



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Biociências
Câmpus do Litoral Paulista



MARCELO SCHEREIBER MUNHOZ

**BIOACÚSTICA EM PALEOTOCA (*MEGAICHNUS MAJOR*) ATRIBUÍDA ÀS
PREGUIÇAS GIGANTES**

SÃO VICENTE
2023

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA INSTITUTO DE
BIOCIÊNCIAS CAMPUS DO LITORAL PAULISTA**

**Bioacústica em paleotoca (*Megaichnus major*) atribuída às
preguiças gigantes**

Marcelo Schreiber Munhoz

Monografia apresentada, como pré-requisito
para conclusão do curso de graduação de
Bacharelado em Ciências Biológicas da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Instituto de Biociências,
Campus do Litoral Paulista.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Sekiguchi Buchmann

São Vicente-SP
2022

M966b Munhoz, Marcelo Schereiber
BIOACÚSTICA EM PALEOTOCA (MEGAICHNUS MAJOR)
ATRIBUÍDA ÀS PREGUIÇAS GIGANTES / Marcelo Schereiber
Munhoz. -- São Vicente, 2023
29 p. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências
Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto
de Biociências, São Vicente
Orientador: Prof. Dr. Francisco Sekiguchi Buchmann

1. Mylodontoidea. 2. Rio dos Bugres. 3. Atenuação acústica.
I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

Bioacústica em paleotoca (*Megaichnus major*) atribuída às preguiças gigantes

Resumo

Paleotocas são estruturas naturais subterrâneas escavadas por mamíferos gigantes extintos (megafauna) durante o Plioceno e Pleistoceno. Este trabalho descreve um experimento de propagação do som dentro de uma paleotoca (*Megaichnus major*) atribuída às preguiças-gigantes da família Mylodontidae; em várias frequências e distâncias do solo. Estimativas com base no ouvido médio destas preguiças atribuem uma faixa de frequência auditiva de 44Hz até 16.490Hz. Há evidências de comportamento gregário nestes animais, de modo ser necessário avaliar a comunicação acústica das preguiças-gigantes dentro dos túneis. O objetivo foi medir quais frequências de som se propagam melhor dentro da paleotoca. O experimento ocorreu na paleotoca do Rio dos Bugres (Uru-09), um conjunto de túneis, trincheiras e dolinas, numa altitude de 1036m, no município de Urubici, SC. Escolheu-se um túnel integralmente preservado (Uru-09-2), 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 100Hz, 600Hz, 1.700Hz, 2.300Hz, 15.300Hz e 16.500Hz; com constante nível de intensidade 75dB SPL. Com um decibelímetro mediu-se o nível da intensidade em dB SPL a partir da fonte sonora nas distâncias de 3m, 6m, 9m e nas alturas de 0,1m, 1,2m e 2m. Foi observado que a geometria ao longo dos grandes túneis da paleotoca houve atenuação reduzida e ocorreu o “efeito de estetoscópio” (2-3 dB SPL) em frequências menores (100-600Hz). Concluímos que os sons de baixa frequência (100-600Hz) se propagavam com menor atenuação em relação aos de alta frequência, e, portanto, são mais eficientes para a comunicação dos Mylodontidae dentro da paleotoca.

Bioacoustics in paleoburrow (*Megaichnus major*) attributed to giant sloths

Abstract

Paleoburrows are natural underground structures excavated by extinct giant mammals (megafauna) during the Pliocene and Pleistocene. This work describes a sound propagation experiment inside a paleoburrow (*Megaichnus major*) attributed to the giant sloths of the Mylodontidae family; at various frequencies and distances from the ground. Estimates based on the middle ear of these sloths assign an auditory frequency range from 44Hz to 16,490Hz. There is evidence of gregarious behavior in these animals, so it is necessary to evaluate the acoustic communication of giant sloths inside the tunnels. The objective was to measure which sound frequencies propagate better inside the paleoburrow. The experiment took place in the paleoburrow of Rio dos Bugres (Uru-09), a set of tunnels, trenches and sinkholes, at an altitude of 1036m, in the municipality of Urubici, SC. A fully preserved tunnel (Uru-09-2) was chosen, with an elliptical section, without 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 100Hz, 600Hz, 1,700Hz, 2,300Hz, 15,300Hz and 16,500Hz; with constant intensity level 75dB SPL. With a decibel meter, the intensity level was measured in dB SPL from the sound source at distances of 3m, 6m, 9m and at heights of 0.1m, 1.2m and 2m. It was observed that the geometry along the large tunnels of the paleoburrow had reduced attenuation and the “stethoscope effect” (2-3 dB SPL) occurred at lower frequencies (100-600Hz). We concluded that the low frequency sounds (100-600Hz) propagated with less attenuation than the high frequency ones, and, therefore, are more efficient for the communication of Mylodontidae inside the paleoburrow.

ÍNDICE

1. Introdução	1
2. Objetivos	10
3. Métodos	10
4. Resultados e discussão	13
5. Conclusão	15
6. Considerações futuras	15
7. Referências	16

1.Introdução

1.1 Paleotocas

Paleotocas são estruturas naturais subterrâneas (Fig.1) escavadas por mamíferos gigantes extintos (megafauna) durante os períodos Plioceno e Pleistoceno (Buchmann *et al.*, 2003, 2009). Por serem estruturas de moradia temporária ou permanente podem ser classificadas como *Domichnia* (Seilacher, 1953). As paleotocas são feições tipicamente 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.* (2015) estabeleceram a metodologia do estudo, e nas últimas duas décadas milhares de paleotocas vem sendo descobertas com a pesquisa do Projeto Paleotocas (<https://www.ufrgs.br/paleotocas/Portugues.htm>), principalmente nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, mas também no Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro (Fig. 2).

