus*) são icnofósseis do tipo *Domichnia* (Seilacher, 1953), estruturas subterrâneas de moradia, encontradas preenchidas de sedimentos (crotovinas) ou não, escavadas por mamíferos gigantes extintos de idade Plio-Pleistocênica. São estruturas tipicamente sul-americanas encontradas principalmente no sul de Santa Catarina e norte do Rio Grande do Sul, no Brasil, e em menor quantidade em outros estados brasileiros, Argentina e Chile (Fig. 1). Inicialmente descritas na forma de crotovinas na Argentina por Ameghino (1908) e no Brasil por Bergqvist & Maciel (1994); posteriormente em paleotocas não preenchidas foram identificados traços de escavação produzidos pelas garras por Buchmann *et al.* (2003, 2009), Frank *et al.* (2011, 2015) entre outros (Fig. 2). Finalmente, foram descritas como icnogênero *Megaichnus* por Lopes *et al.* (2017), dividido em duas icnoespécies :*Megaichnus major* e *Megaichnus minor*, diferenciados pelo formato e dimensões das cavidades, traços de escavação e possíveis organismos escavadores (Fig. 3).



Figura 1 - Em laranja, registros de paleotocas (*Megaichnus*). Fonte: Audi *et al.* (2022).

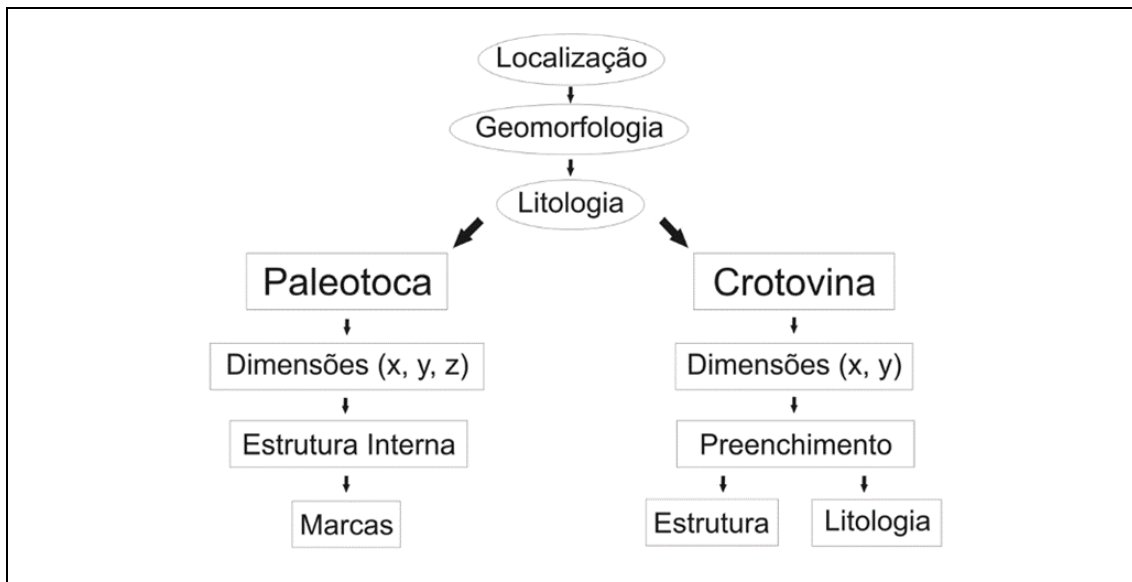


Figura 2 – Metodologia aplicada na maioria dos estudos preliminares de paleotocas estabelecido por Buchmann *et al.* (2009).

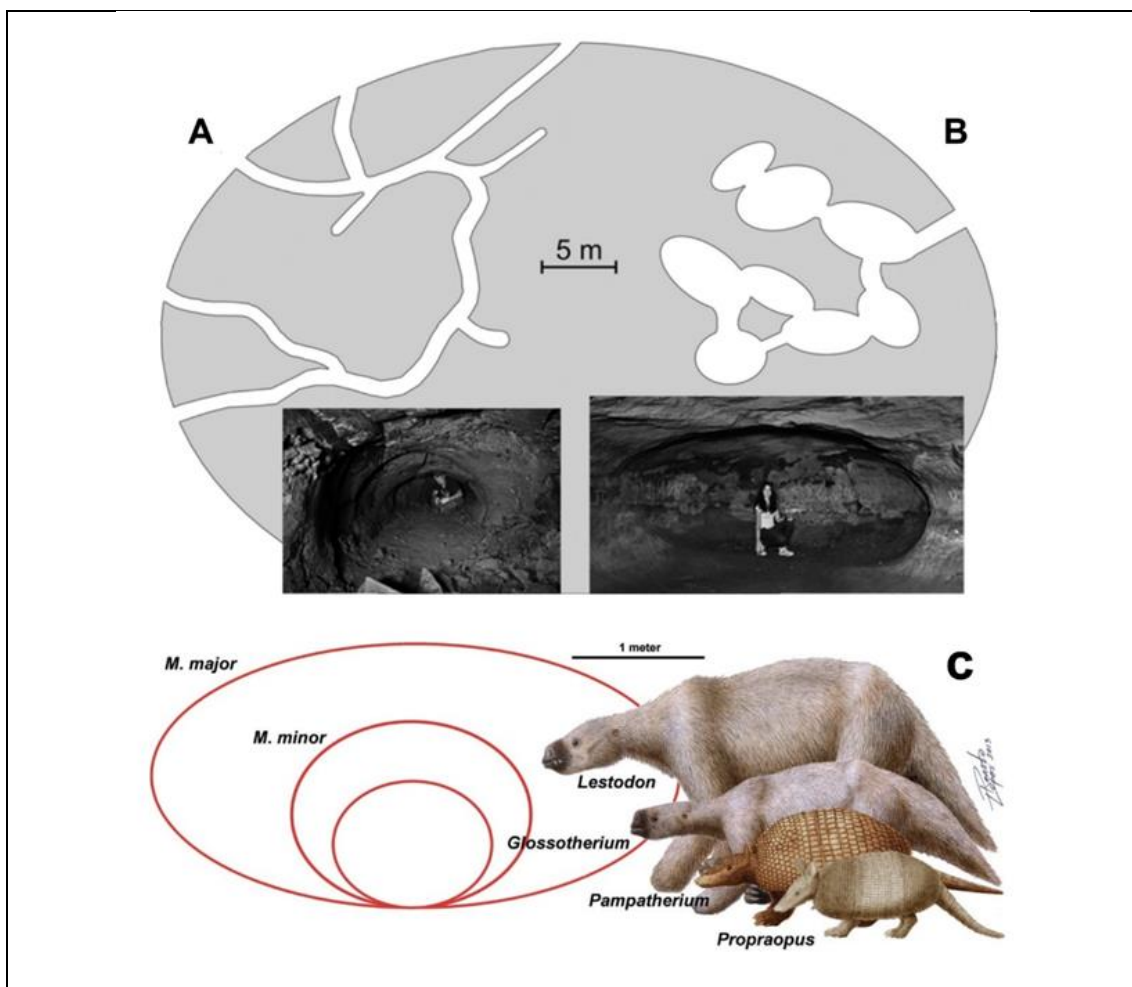


Figura 3 – A: Sistema de túnel característico de *Megaichnus minor*; B: Sistema de câmaras característico de *Megaichnus major* (Fonte: Frank *et al.*, 2015); C: Possíveis animais escavadores: *Lestodon* e *Glossotherium* para os *M. major*, *Pampatherium* e *Propaopus* para os *M. minor*. (Fonte: Lopes *et al.*, 2017).

Megaichnus minor (Lopes *et al.*, 2017) são tuneis subcirculares e subelípticos de piso reto, devido ao acúmulo de sedimentos. Presentes 90% na forma de crotovinas, os tuneis abertos possuem no mínimo 30 metros de comprimento, podendo atingir centenas de metros, com ramificações. São agrupados em duas classes de tamanho: de 0,6 a 0,9m de largura, 0,5 a 0,7 de altura; e de 1,2 a 1,5 de diâmetro com aproximadamente 0,9m de altura. Buchmann *et al.* (2009) propõem que os organismos escavadores de *M. minor* foram os tatus Dasipodídeos *Eutatus* sp., *Holmesina* sp., *Pampatherium* sp. e *Propaopus* sp. baseado em traços de arraste da carapaça e traços de escavação (Fig.4).

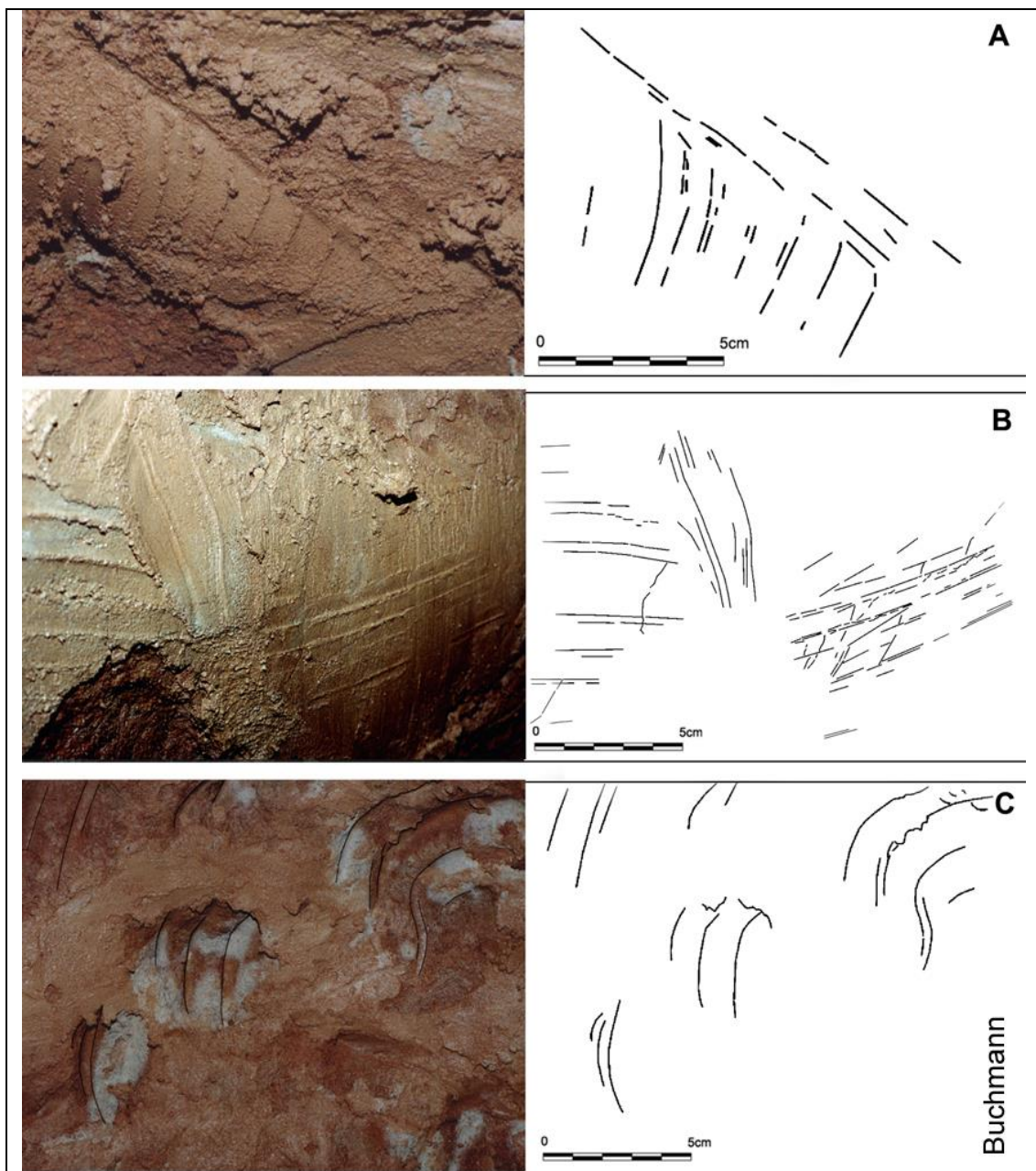


Figura 4 – Traços de escavação em *M. minor*: (A & B) interpretados como traços de arraste da carapaça e (C) traços de garra de Dasipodídeos. (Fonte: Buchmann *et al.*, 2009).

Megaichnus major (Lopes *et al.*, 2017) são salões subelípticos com aproximadamente 2 metros de altura e 4 metros de largura, podendo alcançar centenas de metros (Buchmann *et al.* 2016). 70/% possuem algum tipo de preenchimento com sedimentos alóctone e fragmentos de rochas oriundas de desabamentos. Estão presentes superfícies polidas de formato elíptico (comprimento médio aprox. 2,4m) (Fig. 5), interpretadas como áreas de repouso (Buchmann *et al.*, 2016).

Com base nos traços duplos, (Fig. 6) ausência de traços de carapaça e nas dimensões dos tuneis, Frank *et al.* (2010) sugere como autores das *M. Major* as preguiças terrestres Mylodontidae; com Frank *et al.* (2011) expandindo aos Mylodontoidea baseado na anatomia da *manus* (Fig. 7), comparações dos moldes dos traços de garras com espécimes em acervo sugerindo o uso dos dígitos II e III, capacidade de escavação e paleobiogeografia. (Buchmann *et al.*, 2016).

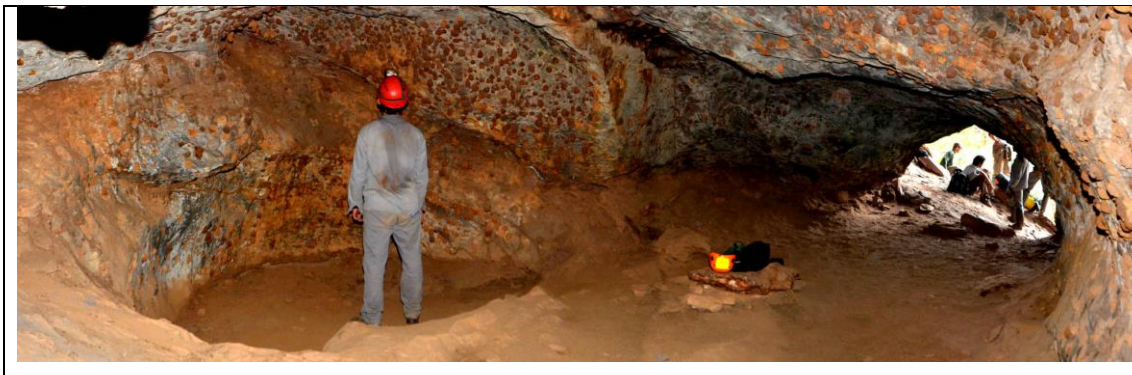


Figura 5 - Superfícies polidas de formato elíptico interpretadas como áreas de repouso, resultado do desgaste da rocha provocado pelo atrito constante da pelagem dos Mylodontoidea (Fonte: Buchmann *et al.*, 2016).

O clado de preguiças-de-dois-dedos Mylodontoidea (Presslee *et al.*, 2019) (Fig. 8), recuperado de dados paleoproteômicos compreende os clados extintos Scelidotheriidae (*Scelidotherrium* sp., *Scelidodon* sp., *Catonyx* sp. e *Valgipes* sp.), Mylodontidae (*Lestodon armatus*, *Paramylodon harlani*, *Myodon darwini*, *Glossotherium robustus*) e o táxon extante de preguiças-de-dois-dedos arborícolas Choloepodidae (*Choloepus hoffmanni* e *Choloepus didactylus*). Neste trabalho, utilizaremos o termo Mylodontoidea escavadores para definir o todo o clado Mylodontoidea, com exceção dos extantes arborícolas Choloepodidae.

