



**UFRGS**  
UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

**INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL**

KEILA CRISTINA ZACHÉ

**DESCRIÇÃO DA DIVERSIDADE SONORA DE DUAS ESPÉCIES DE TUCO-TUCOS**  
**(*CTENOMYS TORQUATUS* E *CTENOMYS LAMI*) EM AMBIENTE NATURAL**

PORTO ALEGRE  
2018

KEILA CRISTINA ZACHÉ

**DESCRIÇÃO DA DIVERSIDADE SONORA DE DUAS ESPÉCIES DE TUCO-TUCOS  
(*CTENOMYS TORQUATUS* E *CTENOMYS LAMI*) EM AMBIENTE NATURAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biologia Animal.

Área de concentração: Biologia e comportamento animal.

Orientador: Prof. Dr. Thales Renato Ochotorena de Freitas

Coorientador: Prof. Dr. Gabriel Francescoli

PORTO ALEGRE  
2018

KEILA CRISTINA ZACHÉ

**DESCRIÇÃO DA DIVERSIDADE SONORA DE DUAS ESPÉCIES DE TUCO-TUCOS  
(*CTENOMYS TORQUATUS* E *CTENOMYS LAMI*) EM AMBIENTE NATURAL**

Aprovada em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Dr. Lucas Kaminski – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Dra. Flávia Tirelli – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Dr. Bruno Busnello Kubiak – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

“I write emotional algebra.”

Anais Nin.

## Agradecimentos

Nomear as pessoas sempre foi uma questão problemática para mim, a minha memória me prega peças e a leve prosopagnosia me faz esquecer alguns traços físicos. Porém as sensações e as conexões jamais me abandonam, prefiro então evidenciá-las. Quero agradecer as pessoas que diretamente possibilitaram a realização desse trabalho, com apoio financeiro, credibilidade, compreensão, estabilidade emocional, respeito ao meu tempo e meus limites. Aquelas que me ofereceram uma cama quente, alimentarem meu corpo e meu coração, dividiram as madrugadas e as manhãs. Aos que as relações e os sentimentos nunca poderão ser nomeados e que cresceram como oliveiras dentro de mim. Os companheiros não humanos que me permitiram sentir o amor puro e pleno. Os eternos transeuntes, que surgiram em um rompante, deixando as peças de um quebra-cabeça infinito. Os mapeadores de botecos e os desbravadores dos territórios físicos e emocionais. Para aqueles que o sinal fechou e não mais estarão no meu plano de visão. Aos que estão mal ajustados nesse mundo perturbado, o mundo é um colapso, não a gente. Os que gargalham na cara do perigo. Aos que não querem chorar a vida inteira. Os ébrios sagrados e os litrões de início meio fim e início dos dias. Aos que sentem muito. Os comparsas de dores e anseios. As paixões que permitem que meu corpo se movimente. Aos que cuidam de mim e permitem ser cuidados.

Obrigada! Estamos juntos no passado, presente e no futuro.

E, aos tucos <3.

# Índice

Lista de figuras .....	07
Lista de tabelas .....	08
Estrutura da dissertação .....	09
Resumo .....	10
Abstract .....	11
Introdução geral .....	12
Referências .....	17
Artigo a ser submetido no periódico PLOS ONE: Bioacoustic .....	22
Referências .....	47
Conclusões finais.....	54
Referências .....	55

## Lista de figuras

Introdução geral

Figura 1 ..... 14

Artigo

Figura 1 ..... 29

Figura 2 ..... 30

Figura 3 ..... 32

Figura 4 ..... 33

Figura 5 ..... 34

Figura 6 ..... 36

Figura 7 ..... 37

Figura 8 ..... 42

Figura 9 ..... 44

Figura 10 ..... 46

**Lista de tabelas**

Tabela 1 ..... 31

Tabela 2 ..... 40

Tabela 3 ..... 42



## **Estrutura da dissertação**

A dissertação está estruturada em 3 tópicos, a introdução geral, o artigo a ser submetido e as conclusões. A introdução geral conduz uma ampla revisão bibliográfica, e de forma sucinta, relata o objetivo e os resultados. Seguido do artigo, a ser submetido na revista PLOS ONE: Bioacoustics. A dissertação está organizada de acordo com as regras de formatação do periódico, disponíveis em: <https://journals.plos.org/plosone/s/submission-guidelines> . E por fim, a conclusão, que faz um breve apontamento sobre as perspectivas futuras.

# 1 **Resumo**

2 Os sinais sonoros podem viajar por longas distâncias, tornando-os um importante canal de  
3 comunicação entre animais que necessitam estabelecer contato para além da forma visual,  
4 podendo ser considerado uma relevante forma de comunicação entre as espécies que vivem  
5 no ambiente subterrâneo. *Ctenomys torquatus* e *Ctenomys lami* são roedores subterrâneos  
6 solitários, demandando assim um aprimoramento dos canais comunicativos, principalmente  
7 nas atuações de defesa territorial e encontro dos potenciais parceiros reprodutivos. O estudo  
8 foi realizado em duas populações, uma de cada espécie e foram selecionados 14 indivíduos  
9 de *C. torquatus* e 15 de *C. lami*. As gravações dos sinais acústicos foram realizadas em campo,  
10 obtendo os sons direto dos túneis dos animais, onde um microfone foi inserido. Foram  
11 captados e analisados um total de 1.380 sinais, 786 para *C. torquatus* e 594 para *C. lami*. Foi  
12 possível caracterizar 5 diferentes tipos de sinais, emitidos por ambas as espécies. A maioria  
13 das sequências analisadas apresentaram baixa frequência e muitas dessas chamadas exibiram  
14 características de sinais de longo alcance. Foi verificado um compartilhamento dos sinais  
15 sonoros nas duas espécies investigadas, tanto no quesito dos parâmetros acústicos como na  
16 morfologia dos espectrogramas analisados. Também foi constatado uma equivalência com  
17 alguns sinais já descritos para outras espécies de *Ctenomys*. Pela primeira vez foi possível ter  
18 acesso a dados sonoros emitidos por roedores subterrâneos diretos de seus túneis em  
19 ambiente natural.

20 **Palavras-chave:** Ambiente natural; Baixa frequência; *Ctenomys torquatus*; *Ctenomys lami*;  
21 Diversidade sonora; Parâmetros acústicos; Roedores subterrâneos.

22

23

## 24 **Abstract**

25 The sound signals can travel through long distances, becoming an important channel of  
26 communication between animals that need to establish contact besides the visual form, which  
27 can be considered a relevant form of communication between the species living in the  
28 underground environment. *Ctenomys torquatus* and *Ctenomys lami* are solitary subterranean  
29 rodents, demanding an improvement of their communicative channels, especially in territorial  
30 defense activities and the meeting of potential reproductive partners. This study was carried  
31 out in two populations, one of each species, being 14 individuals of *C. torquatus* and 15 of *C.*  
32 *lami* selected. The recordings of the acoustic signals were realized in field, obtaining the  
33 sounds directly of the animal's tunnels, where a microphone was inserted. A total of 1,380  
34 signals were collected and analyzed, 786 from *C. torquatus* and 594 from *C. lami*. It was  
35 possible to characterize 5 different types of signals, emitted by both species. Most of the  
36 sequences analyzed were low frequency and many of these callings exhibited as characteristic  
37 long range signals. It was verified a sharing of the sound signals in the two species investigated, both  
38 in the acoustic parameters and in the morphology of the analyzed spectrograms. It was also verified  
39 an equivalence with some signals already described for other species of *Ctenomys*. For the  
40 first time it was possible to access the sound data emitted by underground rodents directly  
41 from their tunnels in natural environment.

42 **Key-words:** Acoustic parameters; *Ctenomys torquatus*; *Ctenomys lami*; Low frequency;  
43 Natural environment; Sound diversity; Subterranean rodents;.

44

45

46

## 47 **Introdução geral**

48           A comunicação é uma estratégia que os seres vivos encontraram para trocar  
49 informações entre si, sobre o ambiente e sobre si mesmos e diferentes canais comunicativos  
50 são utilizados nesses intercâmbios informativos, como sinais químicos, visuais, olfativos, táteis  
51 e auditivos [1]

52           Segundo Freeberg et al. [2] uma maior complexidade comunicativa é exigida de  
53 indivíduos que vivem em grupos socialmente mais complexos, e desenvolveram a “hipótese  
54 de complexidade social” [2]. Segundo esse pressuposto, sociedades que se organizam de  
55 forma mais diversificada exigem também uma maior variedade dos sistemas de comunicação,  
56 a fim de regular as interações e relações entre os membros do grupo. A diversidade dos  
57 sistemas sociais está correlacionada com ao número de indivíduos que se relacionam, à  
58 frequência com que ocorrem as interações, ao papel social dos indivíduos e à variabilidade  
59 dos tipos de interações. Espera-se que em sistemas heterogêneos de comunicação ocorra uma  
60 estruturação dos elementos acústicos, com um papel funcional e uma elevada quantidade de  
61 informação.

62           Os sinais emitidos pelos animais podem conter informações a respeito do status social,  
63 estado motivacional e também identidade dos emissores, podendo se modificar conforme os  
64 contextos comportamentais e situações ambientais [1, 3-6]. Morton [3] propôs, em um estudo  
65 no qual revisou trabalhos realizados com vocalizações de aves e mamíferos, que animais em  
66 contextos hostis ou agressivos, geralmente emitem sinais ruidosos e de baixa frequência,  
67 enquanto que em um cenário mais amistoso ou de apaziguamento produzem sinais puros e  
68 de alta frequência. Essa hipótese é referida por Morton [3] como a "regra de estrutura  
69 motivacional".

70           Devido à sua plasticidade, a comunicação acústica é considerada bastante eficiente [7],  
71 permitindo que na maioria dos vertebrados a composição de um sinal sonoro apresente uma  
72 ampla multiplicidade nas variáveis de tempo, intensidade e frequência, e essas diversidades  
73 podem estar relacionadas a múltiplas condições [1], permitindo, ao longo de uma escala  
74 evolutiva e de acordo com as restrições de aparelho vocal, a formação de diferentes  
75 repertórios vocais, podendo estar relacionados a espécie, sexo, ou mesmo identidade dos  
76 indivíduos [8]. Os sinais acústicos, como os fenômenos biológicos, apresentam características  
77 ontogenéticas e filogenéticas que representem sua evolução [9]. Desse modo, espera-se que  
78 espécies derivadas de um ancestral comum compartilhem semelhanças em seus repertórios  
79 acústicos [7].

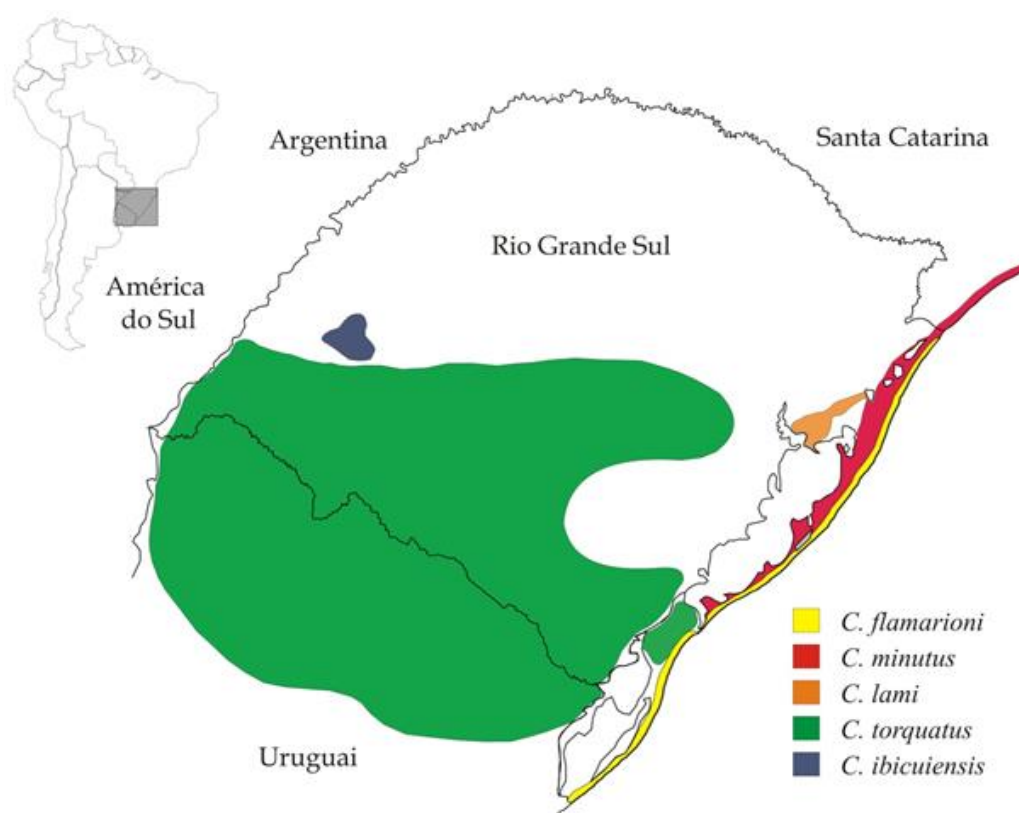
80           De todas as ordens de mamíferos, os que possuem maior número de representantes  
81 são os roedores [10, 11]. Ocupando uma variedade de habitats nas mais diversas regiões do  
82 globo, apresentam hábitos arborícolas, terrestres, adaptações à vida semi-aquática e algumas  
83 espécies estão aptas à vida subterrânea [10]. Das mais de 2.000 espécies de roedores  
84 existentes, acima de 250 passam a maior parte de suas vidas no subsolo [12].