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 se enquadram em duas divisões *Megaichnus major* e *Megaichnus minor* (Frank *et al.*, 2015; Buchmann *et al.*, 2016; Lopes *et al.*, 2017).

Megaichnus minor (Lopes *et al.*, 2017): Baseado nos traços de arrasto da carapaça e traços de escavação, Quintana (1992) concluiu que os túneis foram feitos por Cingulados Dasipodídeos de grande porte. Zárate *et al.* (1998); Dondas *et al.* (2009) e Buchmann *et al.* (2009) restringem os Dasipodídeos como sendo provavelmente *Propraopus* sp., *Pampatherium* sp., *Holmesina* sp. e *Eutatus* sp. *M. minor* são túneis subcirculares a subelípticos 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. Geralmente são horizontais ou inclinados, e formam cavidades solitárias, podem apresentar ramificações (Figueiredo *et al.*, 2012)

Megaichnus major (Lopes *et al.*, 2017): Vizcaíno *et al.* (2001) identifica na Argentina como sendo feitos por preguiças gigantes (Fig. 3) da Superfamília Mylodontoidea, sendo que os túneis de menores dimensões teriam sido escavados por *Glossotherium* sp. e/ou *Scelidotherium* sp. No Brasil Buchmann *et al.* (2003,

2009), Frank *et al.* (2015), Lopes *et al.* (2017) atribui à *Valgipes* sp. e *Catonyx* sp. Os túneis de maiores dimensões 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); Vizcaíno *et al.* (2008) em estudos biomecânicos identificam em *Lestodon* sp. performance subótima na escavação. Lopes *et al.* (2017) sugere que o animal talvez removesse blocos de rocha alterada se aproveitando de falhas estruturais para assim criar os túneis. *M. major* apresenta como características diâmetro de 2m de altura, 4m de largura, com formato subelípticos 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 durante a escavação (Buchmann *et al.*, 2009; Lopes *et al.*, 2017), além de superfícies polidas resultado do atrito com os pelos dos animais (Frank *et al.*, 2013), as superfícies polidas quanto tem formato elíptico são interpretadas como áreas de repouso (Buchmann *et al.*, 2016).

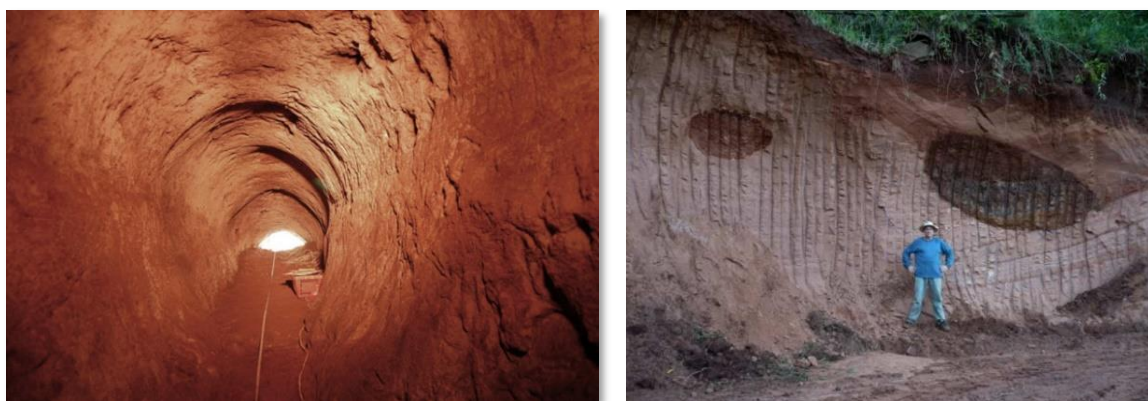


Figura 1: Paleotoca e crotovinas respectivamente. Fotos: Frank.

Foram encontrados vários indícios que Mylodontidae de grande porte possuíam hábitos de vida gregários. Há fortes evidências de dimorfismo sexual, sugerindo grupos sociais complexos (Naples, 1990; Miño-Boilini & Zurita, 2015; Varela *et al.*, 2021; Tomassini *et al.*, 2020). Grupos de *Megaichnus major* juntas umas das outras foram descritas em Frank *et al.* (2012, 2013) e Buchmann *et al.* (2016) onde elas aparecem em sucessivos estágios de escavação, apresentando agrupamentos de superfícies polidas de formato elíptico sugerindo que os animais potencialmente dormiam juntos.

Baseado em dados paleoproteômicos, as preguiças terrestres de dois dedos Mylodontoidea (Presslee *et al.*, 2019) compreendem as famílias extintas

Scelidotheriidae, Mylodontidae e o gênero extante Choloepodidae (preguiça-de-dois-dedos). Segundo Tejada *et al.* (2021), baseado na dentição e metabolismo os Mylodontidae eram exclusivamente herbívoros, porém concentrações isotópicas mostram o *Mylodon darwinii* como um onívoro oportunista.

Quanto ao grau de preservação os túneis podemos classificar em cinco sucessivos estados de deterioração (Frank *et al.*, 2011): a) Túneis integralmente preservados, de secção circular ou elíptica, sem preenchimento, colapso do teto ou erosão do piso; b) Túneis que sofreram erosão por água corrente; c) Túneis parcialmente preenchidos por sedimentos; d) Túneis completamente preenchidos, denominados crotovinas; e) As dolinas e trincheiras, representando situações em que houve colapso do teto.



Figura 2: Localidades onde foram encontradas paleotocas. Mapa adaptado de Audi *et al.* (2022).