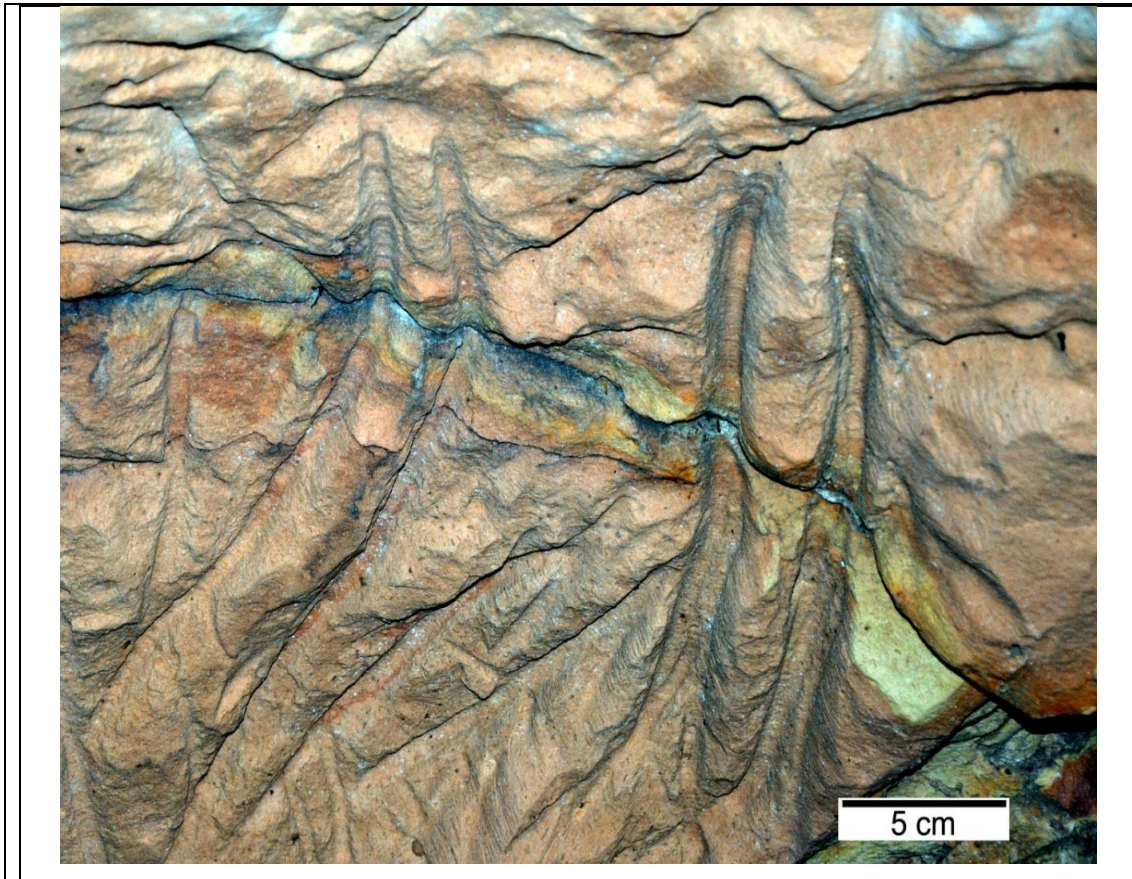


Figura 6 – Traços de escavação duplos, atribuídos à Mylodontidae (Fonte: Audi *et al.*, 2022).

McDonald (2006), Miño-Boilini *et al.* (2015), Tomassini *et al.* (2020) e Varela *et al.* (2021), sugerem, baseado na variação de caracteres ósseos e dentários (Fig. 9) que os Mylodontoidea possuíam dimorfismo sexual e eram animais gregários, com hábitos de vida muito diferentes das preguiças arborícolas extantes, as quais são animais de hábitos majoritariamente solitários. Frank *et al.* (2013), Ruchys *et al.* (2014) e Bittencourt *et al.* (2015) sugerem que as *M. major* foram escavadas gradualmente, em sucessivos estágios. Buchmann *et al.* (2016) descreveram agrupamentos de superfícies polidas de formato elíptico (Fig. 5, 10) em um mesmo túnel, sugerindo que 2 a 3 animais dormiam juntos, apontando também a proximidade dos túneis como evidências de vida gregária (Fig. 11).



Figura 7 - Vista dorsal de *Manus* de um Scelidotheriinae, *Valgipes Bucklandi* (Foto: Buchmann).

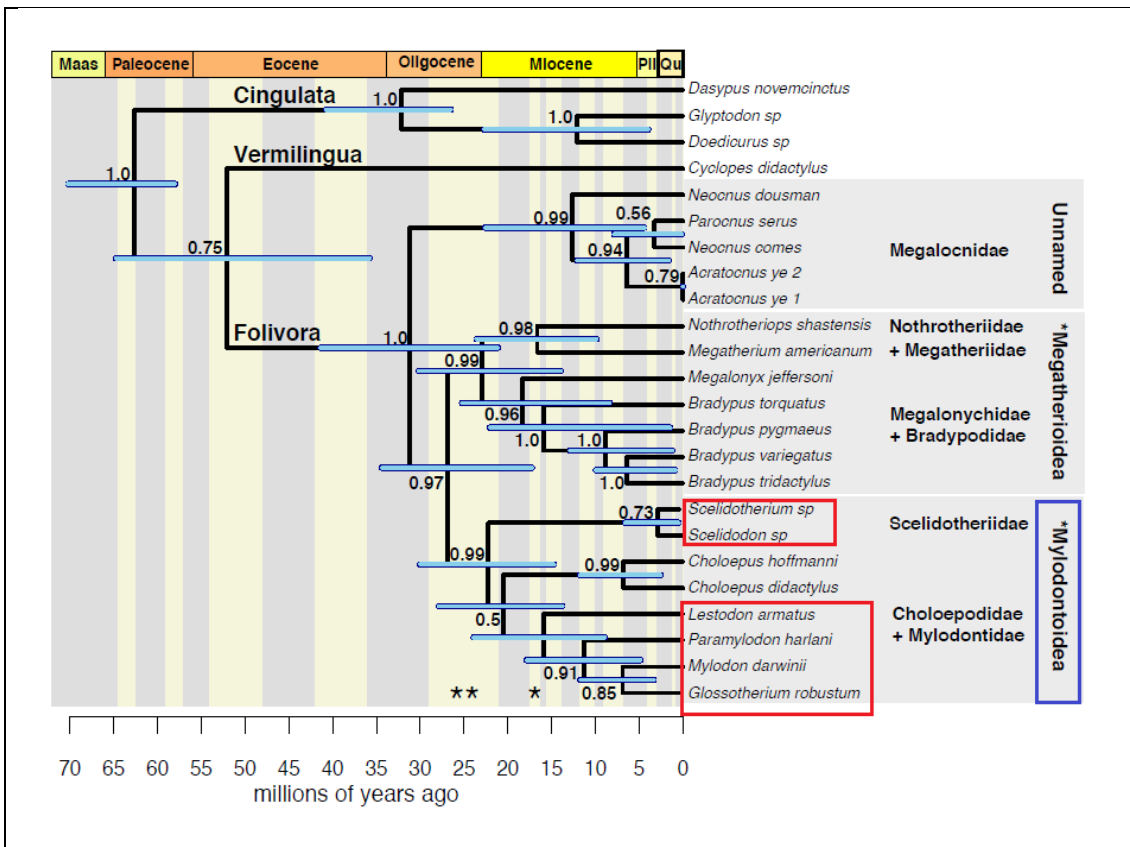


Figura 8 - Filogenias de Folivora com destaque para os Mylodontoidea escavadores (Em vermelho) (Adaptado de Presslee *et al.*, 2019).



Figura 9 - Caniniformes de *Lestodon armatus*, agrupados em diferentes classes sugerindo dimorfismo sexual (Fonte: Varela *et al.* 2021).

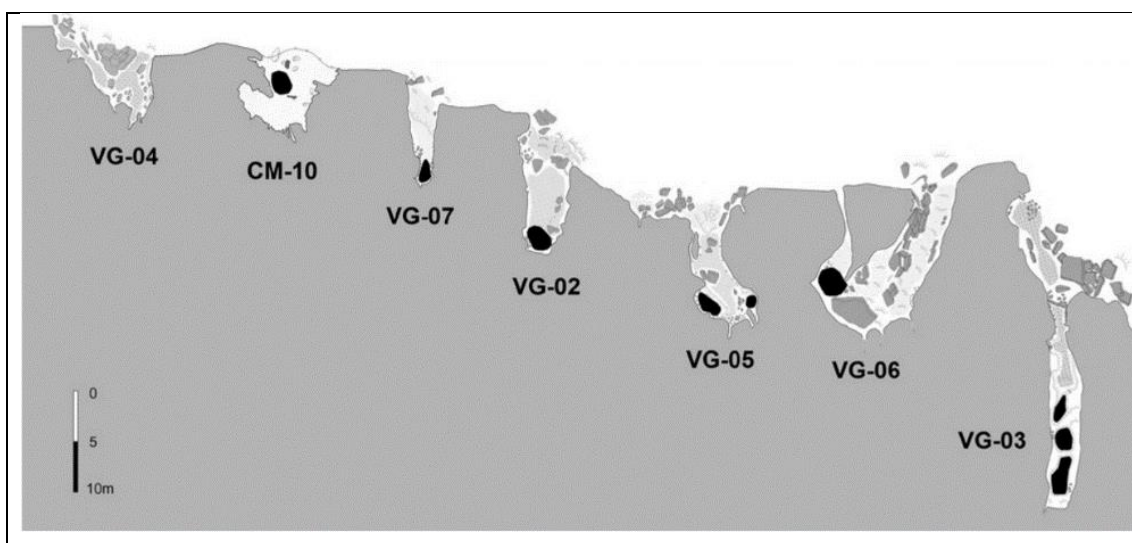


Figura 10 - Planta baixa das paleotocas do vale do rio Esmeril (MG). Em negro estão as superfícies polidas de formato elíptico (Fonte: Buchmann *et al.* 2016).

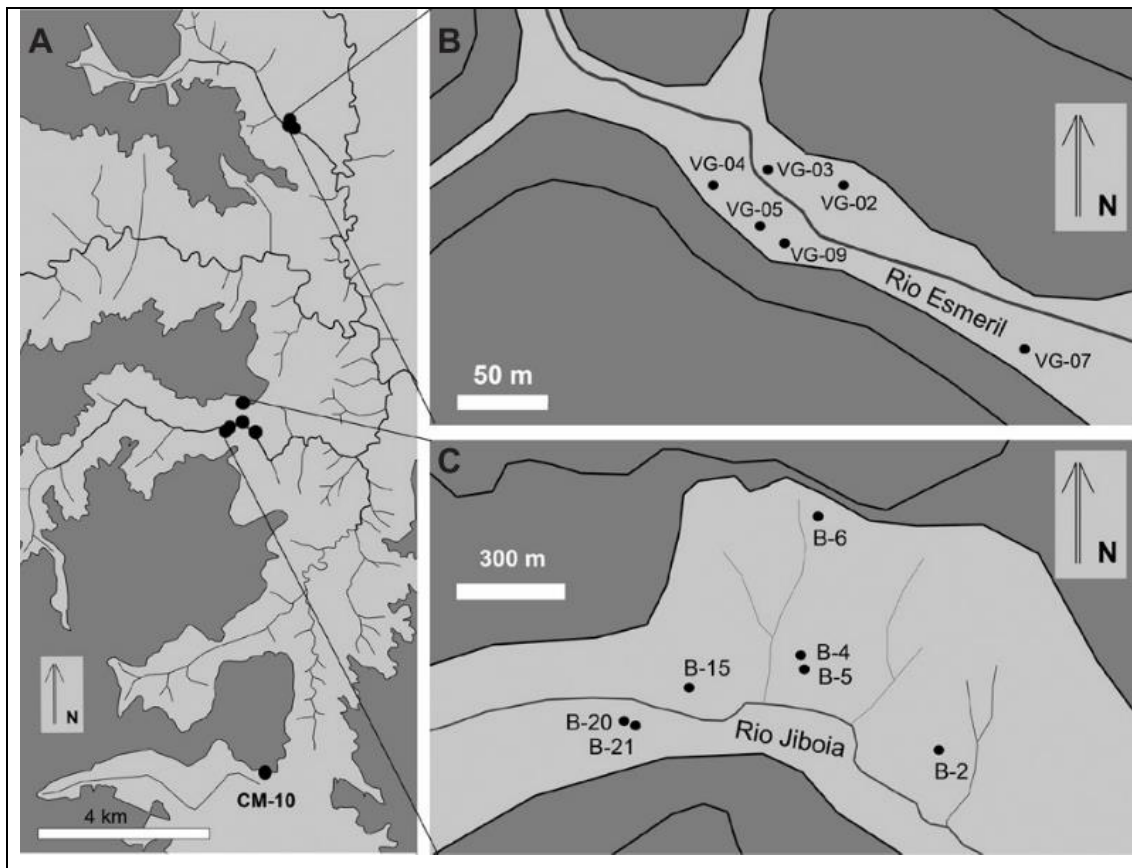


Figura 11 - (A) Mapa dos vales do Rio Esmeril (B) e Jiboia (C) com conjuntos de paleotocas agrupados (Fonte: Buchmann *et al.* 2016).

1.2 Contexto geomorfológico da região de Urubici, SC

A Bacia do Paraná compreende uma grande (1,5 milhão de quilômetros quadrados) área de deposição de sedimentos intra-cratônica sul-americana, de forma oval e de maior eixo no sentido N-S. Está presente no sul do Brasil, nordeste argentino, leste paraguaio e norte uruguaio. A Supersequência Gondwana I, o maior pacote sedimentar da bacia do Paraná compreende temporalmente um intervalo que vai do Neocarbonífero até o Eotriássico. Na porção basal transgressiva temos o Grupo Itararé de caráter glacial marinho e idade Neocarbonífero-Eopermiano. A ele se sucede o Grupo Guatá, deltaico, marinho-litorâneo na Formação Rio Bonito, e finalmente marinha na Formação Palermo. Inicia-se então o ciclo regressivo, composto pelo Grupo Passa Dois. Este é composto pela Formação Irati, famosa pelos fósseis de *Mesossauros* e pelo mar intra-cratônico e hipersalino com acúmulo de carbonatos e folhelhos. À Formação Irati sucedeu uma última incursão marinha, de baixa energia representada pelos folhelhos da Formação Serra Alta. Em seguida inicia-se a fase regressiva da supersequência, com o assoreamento deste mar

interior representado pela Formação Teresina e em seguida pelos deltas, pelitos, arenitos eólicos e fluviais da Formação Rio do Rasto (Milani *et al*, 2007; Milani & Ramos 1998).

Na região de Urubici afloram as rochas da Supersequência Gondwana I (Fig. 12), no Permiano superior. Acima das Formações Rio Bonito e Palermo, fase final do ciclo transgressivo, estão depositadas as Formação Irati de folhelhos negros e em seguida as plataformas carbonáticas das Formações Serra Alta e Teresina. Um evento erosivo associado ao soerguimento do Arco Sul-Riograndense gera uma discordância, sob a qual se deposita as fácies fluvio-lacustres da Formação Rio do Rasto (Ferreira, 2016).

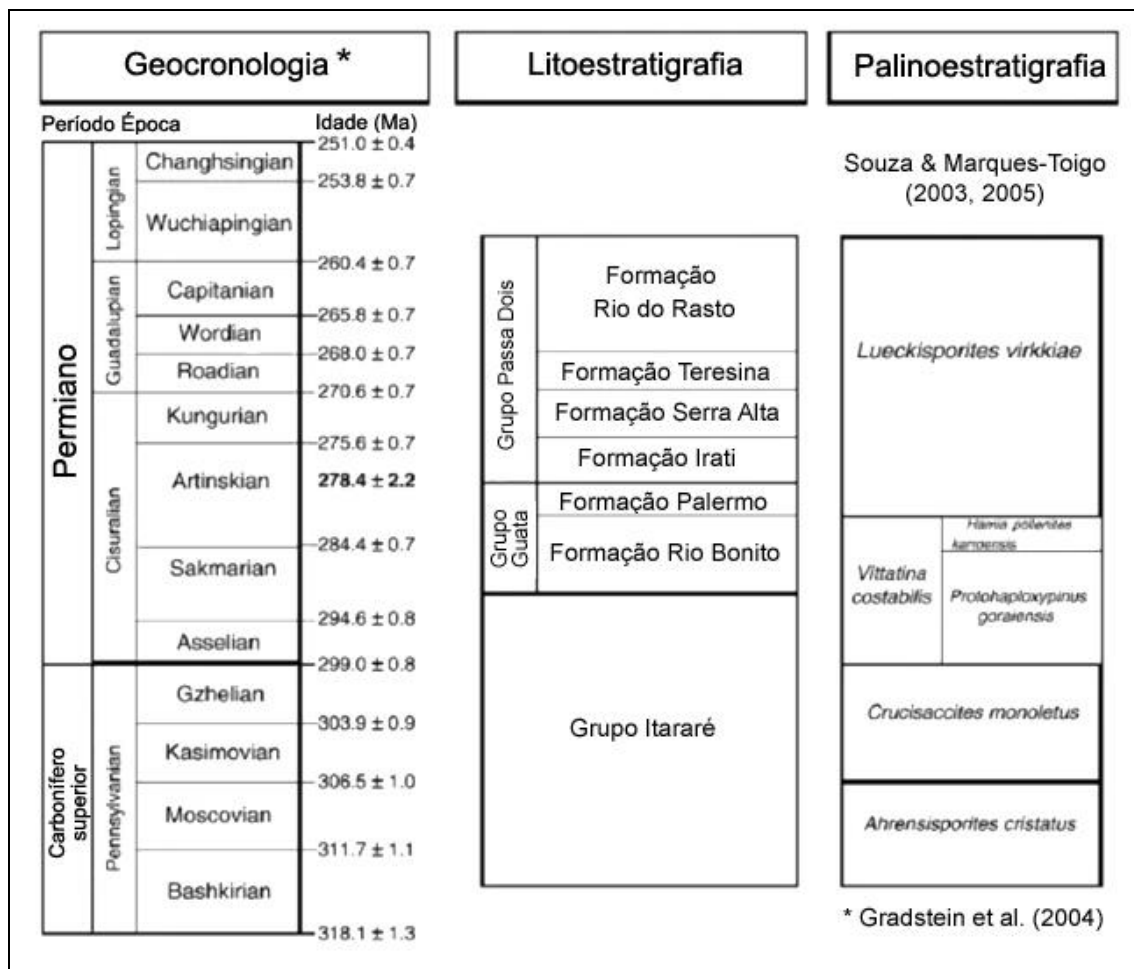


Figura 12 - Coluna estratigráfica da Supersequência Gondwana I. Modificado de Santos (2006).