85           Os roedores subterrâneos estão naturalmente distribuídos em todos os continentes  
86 com exceção da Austrália e Antártica [10, 13]. Na América do Sul existem duas famílias de  
87 roedores caviomorfos fossoriais representados pelos Octodontidae e Ctenomyidae [10, 14].

88           *Ctenomys*, endêmicos da América do Sul, passaram por um processo de rápida  
89 especiação durante o Pleistoceno [15]. As espécies desse gênero apresentam uma grande  
90 variabilidade em nível genético, expressando um amplo grau no processo de especiação [15].

91           Atualmente são descritas cerca de 69 espécies do gênero [16, 17], dessas, oito são  
92 encontradas no Brasil, três na região Centro-Oeste, *Ctenomys bicolor* Miranda-Ribeiro, 1914,  
93 *Ctenomys nattereri* Wagner, 1848 e *Ctenomys rondoni* Miranda-Ribeiro, 1914 e cinco nos

94 estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Figura 1). No estado do Rio Grande do Sul  
95 estão presentes as espécies *Ctenomys flamarioni* Travi, 1981, *Ctenomys ibicuiensis* Freitas et al.  
96 2012, *Ctenomys lami* Freitas, 2001, *Ctenomys minutus* Nehring, 1887 e *Ctenomys torquatus*  
97 Lichtenstein, 1830. Os *Ctenomys* ocupam uma diversidade de habitats, desde campos mais  
98 secos até áreas de florestas, ocorrendo preferencialmente em regiões abertas de solo pouco  
99 compacto, permanecendo grande parte de sua existência no interior dos túneis, escavados  
100 sob o solo, dentro dos quais realizam grande parte de suas atividades biológicas [14].



101 **Figura 1: Distribuição das espécies do gênero *Ctenomys* no estado do Rio Grande do Sul.**

102 As espécies de *Ctenomys* apresentam organização social do tipo solitários, semi-sociais  
103 e sociais, contudo, a maioria das espécies se organizam de forma solitária [14]. Em algumas  
104 espécies (*Ctenomys peruanus*, Pearson 1959 e *Ctenomys chasiquensis*, Reig et al., 1990)  
105 apenas as fêmeas se agrupam e duas espécies, descritas até o momento, se organizam de

106 forma social (*Ctenomys rionegrensis*, Langguth y Abella, 1970 e *Ctenomys sociabilis*, Pearson  
107 & Christie 1985) [18].

108 *Ctenomys* são tipicamente territorialistas e sua estrutura populacional é baseada em  
109 pequenas populações semi-isoladas com distribuição fragmentada e baixa vagilidade dos  
110 adultos [10, 14, 15, 19-21]. O comportamento territorialista agressivo poderia ser motivado  
111 pelo alto custo energético envolvido no processo de escavação e produção do sistema de  
112 túneis [14], impelindo os animais a frequentemente construir uma rede de túneis  
113 permanentes [22]. As tocas subterrâneas são fisicamente muito diferentes do ambiente  
114 exterior, o que propiciou distinções morfológicas e comunicativas nos roedores subterrâneos  
115 em relação aos roedores que vivem acima do solo [24].

116 A comunicação dos animais do gênero *Ctenomys* é constituída basicamente de sinais  
117 tácteis, químicos e acústicos [24]. Os indivíduos desse gênero são popularmente conhecidos  
118 por tuco-tucos, uma onomatopeia, provavelmente ligada a um dos tipos de som que eles  
119 emitem, facilmente ouvido e reconhecido. Os sinais químicos e tácteis estão intimamente  
120 ligados a construção, uso e marcação das tocas [24, 25]. Já os sinais acústicos têm um papel  
121 fundamental na comunicação interindividual externa à galeria de túneis, nos sinais de curto  
122 ou de longo alcance, divididos em emissões vocais e não vocais [26, 27]. Dentre os sinais não  
123 vocais estão as emissões vibracionais, ou comunicações sísmicas, e as batidas de dente [24].

124 Os sinais acústicos de *Ctenomys* foram estudados com um certo detalhamento em  
125 apenas três espécies, *Ctenomys pearsoni* Lessa & Langguth 1983 [26, 28-30], *Ctenomys*  
126 *talorum* Thomas 1898 [27, 31], e Anillaco tuco-tuco - *Ctenomys sp* [32, 33]. Francescoli [26]  
127 descreveu o padrão básico das emissões vocais da espécie *C. pearsoni*, classificando as  
128 vocalizações em três tipos diferentes: tipo S, tipo C e tipo G. A vocalização tipo S foi  
129 caracterizada como um sinal de territorialidade, sendo registrada a sua emissão por adultos

130 de ambos os sexos. A emissão da vocalização tipo C foi relacionada apenas às fêmeas, durante  
131 encontros sexuais (ou processos de cópula), tanto no processo de cortejo como no de cópula.  
132 A vocalização tipo G foi registrada durante confrontos individuais, seja em encontros sexuais  
133 ou agonísticos, emitida por animais de ambos os sexos. No repertório acústico de *C. talarum*  
134 [27] foram identificados cinco tipos de vocalizações diferentes, sendo quatro emissões vocais  
135 e uma não vocal. Os sinais vocais foram classificados em chamadas territoriais, agonísticas e  
136 de acasalamento. Para Anillaco tuco-tuco - *Ctenomys sp* foi descrito 2 tipos de sinais [32], um  
137 de longo alcance com função territorial e outro de acasalamento, emitido apenas por machos.  
138 Além disso Francescoli & Quirici [34] evidenciaram dois possíveis padrões vocais que poderiam  
139 ser isoladamente compartilhados por cinco espécies de *Ctenomys*.

140 Até o presente não foi descrita nenhuma informação a respeito da comunicação acústica  
141 nas espécies brasileiras de tuco-tucos, apenas *C. torquatus* foi citado, de forma superficial, em  
142 um trabalho comparativo com outras espécies de *Ctenomys* [34]. Devido à ausência de  
143 informação, a investigação dos sinais sonoros utilizados por esses animais torna-se pertinente.

144 O objetivo deste trabalho foi descrever a variabilidade dos sinais acústicos emitidos  
145 por *C. torquatus* e *C. lami* em ambiente natural, analisando as características físico-  
146 morfológicas desses sinais. *C. torquatus* e *C. lami* estão distribuídos em áreas que apresentam  
147 características físicas similares, encontrando-se em regiões que sofreram os efeitos da  
148 antropização, com a transformação da área de vida em grandes extensões de  
149 reflorestamento, rodovias, e ainda, para *C. torquatus*, sua distribuição geográfica coincide  
150 com as atividades das reservas de extração de carvão [35]. Além disso, essas duas espécies  
151 pertencem ao mesmo grupo monofilético, Torquatus [36]. A compreensão das principais  
152 características sonoras empregadas por essas duas espécies pode contribuir em estudos  
153 futuros sobre os possíveis distúrbios e impactos acústicos causados pelas atividades



154 antropogênicas que geram poluição sonora, uma vez que o emprego dos sinais acústicos  
155 comunicativos é fundamental para sua sobrevivência e manutenção dessas espécies.

156 Foi possível identificar e caracterizar cinco tipos de sinais quanto às características  
157 físico-morfológicas. Todos os sinais foram emitidos pelas duas espécies, revelando um  
158 compartilhamento dos elementos acústicos propagados. Também se verificou uma  
159 semelhança com os sinais descritos para outras espécies de *Ctenomys* [26, 27, 29-32, 34],  
160 demonstrando que alguns dos sinais vocais poderiam apresentar características  
161 ontogenéticas para *Ctenomys*.

162

## 163 Referências

- 164 1- Bradbury JW, Vehrencamp SL. Principles of Animal Communication. 2nd ed. 2011.  
165 Sunderland, MA: Sinauer.
- 166 2- Freeberg TM, Dunbar RIM, Ord TJ. Social complexity as a proximate and ultimate factor  
167 in communicative complexity. *Philos Trans R Soc B*. 2012; 367: 1785-1801.
- 168 3- Morton, ES. On the occurrence and significance of motivation-structural rules in some  
169 bird and mammal sounds. *American Naturalist*. 1977; 111: 855-86
- 170 4- August, PV, Anderson, JG. Mammal sounds and motivation-structural rules: a test of the  
171 hypothesis. *Journal of Mammalogy*. 1987; 68: 1-9.
- 172 5- Rendall D, Owren MJ. Animal vocal communication: Say what? The cognitive animal.  
173 Cambridge, MA, The MIT Press. 2002; 307-313.
- 174 6- Lemasson A, Hausberger M. Acoustic variability and social significance of calls in female  
175 Campbell's monkeys (*Cercopithecus campbelli campbelli*). *The Journal of the Acoustical*  
176 *Society of America*. 2011; 129: 3341-3352.

- 177 7- Hauser MD. The evolution of communication. MIT Press; 2000.
- 178 8- Vielliard JME, Silva ML. A Bioacústica como ferramenta de pesquisa em Comportamento  
179 animal. In: Assis G, Brito R, Martin WL, editors. Estudos do Comportamento Animal II.  
180 Editora da UFPA; 2006. pp. 141–156.
- 181 9- Vielliard JME. O uso de caracteres bioacústicos para avaliações flogenéticas em aves.  
182 Anais de Etologia. 1997; 15:93–107.
- 183 10- Novak RM. Walker's mammals of the world. The Johns Hopkins University Press; 1999.
- 184 11- Simpson GG. Chairman's introduction: Taxonomy. Symposia of the Zoological Society of  
185 London. 1974; 34: 1-6.
- 186 12- Begall S, Burda H, Schleich C. Subterranean rodents: News from underground. Springer;  
187 2007.
- 188 13- Nevo E. Adaptive convergence and divergence of subterranean mammals. Annu Rev  
189 Ecol Syst. 1979; 10: 269-308.
- 190 14- Lacey, E. A., J. L. Patton, & G. N. Cameron. Life underground: the biology of  
191 subterranean rodents. University of Chicago Press; 2000.
- 192 15- Reig OA, Busch C, Ortells MO, Contreras, JR. An overview of evolution, systematics,  
193 population biology and speciation in *Ctenomys*. In: Nevo E, Reig O, editors. Evolution of  
194 subterranean mammals at the organismal and molecular levels. Wiley-Liss; 1990. pp.  
195 71–96.
- 196 16- Freitas TRO. Family Ctenomyidae. In: Wilson DE, Lacher JrTE, Mittermeier RA, Ruff S,  
197 Martínez-Vilalta A, Cavallini P, editors. Handbook of the Mammals of the World:  
198 Lagomorphs and Rodents I. Vol. 6. Lynx Edicions; 2016. pp. 499-534.
- 199 17- Bidau, CJ. Family Ctenomyidae Lesson, 1842. In: Patton JL, Pardiñas UFJ, D'Elía G,  
200 editors. Mammals of South America. The University of Chicago Press; 2015. pp.818-877.

- 201 18- Lacey EA, Braude SH, Wieczorek JR. Burrow sharing by colonial tuco-tucos (*Ctenomys*  
202 *sociabilis*). *Journal of Mammalogy*. 1997; 78: 556–562.
- 203 19- Busch C, Antinuchi CD, del Valle JC, Kittlein M, Malizia, AI, Vassallo AI, Zenuto RR.  
204 Population ecology of subterranean rodents. In: Lacey EA, Cameron G, Patton JL,  
205 editors. *Life underground: the biology of subterranean rodents*. University of Chicago  
206 Press; 2000. pp. 183-226.
- 207 20- Busch C, Malizia AI, Scaglia OA, Reig, OA. Spatial distribution and attributes of a  
208 population of *Ctenomys talarum* (Rodentia: Octodontidae). *Journal of Mammalogy*.  
209 1989; 70: 204-208.
- 210 21- Pearson OP. Biology of the subterranean rodents, *Ctenomys*, in Peru. *Memorias del*  
211 *Museo de Historia Natural “Javier Prado”*. 1959; 9: 3-56.
- 212 22- Vleck, D. Burrow structure and foraging costs in the fossorial rodent, *Thomomys bottae*.  
213 *Oecologia*. 1981; 49: 391-396.
- 214 23- Burda H, Šumbera R, Begall S. Microclimate in Burrows of Subterranean Rodents —  
215 Revisited. In: Begall S, Burda H, Schleich CE, editors. *Subterranean Rodents*. Springer;  
216 2007. pp. 21-34.
- 217 24- Francescoli G. Sensory capabilities and communication in subterranean rodents. In:  
218 Lacey EA, Cameron G, Patton JL, editors. *Life underground: the biology of subterranean*  
219 *rodents*. University of Chicago Press; 2000. pp. 111-144.
- 220 25- Zenuto RR, Fanjul MS. Olfactory discrimination of individual scents in the subterranean  
221 rodent *Ctenomys talarum* (tuco-tuco). *Ethology*. 2002; 108: 629-641.
- 222 26- Francescoli, G. A preliminary report on the acoustic communication in Uruguayan  
223 *Ctenomys* (Rodentia, Octodontidae): basic sound types. *Bioacoustics*. 1999; 10: 203-  
224 218.