1.2 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 44Hz, superiores de 15.489Hz e de melhor sensibilidade de 1.737Hz. 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. 4) das espécies *Lestodon* sp. e *Glossotherium robustum*. Para *G. robustum* chegou-se aos valores de limites inferiores de 44Hz e superiores de 15.250Hz, e melhor sensibilidade sendo de 2.187Hz. Para *Lestodon* sp. os valores inferiores foram de 55Hz, os superiores de 16.490Hz e de maior sensibilidade de 2.420Hz.

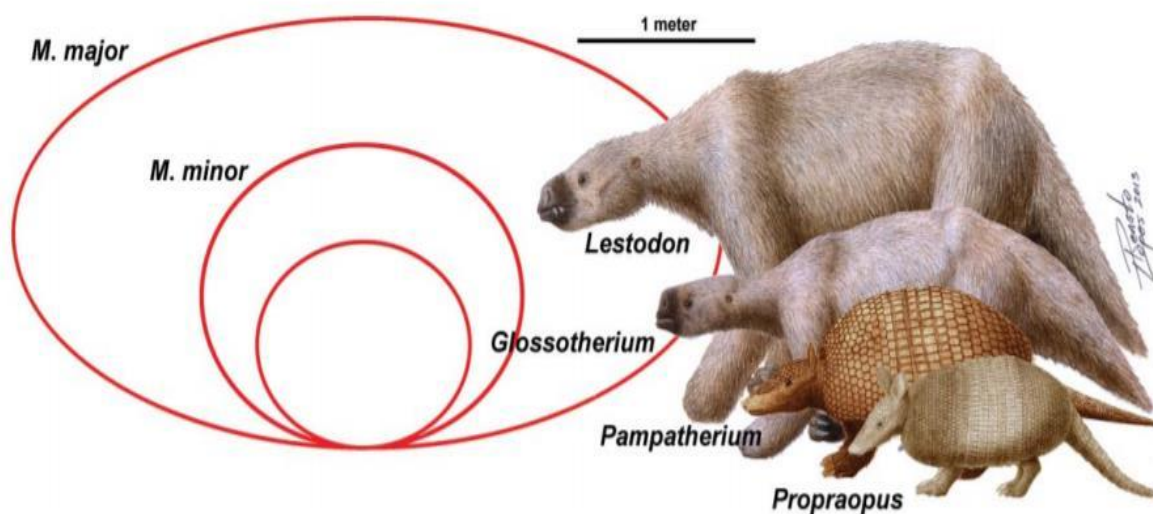


Figura 3: Comparação em escala dos tipos de paleotocas e possíveis escavadores. Imagem adaptada de Lopes *et al.* (2017).

Blanco & Rinderknecht (2008) avaliaram a massa combinada dos ossículos (Fig. 4) do ouvido *Malleus* (martelo) e *incus* (bigorna) para *Lestodon* sp. e para *Glossotherium robustum*. Ambos resultaram em um valor próximo de 500mg. Porém a massa média dos animais difere muito, o *G. robustum* tem aproximadamente 1500kg e *Lestodon* sp. com 4100kg (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 (>500mg) são encontrados somente em elefantes (Proboscídea) e focas (Phocidae), animais que utilizam a condução do som através de ondas sísmicas e da água (Shipley *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 40Hz).

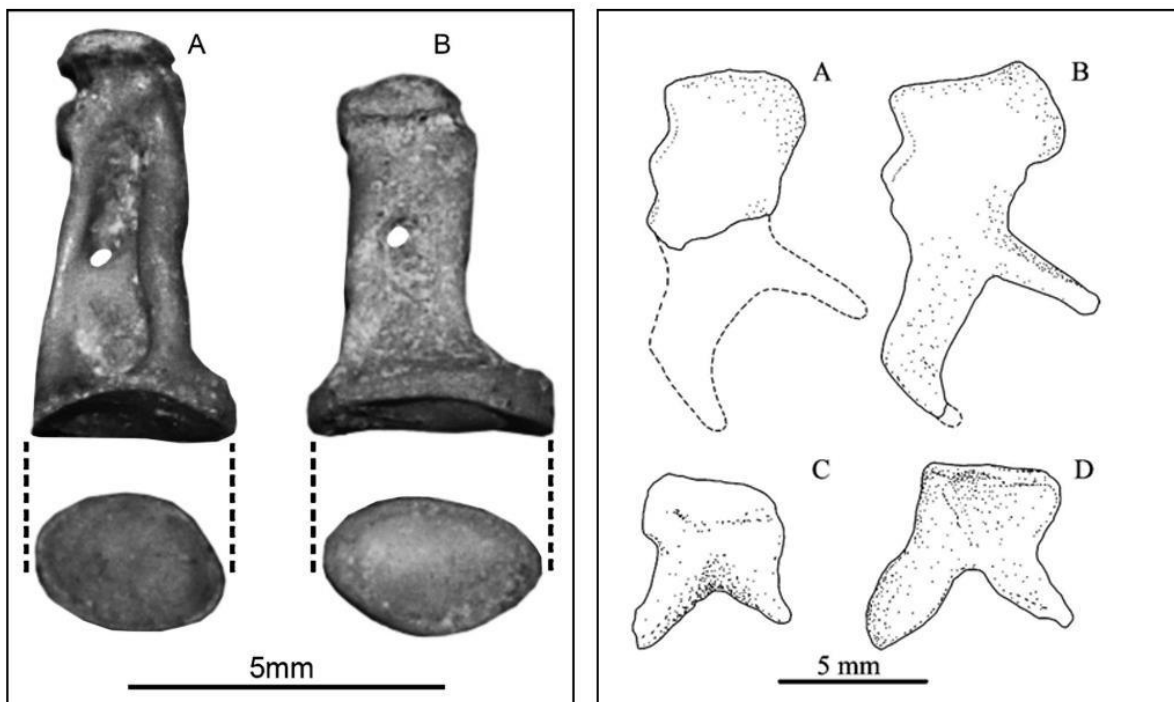


Figura 4: (Esquerda) A- Estribo de *Glossotherium robustum*; B- Estribo de *Lestodon* sp. Em detalhe o diâmetro da base, adaptado de Blanco & Rinderknecht (2012). (Direita) (A) e (C): Martelo e bigorna de *Glossotherium harlani*; (B) e (D) de *Lestodon armatus*, adaptado de Blanco & Rinderknecht (2008).