Após a deposição da Formação Rio do Rasto, porém, antes da deposição da Formação Botucatu, a região de Urubici foi afetada pelo vulcanismo alcalino, soerguimento e deformação da estrutura do Domo de Lages. Este soerguimento e basculamento afetou os blocos fazendo com que os afloramentos de formações permianas

como a Formação Rio do Rasto estejam localizados em cotas tipicamente de afloramentos cretáceos (Ferreira, 2016).

A Formação Rio do Rasto pode ser dividida em dois Membros: Membro Serrinha (basal) e Morro Pelado (superior) diferenciados quanto à espessura dos corpos de areia e coloração (Fig. 13). No Membro Serrinha os siltitos e arenitos possuem coloração cinzas; no Membro Morro Pelado, coloração roxas a avermelhadas e arenitos amarelados (Gordon Jr., 1947). Devido a influência do Domo de Lages a Formação do Rio do Rasto é separada em dois blocos, as rochas do Membro Serrinha afloram ao norte do rio Canoas e o Membro Morro Pelado ao sul deste (Ferreira, 2016).

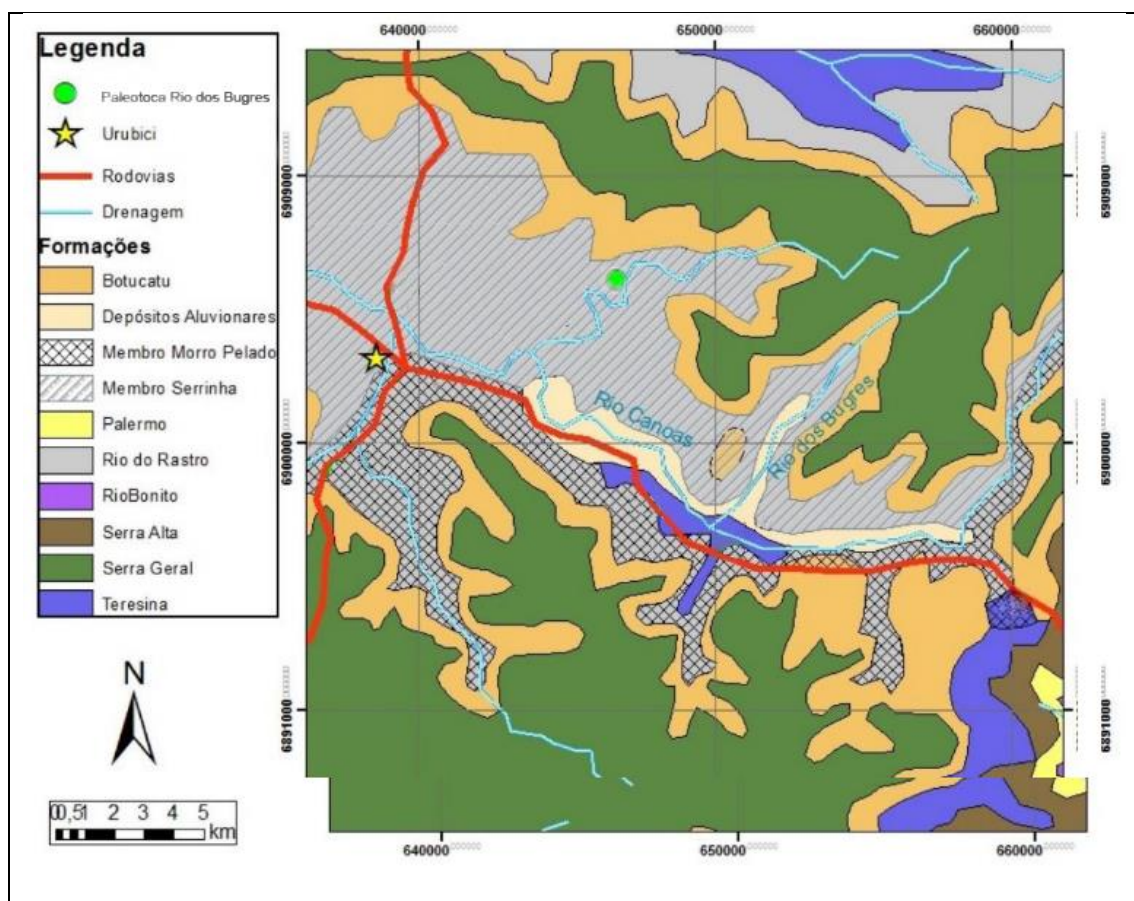


Figura 13 - Mapa estratigráfico de Urubici (SC). Adaptado de Ferreira (2016).

1.3 As paleotocas de Urubici (SC)

Segundo Frank *et al.* (2022), temos em Urubici um total de 35 paleotocas (*Megaichnus*). Elas se apresentam em vários estados de conservação e interligação (Fig. 14). Foi nesta região que elas foram primeiro notadas pela ciência no artigo de Padberg-

Drenkpol (1933), onde foram interpretadas como minas de prata de jesuítas e galerias escavadas por indígenas (Rohr, 1971; Prous, 1991).

Subsequentes análises (Buchmann *et al.* 2003, 2009; Frank *et al.*, 2022) sugerem que os tuneis *Megaichnus major* (Lopes *et al.*, 2017) tiveram como autores preguiças de dois dedos, Mylodontoidea escavadoras que abriram os tuneis em rochas alteradas diageneticamente das Formações Rio do Rasto, Botucatu e Serra Geral.



Figura 14 - Sistema de tuneis da paleotoca de Rio dos Bugres (URU- 01) em Urubici, SC (Foto: Buchmann).

1.4 Comunicação acústica em *Xenarthra*

A comunicação nos *Xenarthra* ainda é esparsamente estudada em comparação aos outros mamíferos (Montgomery & Sunkist, 1974; Greene, 1988, Rocha & Mourão, 2006; Bezerra *et al.*, 2007; Schmidt, 2012).

Nos trabalhos com *Vermilingua*, segundo Rocha & Mourão (2006) para os *Myrmecophaga tridactyla* grunhidos baixos em situações de estresse, assovios de baixa frequência (Schmidt, 2012) e assovios na comunicação mãe-filhote (Emmons, 1999). Para *Cyclopes didactylus*, foram registrados assovios, grunhidos, cliques, silvos em situações de estresse e comunicação mãe-filhote (Shabel, 2011; Wainwright, 2002).

O principal canal de comunicação para os *Cingulata*, é químico e não sonoro (Loughry & McDonough, 2013), apesar disso alguns estudos tem mostrado vocalizações

em Dasypodidae: murmúrios, grunhidos, *chucks* de baixa frequência (1,0-1,85 kHz), rosnados e gritos em situações diversas como forrageio, estresse, acasalamento e comunicação mãe-filhote (Talmage & Buchanan, 1954; Christensen & Waring, 1980; Anderson & Jones-Jr., 1984; Nowak, 1999; Feldhamer *et al.*, 2003; Superina, 2008; Smith, 2011; Abba & Superina, 2015; Sousa *et al.*, 2016; Costa *et al.*, 2022). Vocalizações foram registradas para o tatu-peludo *Chaetophractus vellerosus*, conhecido pela vocalização de “choro” quando sob estresse (Abba *et al.*, 2011, 2017; Amaya *et al.*, 2019) e para *Zaedyus pichiy* (Superina, 2008).

Em Pilosa as vocalizações se dão através de assovios provocados pela passagem do ar através do focinho e narinas (Goffart, 1971; Montgomery & Sunkist, 1974). São mais intensas nas comunicações mãe-filhote, situações de estresse e durante a temporada de acasalamento (Soares & Carneiro, 2002; Bezerra *et al.*, 2007; Gilmore *et al.*, 2001; Greene, 1988; Emmons *et al.*, 1998).

Os Pilosa atuais possuem fraca capacidade de localização sonora e visão especializada, Blanco & Jones (2016) sugerem que essa é uma característica ancestral. Segundo estes autores, os dois gêneros de preguiça atuais (*Choloepus* e *Bradypus*) possuem características auditivas próprias para a detecção de sons de baixa frequência: Na cóclea dessas está ausente a lâmina espiral óssea, característica de audição de alta frequência nos mamíferos (Gilmore *et al.* 2008). Nas espécies atuais além disso possuem baixa capacidade de localização sonora devido a *pinnae* reduzidas e cobertas de pelo (Adam, 1999; Nowack, 1999). A distância filogenética entre esses gêneros (Presslee *et al.*, 2019) (Mylodontoidea em *Choloepus* e Megatherioidea em *Bradypus*) sugere que estas são características basais no grupo.

Blanco & Jones (2016) estimaram através dos ossículos do ouvido, a audição de preguiças terrestres de idades Miocênicas (Santacrucianas). Correlacionando esses dados com a massa dos animais, constatou-se que os gêneros *Hapalops* e *Analcimorphus* possuíam sensibilidade para sons de baixa frequência acima do esperado para a massa corpórea. Isso atrelado a sensibilidade a essas faixas sonoras encontrado em Mylodontoideas como *Glossotherium* e *Lestodon* (Blanco & Rinderknetch, 2008, 2012) sugerem a necessidade de evitar a atenuação sonora devido a vegetação e outros obstáculos ambientais, nos chamados de longa distância.

Referências

- Abba, A. M., G. H. Cassini, M. H. Cassini, & S. F. Vizcaino. 2011. Natural history of the screaming hairy armadillo *Chaetophractus vellerosus* (Mammalia: Xenarthra: Dasypodidae). *Revista Chilena de Historia Natural*, **84**: 51–64.
- Abba, A. M. & Superina, M. 2015. *Dasypus hybridus* (Cingulata: Dasypodidae). *Mammalian Species*, **48**(931): 10-20.
- Adam P. J. 1999. *Choloepus didactylus*. *Mammalian Species*, **621**: 1-8.
- Amaya, J.; Zufiaurre, E.; Areta, J. & Abba, A. 2019. The weeping vocalization of the screaming hairy armadillo (*Chaetophractus vellerosus*), a distress call. *Journal of Mammalogy*, **100**: 1-9.
- Anderson, S. & Jones-Jr., J. 1984. *Orders and families of recent Mammals of the New World*. New York, Wiley-Interscience, John Wiley and Son.
- Audi, C., Meyer, D., Tjui Yeuw, T., Baraldo, K. B., Fey, J. D., Spanghero, N. F., Munhoz, M. S., Oliveira, B. J. & Buchmann, F. S. 2022. Fotogrametria de um icnofóssil escavado por preguiças-gigantes (*Megaichnus major*). *Revista Brasileira De Paleontologia*, **25**(3), 208–218. <https://doi.org/10.4072/rbp.2022.3.04>
- Bezerra, B.; Souto, A.; Halsey, L. & Schiel, N. 2007. Observation of brown- throated three-toed sloths: mating behavior and the simultaneous nurturing of two young. *Journal of Ethology*, **26**(1): 175-178.
- Bittencourt, J. S.; Vasconcelos, A. G.; Carmo, F. F. & Buchmann, F. S. 2015. Registro paleontológico em cavidade de formações ferríferas na Serra do Gandarela (MG). In: U. A. Ruchkys; L.E.P. Travassos; M.A. Rasteiro & L.E. Faria (eds.) *Patrimônio espeleológico em rochas ferruginosas: propostas para sua conservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Sociedade Brasileira de Espeleologia*, p. 238-249

Blanco, R. E & Jones, W. W. 2016. Estimation of hearing capabilities of Early Miocene sloths (Mammalia, Xenarthra, Folivora) and palaeobiological implications, *Historical Biology: An International Journal of Paleobiology*, **28**(3): 390-397. <https://doi.org/10.1080/08912963.2014.946415>

Blanco, R. E. & Rinderknecht, A. 2008. Estimation of hearing capabilities of Pleistocene ground sloths (Mammalia, Xenarthra) from middle-ear anatomy. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **28**: 274-276. [https://doi.org/10.1671/0272-4634\(2008\)28\[274:EOHCOP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1671/0272-4634(2008)28[274:EOHCOP]2.0.CO;2).

Blanco, R. E. & Rinderknecht, A. 2012. Fossil evidence of frequency range of hearing independent of body size in South American Pleistocene ground sloths (Mammalia, Xenarthra). *Comptes Rendus Palevol*, **11**(8): 549–554. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2012.07.003>.

Buchmann, F. S. C; Caron, F; Lopes, R. P & Tomazelli, L. J. 2003. Traços fósseis (paleotocas e crotovinas) da megafauna extinta no Rio Grande do Sul, Brasil. *Congresso da ABEQUA*, Recife, **9. Anais**, Recife, cd-rom.

Buchmann, F. S., Lopes, R. P. & Caron, F. 2009. Icnofósseis (paleotocas e crotovinas) atribuídos a mamíferos extintos no Sudeste e Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **12**(3): 247–256. <https://doi.org/10.4072/rbp.2009.3.07>

Cartelle, C.; De Iuliis, G. & Ferreira, L. R. 2009. Systematic revision of tropical brazilian Scelidotheriinae sloths (Xenarthra, Mylodontoidea). *Journal of Vertebrate Paleontology*, **29**: 555- 566. <https://doi:10.1671/039.029.0231>

Costa, F. R.; Moura, P. H. A. G.; Alves-Júnior, S. R.; Rosa, P. S. & Nunes, I. 2022. Acoustic analysis of vocalization and the behavioral response associated to sound production of the nine banded armadillo *Dasypus novemcinctus* (Mammalia, Cingulata, Dasypodidae) in an agonistic context. *Papéis Avulsos de Zoologia* [Internet]. 2022;62:e202262018. <https://doi.org/10.11606/1807-0205/2022.62.018>

Christensen, C. G. & Waring, G. H. 1980. The “chuck” sound of the nine-banded armadillo (*Dasypus novemcinctus*). *Journal of Mammalogy*, **61**: 737-738.

Emmons, L. H.; Whitney, B. M. & Ross-Jr., D. L. 1998. *Sounds of neotropical rainforest Mammals: An audio field guide*. Chicago, Illinois, The University of Chicago Press.

Emmons, L. H. 1999. *Mamíferos de los Bosques Húmedos de América Tropical*. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, Editorial F.A.N.

Ferreira, B. F. 2016. *Mapeamento estrutural-estratigráfico do Permiano Superior da Bacia do Paraná na região de Urubici, SC*. Trabalho de Conclusão de Curso em Geologia, UFRGS, Porto Alegre, 66p.

Feldhamer, G.; Thompson, B. & Chapman, J. 2003. *Wild animals of North America: Biology, management and Conservation*. Baltimore, Maryland, Johns Hopkins Press, 1216 p.

Frank, H. T., Caron, F., Lima, L. G., Lopes, R. P., Fornari, M., Buchmann, F. S. C. 2010. Uma caverna formada por processos biofísicos e geológicos: A paleotoca do Arroio da Bica (Nova Hartz, Rio Grande do Sul, Brasil). In: II *Simpósio Sul-Brasileiro de Espeleologia*. Ponta Grossa (PR), julho de 2010. *Anais*, 1 CD-ROM.

Frank, H. T.; Buchmann, F. S.; Lima, L. G.; Caron, F.; Lopes, R. P. & Fornari, M. 2011. Karstic features generated from large palaeovertebrate tunnels in southern Brazil. *Espeleo-Tema*, **22**: 139-143.