- 225 27- Schleich C, Busch C. Acoustic signals of a solitary subterranean rodent *Ctenomys*  
226 *talarum* (Rodentia: Ctenomyidae): physical characteristics and behavioural  
227 correlates. Journal of Ethology. 2002; 20: 123-131.
- 228 28- Francescoli, G. Tuco-tucos vocalization output varies seasonally (*Ctenomys pearsoni*;  
229 Rodentia, Ctenomyidae): implications for reproductive signaling. Acta ethologica.  
230 2011; 14: 1-6.
- 231 29- Francescoli G. Vocal signals from *Ctenomys pearsoni* pups. Acta Theriologica. 2001; 46:  
232 327-330.
- 233 30- Francescoli G. Geographic variation in vocal signals of *Ctenomys pearsoni*. Acta  
234 Theriologica. 2002; 47: 35-44.
- 235 31- Schleich CE, Busch C. Juvenile vocalizations of *Ctenomys talarum* (Rodentia:  
236 Octodontidae). Acta theriologica. 2002; 47: 25-33.
- 237 32- Amaya JP, Areta JI, Valentinuzzi VS, Zufiaurre E. Form and function of long-range  
238 vocalizations in a Neotropical fossorial rodent: the Anillaco Tuco-Tuco (*Ctenomys* sp.).  
239 PeerJ. 2016; 4: e2559.
- 240 33- Amaya JP, Areta JI. Ontogeny of long-range vocalizations in a Neotropical fossorial  
241 rodent: the Anillaco Tuco-Tuco (*Ctenomys* sp.). PeerJ. 2018; 6: e4334.
- 242 34- Francescoli G, Quirici V. Two different vocalization patterns in *Ctenomys* (Rodentia,  
243 Ctenomyidae) territorial signals. Mastozoología Neotropical. 2010; 17: 141-145.
- 244 35- Da Silva, J, de Freitas, TR, Heuser, V, Marinho, JR, Erdtmann, B(2000). Genotoxicity  
245 biomonitoring in coal regions using wild rodent *Ctenomys torquatus* by Comet assay and  
246 micronucleus test. Environmental and molecular mutagenesis. 2000. 35: 270-278.

247 36- Parada A, D'elía G, Bidau CJ, Lessa EP. Species groups and the evolutionary  
248 diversification of tuco-tucos, genus *Ctenomys* (Rodentia: Ctenomyidae), Journal of  
249 Mammalogy. 2011; 92: 671-682.

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268 **Artigo científico a ser submetido no periódico PLOS ONE:**

269 **Bioacoustics**

270 Descrição da diversidade sonora de duas espécies de tuco-  
271 tucos (*Ctenomys torquatus e Ctenomys lami*) em ambiente  
272 natural

273

274

275 Keila C. Zaché<sup>1\*</sup>, Lucas M. Silveira<sup>1</sup>, Thales R. O. Freitas<sup>2</sup>, Gabriel Francescoli<sup>3</sup>

276

277

278 <sup>1</sup> Departamento de Zoologia, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Instituto de  
279 Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

280 <sup>2</sup> Departamento de Genética, Programa de Pós-Graduação em Genética e Biologia

281 Molecular, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre,  
282 RS, Brasil

283 <sup>3</sup> Sección Etología, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

284

285 \* Corresponding author

286 E-mail: keilazache@gmail.com

## 287 **Introdução**

288           Para realizar as trocas de informações os animais utilizam-se de diferentes tipos de  
289 canais de comunicação, como sinais químicos, visuais, olfativos, táteis e auditivos [1]. Segundo  
290 Freeberg et al. [2] uma maior complexidade comunicativa é exigida de indivíduos que vivem  
291 em grupos socialmente mais complexos, pois a diversidade dos sistemas sociais está  
292 correlacionada com o número de indivíduos que se relacionam, à frequência com que ocorrem  
293 as interações, o papel social dos indivíduos e a variabilidade dos tipos de interações. Espera-  
294 se que em sistemas heterogêneos de comunicação ocorra uma estruturação dos elementos  
295 acústicos, com um papel funcional e uma elevada quantidade de informação [2].

296           A comunicação acústica é considerada bastante eficaz devido à sua plasticidade [3]. Na  
297 maioria dos vertebrados a plasticidade da qual é composto um sinal sonoro permite uma  
298 imensa diversificação nas variáveis de tempo, intensidade e frequência, e essas diversidades  
299 podem estar relacionadas a múltiplas condições [1]. Um sinal emitido por um animal pode  
300 conter informações a respeito do seu status social, estado motivacional e também identidade  
301 dos emissores, podendo se modificar conforme os contextos comportamentais e situações  
302 ambientais [1, 4-7].

303           Distribuídos naturalmente em todos os continentes com exceção da Austrália e  
304 Antártica, os roedores subterrâneos representam um grupo singular dentre os mamíferos por  
305 evidenciarem atributos distintos em virtude de seu habitat [8, 9]. O biótopo onde os roedores  
306 subterrâneos estão inseridos é composto por uma estrutura que geralmente é vedada, com  
307 diâmetro reduzido, bastante aprimorada e apresenta um microclima constante, essas  
308 características, ao longo do tempo, podem ter atuado no desenvolvimento dos sistemas sensoriais  
309 desses animais [8, 10, 11].

310 Os animais do gênero *Ctenomys*, endêmicos da América do Sul, passaram por um  
311 processo de rápida especiação, durante o Pleistoceno [12]. Ocupam uma diversidade de  
312 habitats, desde campos mais secos até áreas de florestas [9]. A maioria das espécies se  
313 organiza de forma solitária, são tipicamente territorialistas e estão estruturadas em pequenas  
314 populações semi-isoladas com distribuição fragmentada e baixa vagilidade dos adultos [9, 12-  
315 16].

316 Em *Ctenomys* há uma ampla utilização da pluralidade dos canais de comunicação. Os  
317 sinais químicos e tácteis são usualmente aplicados nas transferências de informações dentro  
318 de suas tocas [17, 18]. Os sinais acústicos têm um papel fundamental na comunicação  
319 interindividual externa à galeria de túneis, seja os sinais de curto ou de longo alcance [19, 20].  
320 E, assim como relatada para muitos grupos de animais, a comunicação sísmica também é um  
321 canal de comunicação utilizado por animais subterrâneos [21, 22].

322 Os sinais vocais podem ser capazes de viajar longas distâncias e assim serem  
323 compatíveis com a vida subterrânea, pois é requerido particularidades comunicativas nesse  
324 ambiente [23, 24], uma vez que a maioria dos animais subterrâneos realizam a maior parte de  
325 suas atividades vitais dentro dos túneis [9, 16]. Uma das funções dos sinais de longo alcance  
326 é a expressão da territorialidade, comunicando a presença do indivíduo possuidor de um  
327 determinado território [19, 20, 25]. Esse tipo de sinal também poderia funcionar como um  
328 regulador de embates entre indivíduos e ser significativo na busca de potenciais parceiros para  
329 o processo de acasalamento [26].

330 Atualmente são descritas cerca de 69 espécies para o gênero *Ctenomys* [27, 28] e  
331 pouco se sabe sobre o repertório acústico dessas espécies, uma vez que vivem em túneis, o  
332 que dificulta o trabalho de observação e captação sonora. A maioria dos dados obtidos são  
333 oriundos de trabalhos realizados em laboratório [19, 25, 29, 30, 31] e os escassos dados



334 obtidos em vida livre são de sinais que podem ser ouvidos e gravados fora de suas tocas [17,  
335 20, 25, 26, 32]. Não há na literatura nenhum estudo de captação das vocalizações dentro das  
336 tocas desses animais em ambiente natural.

337 As vocalizações de *Ctenomys* foram estudadas com um certo detalhamento em apenas  
338 três espécies, *C. talarum* [29, 30], *C. pearsoni* [19, 26, 31, 32] e Anillaco tuco-tuco - *Ctenomys*  
339 *sp* [25, 33]. Além disso, Francescoli & Quirici [34] evidenciaram dois possíveis padrões vocais  
340 que poderiam ser isoladamente compartilhados por cinco espécies de *Ctenomys*.

341 A espécie *Ctenomys torquatus* Lichtenstein 1830, que está amplamente distribuída,  
342 habitando a região do Pampa, desde a região central do Rio Grande do Sul até o norte do  
343 Uruguai [35] e a espécie *C. lami* Freitas 2001, é endêmica no estado Rio Grande do Sul, Brasil,  
344 ocorrendo em uma estreita faixa de campos, sendo esta região conhecida como Coxilha das  
345 Lombas [36].

346 *C. torquatus* e *C. lami*, as duas espécies focos deste estudo, vivem em regiões que  
347 sofreram os efeitos da antropização, com a transformação da área de vida em grandes  
348 extensões de reflorestamento, rodovias, e ainda para *C. torquatus*, sua distribuição geográfica  
349 coincide com as atividades das reservas de extração de carvão [37]. Sabe-se que a propagação  
350 do som pode sofrer interferência de ruídos antropogênicos, temperatura ambiental, umidade  
351 e tipos de vegetação do local onde está sendo transmitida, sendo assim, as práticas dessas  
352 atividades podem modificar e comprometer a transferência de sinais acústico entre os  
353 indivíduos dessas espécies [1].

354 O objetivo deste trabalho foi descrever a variabilidade dos principais sinais vocais  
355 emitidos por *C. torquatus* e *C. lami* em vida livre e averiguar as características físico-  
356 morfológicas desses sinais. Pois os sinais vocais de *C. lami* nunca foram relatados e de *C.*  
357 *torquatus* foi apenas citado, de forma superficial, em apenas um trabalho comparativo com

358 outras espécies de *Ctenomys* [34] e, essas duas espécies pertencem ao mesmo grupo  
359 monofilético, *Torquatus* [38]. Investigar a variabilidade dos sinais utilizados por esses animais  
360 viabilizaria uma comparação com os sinais acústicos já descritos para outras espécies de  
361 *Ctenomys*, além de compreender os principais atributos sonoros utilizados por essas duas  
362 espécies auxiliaria estudos futuros sobre possíveis impactos sonoros causados pela exposição  
363 e a sobreposição de ruídos provenientes de atividades antropogênicas, uma vez que os sinais  
364 sonoros são fundamentais para o desenvolvimento e a manutenção dessas espécies.

365

## 366 **Métodos**

### 367 **Área de estudo**

368 O estudo foi realizado em duas populações, uma de cada espécie, localizadas em áreas  
369 distintas no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Para a espécie *C. torquatus* a população  
370 selecionada estava localizada em uma área que faz limites com a Estação Ecológica do Taim  
371 (32°32'19.4"S 52°32'19.5"W), próximo da cidade de Rio Grande - RS - Brasil, e para *C. lami* a  
372 população estudada foi a localizada dentro da Reserva Biológica do Lami José Lutzenberger  
373 (30°14'09.5"S 51°05'45.3"W), situada na cidade de Porto Alegre - RS - Brasil.

374 O período de amostragem foi de dez dias para cada uma das espécies. *C. torquatus* foi  
375 amostrado em junho de 2017, no final do outono e *C. lami* nos meses outubro e dezembro de  
376 2017, em plena primavera.

### 377 **Seleção das tocas**

378 Foram selecionadas as tocas que apresentaram atividades recentes. O  
379 reconhecimento de atividade recente se dá através da visualização de montículos de areia

380 fresca que são postos para fora das tocas nas práticas de limpeza e forrageio [9, 38, 39]. Foi  
381 mantido um espaçamento mínimo de 15 metros entre uma toca selecionada e outra, levando  
382 em consideração o direcionamento da galeria de túneis dentro da toca, para evitar a captura  
383 do mesmo animal. Após a escolha das tocas foi então realizado o processo de inserção de  
384 armadilhas dentro das mesmas.

## 385 **Armadilhamento e processo de captura**

386 O objetivo do uso de armadilhas nas tocas selecionadas foi a captura dos animais com  
387 a finalidade de identificação do sexo e pesagem dos mesmos. A técnica de captura consistiu  
388 no uso de armadilhas tipo trampa, marca Oneida-Victor, tamanho zero, envoltas por um  
389 material emborrachado para evitar que o animal se lesione quando capturado. Essas  
390 armadilhas foram introduzidas dentro das tocas e foram sinalizadas por bandeiras numeradas,  
391 sendo revisadas a cada dez minutos. As armadilhas permaneceram nas tocas selecionadas por  
392 até 40 minutos ou até o momento em que os animais foram capturados.

393 O projeto dispôs de licença do SISBIO/ICMBIO, número 58477, e também foi aprovado  
394 pela comissão de ética no uso de animais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
395 número 33289, para realização da pesquisa.

## 396 **Identificação e seleção dos animais**

397 Após a captura, os indivíduos foram pesados e foi realizada a sexagem de forma visual  
398 [38, 40-43], em seguida à realização desses procedimentos o animal era devolvido para toca  
399 onde foi capturado. Quando não acontecia a captura do animal, porém, havia o fechamento  
400 das tocas sinalizando que havia pelo menos um indivíduo dentro da galeria de túneis, o  
401 indivíduo era considerado como não-identificado. Os animais capturados e identificados  
402 tiveram a posição de suas tocas registradas com o uso de um GPS (Garmin Vista®).