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.

Quanto à geração dos sons, os Mylodontidae possuem uma das maiores narinas em relação ao tamanho do corpo, de acordo com Blanco & Rinderknecht (2008); eles estimaram usando o tamanho das narinas do *Glossotherium robustum* a anatomia e geração de sons de preguiças atuais que o animal produzia sons na

frequência de 600Hz. O aumento das narinas pode estar relacionado a geração de sons de baixa frequência.

1.3 Bioacústica em tocas de animais fossoriais

Comunicação acústica é importante para mamíferos tanto solitários quanto gregários. Isso moldou seu comportamento e morfologia através da evolução (Bradbury & Vehrencamp, 1998; Owings & Morton, 1998). 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). De ampla distribuição na maioria dos continentes uma boa parte dos roedores são fossoriais (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 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, que levou ao foco dos estudos no desenvolvimento e operação na acústica dos roedores fossoriais (Blumstein & Armitage, 1997).

Em comparação com o número de estudos feitos em laboratório sobre a etologia das vocalizações desses animais, foram poucos os 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 a geração dos sons dos animais ou com sinais artificiais 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 e sim amplificado, sugerindo que a geometria dos túneis gerava um “efeito de estetoscópio” (*sensu* Quilliam, 1966).

2. Objetivos

2.1 Objetivos gerais

O objetivo deste trabalho é estudar a atenuação acústica em diferentes frequências dentro da paleotoca do Rio dos Bugres, no município de Urubici, SC.

2.2 Objetivos específicos

- Aferimento da propagação do som em várias frequências e distância do solo dentro da paleotoca (Uru-09-2).
- Comparação dos dados da paleotoca com os dados de controle.
- Elucidar em quais frequências o som se propaga melhor dentro da paleotoca.

3. Métodos

3.1 Área de estudo

A paleotoca do Rio dos Bugres (Fig. 5) é um conjunto de túneis, trincheiras, dolinas e crotovinas localizada nas coordenadas Lat $-27^{\circ} 57' 54,70016''$ e Long $-49^{\circ} 30' 33,26587''$ numa altitude de 1036m, o conjunto é denominado de Uru-09 segundo Frank *et al.* (2022).

Foi escolhido o túnel P2 (Fig. 6) devido à ausência de ramificações e comprimento adequado. O túnel P2 (Uru-09) 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 5.

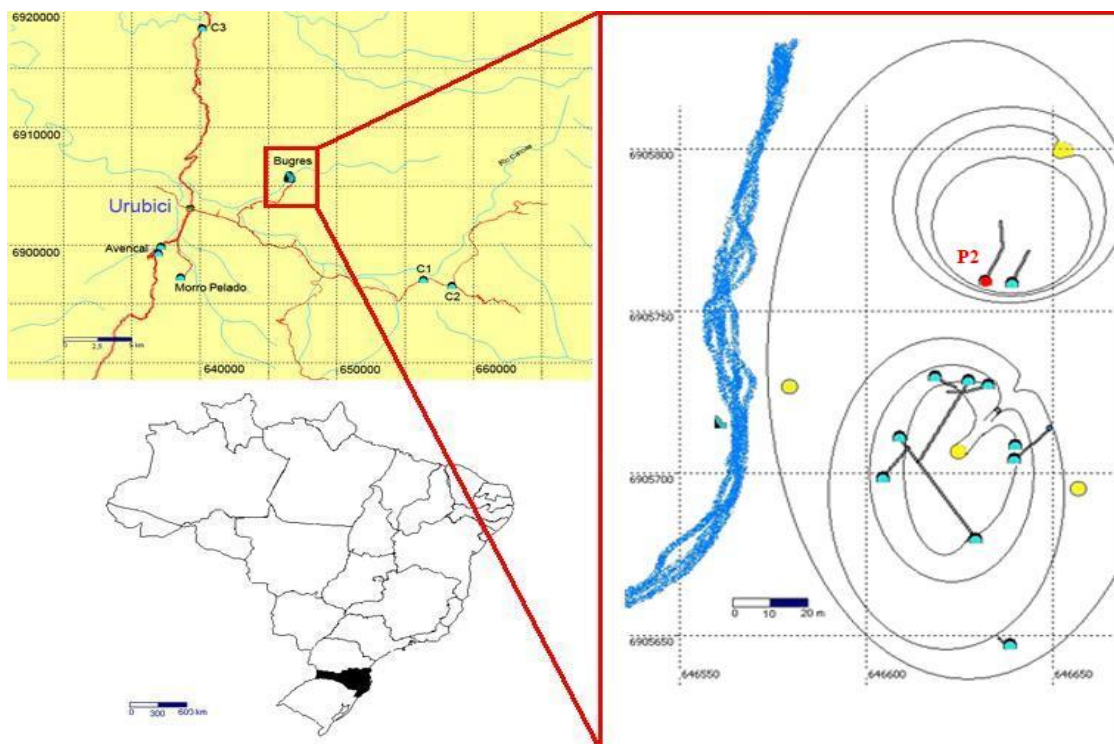


Figura 5: Localização da cidade de Urubici, em detalhe a paleotoca Rio dos Bugres (Uru-09) com o túnel (P2) em vermelho. Fonte: Frank *et al.* (2022).