Frank, H. T.; Oliveira, L. D.; Vicroski, F. N.; Breier, R.; Pasqualon, N. G; Araújo, T.; Buchmann, F. S. C.; Fornari, M.; Lima, L. G.; Lopes, R. P. & Caron, F. 2012. The complex history of a sandstone-hosted cave in the state of Santa Catarina, Brazil. *Espeleo-Tema*, **23**: 87-101.

Frank, H. T.; Lima, L. G.; Gerhard, N. P.; Caron, F.; Buchmann, F. S. C.; Fornari, M. & Lopes, R. P. 2013. Description and interpretation of Cenozoic vertebrate ichnofossils in Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **16**(1): 83-96.

Frank, H. T.; Althaus, C. E.; Dario, E. M.; Tramontina, F. R.; Adriano, R. M. & Almeida, M. L. 2015. Underground chamber systems excavated by Cenozoic ground sloths in the Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **18**(2): 273-284.

Gilmore, D.; Da Costa, C. & Duarte, D. 2001. Sloth biology: an update on their physiological ecology, behavior, and role as vectors of arthropods and arboviruses. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, **34**: 9-25

Goffart M. 1971. *Function and form in the sloth*. New York: Pergamon Press; 225 p.

Gordon Jr., M., 1947. Classificação das formações gondwânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, Brasil. Departamento Nacional de Pesquisa Mineral, DGM, Rio de Janeiro, *Notas Preliminares e Estudo*, **38**: 20p.

Greene, H. W. 1988. Agonistic behaviour by three-toed sloths, *Bradypus variegatus*. *Biotropica*, **21**: 369-372.

Lopes, R. P.; Frank, H. T.; Buchmann, F. S. & Caron, F. 2017. *Megaichnus* igen. Nov.: Giant paleoburrows attributed to extinct Cenozoic mammals from South America. *Ichnos - International Journal for Plant and Animal Traces*, **24**(2): 133-145. <http://hdl.handle.net/11449/162902>

McDonald, H. G. 2006. Sexual dimorphism in the skull of Harlan's ground sloth. Natural History Museum of Los Angeles County. *Contributions in Science*, **510**: 1-9.

Milani, E. J.; Henrique, J.; Melo, G. & Souza, P. A. 2007. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências*, **15**(2): 265-287.

Milani, E. J. & Ramos, V. A. 1998. Orogenias paleozóicas no Domínio Sul-Occidental do Gondwana e ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**(4): 473-484.

- Miño-Boilini, Á. R. & Zurita, A. E. 2015. Dimorphism in Quaternary Scelidotheriinae (Mammalia, Xenarthra, Phyllophaga). *Palaeontologia Electronica*, **18**(1): 1–16. <https://doi.org/10.26879/434>
- Montgomery, G. G. & Sunkist, M. E. 1974. Contact-distress call of young sloths. *Journal of Mammalogy*, **5**(1): 211-213.
- Nowak, R. 1999. *Walker's Mammals of the World*. Baltimore, Maryland, The John Hopkins University Press. p. 158-168.
- Padberg-Drenkpol, P. 1933. Misteriosas galerias subterrâneas em Santa Catarina. *Boletim do Museu Nacional*, **9**: 83–91.
- Prous, A. 1991. *Arqueologia Brasileira*. Editora da Universidade de Brasília, Brasília.
- Rohr, J. A. 1971. Os sítios arqueológicos do Planalto Catarinense. *Pesquisas Antropologia*, **24**: 1–56.
- Rocha, F. L. & Mourão, G. 2006. An agonistic encounter between two Giant Anteaters (*Myrmecophaga tridactyla*). *Edentata*, **7**: 50-51.
- Ruchkys, U. A.; Bittencourt, J. S. & Buchmann, F. S. C. 2014. A paleotoca da Serra do Gandarela e seu potencial como geossítio do Geoparque Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. *Caderno de Geografia*, **24**: 249-263. doi:10.5752/P.2318-2962.2014v24n42p249
- Santos, R. V.; Souza, P. A.; De Alvarenga, C. J. S.; Dantas, E. L.; Pimentel, M. M.; De Oliveira, C. G. & De Araújo, L. M. 2006. Shrimp U-Pb zircon dating and palynology of bentonitic layers from the Permian Irati Formation, Paraná Basin, Brazil. *Gondwana Research*, **9**(4): 456–463.
- Schmidt, T. L. 2012. Ethogram of the giant anteater (*Myrmecophaga tridactyla*) in captivity: an experience in the Temaikèn Foundation. *Edentata*, **13**: 38-48.

Smith, P. 2011. Handbook of the Mammals of Paraguay, *Cabassous unicinctus*. *Fauna Paraguay*, **40**: 1-10.

Soares, C. A. & Carneiro, R. S. 2002. Social behaviour between mothers and young of sloths *Bradypus variegatus* Schinz, 1825 (Xenarthra: Bradypodidae). *Brazilian Journal of Biology*, **62**(2): 249-252.

Sousa, P. C.; Amorim, R. N. L.; Lima, G. L.; Paiva, A. L. C.; Paula, V. V.; Freitas, C. I. A. & Silva, A. R. 2016. Establishment of an anaesthetic protocol for semen collection by electroejaculation in six-banded armadillos (*Euphractus sexcinctus* Linnaeus, 1758). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, **68**(6): 1595-1601.

Superina, M. 2008. The ecology of the pichi *Zaedyus pichiy* in western Argentina. In: Vizcaino, S.F. & Loughry, W.J. (Eds.). *The biology of the Xenarthra*. Gainesville, Florida, University Press of Florida. p. 313-318.

Talmage, R. & Buchanan, G. 1954. The Armadillo: A Review of its natural history, ecology, anatomy and reproductive physiology. *The Rice Institute Pamphlet*, **41**: 1-12.

Tomassini, R. L., Montalvo, C. I., Garrone, M.C.; Domingo, L.; Ferigolo, J.; Cruz, E. L.; Sanz-Pérez, D.; Fernández-Jalvo, Y & Cerda, I. A. 2020. Gregariousness in the giant sloth *Lestodon* (Xenarthra): multi-proxy approach of a bonebed from the Last Maximum Glacial of Argentine Pampas. *Sci Rep*, **10**: 10955. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67863-0>

Varela, L.; McDonald, H. G. & Fariña, R. 2021. Sexual dimorphism in the fossil ground sloth *Lestodon armatus* (Xenarthra, Folivora), *Historical Biology*, **34**(3): 525-537.

Capítulo 2: Artigo científico

“Comunicação acústica em *Megaichnus major*”

Submetido à **Revista Brasileira de Paleontologia** em agosto/2023.

Aceito em janeiro/2024. Em revisão.

Marcelo Schereiber Munhoz

Caroline Audi

Francisco Sekiguchi Buchmann

Abstract. Acoustic communication in *Megaichnus major*.

Megaichnus major are natural underground structures attributed to the Xenarthra Mylodontidae (giant sloths), represented by tunnels and halls excavated during the Pliocene and Pleistocene. There is evidence of gregarious behavior in Mylodontidae, making it necessary to estimate sound propagation within the tunnels. Estimates based on the middle ear of *Lestodon* sp. and *Glossotherium robustum* put an auditory frequency range from 44 Hz to 16,490 Hz. This work describes sound propagation experiments within *M. major* at various frequencies and distances from the ground. The experiment took place in the *M. major* (Uru-01-P2) in coordinates Lat -27° 57' 54,7" e Long -49° 30' 33,2", a set of tunnels, trenches and sinkholes, at an altitude of 1036m, in the municipality of Urubici, Santa Catarina, Brazil. An integrally preserved tunnel Uru-01-P2 was chosen, with an elliptical section, without sediment filling, roof collapse or floor erosion; 15m long and 2.15m high, reaching a maximum height of 2.85m; 1.14m in average width, reaching a maximum width of 1.30m. Pure tones were generated at frequencies of 100 Hz, 600 Hz, 1,700 Hz, 2,300 Hz, 15,300 Hz, and 16,500 Hz; with constant intensity level 65 dB SPL. With a decibel meter, the intensity level was measured in dB SPL from the source at distances of 3m, 6m, 9m and at heights of 0.1m, 1.2m and 2m. It was observed that there was reduced attenuation (2-3 dB SPL) at lower frequencies (100-600Hz) along the tunnel P2. Sound propagation near the ground had a better performance in relation to the same distances at different heights. It was also noted that the geometry of the tunnels generated the “stethoscope effect”, the magnification of the sound intensity at certain frequencies. These frequencies, therefore, propagate with less attenuation in relation to those of higher ones, which would be more efficient for the communication of Mylodontidae in the fossorial environment.

Keywords: Paleoburrows, Rio dos Bugres, Mylodontidae.

Resumo. Comunicação acústica em *Megaichnus major*.

Megaichnus major são estruturas naturais subterrâneas atribuídas à Xenarthra Mylodontidae (preguiças-gigantes), representadas por túneis e salões escavadas durante o Plioceno e Pleistoceno. Há evidências de comportamento gregário em Mylodontidae, sendo necessário estimar a propagação sonora dentro dos túneis. Estimativas com base no ouvido médio de *Lestodon* sp. e *Glossotherium robustum* atribuem uma faixa de frequência auditiva de 44 Hz até 16.490 Hz. Este trabalho descreve experimentos de propagação do som dentro de *M. major* em várias frequências e distâncias do solo. Os experimentos ocorreram na *M. major* (Uru-01-P2) nas coordenadas Lat -27° 57' 54,7" e Long -49° 30' 33,2", um conjunto de túneis, trincheiras e dolinas, numa altitude de 1036m, no município de Urubici, Santa Catarina, Brasil. Escolheu-se o túnel Uru-01-P2 integralmente preservado, de secção elíptica, sem preenchimento, colapso do teto ou erosão do piso; com 15m de comprimento e 2,15m de altura média, atingindo altura máxima de 2,85m; 1,14m de largura média, atingindo largura máxima de 1,30m. Foram gerados tons puros nas frequências de 100 Hz, 600 Hz, 1.700 Hz, 2.300 Hz, 15.300 Hz e 16.500 Hz; com constante nível de intensidade 65 dB SPL. Com um decibelímetro mediu-se o nível da intensidade em dB SPL a partir da fonte nas distâncias de 3m, 6m, 9m e nas alturas de 0,1m, 1,2m e 2m. Foi observado que ao longo do túnel P2 houve atenuação reduzida (2-3 dB SPL) em frequências menores (100-600Hz). A propagação do som próximo ao solo obteve melhor desempenho em relação às mesmas distancias em alturas diferentes. Notou-se também que a geometria dos túneis gerou o “efeito de estetoscópio”, a magnificação da intensidade do som em certas frequências. Estas frequências, portanto, se propagam com menor atenuação em relação aos de maior frequência, e portanto, seriam mais eficientes para a comunicação dos Mylodontidae no ambiente fossorial.

Palavras-chave: Paleotoca, Rio dos Bugres, Mylodontidae.

Introdução

Megaichnus	2016; Frank <i>et al.</i> , 2011, 2015; Lopes <i>et al.</i> ,
<i>Megaichnus</i> (paleotocas) são	2017). Por serem estruturas de moradia
estruturas naturais subterrâneas escavadas	temporária ou permanente podem ser
por mamíferos gigantes extintos	classificadas como <i>Domichnia</i> (Seilacher,
(megafauna) durante o Plioceno e	1953). <i>Megaichnus</i> são feições tipicamente
Pleistoceno (Buchmann <i>et al.</i> , 2003, 2009,	sul-americanas. Foram inicialmente

descritas na Argentina por Ameghino (1908), e no Uruguai por Ogando *et al.* (2010). No Brasil, os primeiros relatos são de Padberg-Drenkpol (1933) e o reconhecimento como sendo icnofósseis veio por Bergqvist & Maciel (1994). Buchmann *et al.* (2009, 2016) e Frank *et al.* (20011, 2012, 2013) estabeleceram as metodologias do estudo como prospecção, mensuração e direção dos túneis; e nas últimas duas décadas milhares de *Megaichnus* vem sendo descobertas no Brasil com a pesquisa do Projeto Paleotocas (<https://www.ufrgs.br/paleotocas/Portugues.htm>), principalmente nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

Devido à ausência de restos corpóreos a identidade precisa dos organismos escavadores é incerta (Buchmann *et al.*, 2009), porém os traços nas paredes internas dos túneis permitem estabelecer os prováveis autores. Quanto ao formato e tamanho dos túneis e salões, se enquadram duas divisões *Megaichnus major* e *Megaichnus minor* (Frank *et al.*, 2015; Buchmann *et al.*, 2016; Lopes *et al.*, 2017) (Fig. 1).

Megaichnus minor (Lopes *et al.*, 2017) são túneis sub-circulares a sub-elípticos em dois tamanhos: 0,5/0,7 m de altura, 0,6m/0,9m de largura; e 0,9 de altura, 1,2m/1,5m de largura. São tipicamente horizontais ou inclinados, e formam cavidades solitárias, podendo apresentar ramificações (Figueiredo *et al.*, 2012; Lopes *et al.*, 2017). Baseado nos traços de escavação, Quintana (1992), Zárate *et al.* (1998) e Dondas *et al.* (2009) concluem que os túneis foram feitos por cingulados dasipodídeos de grande porte. Buchmann *et al.* (2009) baseado nos traços de arrasto da carapaça restringem os dasipodídeos como sendo provavelmente *Propaopus* sp., *Pampatherium* sp., *Holmesina* sp. e *Eutatus* sp.

Megaichnus major (Lopes *et al.*, 2017) são túneis ou salões com diâmetro de 2m de altura, 4m de largura, com formato sub-elípticos e geralmente sub-horizontais (Lopes *et al.*, 2017). Geralmente apresentam morfologia de rosário (Figueiredo *et al.*, 2012). Na superfície das paredes é possível ocorrer uma rica gama de traços de garras que marcaram a rocha

durante a escavação (Buchmann *et al.*, 2009; Lopes *et al.*, 2017), além de superfícies polidas, as quais são resultado do atrito entre a rocha e os pelos dos animais (Frank *et al.*, 2013; Buchmann *et al.*, 2016). Vizcaíno *et al.* (2001) sugere que as *M. major* na Argentina foram escavadas por preguiças gigantes da superfamília Mylodontoidea, onde os túneis teriam sido escavados por *Glossotherium* sp. e/ou *Scelidotherium* sp. No Brasil, Buchmann *et al.* (2003, 2009, 2016), Lopes *et al.* (2017) atribuem à *Valgipes* sp. e *Catonyx* sp. Os túneis apresentam traços de polimento por volta de 2m do chão (Frank *et al.*, 2013) sugerindo Mylodontoidea de maiores dimensões como *Lestodon* sp.

Bargo *et al.* (2000) e Vizcaíno *et al.* (2008) em estudos biomecânicos identificam que em *Lestodon* sp. houve performance ruim na escavação devido as proporções de seus membros, porém Lopes

et al. (2017) sugere que o animal talvez removesse blocos de rocha alterada se aproveitando de falhas estruturais para assim criar os túneis.

Foram encontrados vários indícios que Mylodontoidea de grande porte possuíam hábitos de vida gregários. Há fortes evidências de dimorfismo sexual, sugerindo grupos sociais complexos (Naples, 1990; McDonald, 2006; Miño-Boilini & Zurita, 2015; Varela *et al.*, 2021; Tomassini *et al.*, 2020). Grupos de *Megaichnus major* próximas umas das outras foram descritas em Frank *et al.* (2012, 2013); e Buchmann *et al.* (2016) descreve os sucessivos estágios de escavação, apresentando agrupamentos de superfícies polidas ovais sugerindo que os animais potencialmente dormiam no mesmo túnel.

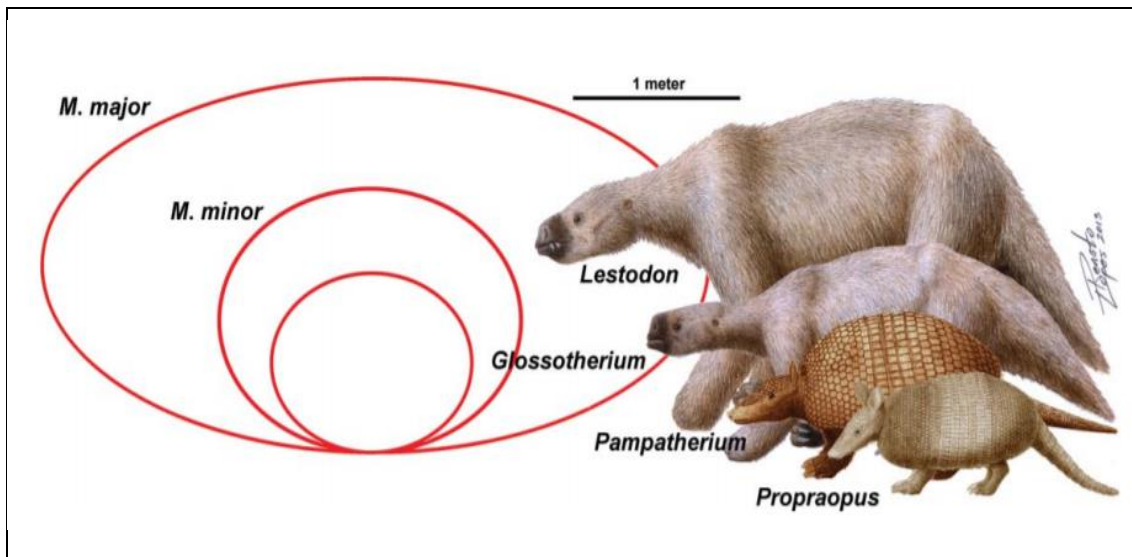


Figura 1: Comparação em escala dos *Megaichnus* e possíveis escavadores. Imagem adaptada de Lopes *et al.* (2017).