403 Foram selecionados 24 indivíduos de *C. torquatus*, 3 machos, 8 fêmeas e 13 não  
404 identificados. Desses 24, foi possível obter vocalização de 14; 6 fêmeas, 2 machos e 6 não  
405 identificados. Em *C. lami* foram selecionados 15 animais, 3 fêmeas, 1 um filhote recém-  
406 nascido, o qual foi impossível de identificar o sexo e 11 indivíduos não identificados. Foi  
407 possível obter sinais sonoros de todos os indivíduos.

## 408 **Coleta de dados**

409 As gravações foram realizadas com auxílio de um microfone da marca Rode NTG-2  
410 acoplado a um Gravador Digital Tascam DR-40. Para proteger o microfone de possíveis danos  
411 causados pelos animais, foi desenvolvido juntamente com o Setor de Mecânica do Instituto  
412 de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), um aparato cilíndrico que  
413 funcionou como um encapsulador do microfone.

414 A inserção do microfone dentro das tocas ocorreu primeiramente com a retirada da  
415 areia depositada pelo animal em sua entrada, em seguida foi localizado o túnel principal onde  
416 o microfone foi posicionado. Foi considerado um período mínimo de 24 horas, quando os  
417 animais eram capturados e devolvidos às suas tocas, para que ocorresse a aclimação dos  
418 indivíduos antes do início das gravações.

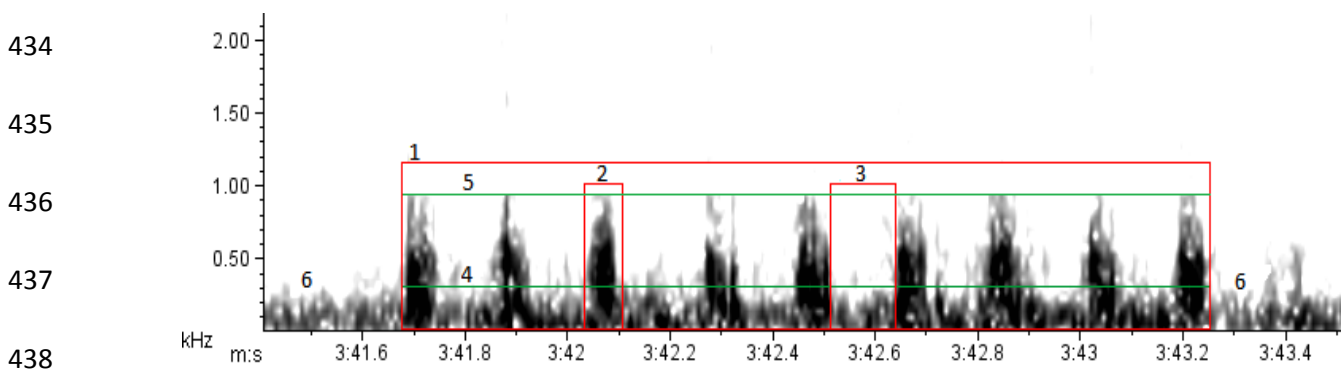
419 Foi feito um esforço amostral de 65 horas de coleta de dados sonoros para as duas  
420 espécies. Para *C. torquatus* foram gravados 39 horas e *C. lami* foram 26 horas. O tempo de  
421 gravação individual teve duração mínima de 40 minutos.

## 422 **Análise sonográfica**

423 A análise sonográfica foi realizada por meio do software Raven Pro versão 1.5 [44]. As  
424 configurações espectrográficas foram adotadas priorizando a resolução e a facilidade de  
425 detecção das vocalizações, sendo as seguintes: Window: Hann, 312 samples, 3 dB bandwidth-

426 filter: 203 Hz; Time grid: overlap: 50%, hop size: 156 samples; Frequency grid: DFT size: 512  
427 samples, grid spacing: 86.1 Hz.

428 As terminologias adotadas neste trabalho para descrever e identificar os sinais sonoros foram  
429 nota e frase [45]. Nota é uma unidade sonora única, sem intervalo, já um conjunto de notas  
430 com intervalos silenciosos entre si foi denominado de frase (Fig 1). Os parâmetros acústicos  
431 analisados foram: tamanho da frase, ou da nota quando o sinal for composto por apenas uma  
432 unidade sonora, número de notas no sinal, frequência dominante, frequência máxima e  
433 energia nas sequências sonoras estabelecidas.



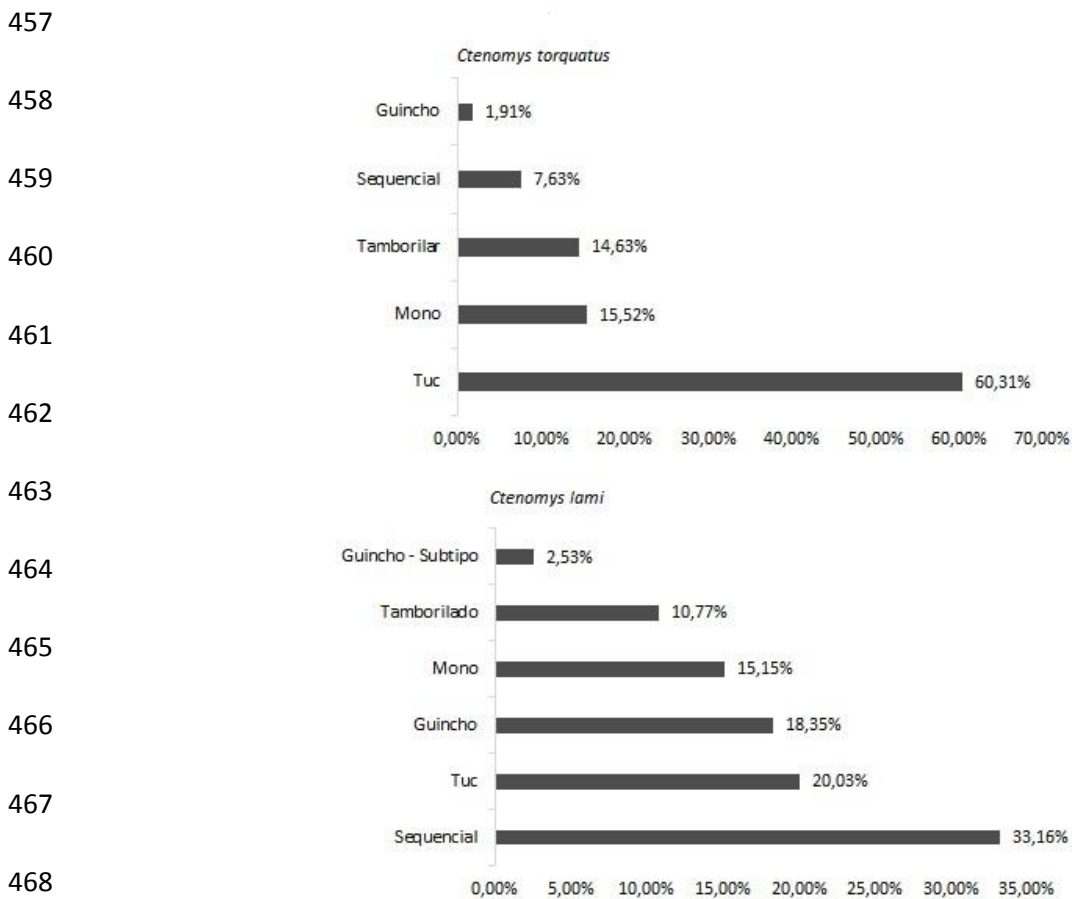
439 **Fig 1. Espectrograma e os parâmetros acústicos de uma vocalização de *C. lami*.** Os  
440 Parâmetros acústicos estão representados em retângulos vermelhos para (1) frase do tipo  
441 sequencial, (2) nota de uma frase sequencial e o (3) espaço entre as notas. As linhas verdes  
442 são (4) frequência dominante e (5) frequência máxima, do lado externo da marcação se  
443 encontra o (6) ruído de fundo.

444 As frases foram selecionadas manualmente de acordo com os limites temporais e de  
445 frequências dispostos nos sinais sonoros. O tamanho das frases é a duração em segundos da  
446 seleção dos sinais. O número de notas foi contado de forma visual e manual. O valor de  
447 frequência máxima coincide com o valor limite das frases no eixo de frequência. Contudo,  
448 valores de frequência dominante e energia foram gerados automaticamente conforme

449 fórmulas específicas baseadas em grandeza média dentro do espectro selecionado [46] (Fig  
450 1).

## 451 Resultados

452 A partir de uma averiguação auditiva e visual foi possível identificar cinco diferentes  
453 tipos de sinais em *C. torquatus* e *C. lami* (Figura 2). Foram captados um total de 1380 sinais,  
454 786 para *C. torquatus* e 594 para *C. lami*. Para todos os sinais detectados foram mensurados  
455 a média, o desvio padrão e o intervalo (valores mínimo e máximo) de todos os parâmetros  
456 acústicos analisados (Tabela 1).



469 **Fig 2. Tipos de sinais encontrados nas populações de *C. torquatus* e *C. lami*.** Valores em  
470 porcentagens dos sinais emitidos por espécie, relacionados do sinal menos frequente até o  
471 mais frequente.

472

**Tabela 1. Medidas (média, desvio padrão e valores mínimos e máximos) dos parâmetros acústicos dos cinco sinais descritos.**

473

474

475

476

477

478

479

480

481

482

483

484

485

Tipo de sinal	Espécie	Tempo - segundos	Unidades	Frequência - kHz		Decibéis - dB
		Duração do sinal	Número de notas	Dominante	Máxima	Energia
Mono	<i>Ctenomys torquatus</i>	0,030 (0,024)	1 (0)	0,460 (0,125)	1,544 (0,672)	71,766 (6,577)
		0,009 - 0,248	1 - 1	0,172 - 1,034	0,729 - 5,064	55,100 - 87,700
	<i>Ctenomys lami</i>	0,067 (0,033)	1 (0)	0,215 (0,143)	1,167 (0,590)	69,152 (10,948)
		0,021 - 0,198	1 - 1	0,086 - 0,689	0,513 - 4,111	53,200 - 103,300
Tuc	<i>Ctenomys torquatus</i>	0,273 (0,129)	3,152 (1,612)	0,220 (0,091)	0,771 (0,591)	73,982 (12,141)
		0,071 - 0,886	2 - 12	0,086 - 0,603	0,311 - 5,923	56,000 - 119,200
	<i>Ctenomys lami</i>	0,347 (0,151)	3,697 (1,482)	0,219 (0,113)	1,860 (1,503)	88,816 (12,671)
		0,088 - 0,892	2 - 12	0,086 - 0,603	0,340 - 7,372	57,100 - 119,100
Tamborilado	<i>Ctenomys torquatus</i>	0,326 (0,203)	2,791 (1,405)	0,458 (0,118)	2,332 (1,951)	77,613 (8,242)
		0,033 - 0,997	2 - 8	0,086 - 0,689	0,782 - 16,730	62,500 - 106,000
	<i>Ctenomys lami</i>	0,377 (0,377)	3,172 (2,272)	0,328 (0,293)	1,597 (1,191)	76,291 (9,325)
		0,043 - 1,858	2 - 15	0,293 - 1,809	0,382 - 8,451	57,800 - 107,700
Guincho	<i>Ctenomys torquatus</i>	0,125 (0,125)	1,400 (0,632)	0,477 (0,172)	1,276 (0,564)	76,893 (8,212)
		0,044 - 0,533	1 - 3	0,172 - 0,775	0,778 - 2,659	64,200 - 92,000
	<i>Ctenomys lami</i>	0,104 (0,169)	1,275 (0,507)	0,416 (0,246)	1,441 (0,763)	71,317 (9,422)
		0,022 - 1,344	1 - 3	0,086 - 1,206	0,496 - 4,721	51,800 - 100,800
Guincho – subtipo	<i>Ctenomys lami</i>	0,354 (0,376)	2,200 (1,867)	0,666 (0,224)	2,212 (0,800)	71,947 (9,520)
		0,070 - 1,257	1 - 7	0,086 - 0,948	1,343 - 3,689	58,100 - 93,800
Sequencial	<i>Ctenomys torquatus</i>	1,904 (1,377)	23,883 (25,104)	0,172 (0,155)	0,748 (0,389)	85,152 (8,401)
		0,198 - 8,281	2 - 147	0,086 - 0,603	0,333 - 2,154	70,400 - 102,100
	<i>Ctenomys lami</i>	2,266 (2,452)	15,944 (14,534)	0,233 (0,178)	1,424 (1,075)	88,768 (14,580)
		0,250 - 19,000	2 - 83	0,086 - 0,861	0,390 - 7,845	64,200 - 133,800

## 486 **Mono**

487 É um sinal pulsado, formado por uma única nota de baixa frequência (Fig 3).