Figura 6: Entrada da paleotoca P2 e segmento de túnel de maior curvatura. Fotos: Buchmann.

3.2 Aferição de campo

O túnel P2 teve sua abertura fechada (Fig. 7) 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* com intervalo sonoro de 85Hz a 20.000Hz, próxima a abertura do túnel, no solo, como fonte sonora. Com um notebook e o

programa *Audacity*, gerou-se as frequências de 100Hz, 600Hz, 1.700Hz, 2.300Hz, 15.300Hz, 16.500Hz.

Foram gerados tons puros de 180s de duração em cada uma das frequências. Para garantir o constante nível de intensidade 75 dB SPL a amplitude do sinal foi calibrada com um decibelímetro marca *Minipa* modelo 2 *MSL-1301* a 10cm da caixa de som. Uma vez calibrado mediu-se para cada frequência, utilizando-se do decibelímetro e de uma fita 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 (1,7m no ponto 3m da fonte sonora). Com estes dados foi criada a tabela de campo. Registrou-se a umidade relativa do ar de 100% e temperatura média de 8°C.

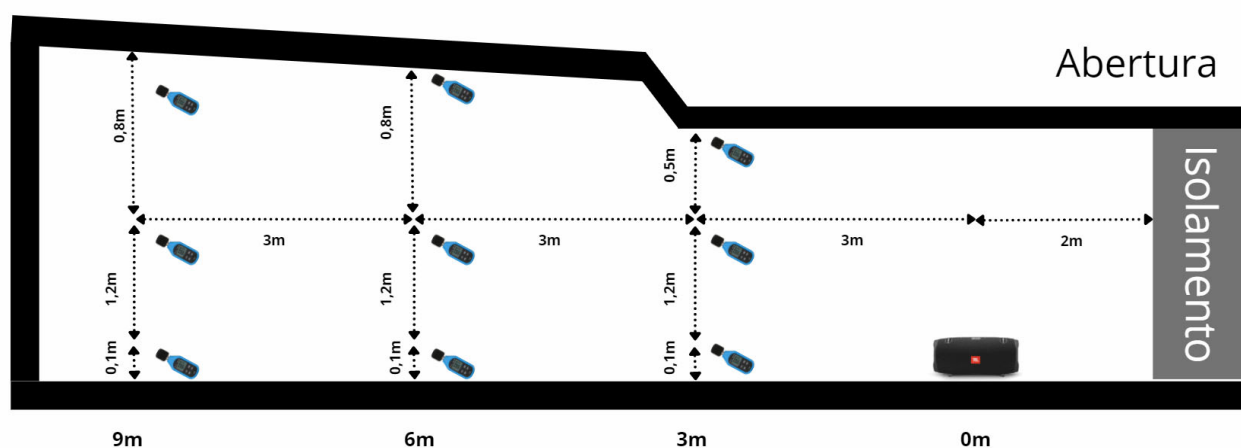


Figura 7: Pontos de aferimento do nível da intensidade sonora ao longo da paleotoca. Diagrama fora de escala.

3.3 Simulação controle

A fim de simular a atenuação em um ambiente aberto 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 ISO9613-2:1996, 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. Com estes dados foi criado a tabela de controle.

3.4 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 75dB 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-se valores da atenuação em dB/m nos pontos. Para obter-se a diferença entre os valores do túnel e do controle, subtraiu-se o primeiro do segundo e construiu-se a tabela de compilação dos dados.

4. Resultados e discussão

Segundo a Tabela 4 e os gráficos das Figuras 8, 9, 10 observa-se que as frequências menores (100-600Hz) sofrem menor atenuação e, portanto, se propagam melhor na paleotoca. As outras frequências obtiveram resultados erráticos, esperava-se que as frequências maiores (15300-16500Hz) seriam mais atenuadas, porém as frequências “médias” (1700-2300Hz) por muitas vezes se tornaram as mais atenuadas.

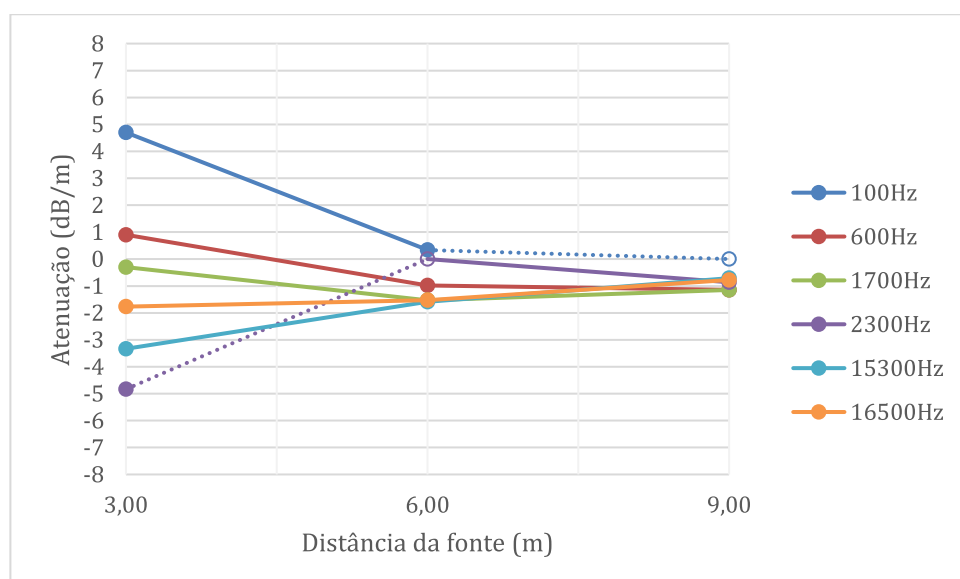


Figura 8: Atenuação ou ganho de intensidade no "Teto" (1,7-2m).