Figure 1: Scale comparison of *Megaichnus* and possible burrowers. Image adapted from Lopes *et al.* (2017).

Considerações sobre a audição e comunicação de Mylodontidae

Blanco & Rinderknecht (2008) estimaram as frequências de audição para *Glossotherium robustum* através de equações de Rosowsky (1992) envolvendo o anel timpânico determinando os limites das frequências inferiores de 44 Hz, superiores de 15.489 Hz e de melhor sensibilidade de 1.737 Hz. Blanco & Rinderknecht (2012) repetiu as estimativas utilizando-se novamente das equações de Rosowsky (1992) porém desta vez utilizando da medida da base do estribo (Fig. 2) das espécies *Lestodon* sp. e *Glossotherium robustum*. Para *G. robustum*

chegou-se aos valores de limites inferiores

de 44 Hz e superiores de 15.250 Hz, e

melhor sensibilidade sendo de 2.187 Hz.

Para *Lestodon* sp. os valores inferiores foram de 55 Hz, os superiores de 16.490 Hz e de maior sensibilidade de 2.420 Hz.

Blanco & Rinderknecht (2008) avaliaram a massa combinada dos ossículos (Fig. 2) do ouvido *Malleus* (martelo) e *incus* (bigorna) para *Lestodon* sp. e para *Glossotherium robustum*. Ambos resultaram em um valor próximo de 500 mg. Porém a massa média dos animais difere muito. *G. robustum* tem aproximadamente 1500 kg e *Lestodon* sp. com 4100 kg (Bargo *et al.*, 2000). Blanco & Rinderknecht (2008) especula que neste grupo de animais, o tamanho dos ossículos

não está relacionado ao tamanho do corpo, e destaca que os ossículos estão entre os maiores encontrados em mamíferos terrestres. Ossículos desta faixa de tamanho (>500 mg) são encontrados somente em elefantes (Proboscidea) e focas (Phocidae), animais que utilizam a condução do som através de ondas sísmicas e da água (Shiple *et al.*, 1992). Segundo Plassmann & Brändle (1992), ossículos massivos implicam na perda de acuidade auditiva em altas frequências e vantagem na detecção de infrassom (< 20Hz) e ondas sísmicas (10 a 40 Hz).

Blanco & Rinderknecht (2012) argumenta que segundo Heffner & Heffner (1992), mamíferos com cabeças pequenas precisam ouvir em frequências mais altas, havendo uma correlação entre a distância interaural máxima e o limite superior das frequências. Após a aferimento da distância interaural dos crânios de *G. robustum* e *Lestodon* sp., utilizando as frequências máximas estimadas e os cálculos de Heffner & Heffner (1992), Blanco & Rinderknecht (2012) sugere que os Mylodontidae possuíam baixa capacidade

de localização sonora. Segundo Heffner & Heffner (1992), a perda da localização auditiva está relacionada à perda da sensibilidade auditiva a altas frequências, e isto é encontrado principalmente em animais de hábitos fossoriais como ratos-toupeira e marmotas. Blanco & Rinderknecht (2012) concluíram que estas características auditivas em Mylodontidae podem ser explicadas por hábitos fossoriais.

De acordo com a teoria fonte-filtro para a comunicação de mamíferos (Chiba & Kajiyama, 1941; Taylor *et al.*, 2016) existe uma relação inversa entre as frequências e o tamanho do animal resultado da relação entre o comprimento do trato vocal e o tamanho do animal, logo animais com maior massa tendem a ter vocalizações com baixas frequências (Fitch, 1997, 2000). Os Mylodontidae possuem uma das maiores narinas em relação ao tamanho do corpo; foi estimado usando o tamanho e anatomia das narinas do *Glossotherium robustum* que o animal produzia sons na frequência de 600 Hz. O aumento das narinas pode estar relacionado a geração de sons de baixas

frequências (Blanco & Rinderknecht, 2008).

Na comunicação acústica intraespecífica existe a relação mútua entre as características das vocalizações emitidas e a capacidade auditiva de detectá-las.

Assim, para que uma vocalização seja percebida, suas frequências devem estar na faixa de frequências audíveis para a espécie (Ehret & Kurt, 2010).

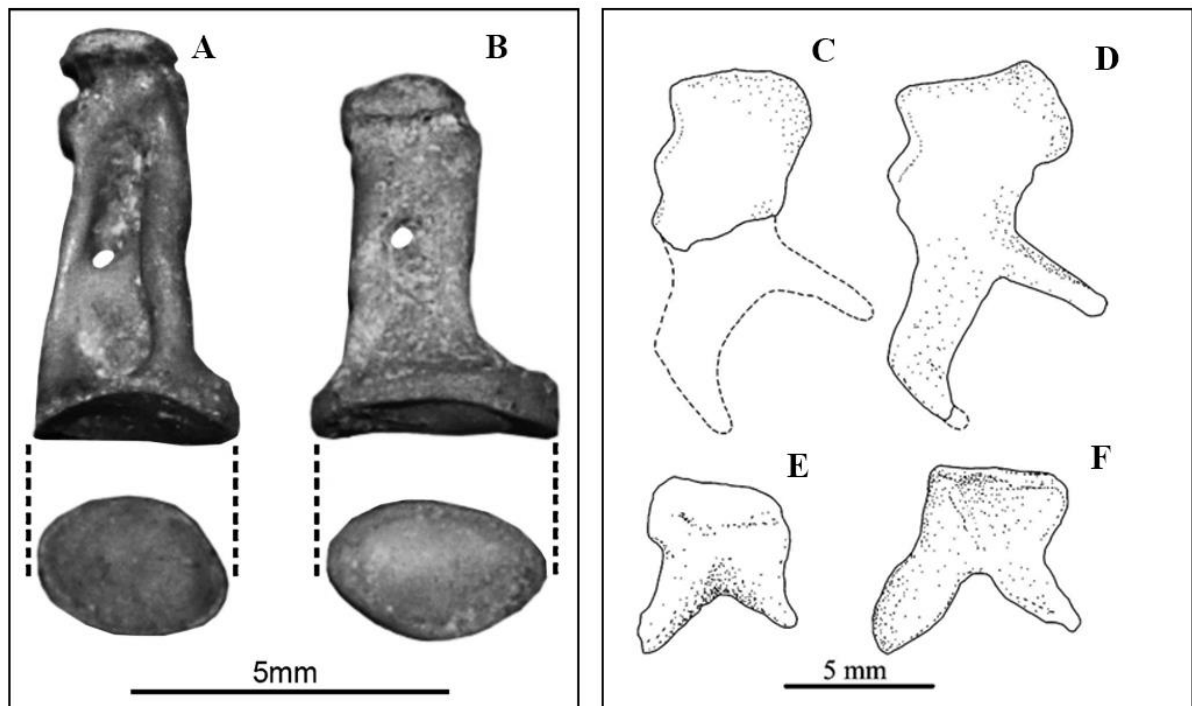


Figura 2: (A) Estribo de *Glossotherium robustum*; (B) Estribo de *Lestodon* sp. Em detalhe o diâmetro da base, utilizado nas estimativas. Adaptado de Blanco & Rinderknecht (2012); (C) e (E): Martelo e bigorna de *Glossotherium harlani*; (D) e (F) Martelo e Bigorna de *Lestodon* sp. Adaptado de Blanco & Rinderknecht (2008).

Figure 2: (A)- Styrup of *Glossotherium robustum*; (B)- Stapes of *Lestodon* sp. In detail the diameter of the base, used in the estimates. Adapted from Blanco & Rinderknecht (2012); (C) and (E): Hammer and anvil of *Glossotherium harlani*; (D) and (F) Hammer and Anvil of *Lestodon* sp. Adapted from Blanco & Rinderknecht (2008).

Bioacústica em tocas de animais fossoriais

A comunicação acústica (vocalizações) é importante para mamíferos tanto solitários quanto gregários. Tal fato molda o comportamento e morfologia das espécies através da evolução (Bradbury & Vehrencamp, 1998; Owings & Morton, 1998; Begall & Burda, 2006). Sinais acústicos são usados principalmente nas interações sociais como reconhecimento juvenil/adulto, coordenação e alerta contra predadores, atração e seleção sexual e manutenção de território (Taylor *et al.*, 2016).

No ecótopo subterrâneo, onde a ausência de luz e ventilação limita a visão e comunicação olfativa, as opções de comunicação de longo alcance são restritas. A comunicação acústica é um dos poucos canais disponíveis para a transferência da informação intraespecífica se os animais não estão em contato direto. No entanto, mesmo este tipo de comunicação é limitado pelas condições acústicas das tocas (Bednarova *et al.*, 2013; Lange *et al.*, 2006).

As propriedades acústicas do ambiente subterrâneo têm grandes implicações para a transmissão, absorção, reflexão e amplificação de vocalizações de roedores subterrâneos (Heth *et al.*, 1986; Lange *et al.*, 2006; Schleich & Antenucci, 2009) e outros táxons como anuros (Penna & Solís, 1999; Bailey & Roberts, 1981) e Orthoptera (Daws *et al.*, 1996; Bennet-Clark, 1987; Prozesky-Schulze *et al.*, 1975)

Animais fossoriais são animais que apesar de desenvolverem várias atividades na superfície, efetuam uma grande parcela delas no subterrâneo; e efetuam a maior parte de seu comportamento como busca do alimento e reprodução abaixo da terra (Nevo, 1999; Lacey *et al.*, 2000).

Roedores fossoriais que apresentam ampla distribuição na maioria dos continentes (Begall *et al.*, 2007), sendo assim privados da maioria dos estímulos disponíveis na superfície, levando a adaptações nos órgãos dos sentidos principalmente para os animais de hábitos mais subterrâneos. A ampla variedade de modos de vida, substratos dos túneis, formas de construção e dinâmicas sociais

(Schleich & Francescoli, 2018) sugerem a hipótese do efeito da complexidade social na complexidade do repertório vocal, o que levou ao foco dos estudos no desenvolvimento e operação na acústica dos roedores fossoriais (Blumstein & Armitage, 1997).

Quando comparado ao número de estudos feitos em laboratório sobre a etologia das vocalizações desses animais, poucos foram efetuados em campo, analisando a propagação das ondas sonoras nas galerias e túneis (Schleich & Francescoli, 2018). Pode-se destacar o trabalho de Heth *et al.* (1986) trabalhando com *Spalax ehrenbergi*, Lange *et al.* (2007) com gênero *Fukomys*, e Schleich & Antenucci (2009) com *Ctenomys talarum*. Os autores trabalharam com o *playback* dos sons dos animais ou com tons puros de frequências similares. Analisou-se a propagação do som dentro dos túneis, sendo estes naturais ou réplicas de dimensões similares, e foi observado que os sons de baixa frequência se propagavam com menor atenuação em relação aos de alta frequência (Heth *et al.*, 1986; Lange *et al.*, 2007;

Schleich & Antenucci, 2009) sendo que em algumas frequências o som não era atenuado com a distância, mas amplificado, sugerindo que a geometria dos túneis gerava um “efeito de estetoscópio” (*sensu* Quilliam, 1966).

Munhoz & Buchmann (2021) e Munhoz (2022) desenvolveram experimentos analisando a atenuação das ondas sonoras em *Megaichnus major*, onde se observou que as frequências menores (100 e 600 Hz) se propagaram sofrendo menor atenuação, e que sofriam o efeito estetoscópio (magnificação de certas frequências devido a geometria do túnel), resultados similares aos de Heth *et al.*, 1986; Lange *et al.*, 2007; Schleich & Antenucci, 2009.

Objetivos

O objetivo deste trabalho foi descrever os experimentos de comunicação acústica em *M. major* (atribuída à Milodontidae) em diferentes frequências no ambiente fossorial.

Métodos

Área de estudo

Os experimentos de propagação do som dentro de *M. major* ocorreram na *Megaichnus* do Rio dos Bugres (Fig. 3) no município de Urubici (SC); o local é um conjunto de túneis interligados, trincheiras e dolinas localizada nas coordenadas Lat - 27° 57' 54,7" e Long -49° 30' 33,2" numa altitude de 1036m, denominada de Uru-01 segundo Frank *et al.* (2022).

Foi escolhido o túnel Uru-01-P2 (Fig. 4) devido à ausência de ramificações e

comprimento de 15m. O túnel Uru-01-P2 está integralmente preservado, de secção elíptica, sem preenchimento, colapso do teto ou erosão do piso; com 15m de comprimento e 2,15m de altura média, atingindo altura máxima de 2,85m;

1,14m de largura média, atingindo largura máxima de 1,30m. Suas medidas podem ser aferidas na Tabela 1.

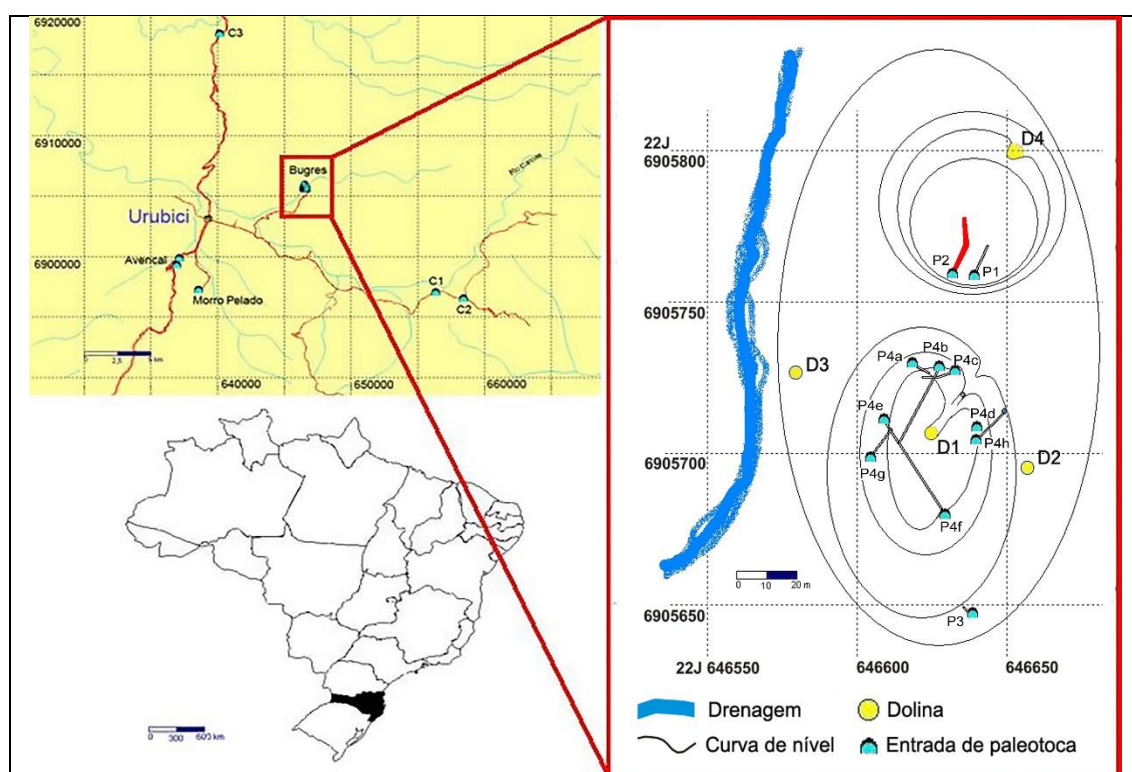


Figura 3: Localização no limite municipal de Urubici, em detalhe o conjunto de túneis da paleotoca Rio dos Bugres (Uru-01), com o túnel (P2) em vermelho. Fonte: Adaptado de Frank *et al.* (2022).