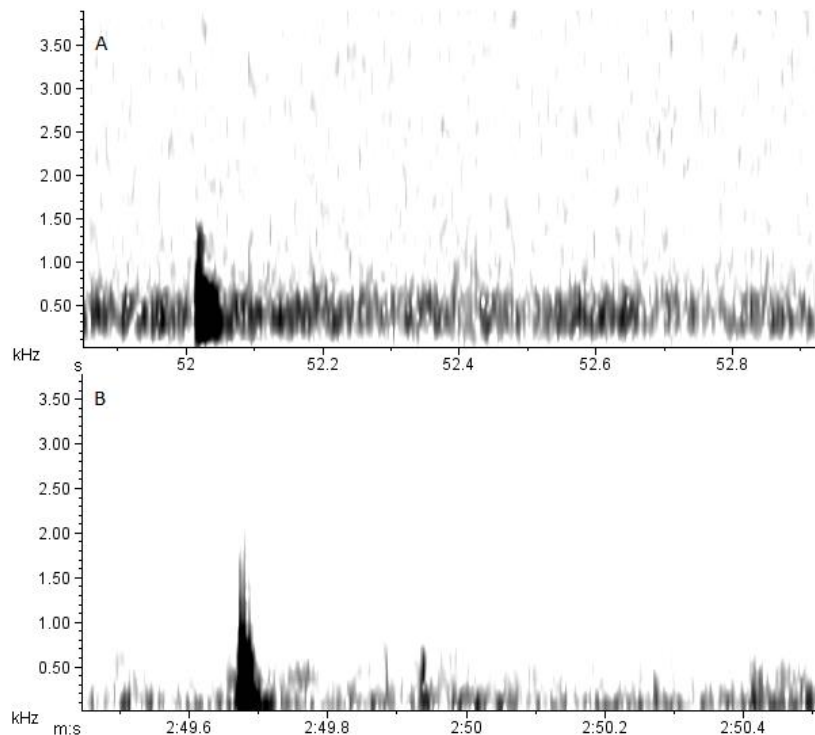
488

489

490

491

492



493

494

495

496

497

498 **Fig 3. Sinal tipo mono.** Espectrograma da nota única do sinal tipo mono em *C. torquatus* (A) e

499 *C. lami* (B)

### 500 ***C. torquatus***

501 Foi possível identificar 122 sinais (Fig 2) presentes em 7 indivíduos. Os parâmetros

502 acústicos investigados apresentaram valores médios de 0,030s de duração, 0,460 kHz de

503 frequência dominante, 1,544 kHz de frequência máxima e 71,876 dB de energia (Tab 1).

### 504 ***C. lami***

505 Foram constatados 90 sinais (Fig 2) em 10 indivíduos. Os parâmetros acústicos

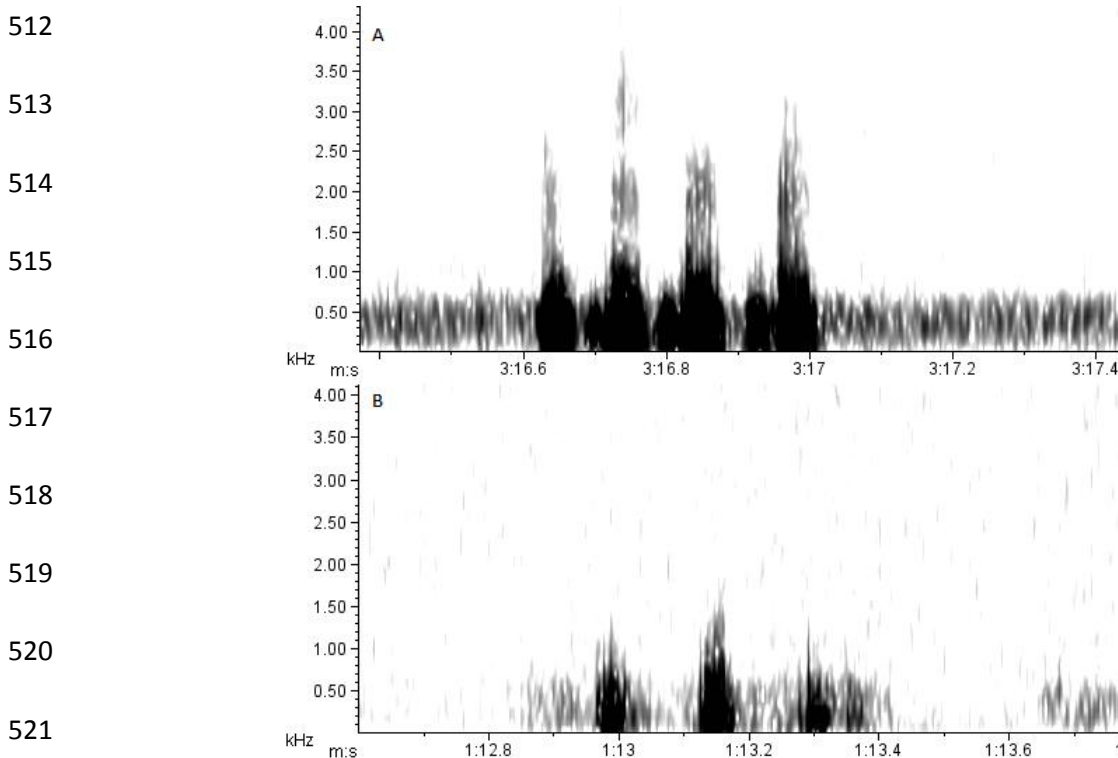
506 investigados apresentaram valores médios de 0,067s de duração, 0,215 kHz de frequência

507 dominante, 1,167 kHz de frequência máxima e 69,152 dB de energia (Tab 1).

## 508 **Tuc**



509 São sinais de baixa frequência, formados por um conjunto de notas com um curto  
510 intervalo de silêncio separando uma nota da outra, formando assim as frases de tucs (Fig 4).  
511 O sinal tuc é uma onomatopeia que originou o nome popular do animal, tuco-tuco.



522 **Fig 4. Sinal tipo tuc.** Espectrograma da frase tipo tuc com 4 notas em *C. torquatus* (A) e com 3  
523 notas *C. lami* (B).

#### 524 ***C. torquatus***

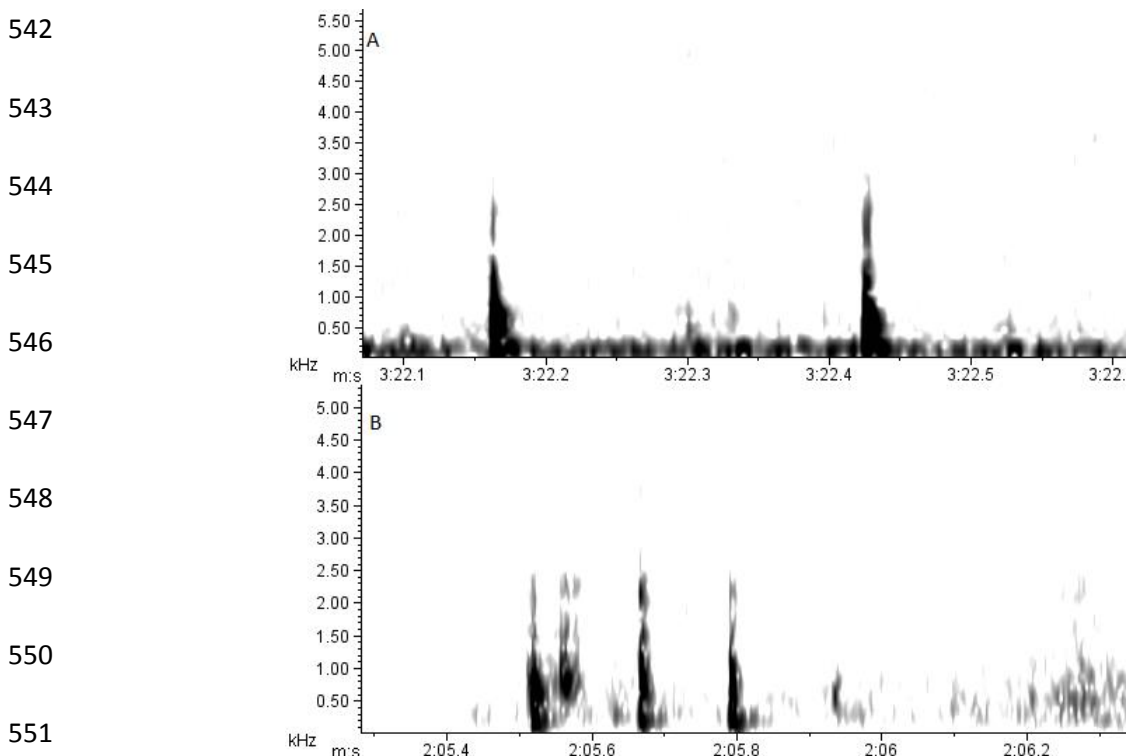
525 Foi o sinal que demonstrou maior incidência, sendo reconhecidas 474 frases de tucs  
526 (Fig 2). Em apenas 1 indivíduo dos 14 gravados não foi possível identificar esse sinal. O  
527 tamanho das frases oscilou de 2 até 12 notas. As frases com 2 e 3 notas foram as que  
528 apresentaram maior ocorrência. Os parâmetros acústicos investigados apresentaram valores  
529 médios de 0,272s de duração, 0,220 kHz de frequência dominante, 0,771 kHz de frequência  
530 máxima e 73,982 dB de energia (Tab 1).

#### 531 ***C. lami***

532 Foram identificadas 119 frases de tucs (Fig 2). O número de notas das frases variou de  
533 2 até 12 notas, sendo as frases com 3, 4 e 2 notas, sucessivamente, as que evidenciaram maior  
534 parcela das frases. O sinal tipo tuc somente não foi verificado em 1 dos 15 indivíduos  
535 selecionados. Os parâmetros acústicos investigados apresentaram valores médios de 0,347 s  
536 de duração, 0,219 kHz de frequência dominante, 1,860 kHz de frequência máxima e 88,816  
537 dB de energia (Tab 1).

### 538 **Tamborilado**

539 É um sinal pulsado, análogo à um som de origem mecânica. Formado por notas  
540 seriadas, com um intervalo de silêncio entre as notas, constituindo as frases de tamborilados  
541 (Fig 5).



552 **Fig 5. Sinal tipo tamborilado.** Espectrograma da frase tipo tamborilado com 2 notas em *C.*  
553 *torquatus* (A) e com 3 notas em *C. lami* (B).

554 ***C. torquatus***

555 Foram identificados 115 sinais tipo tamborilado (Fig 2) emitidos por 9 indivíduos. As  
556 frases de tamborilados apresentaram variação de 2 até 8 notas. Os parâmetros acústicos  
557 investigados apresentaram valores médios de 0,326 s de duração, 0,458 kHz de frequência  
558 dominante, 2,332 kHz de frequência máxima e 77,613 dB de energia (Tab 1).

### 559 ***C. lami***

560 O sinal tamborilado compreendeu frases de 2 até 15 notas, sendo distinguidos 64 sinais  
561 (Fig 2) desse tipo registrado para 14 indivíduos. Os parâmetros acústicos investigados  
562 apresentaram valores médios de 0,377 s de duração, 0,328 kHz de frequência dominante,  
563 1,597 kHz de frequência máxima e 76,291 dB de energia (Tab 1).

### 564 **Guincho**

565 É um sinal harmônico, podendo ser emitido em nota única ou de forma seriada. Na  
566 forma seriada as notas são separadas por um intervalo de silêncio, gerando as frases de  
567 guincho (Fig 6).

568

569

570

571

572

573

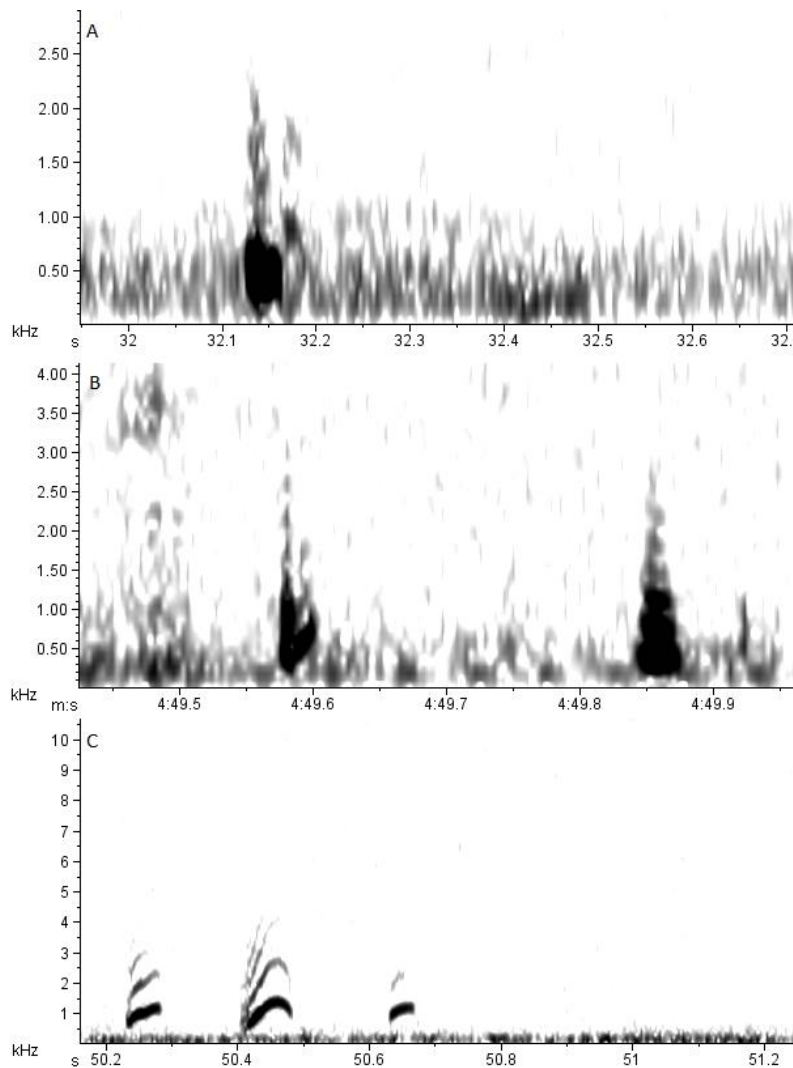
574

575

576

577

578  
579  
580  
581  
582  
583  
584  
585  
586  
587  
588  
589  
590  
591



592 **Fig 6. Sinal tipo guincho.** Espectrograma da frase de guincho com 1 nota em *C. torquatus* (A)  
593 e com 2 notas em *C. lami* (B). E o subtipo de guincho (C) com 3 notas encontrado em *C. lami*.