Houve ganho na intensidade sonora em vários pontos para a frequência de 100Hz, principalmente nos aferimentos próximos ao solo, na frequência de 600Hz apresentou pouca atenuação em relação as frequências mais altas. Na maioria dos pontos as frequências aferidas próximas ao solo obtiveram melhor desempenho em sua propagação em relação às mesmas distancias em alturas diferentes.

Os resultados obtidos neste experimento sugerem que as adaptações no ouvido médio de Mylodontidae 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 de tuneis. Logo para animais fossoriais e de hábitos gregários, estas frequências, e adaptações para a recepção destas, poderiam ser favorecidas ao longo da evolução. O fenômeno já havia sido constatado com os estudos com roedores, mas com este trabalho dá se indícios que também esteja ocorrendo nos Mylodontidae fossoriais.

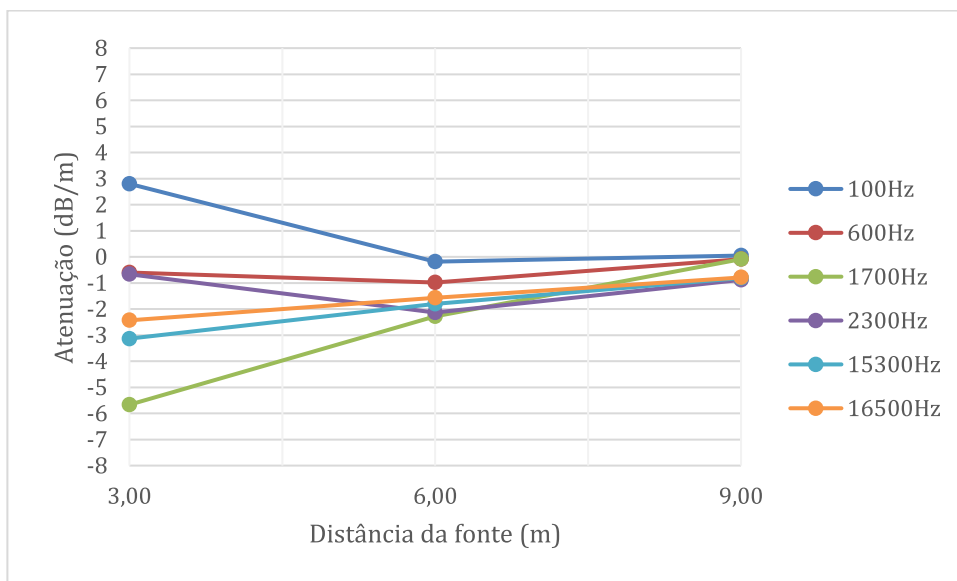


Figura 9: Atenuação ou ganho de intensidade no "Meio" (1,2m).

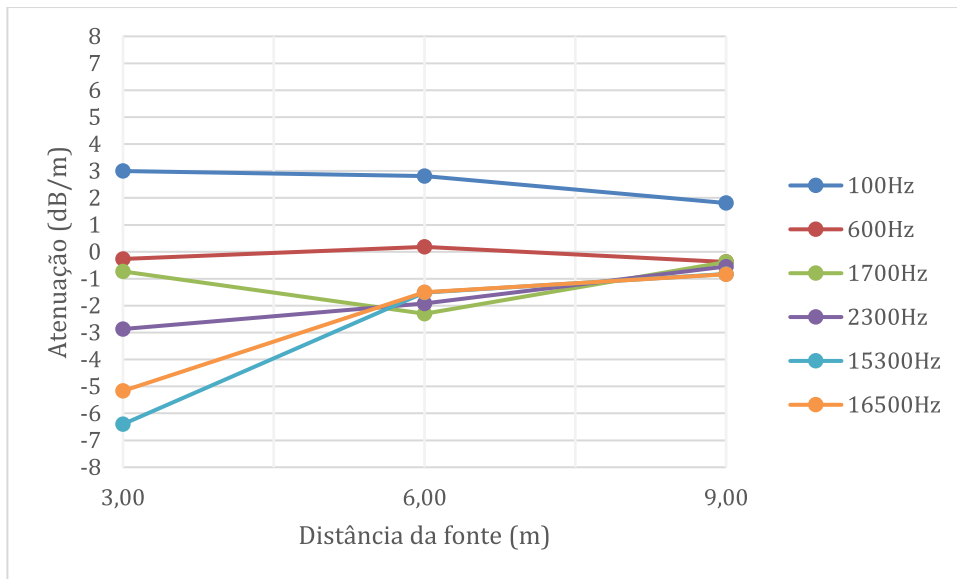


Figura 10: Atenuação ou ganho de intensidade no "Chão" (0,1m).

5. Conclusões

Foi observado que ao longo da paleotoca houve atenuação reduzida e “efeito estetoscópio” (2-3 dB SPL) em frequências menores (100-600Hz). Concluimos que os sons de baixa frequência (100-600Hz) se propagavam com menor atenuação em relação aos de alta frequência, e, portanto, são mais eficientes para a comunicação dos Mylodontidae dentro da paleotoca.

A propagação do som próximo ao solo obteve melhor desempenho em relação às mesmas distancias em alturas diferentes, e confirmamos que a geometria dos grandes túneis da paleotoca gera o “efeito de estetoscópio”.

6. Considerações futuras

Experimentos em outros formatos de paleotocas (maiores túneis, ramificações, curvas acentuadas) e diferentes substratos são necessários para atribuir os parâmetros de maior influência nos resultados deste fenômeno.

7. 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).
- Bergqvist, L. P. & Maciel, L. 1994. Icnofósseis de mamíferos (crotovinas) 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, M. A: 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>.
- 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>.
- 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 state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, **18**: 273-284. <https://doi.org/10.4072/rbp.2015.2.08>

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. La 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.