Figure 3: Location on the municipal boundary of Urubici, in detail the set of tunnels of the Rio dos Bugres paleoburrow (Uru-01), with the tunnel (P2) in red. Source: Adapted from Frank *et al.* (2022).



Figura 4: (A) Entrada do *M. major* (paleotoca P2) e (B) segmento de túnel de suave curvatura. Fotos: Buchmann.

Figure 4: (A) Entrance of *M. major* (paleoburrow P2) and (B) tunnel segment with gentle curvature. Photos: Buchmann.

Tabela 1: Medidas do Túnel P2 (Tabela de Frank *et al.*, 2022).

Table 1: Tunnel P2 measurements (Table from Frank *et al.*, 2022).

	Dist (m)	Larg (cm)	Alt (cm)	Rumo (o)	OBS	
	0	130		NE30	sem teto	
	1	115		NE30	sem teto	
	2	130		NE30	sem teto	
	3	95		NE30	entrada com teto	
	4	112	223	NE30		
	5	102	250	NE30		
	6	119	241	NE30		
	7	102	233	NE40		
	8	121	182	NE50		
	9	127	177	NE50		
	10	126	197	NE50		
	11	116	216	NE50		
	12	89	166	NE60		
	13	114	190	NE60		
	14	127	285	NE60		
	15	104	85	NE60		
	Média	114	215			

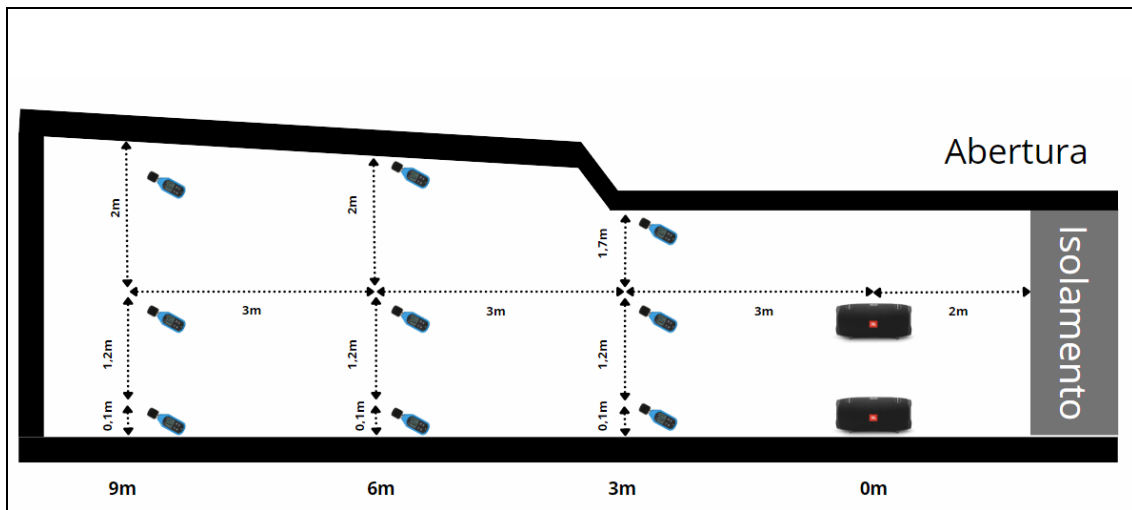


Figura 5: Pontos de aferimento do nível da intensidade sonora ao longo de *M. major*. Diagrama fora de escala.

Figure 5: Sound intensity level measurement points along *M. major*. Diagram not to scale.

Trabalho de campo

Os experimentos ocorreram em duas expedições. Para cada expedição registrou-se a temperatura média e umidade relativa.

O túnel P2 teve sua abertura fechada com uma série de lonas e um colchão inflável afim de bloquear o máximo possível os sons externos. Utilizou-se uma caixa de som *JBL* modelo *Flip 3* como fonte sonora (FS), com frequência de resposta de 85 Hz a 20.000 Hz, próxima a abertura do túnel, colocada a 1,2m de altura do chão (meio do túnel) e

depois a 0,1m (chão do túnel). Com um notebook e o programa *Audacity*, gerou-se as frequências de 100 Hz, 600 Hz, 1.700 Hz, 2.300 Hz, 15.300 Hz e 16.500 Hz. Foram gerados tons puros e contínuos em cada uma das frequências.

Para garantir o constante nível de intensidade 65 dB SPL a amplitude do sinal foi calibrada com um decibelímetro marca *Minipa* modelo 2 *MSL-1301* a 10 cm da caixa de som. Foi medido para cada frequência, utilizando-se o decibelímetro e uma trena métrica, o nível da intensidade em dB SPL nas distâncias a partir da fonte de 3m, 6m, 9m, e nas alturas de 0,1m, 1,2m

e 2m. Os dados foram inseridos no programa *Excel*.

Simulação controle

A fim de simular a atenuação em um ambiente teórico utilizou-se da página de engenharia acústica *noisetools.net*. Os parâmetros de distância da fonte, altura do solo, temperatura e umidade relativa do ar, assim como as frequências foram inseridos igualmente aos valores do campo. A página através das ferramentas em 9613-2:1996, ISO9613-1:1993 e a equação da atenuação por espalhamento geométrico, calculou para cada ponto e frequência o valor do nível da intensidade sonora em dB SPL esperado em um ambiente aberto.

Integração dos dados

Para cada frequência, os valores do nível da intensidade sonora do túnel e controle em cada ponto de distância da fonte e altura do chão foram subtraídos do valor de 65dB SPL (0,1m da fonte sonora) obtendo-se a atenuação acústica. Em seguida estes valores foram divididos pela distância da fonte sonora em (m) para obter os valores da atenuação em dB/m nos pontos. Para obter a diferença entre os

valores do túnel e do controle, foi subtraído o primeiro do segundo e construiu-se a tabela de compilação dos dados. A partir desta tabela foram gerados os gráficos das figuras 6 a 9.

Resultados e discussão

Diferentemente dos estudos anteriores também foi analisado a altura da fonte sonora em relação ao chão, averiguando se a distância da fonte sonora do chão gera algum impacto na atenuação.

Com base nos gráficos das Figuras 6 a 9 pode-se perceber que as frequências menores (100 Hz) sofrem menor atenuação e, portanto, se propagam melhor em *M. major* (paleotoca Uru-01-P2). Tal fato confirma as observações de Munhoz & Buchmann (2021) e Munhoz (2022). As outras frequências obtiveram resultados erráticos, esperava-se que as frequências maiores (15300-16500 Hz) seriam mais atenuadas sempre, porém as frequências “médias” (1700-2300 Hz) e menores (600 Hz) por muitas vezes se tornaram as mais atenuadas, possivelmente influência da geometria do túnel.

Em geral, as frequências obtiveram menor atenuação quando a fonte sonora estava no meio, o contrário do esperado, pois o som sofreria menor efeito de reflexão do solo.

Os resultados obtidos neste experimento sugerem que as adaptações no ouvido médio de *Milodontidae* podem ser fruto de pressões evolutivas para comunicação subterrânea como sugerido por Blanco & Rinderknecht (2012). Sons de baixa frequência possuem comprimentos de onda mais longos, e logo sofrem menos colisões e absorção ao longo da *Megaichnus* como estipulado por Heth *et al.* (1986). Outro mecanismo que pode explicar esse filtro seria o proposto por Lange *et al.*, (2007), onde pode estar havendo diminuição da amplitude em alguma parte do túnel para o aumento da amplitude numa “região estetoscópio”, numa certa distância da fonte sonora. Desta forma, assim como nos roedores pode haver uma relação entre os hábitos de vida fossoriais e recepção de baixas frequências.

Conclusão

No ambiente subterrâneo (afótico) a comunicação acústica (vocalizações) é a mais eficiente em baixas frequências (100 Hz). Foi observado que ao longo da *Megaichnus major* houve em média atenuação reduzida (5 dB SPL) e “efeito estetoscópio” (-0,7 dB SPL) em frequências menores (100 Hz), tanto com a fonte sonora a 1,2m (2,2 dB SPL/m), quanto 0,10m do solo (1,2 dB SPL/m).

Nas altas frequências também ocorreu este efeito, porém em menor grau, em média 0,5 dB SPL/m com a fonte sonora no meio do túnel e -0,4 dB SPL com a fonte sonora no chão. Concluimos que dentro do *M. major* os sons de baixa frequência (100 Hz) se propagam com menor atenuação em relação aos sons de alta frequência, sendo mais eficientes para a comunicação dos *Mylodontoidea*.

Agradecimentos

Ao programa de Pós-Graduação em Biodiversidade de Ambientes Costeiros (UNESP), ao programa CAPES pela bolsa; a equipe do Laboratório de Estratigrafia e Paleontologia pela logística e ao Sepkoski Grants (Paleontological Society International Research Program) pelo financiamento durante a pesquisa.

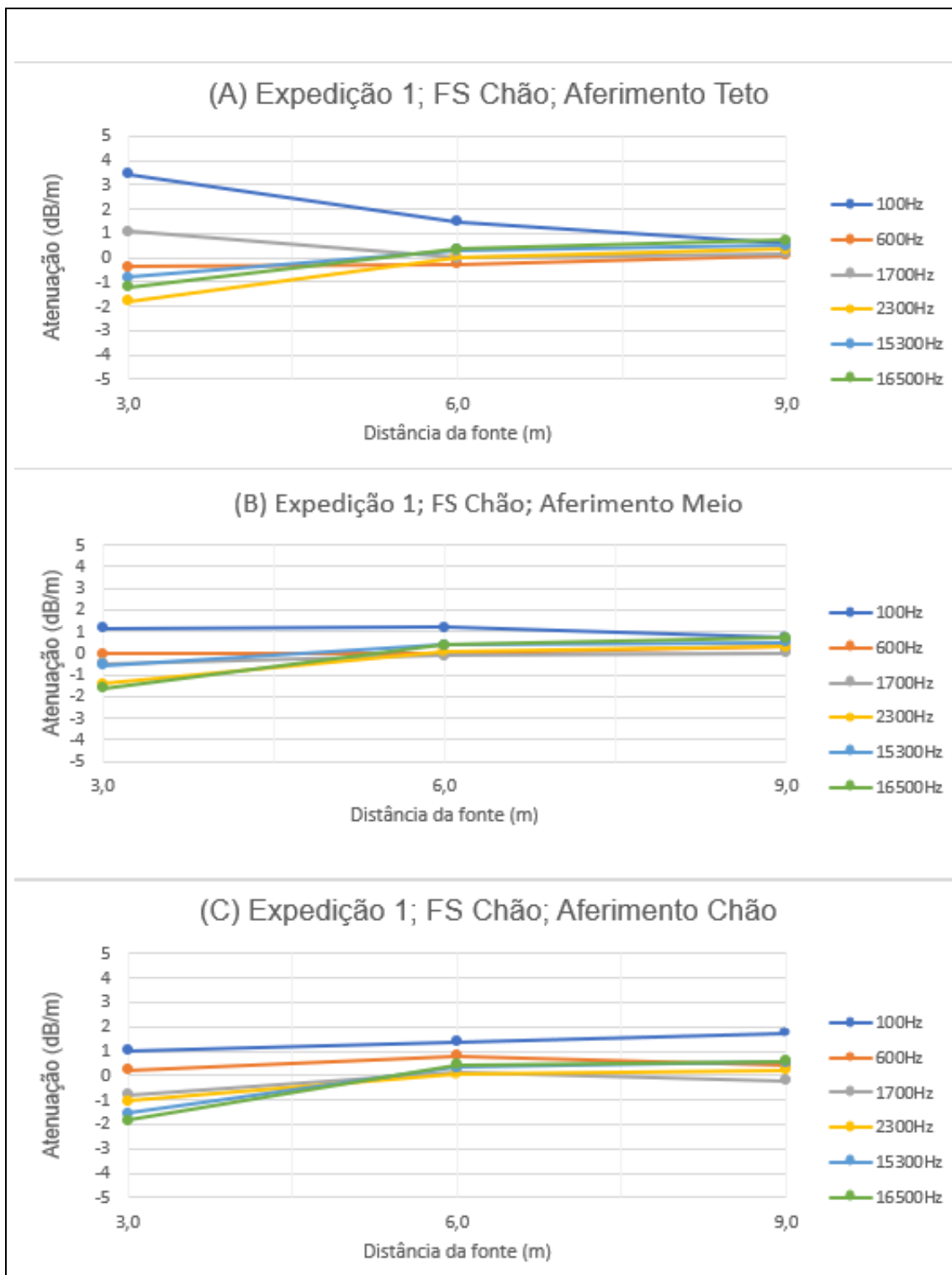


Figura 6: Expedição 1. Fonte sonora (FS) na altura “Meio” (1,2m de altura); (A) Aferimentos realizados no “Teto” (1,7m); (B) no “Meio”(1,2m); (C) no “Chão” (0,1m).

Figure 6: Expedition 1. Sound source (FS) at “Middle” height (1.2m height); (A) Measurements performed on the “Ceiling” (1.7m); (B) in the “Middle” (1.2m); (C) on the “Floor” (0.1m)

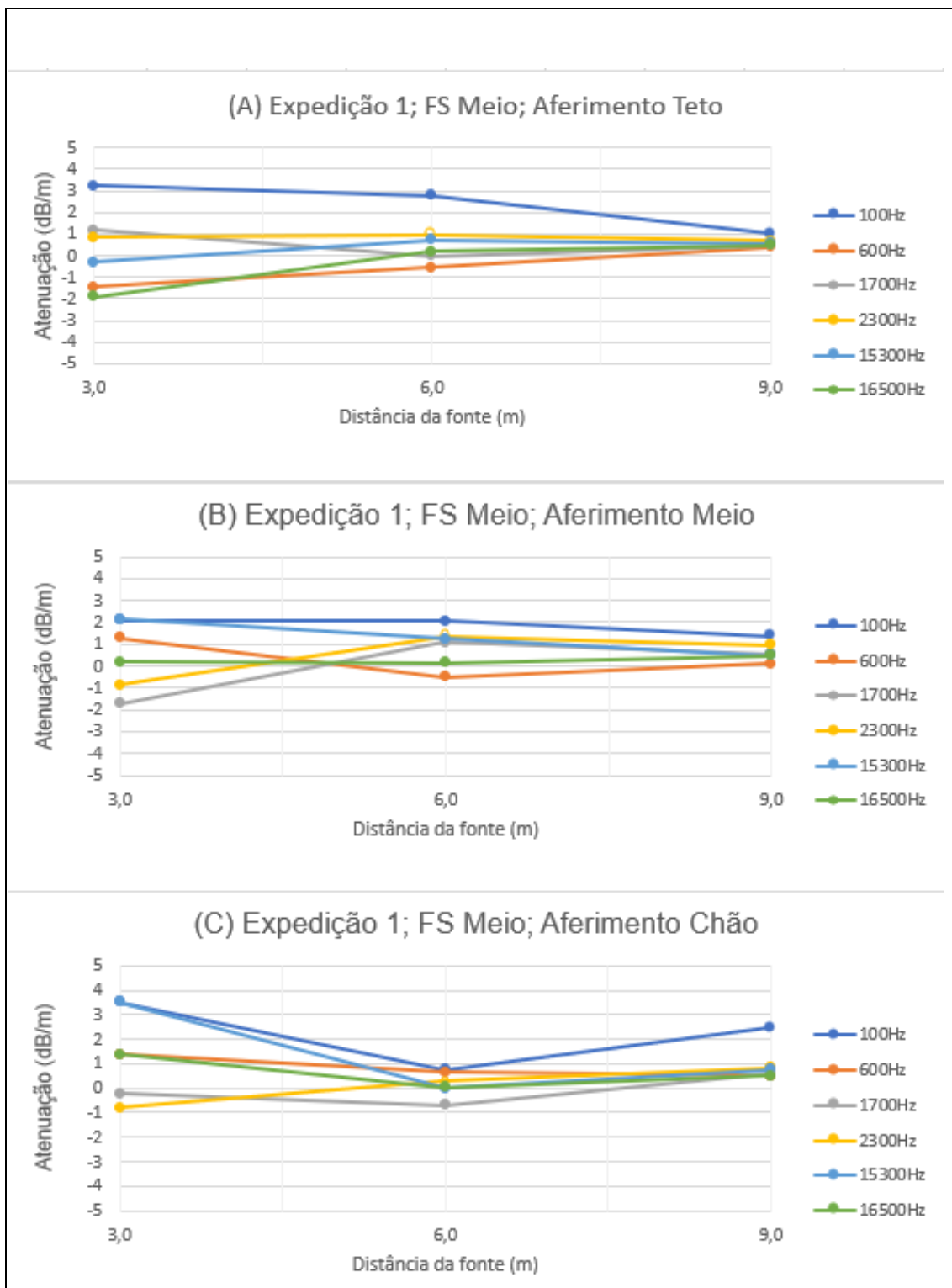


Figure 7: Expedição 1. Fonte sonora (FS) na altura “Chão” (0,1m); (A) Aferimentos realizados no “Teto” (1,7m); (B) no “Meio” (1,2m); (C) no “Chão” (0,1m).