594 ***C. torquatus***

595 As frases de guincho variaram de 1 até 3 notas, totalizando 15 frases detectadas (Fig  
596 2) registrada em 7 indivíduos. Os parâmetros acústicos investigados apresentaram valores  
597 médios de 0,125 s de duração, 0,477 kHz de frequência dominante, 1,276 kHz de frequência  
598 máxima e 76,893 dB de energia (Tab 1).

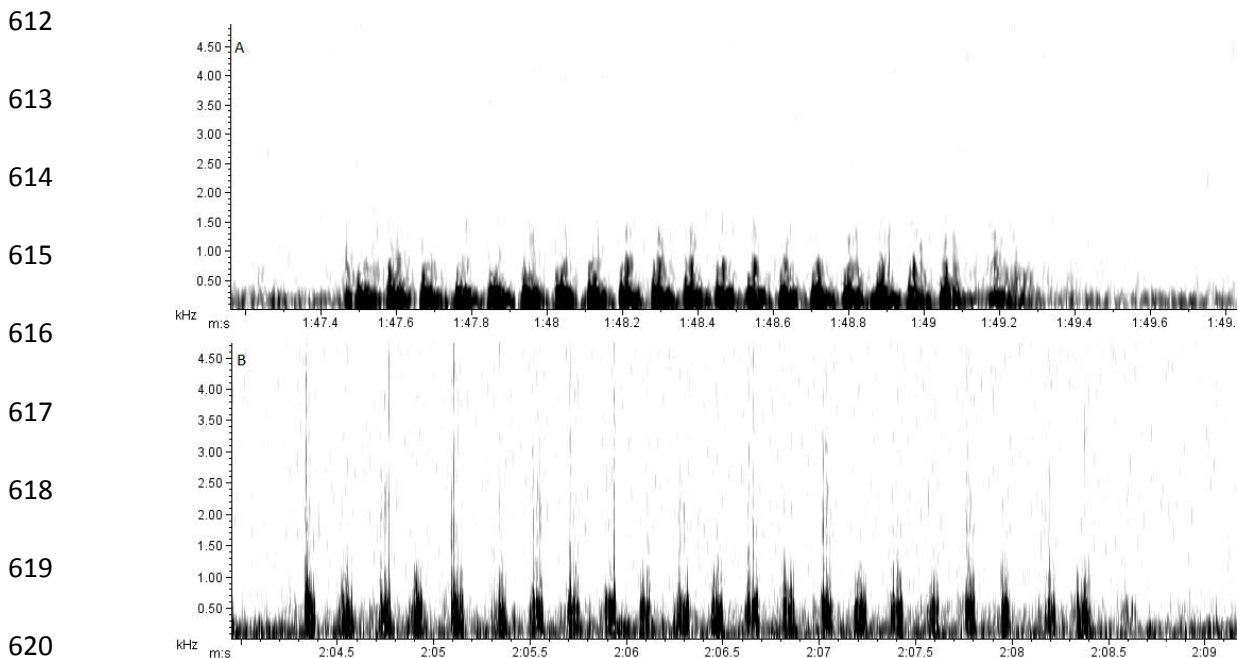
599 ***C. lami***

600 Foram identificadas 109 frases de guinchos (Fig 2), oscilando no número de 1 até 3  
601 notas, sendo emitidas por 12 indivíduos. Os parâmetros acústicos investigados apresentaram  
602 valores médios de 0,104 s de duração, 0,416 kHz de frequência dominante, 1,441 kHz de  
603 frequência máxima e 71,317 dB de energia (Tab 1).

604 Um subtipo de guincho foi identificado em *C. lami* (Fig 6), um sinal com um harmônico  
605 mais acentuado. Foram reconhecidas 15 frases emitidas por 3 indivíduos, as frases  
606 apresentaram de 1 até 7 notas. Os parâmetros acústicos investigados apresentaram valores  
607 médios de 0,354 s de duração, 0,666 kHz de frequência dominante, 2,212 kHz de frequência  
608 máxima e 71,947 dB de energia (Tab 1).

## 609 **Sequencial**

610 É um sinal ritmado, com notas similares em continuidade, sendo as notas separadas por um  
611 curto intervalo de silêncio, constituindo as frases (Fig 7).



621 **Fig 7. Sinal tipo sequencial.** Espectrograma da frase tipo sequencial com 20 notas em *C.*  
622 *torquatus* (A) e com 22 notas em *C. lami* (B).

## 623 ***C. torquatus***

624 Foram reconhecidas 60 frases (Fig 2) sequenciadas emitidas por 6 indivíduos. Os  
625 parâmetros acústicos investigados apresentaram valores médios de 1,720 s de duração, 0,172  
626 kHz de frequência dominante, 0,748 kHz de frequência máxima e 85,005 dB de energia (Tab  
627 1).

## 628 ***C. lami***

629 Foi o sinal que demonstrou maior incidência, totalizando 197 frases (Fig 2)  
630 sequenciadas expressas por 13 indivíduos. Os parâmetros acústicos investigados  
631 apresentaram valores médios de 2,266 s de duração, 0,233 kHz de frequência dominante,  
632 1,424 kHz de frequência máxima e 88,768 dB de energia (Tab 1).

633

## 634 **Discussão**

635 Os chamados emitidos em campo por *C. torquatus* e *C. lami* revelam sinais até então  
636 desconhecidos. Foi possível verificar, nas duas espécies, um compartilhamento dos sinais  
637 sonoros investigados, expressando uma similaridade tanto nos quesitos dos parâmetros  
638 acústicos analisados como na morfologia dos espectrogramas (Tab 1) (Figs 2, 4, 5, 6 e 7). Essas  
639 analogias poderiam estar relacionadas à similaridade dos ambientes que essas espécies  
640 ocupam [35, 36] ou ao fato de pertencerem ao mesmo grupo filogenético, Torquatus [38].  
641 Além disso, há um compartilhamento dos aspectos dos componentes vocais de *C. torquatus*  
642 e *C. lami* com os das outras espécies de *Ctenomys* já estudadas.

643 De acordo com as médias obtidas das faixas de frequências utilizadas (Tab 1), a maioria  
644 das sequências apresentaram baixa frequência, o que se é esperado para um animal  
645 subterrâneo, de acordo com fatores limitantes encontrados na estruturação do ambiente no

646 qual o animal está inserido [23, 24] e também o aprimoramento das cavidades do ouvido  
647 médio desses animais estarem associadas à audição de sinais de baixa frequência [47].  
648 Ademais, os sinais de baixa frequência foram relatados para espécies de *C. pearsoni*, *C.*  
649 *talarum* e *Anillaco Ctenomys* sp. [19, 20, 25].

650 Uma das razões para *C. torquatus* e *C. lami* usualmente utilizarem sinais de baixa  
651 frequência é que sons de alta frequência são bastante direcionais em ambientes abertos,  
652 sendo pertinentes em chamados de contato ou agonísticos, porém, quando emitidos em um  
653 ambiente subterrâneos, podem ser prontamente dispersos dentro dos túneis prejudicando  
654 assim a comunicação, principalmente de longa distância [31].

655 Alguns estudos já foram realizados para averiguar a propagação dos sons dentro das  
656 tocas. Foi testada a propagação dos chamados de ratos-toupeira-cegos (*Spalax ehrenbergi*)  
657 em diversas frequências e observou-se que os sinais de 440 Hz se propagavam de forma mais  
658 eficiente em curtas distâncias dentro das tocas [48]. Lange et al [23] avaliaram a transmissão  
659 de sons com diferentes tipos de frequências em *Fukomys mechowii* e *Fukomys kafuensis*.  
660 Apesar das tocas apresentarem diâmetros diferentes, a propagação sonora foi bastante  
661 semelhante entre elas. Os sons de baixa frequência sofreram uma menor atenuação dos que  
662 os de alta frequência e ainda tiveram suas amplitudes aumentadas, o que foi chamado de  
663 efeito “estetoscópio” [23]. Em *C. talarum* [24] foi investigada a relação da efetividade da  
664 propagação dos sinais com a estruturação das entradas das tocas, porém em um sistema  
665 similar às tocas naturais, foi observado, como em *F. mechowii* e *F. kafuensis* [23], que os sinais  
666 de baixa frequência foram atenuados e amplificados dentro dos túneis.

667 A propagação sonora pode ser afetada por muitos fatores[1], entretanto, em  
668 diferentes espécies subterrâneas, os atributos acústicos presentes no interior dos túneis são  
669 similares, o que poderia ter conduzido a uma adaptação convergente na bioacústica dos

670 roedores subterrâneos[49]. Estudos que investiguem a comunicação acústica podem atuar  
671 como uma ferramenta auxiliar na interpretação e explanação dos conceitos evolutivos gerais.

672 Conforme a faixa de frequência e o volume utilizado em uma chamada, os sinais  
673 sonoros podem viajar longas distâncias e podem ser considerados uma das principais formas  
674 de comunicação entre as espécies que vivem no ambiente subterrâneo [23, 24, 46]. Em  
675 *Ctenomys*, os sinais de longo alcance foram descritos como sinais de alto volume, graves e  
676 formados por repetição das notas [19, 20, 25], e foram reconhecidos até hoje dois padrões  
677 para os sinais de longo alcance [34]. Em *C. torquatus* e *C. lami* os sinais do tipo tuc e sequencial  
678 apresentaram características de sinais de longo alcance (Tabela 1) (Figs 2 e 7).

679 O sinal denominado tuc já foi caracterizado para *C. pearsoni*, *C. talarum* e Anillaco  
680 *Ctenomys* sp, nominados nessas espécies como: S-type - *C. pearsoni* [19], tuc-tuc - *C. talarum*  
681 [20] e como LRV (*long-range vocalizations*) em Anillaco *Ctenomys* sp [25]. Sonoramente,  
682 segundo a descrição dos autores, o sinal tipo tuc emitido por *C. torquatus* e *C. lami* é  
683 semelhante a descrição desses sinais, porém apresentam características morfológicas e de  
684 arranjo acústico distintas no desenho espectrográfico. Mas a baixa faixa de frequência sonora  
685 é compartilhada entre as espécies (Tab 2).

686 **Tabela 2. Médias das frequências dominantes dos sinais tipo tuc e seus equivalentes.**

Espécie	Sinal	MFD
<i>C. torquatus</i>	Tuc	0,220
<i>C. lami</i>	Tuc	0,219
<i>C.pearsoni</i>	S	0,243
<i>C. talarum</i>	Tuc-tuc	0,257

690 MFD= Médias das frequências dominantes em kHz.

691 Geralmente em *C. talarum* e Anillaco tuco-tuco - *C. sp* o sinal tuc é dividido em duas  
692 partes. A ordenação da emissão das partes pode ser variável, porém emitidas juntas [20, 25],  
693 enquadrado o sinal tuc no tipo 1 dos padrões já reconhecidos para sinal de longo alcance [34].



694 Já em *C. pearsoni*, o sinal descrito é composto por uma repetição serial, que também pode ser  
695 variável na ordenação da emissão [19], compreendido assim como o tipo 2 dos sinais de longa  
696 distância descritos [34]. Todavia, não foi possível verificar esses padrões [34] no sinal tuc de  
697 nenhuma das duas espécies estudadas. Os sinais tipo tuc são, em sua maioria, emitidos de  
698 forma isolada e com repetição variável no número de notas (Tab 1).

699           Entretanto, o sinal tipo sequencial poderia ser análogo a uma das partes descritas para  
700 o padrão tipo 1 [34] dos sinais de longo alcance (Fig 8). Ele também se assemelha ao sinal de  
701 acasalamento emitido por indivíduos machos de *C. talarum* (Fig 8), porém em *C. torquatus* ele  
702 foi emitido por ambos os sexos e em *C. lami* foi possível confirmar apenas a emissão pelas  
703 fêmeas, pois todos os animais capturados e identificados foram fêmeas. Além de uma  
704 similaridade morfológica, também utilizam uma faixa de frequência aproximada durante as  
705 emissões (Tab 3).