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. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/162902>>

Lange, S.; Burda, H.; Wegner, R.; Dammann, P.; Begall, S. & Kawalika, M. 2007. Living in a "stethoscope": Burrow-acoustics promote auditory specializations in subterranean rodents. **Die Naturwissenschaften**. **94**: 134-8. <https://doi.org/10.1007/s00114-006-0168-0>.

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, doi: 10.1080/08912963.2021.1933470

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>

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, 2010. **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.

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, and A. N. Popper (eds.), The Evolutionary Biology of Hearing*. Springer-Verlag, New York Inc.

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. doi: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.

Shipley, 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.

Tejada, J. V.; Flynn, J. J.; MacPhee, R.; O'Connell, T. C.; Cerling, T. E.; Capuñay, L. B. 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. doi: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>.

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. and Loughry, W.J. (eds.), **The Biology of the Xenarthra**. Florida University Press, Gainesville, FL, 86–99.

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.

Anexos

Tabela 1 - Controle

Chão ~= 0,1m altura;

Meio ~= 1,25m altura;

Teto ~= 1,75m altura (3m distância da fonte), 2m altura (6, 9m distância da fonte)

Frequência 100Hz				
Distância (m)	0,1	3	6	9
Nível int. (dB SPL) Chão	75	57,5	51,4	48,9
Nível int. (dB SPL) Meio	75	56,9	51,3	47,8
Nível int. (dB SPL) Teto	75	56,4	51	47,7

Frequência 600Hz				
Distância (m)	0,1	3	6	9
Nível int. (dB SPL) Chão	75	57,5	51,4	48,9
Nível int. (dB SPL) Meio	75	56,9	51,3	47,8
Nível int. (dB SPL) Teto	75	56,4	51	47,7

Frequência 1.700Hz				
Distância (m)	0,1	3	6	9
Nível int. (dB SPL) Chão	75	57,4	51,4	48,9
Nível int. (dB SPL) Meio	75	56,9	51,3	47,8
Nível int. (dB SPL) Teto	75	56,3	51	47,7

Frequência 2.300Hz				
Distância (m)	0,1	3	6	9
Nível int. (dB SPL) Chão	75	57,4	51,4	48,8
Nível int. (dB SPL) Meio	75	56,9	51,2	47,8
Nível int. (dB SPL) Teto	75	56,3	51	47,6

Frequência 15.300Hz				
Distância (m)	0,1	3	6	9
Nível int. (dB SPL) Chão	75	56,6	49,7	46,3
Nível int. (dB SPL) Meio	75	56	49,5	45,2
Nível int. (dB SPL) Teto	75	55,4	49,2	45

Frequência 16.500Hz				
Distância (m)	0,1	3	6	9
Nível int. (dB SPL) Chão	75	56,5	49,4	45,9
Nível int. (dB SPL) Meio	75	55,8	49,3	44,8
Nível int. (dB SPL) Teto	75	55,2	48,9	44,7

. Tabela 2 – Propagação sonora no Túnel P2

Frequência 100Hz				
Distância (m)	0,1	3	6	9
Nível int. (dB SPL) Chão	75	66,5	68,3	65,2
Nível int. (dB SPL) Meio	75	65,3	50,2	48,2
Nível int. (dB SPL) Teto	75	70,5	53	?

Frequência 600Hz				
Distância (m)	0,1	3	6	9
Nível int. (dB SPL) Chão	75	56,7	52,5	45,5
Nível int. (dB SPL) Meio	75	55,1	45,4	47
Nível int. (dB SPL) Teto	75	59,1	44,9	37,4

Frequência 1.700Hz				
Distância (m)	0,1	3	6	9
Nível int. (dB SPL) Chão	75	55,2	37,6	37,4
Nível int. (dB SPL) Meio	75	39,9	37,6	45,9
Nível int. (dB SPL) Teto	75	55,4	41,8	38,9

Frequência 2.300Hz				
Distância (m)	0,1	3	6	9
Nível int. (dB SPL) Chão	75	48,8	39,9	43,9
Nível int. (dB SPL) Meio	75	54,9	38,4	39,9
Nível int. (dB SPL) Teto	75	41,8	?	39,8

Frequência 15.300Hz				
Distância (m)	0,1	3	6	9
Nível int. (dB SPL) Chão	75	37,4	40,6	38,9
Nível int. (dB SPL) Meio	75	46,6	38,7	37,9
Nível int. (dB SPL) Teto	75	45,4	39,7	38,6

Frequência 16.500Hz				
Distância (m)	0,1	3	6	9
Nível int. (dB SPL) Chão	75	41	40,4	38,4
Nível int. (dB SPL) Meio	75	48,5	39,9	37,7
Nível int. (dB SPL) Teto	75	49,9	39,7	37,7

*Valores com (?) foram perdidos nas anotações.

Tabela 3 – Atenuação sonora

*ATLAB corresponde a atenuação calculada no túnel P2, e ATBUG corresponde a atenuação simulada no laboratório em dB/m.