Figure 7: Expedition 1. Sound source (FS) at “Floor” height (0,1m); (A) Measurements performed on the “Ceiling” (1.7m); (B) in the “Middle” (1.2m); (C) on the “Floor” (0.1m).

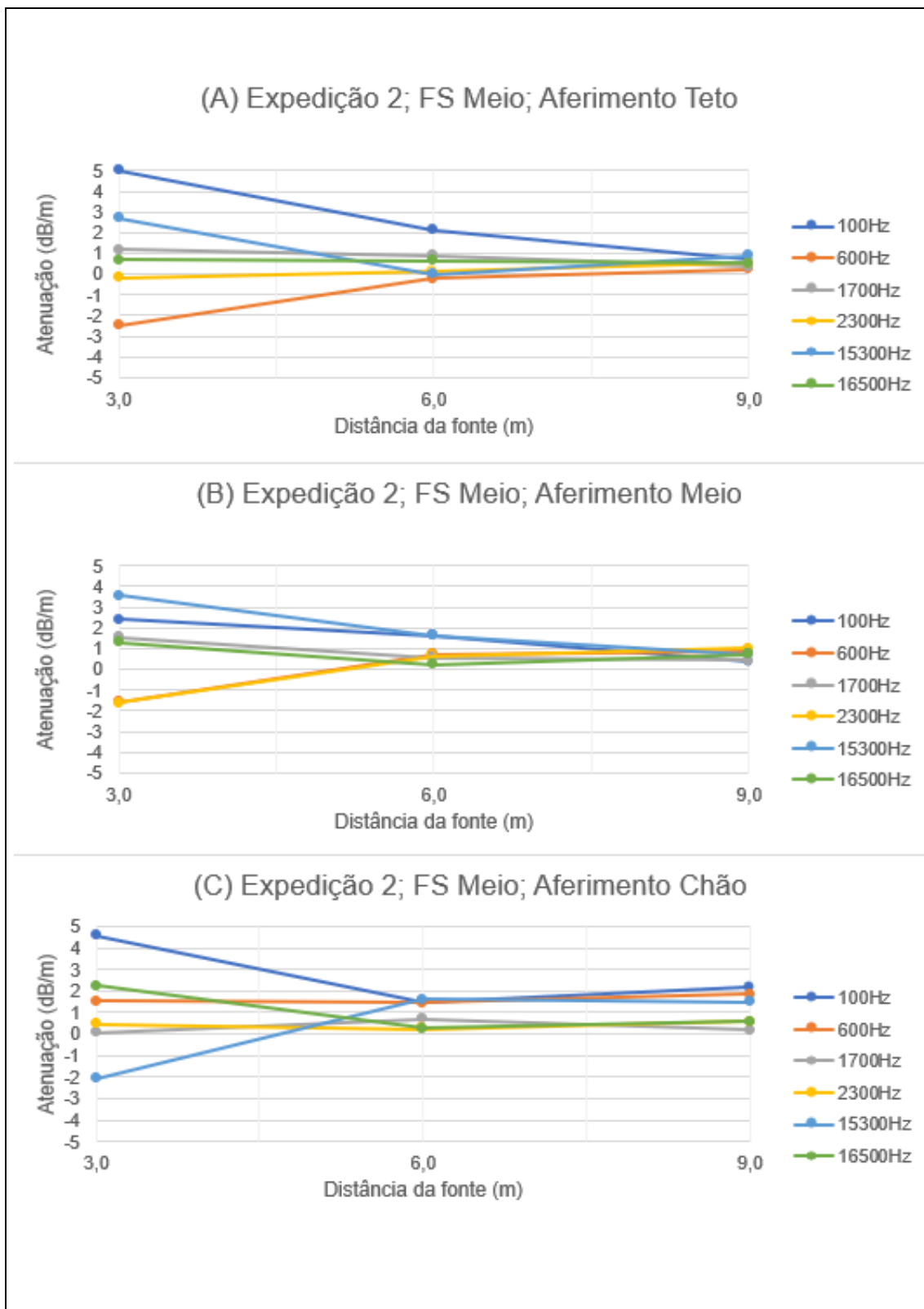


Figura 8: Expedição 2. Fonte sonora (FS) na altura “Meio” (1,2m); (A) Aferimentos realizados no “Teto” (1,7m); (B) no “Meio”(1,2m); (C) no “Chão” (0,1m).

Figure 8: Expedition 2. Sound source (FS) at “Middle” height (1,2m); (A) Measurements performed on the “Ceiling” (1.7m); (B) in the “Middle” (1.2m); (C) on the “Floor” (0.1m)

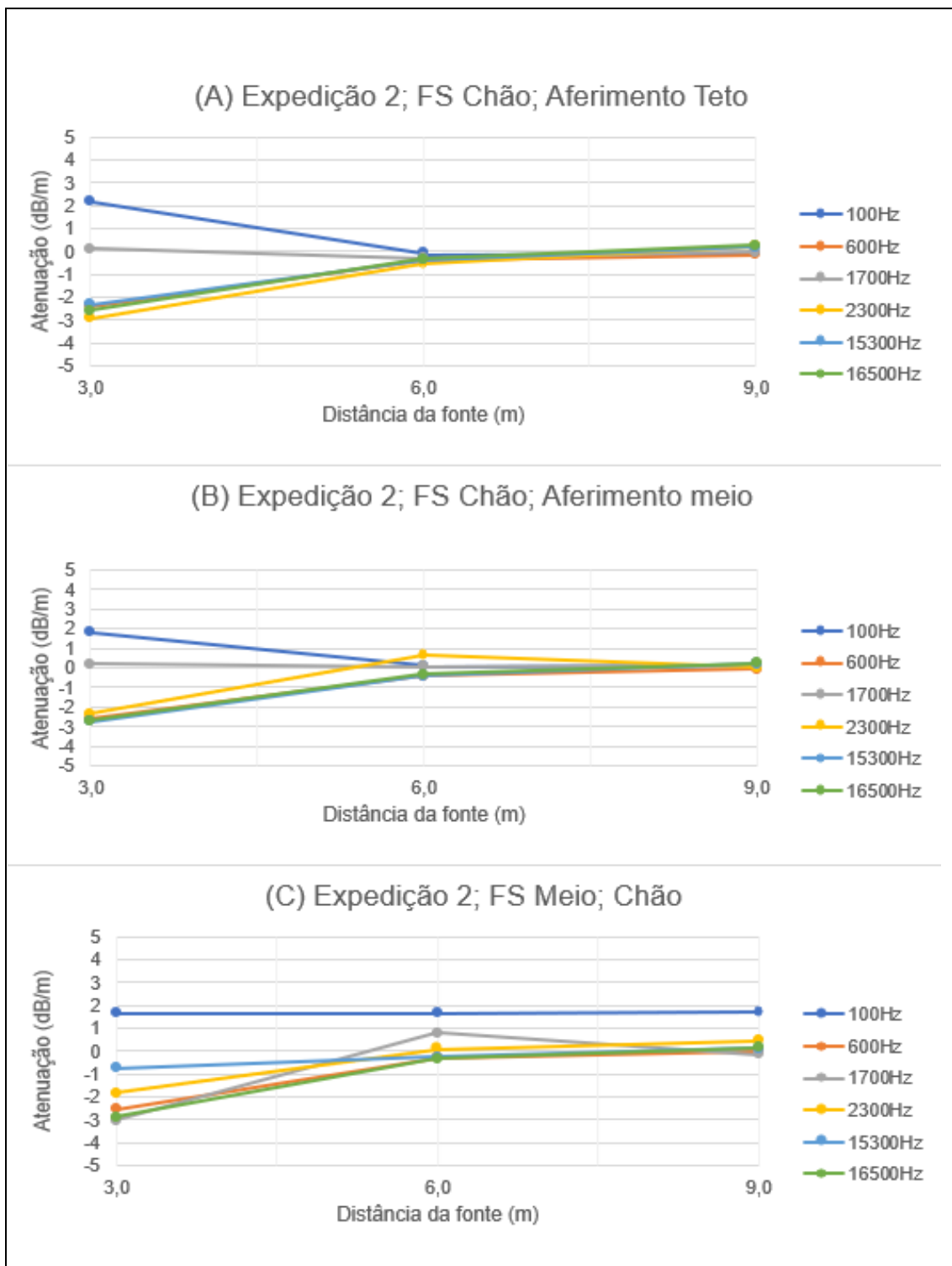


Figura 9: Expedição 2. Fonte sonora (FS) na altura “Chão” (0,1m); (A) Aferimentos realizados no “Teto” (1,7m); (B) no “Meio”(1,2m); (C) no “Chão” (0,1m).

Figure 9: Expedition 2. Sound source (FS) at “Floor” height (1,2m); (A) Measurements performed on the “Ceiling” (1.7m); (B) in the “Middle” (1.2m); (C) on the “Floor” (0.1m)

Referências

- Ameghino, F. 1908. Las formaciones sedimentarias de la región litoral de Mar del Plata y Chapadmalal. *Museo de Historia Natural de Buenos Aires*, **7**: 343-428.
- Bargo, M. S.; Vizcaíno, S. V.; Archuby, F. M. & Blanco, R. E. 2000. Limb bone proportions, strength and digging in some Lujanian (Late Pleistocene-Early Holocene) Mylodontidae ground sloths (Mammalia, Xenarthra), *Journal of Vertebrate Paleontology*, **20**(3): 601-610. [https://doi.org/10.1671/0272-4634\(2000\)020\[0601:LBPSAD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1671/0272-4634(2000)020[0601:LBPSAD]2.0.CO;2).
- Begall S. & Burda H. 2006. Acoustic communication and burrow acoustics are reflected in the ear morphology of the coruro (*Spalacopus cyanus*, Octodontidae), a social fossorial rodent. *J Morphol.* Mar; **267**(3):382-90. doi: 10.1002/jmor.10411. PMID: 16400643.
- Bennet-Clark, H. C. 1987. The tuned singing burrow of Mole Crickets. *J Exp Biol* 1 March 1987; **128** (1): 383–409. doi: <https://doi.org/10.1242/jeb.128.1.383>
- Bergqvist, L. P. & Maciel, L. 1994. Icnofósseis de mamíferos (crotoninas) na planície costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **52**: 359–377.
- Blanco, R. E. & Rinderknecht, A. 2008. Estimation of hearing capabilities of Pleistocene ground sloths (Mammalia, Xenarthra) from middle-ear anatomy. *Journal of Vertebrate Paleontology*. **28**: 274-276. [https://doi.org/10.1671/0272-4634\(2008\)28\[274:EOHCOP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1671/0272-4634(2008)28[274:EOHCOP]2.0.CO;2).
- Blanco, R. E. & Rinderknecht, A. 2012. Fossil evidence of frequency range of hearing independent of body size in South American Pleistocene ground sloths (Mammalia, Xenarthra). *Comptes Rendus Palevol*, **11**(8): 549–554. <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2012.07.003>.

- Bradbury, J. W. & Vehrencamp, S. L. 1998. *Principles of animal communication*. Sunderland, MA: Sinauer.
- Buchmann, F. S.; Frank, H. T.; Ferreira, V. M. S. & Cruz, E. A. 2016. Evidência de vida gregária em paleotocas atribuídas a Mylodontidae (preguiças-gigantes). *Revista Brasileira de Paleontologia*, **19**(2): 259-270, 2016.
<http://hdl.handle.net/11449/169099>.
- Buchmann, F. S., Lopes, R. P. & Caron, F. 2009. Icnofósseis (paleotocas e crotovinas) atribuídos a mamíferos extintos no Sudeste e Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **12**(3): 247–256.
<https://doi.org/10.4072/rbp.2009.3.07>.
- Chiba, T. & Kajiyama, M. 1941. The vowel: Its nature and structure. Tokyo: Tokyo-Keiseikan.
- Daws, A. G.; Bennet-Clark, H. C. & Fletcher, N. M. 1996. The mechanism of tuning of the Mole Cricket singing burrow, *Bioacoustics*, **7**(2):81-117, DOI: 10.1080/09524622.1996.9753321
- Dondas, A.; Isla, F. & Carballido, J. 2009. Paleocaves exhumed from the Miramar Formation (Ensenadan Stage-age, Pleistocene), Mar del Plata, Argentina. *Quaternary International* **210**: 44-50.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2009.07.001>.
- Ehret G. & Kurt S. 2010. Selective perception and recognition of vocal signals. In: Brudzynski S. M, editor. *Handbook of mammalian vocalization*. Amsterdam: Academic Press; pp. 125–134.
- Frank, H. T.; Buchmann, F. S.; Lima, L. G.; Caron, F.; Lopes, R. P. & Fornari, M. 2011. Karstic features generated from large palaeovertebrate tunnels in southern Brazil. *Espeleo-Tema*, **22**: 139-143.

- Frank, H. T., Oliveira, L. D.; Vicroski, F. N.; Breier, R.; Pasqualon, N. G.; Araújo, T.; Buchmann, F. S.; Fornari, M.; Lima, L. G.; Lopes, R. P. & Caron, F. 2012. The complex history of a sandstone-hosted cave in the state of Santa Catarina, Brazil. *Espeleo-Tema*, **23**: 87-101.
- Frank, H. T.; Lima, L. G.; Gerhard, N. P.; Caron, F.; Buchmann, F. S.; Fornari, M. & Lopes, R. P. 2013. Description and interpretation of Cenozoic vertebrate ichnofossils in Rio Grande do Sul State, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **16**(1): 83-96.
<https://doi.org/10.4072/rbp.2013.1.07>.
- Frank, H. T.; Althaus, C. E.; Dario, E. M.; Tramontina, F. R.; Adriano, R. M. & Almeida, M. L. 2015. Underground chamber systems excavated by Cenozoic ground sloths in the Rio Grande do Sul, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **18**(2): 273-284.
- Frank, H. T.; Caron, F.; Lima, L. G.; Buchmann, F. S. & Fornari, M. (2022). Paleotocas da megafauna Cenozóica no município de Urubici (Santa Catarina, Brasil). *Revista Espeleologia Digital*, **3**: 39-45.
- Figueiredo, A. E. Q., Frank, H. T., Lima, L. G., Buchmann, F. S., Fornari, M., Caron, F. & Lopes, R. P. 2012. Morfología de los túneles de paleovertebrados en el Sur de Brasil. In: *Jornadas Argentina de Paleontología de Vertebrados - JAPV 2012*. 21 al 23 de Mayo 2012, Buenos Aires, **Resumos**, 1 CD-ROM.
- Fitch, W. T. 1997. Vocal tract length and formant frequency dispersion correlate with body size in rhesus macaques. *Journal of the Acoustical Society of America*, **102**, 1213–1222.
- Fitch, W. T. (2000). Skull dimensions in relation to body size in non-human primates: The causal bases for acoustic allometry. *Zoology*, **103**, 40–58.

- Heth, G.; Frankenberg, E. & Nevo, E. 1986. Adaptive optimal sound for vocal communication in tunnels of a subterranean mammal (*Spalax ehrenbergi*). *Experientia*. Dec 1; **42**(11-12): 1287-9. <https://doi.org/10.1007/BF01946426>. PMID: 3780955.
- Heffner, R. S. & Heffner, H. S. 1992. Evolution of sound localization in mammals. In: Webster, D. B., Fay, R. R., Popper, A. N. (Eds.), *The Evolutionary Biology of Hearing*. Springer-Verlag, New York Inc, pp. 691–715.
- Lopes, R. P.; Frank, H. T.; Buchmann, F. S. & Caron, F. 2017. *Megaichnus* igen. Nov.: Giant paleoburrows attributed to extinct Cenozoic mammals from South America. *Ichnos- International Journal for Plant and Animal Traces*. **24**(2): 133-145. <<http://hdl.handle.net/11449/162902>>
- Lange, S.; Burda, H.; Wegner, R.; Dammann, P.; Begall, S. & Kawalika, M. 2007. Living “n a "stethoscope": Burrow-acoustics promote auditory specializations in subterranean rodents. *Die Naturwissenschaften*. **94**: 134-8. <https://doi.org/10.1007/s00114-006-0168-0>.
- McDonald, H. G. 2006. Sexual dimorphism in the skull of Harlan’s ground sloth. Natural History Museum of Los Angeles County. *Contributions in Science*, 510: 1-9
- Miño-Boilini, Á. R. & Zurita, A. E. 2015. Dimorphism in Quaternary Scelidotheriinae (Mammalia, Xenarthra, Phyllophaga). *Palaeontologia Electronica*, **18**(1): 1–16. <https://doi.org/10.26879/434>
- Munhoz, M. S. & Buchmann, F. S. 2021. Atenuação acústica em paleotocas. Resumos do XXX CIC UNESP, Universidade Estadual Paulista (UNESP).