706

707

708

709

710

711

712

713

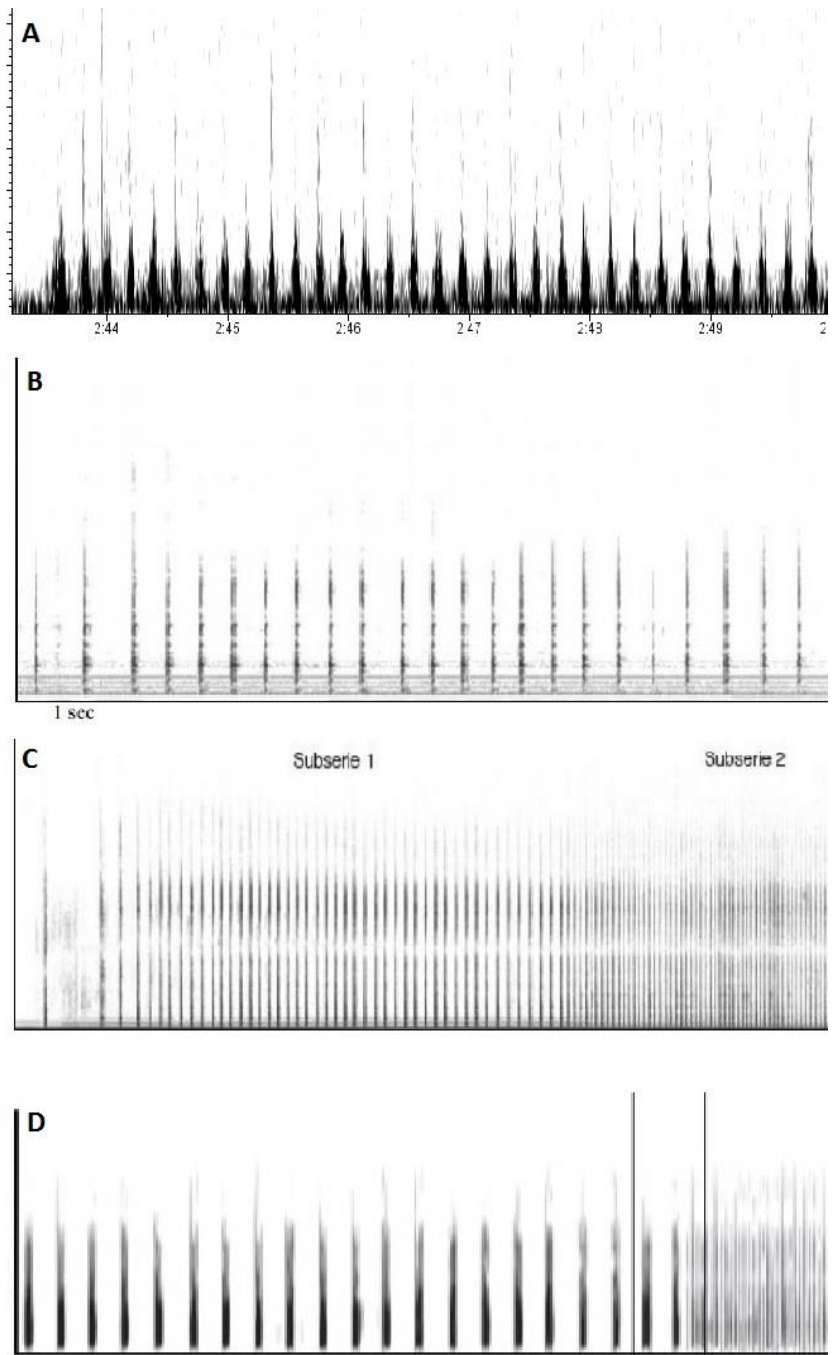
714

715

716

717

718  
719  
720  
721  
722  
723  
724  
725  
726  
727  
728  
729  
730  
731  
732  
733  
734  
735



736 **Fig 8. Comparação morfológica do sinal tipo sequencial com sinais similares de outras**  
737 **espécies de *Ctenomys*.** Frase do sinal tipo sequencial de *C. lami* (A) apresentando  
738 similaridades morfológicas com os chamados de acasalamento (B) e do tipo tuc-tuc (C) de *C.*  
739 *talarum* e também em relação ao sinal tipo LRV (D) em Anillaco *Ctenomys* sp.

740 **Tabela 3. Médias das frequências dominantes dos sinais sequencial e seus equivalentes.**

741  
742  
743  
744  
745  
746  
747  
748  
749  
750  
751  
752  
753  
754  
755  
756  
757  
758  
759  
760  
761  
762  
763  
764

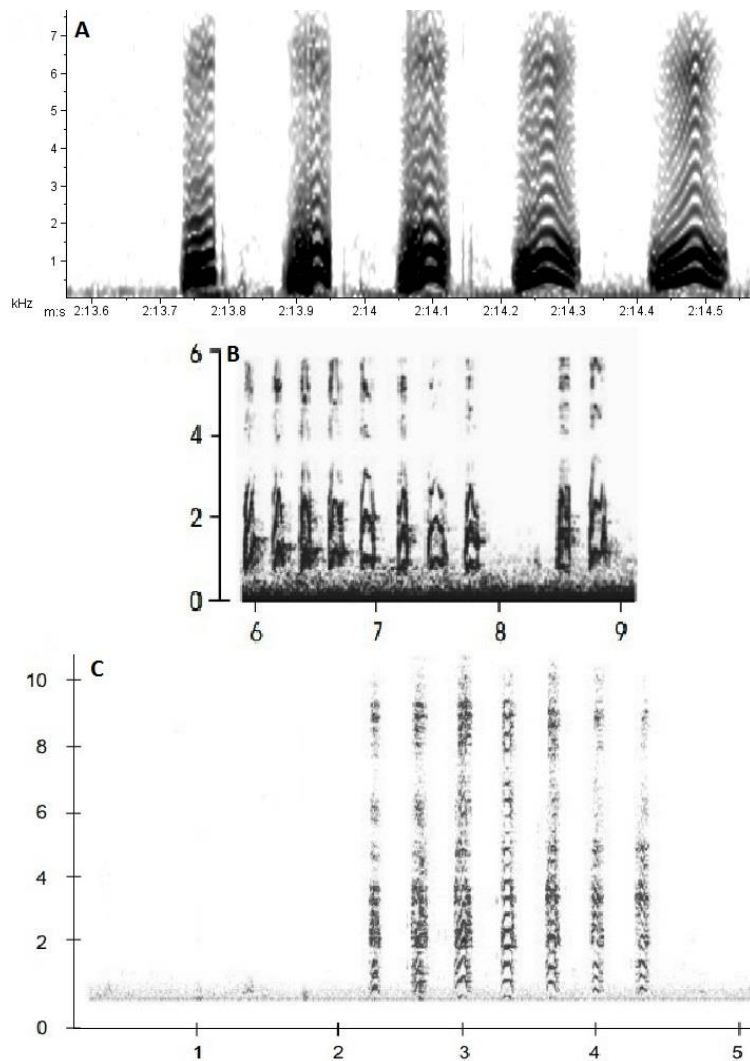
<b>Espécie</b>	<b>Sinal</b>	<b>MFD</b>
<i>C. torquatus</i>	Sequencial	0,172
<i>C. lami</i>	Sequencial	0,233
<i>C. talarum</i>	Tuc-tuc	0,257
<i>C. talarum</i>	Acasalamento	0,400

MFD= Médias das frequências dominantes em kHz.

As constatações observadas sugerem que os sinais tipo tuc e sequencial poderiam apresentar característica de sinais territoriais e de acasalamento, pois ambos necessitariam viajar longas distâncias para encontrar os potenciais receptores requeridos. A variabilidade na ordenação dos sinais emitidos poderia estar relacionada ao estado motivacional do indivíduo emissor [2, 4] e as informações codificadas nos sinais sonoros associadas ao padrão rítmico das emissões observadas [17,26].

Em contrapartida, o sinal do tipo guincho apresentou uma faixa de frequência relativamente alta quando comparada com os valores dos outros tipos de sinais descritos (Tab 1). Em muitos mamíferos a emissão de sinais agudos pode estar relacionada aos chamados de filhotes [4]. Sinais acústicos produzidos por filhotes já foram descritos para *C. pearsoni* [31] e *C. talarum* [30]. Os chamados desses filhotes evidenciam uma faixa de frequência geralmente mais alta que os outros chamados e também expuseram características de sinais modulados [30, 31]. Os chamados de guincho de *C. lami* e *C. torquatus* também apresentam esses atributos (Fig 4). Além de que, morfologicamente, os espectros das frases de guincho são similares a estrutura de alguns dos sinais descritos para os infantes de *C. pearsoni* e *C. talarum*. Em *C. lami* o subtipo de guincho apresenta uma modulação bastante proeminente e análoga aos chamados de cuidado de *C. pearsoni* e *C. talarum* (Fig 9).

765  
766  
767  
768  
769  
770  
771  
772  
773  
774  
775  
776  
777  
778



779 **Fig 9. Comparação morfológica do subtipo de guincho de *C. lami* com os chamados de**  
780 **cuidado de *C. pearsoni* e *C. talarum*. Frase do sinal subtipo de guincho de *C. lami* (A) e as**  
781 **similaridades morfológicas apresentadas com os chamados de cuidado em *C. pearsoni* (B) e *C.***  
782 ***talarum* (C).**

783 *C. lami* emitiu uma quantidade consideravelmente maior e com uma maior diversidade  
784 sonora do chamado de guincho que *C. torquatus*, o que poderia ser justificado em razão das  
785 gravações terem sido realizadas em *C. lami* logo após o período reprodutivo dessa espécie  
786 [36], reforçando a suposição de que as frases de guincho poderiam ter sido emitidas por  
787 filhotes ou mesmo juvenis. Todavia é necessária uma investigação mais detalhada desse  
788 chamado, principalmente em *C. torquatus* na temporada pós período reprodutivo.

789 O sinal mono foi frequentemente detectado nos indivíduos de ambas as espécies,  
790 tratando-se de um sinal pulsado, de nota única e com baixa frequência (Tabela 1). Segundo a  
791 literatura consultada, não há registro ou descrição para chamados similares em *Ctenomys*.  
792 Sinais de notas únicas poderiam expressar trechos de uma sentença vocal mais extensa. A  
793 emissão de apenas uma parte do chamado poderia estar relacionada ao estado motivacional  
794 do indivíduo emissor [2, 4].

795 Os padrões rítmicos dos chamados emitidos podem estar correlacionados a  
796 informação contidas nos sinais [17,26]. Como um sinal pulsado de nota única geralmente não  
797 carrega variação no padrão rítmico e nem possibilidades de alternância nas formas de arranjo  
798 das emissões, eventualmente, esse tipo de sinal pode não conduzir uma informação para um  
799 outro indivíduo receptor, e sim uma referência para o próprio emissor.

800 O sinal mono poderia funcionar como um instrumento de ecolocalização, juntamente  
801 com outros canais sensoriais presente nesses animais [50]. Mecanismos de cognição foram  
802 propostos a partir da correlação com a orientação espacial e de navegação aos sistemas  
803 sensoriais de roedores [51]. Foi observado que *Spalax ehrenbergi* usam a reflexão de sinais  
804 para detectar objetos, o que poderia ser considerado uma forma de se ecolocalizar [52].

805 Os tuco-tucos poderiam utilizar o efeito estetoscópio dos túneis [23] para amplificar a  
806 propagação do sinal pulsado enviado, e utilizar o sinal ecoado de retorno, que ainda teria  
807 energia suficiente para ser decodificados pelo emissor, como uma forma de se localizar  
808 dentro dos túneis. Não há relatos da utilização de ecolocalização em *Ctenomys*. Como trata-  
809 se de um campo nunca abordado são necessárias investigações mais precisas antes de se  
810 confirmar esse pressuposto.

811 O sinal tipo tamborilado foi o que sonoramente se exibiu de forma diferenciada. Um  
812 sinal uniforme, com um ruído similar ao toque de dois objetos. Sons mecânicos, como batidas

813 de dentes, já foram registradas para *Ctenomys talarum* [20]. As batidas de dentes foram  
814 descritas como uma emissão de notas curtas e rápidas, registradas durante o processo de  
815 alimentação e em contextos agonísticos entre os machos [20]. Morfologicamente, as batidas  
816 de dente produzidas por *C. talarum* poderiam se assemelhar em alguns aspectos ao  
817 tamborilado produzido por *C. torquatus* e *C. lami*, porém o único espectrograma comparativo  
818 acessível de *C. talarum* apresenta baixa resolução de qualidade na imagem (Fig 10).