Frequência 100Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	3	3
Aten. dB/m Chão	5,8	2,8
Aten. dB/m Meio	6	3,2
Aten. dB/m Teto	6,2	1,5

Frequência 600Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	3	3
Aten. dB/m Chão	5,8	6,1
Aten. dB/m Meio	6	6,6
Aten. dB/m Teto	6,2	5,3

Frequência 1.700Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	3	3
Aten. dB/m Chão	5,9	6,6
Aten. dB/m Meio	6	11,7
Aten. dB/m Teto	6,2	6,5

Frequência 2.300Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	3	3
Aten. dB/m Chão	5,9	8,7
Aten. dB/m Meio	6	6,7
Aten. dB/m Teto	6,2	11,1

Frequência 15.300Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	3	3
Aten. dB/m Chão	6,1	12,5
Aten. dB/m Meio	6,3	9,5
Aten. dB/m Teto	6,5	9,9

Frequência 16.500Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	3	3
Aten. dB/m Chão	6,2	11,3
Aten. dB/m Meio	6,4	8,8
Aten. dB/m Teto	6,6	8,4

Frequência 100Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	6	6
Aten. dB/m Chão	3,9	1,1
Aten. dB/m Meio	4	4,1
Aten. dB/m Teto	4	3,7

Frequência 600Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	6	6
Aten. dB/m Chão	3,9	3,8
Aten. dB/m Meio	4	4,9
Aten. dB/m Teto	4	5

Frequência 1.700Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	6	6
Aten. dB/m Chão	3,9	6,2
Aten. dB/m Meio	4	6,2
Aten. dB/m Teto	4	5,5

Frequência 2.300Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	6	6
Aten. dB/m Chão	3,9	5,9
Aten. dB/m Meio	4	6,1
Aten. dB/m Teto	4	?

Frequência 15.300Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	6	6
Aten. dB/m Chão	4,2	5,7
Aten. dB/m Meio	4,3	6,1
Aten. dB/m Teto	4,3	5,9

Frequência 16.500Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	6	6
Aten. dB/m Chão	4,3	5,8
Aten. dB/m Meio	4,3	5,9
Aten. dB/m Teto	4,4	5,9

Frequência 100Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	9	9
Aten. dB/m Chão	2,9	1,1
Aten. dB/m Meio	3	3
Aten. dB/m Teto	3	?

Frequência 600Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	9	9
Aten. dB/m Chão	2,9	3,3
Aten. dB/m Meio	3	3,1
Aten. dB/m Teto	3	4,2

Frequência 1.700Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	9	9
Aten. dB/m Chão	2,9	4,2
Aten. dB/m Meio	3	3,2
Aten. dB/m Teto	3	4

Frequência 2.300Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	9	9
Aten. dB/m Chão	2,9	3,5
Aten. dB/m Meio	3	3,9
Aten. dB/m Teto	3	3,9

Frequência 15.300Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	9	9
Aten. dB/m Chão	3,2	4
Aten. dB/m Meio	3,3	4,1
Aten. dB/m Teto	3,3	4

Frequência 16.500Hz	ATLAB	ATBUG
Distância (m)	9	9
Aten. dB/m Chão	3,2	4,1
Aten. dB/m Meio	3,4	4,1
Aten. dB/m Teto	3,4	4,1

Frequência 100Hz			
Distância (m)	3	6	9
Aten. dB/m Chão	3	2,8	1,8
Aten. dB/m Meio	2,8	-0,2	0
Aten. dB/m Teto	4,7	0,3	?

Frequência 600Hz			
Distância (m)	3	6	9
Aten. dB/m Chão	-0,3	0,2	-0,4
Aten. dB/m Meio	-0,6	-1	-0,1
Aten. dB/m Teto	0,9	-1	-1,1

Frequência 1.700Hz			
Distância (m)	3	6	9
Aten. dB/m Chão	-0,7	-2,3	-0,4
Aten. dB/m Meio	-5,7	-2,3	-0,1
Aten. dB/m Teto	-0,3	-1,5	-1,1

Frequência 2.300Hz			
Distância (m)	3	6	9
Aten. dB/m Chão	-2,9	-1,9	-0,5
Aten. dB/m Meio	-0,7	-2,1	-0,9
Aten. dB/m Teto	-4,8	?	-0,9

Frequência 15.300Hz			
Distância (m)	3	6	9
Aten. dB/m Chão	-6,4	-1,5	-0,8
Aten. dB/m Meio	-3,1	-1,8	-0,8
Aten. dB/m Teto	-3,3	-1,6	-0,7

Frequência 16.500Hz			
Distância (m)	3	6	9
Aten. dB/m Chão	-5,2	-1,5	-0,8
Aten. dB/m Meio	-2,4	-1,6	-0,8
Aten. dB/m Teto	-1,8	-1,5	-0,8

Tabela 4- Classificação do desempenho de cada frequência em sua propagação.

Teto	3m	6m	9m
100Hz	1	1	?
600Hz	2	2	5
1700Hz	3	5	6
2300Hz	6	?	4
15300Hz	5	6	2
16500Hz	4	4	2

Meio	3m	6m	9m
100Hz	1	1	1
600Hz	2	2	2
1700Hz	6	6	3
2300Hz	3	5	6
15300Hz	5	4	5
16500Hz	4	3	4

Chão	3m	6m	9m
100Hz	1	1	1
600Hz	2	2	2
1700Hz	3	6	3
2300Hz	4	5	4
15300Hz	6	4	5
16500Hz	5	3	6

Tabela 5 - Medidas do Túnel 2

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		

PARECER FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Discente: MARCELO SCHEREIBER MUNHOZ

Título: "Bioacústica em paleotoca (*Megaichnus major*) atribuída às preguiças gigantes"

Orientador: Prof. Dr. Francisco Sekiguchi Buchmann

Curso/Habilitação: Bacharelado em Ciências Biológicas/Gerenciamento Costeiro

COMISSÃO EXAMINADORA	CONCEITO
Prof. Dr. Francisco Sekiguchi Buchmann	A
Prof. Dr. Teodoro Vaske Junior	A

PARECER:

CONCEITO FINAL:

A Comissão Examinadora abaixo assinada conclui que o discente **Marcelo Schreiber Munhoz** obteve o seguinte conceito:



APROVADO



REPROVADO

São Vicente, 18 de janeiro de 2023.



Prof. Dr. Francisco Sekiguchi Buchmann



Prof. Dr. Teodoro Vaske Junior