- Munhoz, M. S. 2023. *Bioacústica em paleotocas atribuídas às preguiças gigantes (Megaichnus major)*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista (UNESP), São Vicente, 2023.
- Ogando, R.; Frank, H. T.; Lima, L. G.; Caron, F.; Buchmann, F. S.; Fornari, M. & Lopes, R. P. 2010. Paleocuevas en la región de la Formación Tacuarembó (Cuenca del Paraná), Uruguay. In: *ENCUENTRO URUGUAYO DE ESPELEOLOGÍA*, 2. Anais, Montevideo.
- Owings, D. H. & Morton, E. S. 1998. Animal vocal communication: A new approach. Cambridge, UK: *Cambridge University Press*.
- Padberg-Drenkpol, J. H. A. 1933. Misteriosas galerias subterrâneas em Santa Catharina. *Boletim do Museu Nacional*, 9(1): 83-91.
- Penna, M., Solís, R. Extent and variation of sound enhancement inside burrows of the frog *Eupsophus emiliopugini* (Leptodactylidae). *Behav Ecol Sociobiol* 47, 94–103 (1999).
<https://doi.org/10.1007/s002650050654>
- Plassmann, W. & K. Brändle. 1992. A functional model of the auditory system in mammals and its evolutionary implications; pp. 637–653. In: D. B. Webster, R. R. Fay & A. N. Popper (eds.), *The Evolutionary Biology of Hearing*. Springer-Verlag, New York Inc.
- Prozeski-Schulze, L.; Prozeski, O. & Anderson, F. & Van Der Merwe, G. J. J. 1975. Use of a self-made sound baffle by a tree cricket. *Nature* 255, 142–143.
<https://doi.org/10.1038/255142a0>
- Presslee, S.; Slater, G. J.; Pujos, F.; Forasiepi, A. M.; Fischer, R.; Molloy, K.; Mackie, M.; Olsen, J. V.; Kramarz, A.; Taglioretti, M.; Scaglia, F.; Lezcano, M.; Lanata, J. L.; Southon, J.; Feranec, R.;

- Bloch, J.; Hajduk, A.; Martin, F. M.; Gismondi, R. S.; Reguero, M.; de Muizon, C.; Greenwood, A.; Chait, B. T.; Penkman, K.; Collins, M. & MacPhee, R. D. E. 2019. Palaeoproteomics resolves sloth relationships . *Nature Ecology & Evolution*, **3**(7): 1121–1130.
<https://doi.org/10.1038/s41559-019-0909-z>. PMID31171860.S2CID174813630.
- Quilliam, T. A. 1966. The mole's sensory apparatus. *Journal of Zoology*, **149**(1): 76–88. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1966.tb02986.x>
- Quintana, C. A. 1992. Estructura interna de una paleocueva, posiblemente de un Dasypodidae (Mammalia, Edentata) del Pleistoceno de Mar del Plata (provincia de Buenos Aires, Argentina). *Ameghiniana*, **29**: 87-91.
- Rosowski, J. J. 1992. Hearing in transitional mammals: Predictions from the middle-ear anatomy and hearing capabilities of extant mammals. *The Evolutionary Biology of Hearing*, 62784-7_38.
- Schleich, C. & Antenucci, D. 2009. Sound transmission and burrow characteristics of the subterranean rodent *Ctenomys talarum* (Rodentia: Ctenomyidae). *Acta Theriologica*, **54**(2):165-170.
<https://doi.org/10.1007/BF03193172>.
- Schleich, C. & Francescoli, G. 2018. Three decades of subterranean acoustic communication studies. In: Dent, M., Fay, R., Popper, A. (eds) *Rodent bioacoustics. Springer Handbook of Auditory Research*, **67**. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-92495-3_3.
- Seilacher, A. 1953. Studien zur Palichnologie: 1. Über die Methoden der Palichnologie. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, **96**: 421-452.

- Shiple, C.; Stewart, B. S. & Bass, J. 1992. Seismic communication in northern elephant seals; pp. 553–562. *In*: J. A. Thomas, R. A. Kastelein, & A. Y. Supin (eds.), *Marine Mammal Sensory Systems*. Plenum Press, New York.
- Taylor, A.M., Charlton, B.D. & Reby, D. 2016. Vocal Production by terrestrial mammals: Source, filter, and function. *In*: Suthers, R., Fitch, W., Fay, R., Popper, A. (eds) *Vertebrate sound production and acoustic communication*. Springer Handbook of Auditory Research, vol 53. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-27721-9_8
- Tejada, J. V.; Flynn, J. J.; MacPhee, R.; O’Connell, T. C.; Cerling, T. E.; Lizette Bermudez, Capuñay, C.; Wallsgrove, N. & Popp, B. N. 2021. Isotope data from amino acids indicate Darwin's ground sloth was not an herbivore. *Sci Rep.*, **11**(1):18944.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-97996-9>
- Tomassini, R. L., Montalvo, C. I., Garrone, M.C.; Domingo, L.; Ferigolo, J.; Cruz, E. L.; Sanz-Pérez, D.; Fernández-Jalvo, Y & Cerda, I. A. 2020. Gregariousness in the giant sloth *Lestodon* (Xenarthra): multi-proxy approach of a bonebed from the Last Maximum Glacial of Argentine Pampas. *Sci Rep*, **10**: 10955.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-67863-0>.
- Varela, L.; McDonald, H. G. & Fariña, R. 2021. Sexual dimorphism in the fossil ground sloth *Lestodon armatus* (Xenarthra, Folivora), *Historical Biology*, **34**(3): 525-537.
- Vizcaíno, S. F.; Zárate, M.; Bargo, M. S. & Dondas, A. 2001. Pleistocene burrows in the Mar del Plata area (Argentina) and their probable builders. *Acta Palaeontologica Polonica*, **46**: 157-169.

Vizcaíno, S. F.; Bargo, M. S. & Fariña, R.
2008. Form, function and paleobiology in
Xenarthrans. *In*: Vizcaíno, S.F. & Loughry,
W.J. (eds.), *The Biology of the Xenarthra*.
Florida University Press, Gainesville, FL,
86–99.

Winston J. Bailey & J. Dale Roberts 1981.
The bioacoustics of the burrowing frog
Heleioporus (Leptodactylidae), *Journal of*
Natural History, 15:4, 693-702, DOI:
[10.1080/00222938100770491](https://doi.org/10.1080/00222938100770491)

Zárate, M. A.; Bargo, M. S.; Vizcaíno, S. F.;
Dondas, A. & Scaglia, O. 1998. Estructuras
biogénicas en el Cenozoico tardío de Mar
del Plata (Argentina) atribuibles a grandes
mamíferos. *Revista de la Asociacion*
Argentina de Sedimentología, **5**: 95-103.

Legendas

Tabela 2: Medidas do Túnel P2 (tabela de Frank *et al.*, 2022).

Table 1: Tunnel P2 measurements (table from Frank *et al.*, 2022).

Figura 1: Comparação em escala dos *Megaichnus* e possíveis escavadores. Imagem adaptada de Lopes *et al.* (2017).

Figure 1: Scale comparison of *Megaichnus* and possible burrowers. Image adapted from Lopes *et al.* (2017).

Figura 2: (A) Estribo de *Glossotherium robustum*; (B) Estribo de *Lestodon* sp. Em detalhe o diâmetro da base, utilizado nas estimativas. Adaptado de Blanco & Rinderknecht (2012); (C) e (E): Martelo e bigorna de *Glossotherium harlani*; (D) e (F) Martelo e Bigorna de *Lestodon* sp. Adaptado de Blanco & Rinderknecht (2008).

Figure 2: (A)- Stirrup of *Glossotherium robustum*; (B)- Stapes of *Lestodon* sp. In detail the diameter of the base, used in the estimates. Adapted from Blanco & Rinderknecht (2012); (C) and (E): Hammer and anvil of *Glossotherium harlani*; (D) and (F) Hammer and Anvil of *Lestodon* sp. Adapted from Blanco & Rinderknecht (2008).

Figura 3: Localização no limite municipal de Urubici, em detalhe o conjunto de túneis da paleotoca Rio dos Bugres (Uru-01), com o túnel (P2) em vermelho. Fonte: Adaptado de Frank *et al.* (2022).

Figure 3: Location on the municipal boundary of Urubici, in detail the set of tunnels of the Rio dos Bugres paleoburrow (Uru-01), with the tunnel (P2) in red. Source: Adapted from Frank *et al.* (2022).

Figura 4: (A) Entrada do *M. major* (paleotoca P2) e (B) segmento de túnel de suave curvatura. Fotos: Buchmann.

Figure 4: (A) Entrance of *M. major* (paleoburrow P2) and (B) tunnel segment with gentle curvature. Photos: Buchmann.

Figura 5: Pontos de aferimento do nível da intensidade sonora ao longo de *M. major*. Diagrama fora de escala.

Figure 5: Sound intensity level measurement points along *M. major*. Diagram not to scale.

Figura 6: Expedição 1. Fonte sonora (FS) na altura “Meio” (1,2m de altura); (A) Aferimentos realizados no “Teto” (1,7m); (B) no “Meio” (1,2m); (C) no “Chão” (0,1m).

Figure 6: Expedition 1. Sound source (FS) at “Middle” height (1.2m height); (A) Measurements performed on the “Ceiling” (1.7m); (B) in the “Middle” (1.2m); (C) on the “Floor” (0.1m).

Figure 7: Expedição 1. Fonte sonora (FS) na altura “Chão” (0,1m); (A) Aferimentos realizados no “Teto” (1,7m); (B) no “Meio” (1,2m); (C) no “Chão” (0,1m).

Figure 7: Expedition 1. Sound source (FS) at “Floor” height (0,1m); (A) Measurements performed on the “Ceiling” (1.7m); (B) in the “Middle” (1.2m); (C) on the “Floor” (0.1m).

Figura 8: Expedição 2. Fonte sonora (FS) na altura “Meio” (1,2m); (A) Aferimentos realizados no “Teto” (1,7m); (B) no “Meio” (1,2m); (C) no “Chão” (0,1m).

Figure 8: Expedition 2. Sound source (FS) at “Middle” height (1,2m); (A) Measurements performed on the “Ceiling”

(1.7m); (B) in the “Middle” (1.2m); (C) on the "Floor" (0.1m).

Figura 9: Expedição 2. Fonte sonora (FS) na altura “Chão” (0,1m); (A) Aferimentos realizados no “Teto” (1,7m); (B) no “Meio” (1,2m); (C) no “Chão” (0,1m).

Figure 9: Expedition 2. Sound source (FS) at “Floor” height (1,2m); (A) Measurements performed on the “Ceiling” (1.7m); (B) in the “Middle” (1.2m); (C) on the "Floor" (0.1m).

Conclusão

Os resultados obtidos nesta dissertação, somam-se aos de Munhoz (2022) com *Megaichnus major*, e também aos artigos de Heth *et al.*, (1986); Lange *et al.*, (2006); Schleich & Antenucci, (2009) com roedores, mostrando o comportamento dos sinais acústicos dentro de tuneis. É possível que os ossículos auditivos massivos dos Mylodontoidea escavadores estejam associados ao modo de vida fossorial, resultados de uma pressão evolutiva para comunicação com frequências mais baixas. Sons mais graves se propagam com menor atenuação em tuneis, logo sinais acústicos nestas faixas de frequência seriam mais vantajosos para animais gregários nestes ambientes. É possível que os ossículos massivos dos Mylodontoidea tenham origem em um caractere fossorial antigo de xenartra, ou seja uma adaptação nova exaptada da comunicação em ambientes de mata fechada. Apesar dessas características do ouvido médio é preciso também avaliar se as características do ouvido interno e cérebro permitem a transmissão e interpretação desses sinais acústicos de baixa frequência, mas isso foge do escopo deste trabalho.

Considerações futuras

É necessário para futuros experimentos melhorar a metodologia do processo de aferimento. Também é necessário descobrir o efeito real da arquitetura do túnel na ampliação do ganho e atenuação dos sinais, talvez com experimentos semelhantes em túneis com diferentes dimensões. Assim poderia se obter dados suficientes para testes estatísticos.

Apêndice

Atenuação/ganho em dB SPL dividida pela distância da fonte sonora para cada frequência e ponto de aferimento.

Experimento 1									
	Fonte Sonora no meio					Fonte Sonora no chão			
		3m	6m	9m			3m	6m	9m
Teto	100 Hz	3,2	2,8	1,0		100 Hz	3,4	1,5	0,6
	600 Hz	-1,4	-0,5	0,4		600 Hz	-0,4	-0,3	0,1
	1700 Hz	1,2	0,0	0,5		1700 Hz	1,1	0,0	0,2
	2300 Hz	0,9	1,0	0,7		2300 Hz	-1,8	0,0	0,4
	15300 Hz	-0,3	0,7	0,6		15300 Hz	-0,8	0,3	0,5
	16500 Hz	-1,9	0,2	0,5		16500 Hz	-1,2	0,4	0,7
		3m	6m	9m			3m	6m	9m
Meio	100 Hz	2,1	2,1	1,4		100 Hz	1,2	1,2	0,7
	600 Hz	1,3	-0,5	0,1		600 Hz	0,0	0,0	0,3
	1700 Hz	-1,7	1,1	0,6		1700 Hz	-0,5	-0,1	0,0
	2300 Hz	-0,9	1,4	1,0		2300 Hz	-1,4	0,0	0,3
	15300 Hz	2,1	1,3	0,5		15300 Hz	-0,6	0,4	0,5
	16500 Hz	0,2	0,1	0,5		16500 Hz	-1,6	0,4	0,7
		3m	6m	9m			3m	6m	9m
Chão	100 Hz	3,5	0,8	2,5		100 Hz	1,0	1,4	1,7
	600 Hz	1,4	0,7	0,5		600 Hz	0,2	0,8	0,4
	1700 Hz	-0,2	-0,7	0,6		1700 Hz	-0,8	0,2	-0,2
	2300 Hz	-0,8	0,3	0,8		2300 Hz	-1,0	0,1	0,2
	15300 Hz	3,5	0,0	0,7		15300 Hz	-1,6	0,3	0,6
	16500 Hz	1,4	0,0	0,5		16500 Hz	-1,8	0,5	0,6

Experimento 2									
Fonte Sonora no meio						Fonte Sonora no chão			
		3m	6m	9m			3m	6m	9m
Teto	100 Hz	5,0	2,1	0,7		100 Hz	2,2	-0,1	-0,1
	600 Hz	-2,5	-0,2	0,2		600 Hz	-2,4	-0,4	-0,1
	1700 Hz	1,2	0,9	0,4		1700 Hz	0,1	-0,3	0,0
	2300 Hz	-0,2	0,1	0,5		2300 Hz	-2,9	-0,6	0,2
	15300 Hz	2,7	0,0	0,9		15300 Hz	-2,3	-0,4	0,2
	16500 Hz	0,7	0,7	0,5		16500 Hz	-2,6	-0,3	0,3
		3m	6m	9m			3m	6m	9m
Meio	100 Hz	2,4	1,6	0,4		100 Hz	1,8	0,1	0,2
	600 Hz	-1,6	0,7	0,9		600 Hz	-2,6	-0,4	-0,1
	1700 Hz	1,5	0,6	0,4		1700 Hz	0,2	0,1	0,1
	2300 Hz	-1,6	0,7	1,0		2300 Hz	-2,3	0,7	0,0
	15300 Hz	3,6	1,7	0,7		15300 Hz	-2,7	-0,4	0,2
	16500 Hz	1,3	0,2	0,7	16500 Hz	-2,7	-0,3	0,3	
		3m	6m	9m			3m	6m	9m
Chão	100 Hz	4,6	1,5	2,2		100 Hz	1,7	1,7	1,7
	600 Hz	1,5	1,5	1,8		600 Hz	-2,5	-0,3	0,0
	1700 Hz	0,1	0,7	0,2		1700 Hz	-3,0	0,8	-0,1
	2300 Hz	0,5	0,2	0,6		2300 Hz	-1,8	0,1	0,4
	15300 Hz	-2,1	1,6	1,5		15300 Hz	-0,7	-0,3	0,1
	16500 Hz	2,2	0,3	0,6	16500 Hz	-2,9	-0,3	0,2	