819

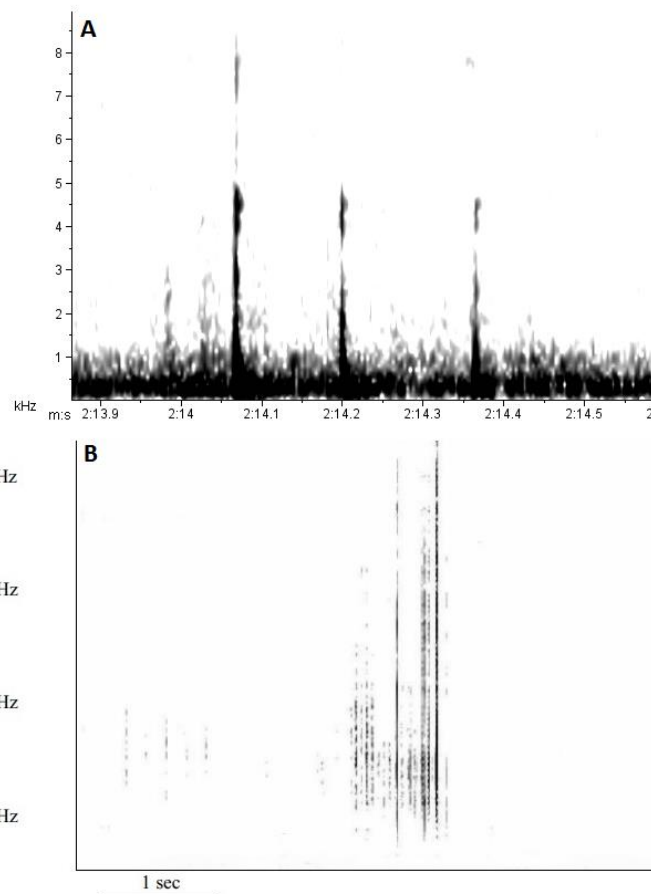
820

821

822

823

824



825

826

827

828

829

830

831 **Fig 10. Comparação morfológica do sinal tipo tamborilado com o as batidas de dentes**  
832 **emitidos por *C. talarum*.** Sinal tipo tamborilado de *C. torquatus* (A) e as similaridades  
833 morfológicas apresentadas com as batidas de dentes de chamados de *C. talarum* (B).

834 Além disso, há estudos que descrevem que roedores subterrâneos podem produzir  
835 sinais para além das vocalizações, os denominados sinais sísmicos [21, 22]. Esses sinais podem  
836 ser gerados a partir do comportamento de bater os pés [53] e a cabeça [54] dentro dos túneis

837 como uma forma de produzir ruídos e utilizá-los para se comunicar. O tamborilado poderia  
838 ser resultado desse tipo de produção sonora, contudo, não podemos confirmar essa  
839 suposição, uma vez que não tivemos acesso visual ao comportamento realizado pelos animais.

840 Em termos gerais, a distinção das características dos sinais de *C. torquatus* e *C. lami*  
841 com as das outras espécies já estudadas, tanto na morfologia espectrográficas como nos  
842 atributos físicos dos sinais acústicos investigados nesse trabalho, poderiam ser resultado de  
843 uma variação geográfica [32, 55], eventos de especiação [56, 57, 58], fatores ecológicos [59,  
844 60], características físicas do ambiente [1] ou ainda o estado motivacional dos emissores [4].  
845 Entretanto é necessário realizar estudos mais pontuais com focos em responder essas  
846 questões. A essência desse trabalho foi descrever os sinais acústicos cuja emissão foi  
847 capturada em campo e compreender os atributos físico-morfológicos desses sinais.

848 Nesse sentido, a presente caracterização dos tipos de sinais sonoros utilizados por *C.*  
849 *torquatus* e *C. lami* em campo, promove o fornecimento do acesso aos principais parâmetros  
850 acústicos utilizados por esses animais durante a emissão dos sinais e um breve paralelismo  
851 com os sinais já descritos para as outras espécies de *Ctenomys*. Abrindo assim novas  
852 perspectivas para análises comparativas aprofundadas e estudos que investiguem a influência  
853 dos ruídos antropogênicos na comunicação vocal dessas espécies.

854

## 855 Referências

- 856 1- Bradbury JW, Vehrencamp SL. Principles of Animal Communication. 2 ed. MA: Sinauer;  
857 2011.
- 858 2- Freeberg TM, Dunbar RIM, Ord TJ. Social complexity as a proximate and ultimate factor  
859 in communicative complexity. Philos Trans R Soc B. 2012; 367: 1785-1801.

- 860 3- Hauser MD. The evolution of communication. MIT Press; 2000.
- 861 4- Morton, ES. On the occurrence and significance of motivation-structural rules in some  
862 bird and mammal sounds. *American Naturalist*. 1977; 111: 855-86.
- 863 5- August, PV, Anderson, JG. Mammal sounds and motivation-structural rules: a test of  
864 the hypothesis. *Journal of Mammalogy*. 1987; 68: 1-9.
- 865 6- Rendall D, Owren MJ. Animal vocal communication: Say what? The cognitive animal.  
866 Cambridge, MA, The MIT Press. 2002; 307-313.
- 867 7- Lemasson A, Hausberger M. Acoustic variability and social significance of calls in female  
868 Campbell's monkeys (*Cercopithecus campbelli campbelli*). *The Journal of the Acoustical*  
869 *Society of America*. 2011; 129: 3341-3352.
- 870 8- Nevo E. Adaptive convergence and divergence of subterranean mammals. *Annu Rev*  
871 *Ecol Syst*. 1979; 10: 269-308.
- 872 9- Lacey, E. A., J. L. Patton, & G. N. Cameron. Life underground: the biology of  
873 subterranean rodents. University of Chicago Press; 2000.
- 874 10- Burda H, Šumbera R, Begall S. Microclimate in Burrows of Subterranean Rodents —  
875 Revisited. In: Begall S, Burda H, Schleich CE, editors. *Subterranean Rodents*. Springer;  
876 2007. pp. 21-34.
- 877 11- Nevo E, Reig O. Evolution of subterranean mammals at the organismal and molecular  
878 levels. Wiley-Liss; 1990.
- 879 12- Reig OA, Busch C, Ortells MO, Contreras, JR. An overview of evolution, systematics,  
880 population biology and speciation in *Ctenomys*. In: Nevo E, Reig O, editors. *Evolution*  
881 *of subterranean mammals at the organismal and molecular levels*. Wiley-Liss; 1990.  
882 pp. 71–96.



- 883 13- Pearson OP. Biology of the subterranean rodents, *Ctenomys*, in Peru. Memorias del  
884 Museo de Historia Natural "Javier Prado". 1959; 9: 3-56.
- 885 14- Busch C, Malizia AI, Scaglia OA, Reig, OA. Spatial distribution and attributes of a  
886 population of *Ctenomys talarum* (Rodentia: Octodontidae). *Journal of Mammalogy*.  
887 1989; 70: 204-208.
- 888 15- Novak RM. Walker's mammals of the world. The Johns Hopkins University Press; 1999.
- 889 16- Busch C, Antinuchi CD, del Valle JC, Kittlein M, Malizia, AI, Vassallo AI, Zenuto RR.  
890 Population ecology of subterranean rodents. In: Lacey EA, Cameron G, Patton JL,  
891 editors. Life underground: the biology of subterranean rodents. University of Chicago  
892 Press; 2000. pp. 183-226.
- 893 17- Francescoli G. Sensory capabilities and communication in subterranean rodents. In:  
894 Lacey EA, Cameron G, Patton JL, editors. Life underground: the biology of subterranean  
895 rodents. University of Chicago Press; 2000. pp. 111-144.
- 896 18- Zenuto RR, Fanjul MS. Olfactory discrimination of individual scents in the subterranean  
897 rodent *Ctenomys talarum* (tuco-tuco). *Ethology*. 2002; 108: 629-641.
- 898 19- Francescoli, G. A preliminary report on the acoustic communication in Uruguayan  
899 *Ctenomys* (Rodentia, Octodontidae): basic sound types. *Bioacoustics*. 1999; 10: 203-  
900 218.
- 901 20- Schleich C, Busch C. Acoustic signals of a solitary subterranean rodent *Ctenomys*  
902 *talarum* (Rodentia: Ctenomyidae): physical characteristics and behavioural  
903 correlates. *Journal of Ethology*. 2002; 20: 123-131.
- 904 21- Nevo E, Heth G, Pratt H. Seismic communication in a blind subterranean mammal: A  
905 major somatosensory mechanism in adaptive evolution underground. *Proceedings of*

906 the National Academy of Sciences of the United States of America. 1991; 88: 1256–  
907 1260.

908 22- Francescoli G, Altuna CA. Vibrational communication in subterranean rodents: The  
909 possible origin of different strategies. *Evolution of Communication*. 1998; 2: 217-231.

910 23- Lange S, Burda H, Wegner RE, Dammann P, Begall S, Kawalika M. Living in  
911 a“stethoscope”: burrow-acoustics promote auditory specializations in subterranean  
912 rodents. *Naturwissenschaften*. 2007; 94:134–138 DOI 10.1007/s00114-006-0168-0.

913 24- Schleich CE, Antenucci DC. Sound transmission and burrow characteristics of the  
914 subterranean rodent *Ctenomys talarum* (Rodentia: Ctenomyidae). *Acta Theriologica*.  
915 2009; 54:165–170 DOI 10.1007/BF03193172.

916 25- Amaya JP, Areta JI, Valentinuzzi VS, Zufiaurre E. Form and function of long-range  
917 vocalizations in a Neotropical fossorial rodent: the Anillaco Tuco-Tuco (*Ctenomys* sp.).  
918 *PeerJ*. 2016; 4: e2559.

919 26- Francescoli, G. Tuco-tucos vocalization output varies seasonally (*Ctenomys pearsoni*;  
920 Rodentia, Ctenomyidae): implications for reproductive signaling. *Acta ethologica*.  
921 2011; 14: 1-6.

922 27- Freitas TRO. Family Ctenomyidae. In: Wilson DE, Lacher JrTE, Mittermeier RA, Ruff S,  
923 Martínez-Vilalta A, Cavallini P, editors. *Handbook of the Mammals of the World:*  
924 *Lagomorphs and Rodents I*. Vol. 6. Lynx Edicions; 2016. pp. 499-534.

925 28- Bidau, CJ. Family Ctenomyidae Lesson, 1842. In: Patton JL, Pardiñas UFJ, D’Elía G,  
926 editors. *Mammals of South America*. The University of Chicago Press; 2015. pp.818-  
927 877.

- 928 29- Schleich CE, Busch C. Acoustic signals of a solitary subterranean rodent *Ctenomys talarum*  
929 (Rodentia: Ctenomyidae): Physical characteristics and behavioural correlates. Journal of  
930 Ethology. 2002; 20: 123-131.
- 931 30- Schleich CE, Busch C. Juvenile vocalizations of *Ctenomys talarum* (Rodentia:  
932 Octodontidae). Acta theriologica. 2002; 47: 25-33.
- 933 31- Francescoli G. Vocal signals from *Ctenomys pearsoni* pups. Acta Theriologica. 2001;  
934 46: 327-330.
- 935 32- Francescoli G. Geographic variation in vocal signals of *Ctenomys pearsoni*. Acta  
936 Theriologica. 2002; 47: 35-44.
- 937 33- Amaya JP, Areta JI. Ontogeny of long-range vocalizations in a Neotropical fossorial  
938 rodent: the Anillaco Tuco-Tuco (*Ctenomys* sp.). PeerJ. 2018; 6: e4334.
- 939 34- Francescoli G, Quirici V. Two different vocalization patterns in *Ctenomys* (Rodentia,  
940 Ctenomyidae) territorial signals. Mastozoología Neotropical. 2010; 17: 141-145.
- 941 35- Freitas TRO. Geografic distribution and conservation of four species of the genus  
942 *Ctenomys* in southern Brazil (Rodentia: Octodontidae). Stud Neotrop Fauna. 1995; 30:  
943 53-59.
- 944 36- Freitas TRO. Tuco-tucos (Rodentia, Octodontidae) in southern Brazil: *Ctenomys lami*  
945 spec. nov. separated from *C. minutus* Nehring 1887. Studies on Neotropical Fauna and  
946 Environment. 2001; 36: 1-8.
- 947 37- Da Silva, J, de Freitas, TR, Heuser, V, Marinho, JR, Erdtmann, B(2000). Genotoxicity  
948 biomonitoring in coal regions using wild rodent *Ctenomys torquatus* by Comet assay  
949 and micronucleus test. Environmental and molecular mutagenesis. 2000. 35: 270-278.

- 950 38- Parada A, D'elía G, Bidau CJ, Lessa EP. Species groups and the evolutionary  
951 diversification of tuco-tucos, genus *Ctenomys* (Rodentia: Ctenomyidae), Journal of  
952 Mammalogy. 2011; 92: 671-682.
- 953 39- Malizia AI. Population dynamics of the fossorial rodent *Ctenomys talarum* (Rodentia:  
954 Octodontidae). Journal of Zoology. 1998; 244: 545-551.
- 955 40- Fonseca MBD. Biologia populacional e classificação etária do roedor subterrâneo  
956 Tuco-Tuco *Ctenomys minutus* Nehring, 1887 (Rodentia, Ctenomyidae) na planície  
957 costeira do Rio Grande do Sul. Master Thesis; *Universidade Federal do Rio Grande do*  
958 *Sul*. 2003. Available from: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3403>
- 959 41- Malizia AI, Busch, C. Reproductive parameters and growth in the fossorial rodent  
960 *Ctenomys talarum* (Rodentia: Octodontidae). Mammalia. 1991; 55: 293-306.
- 961 42- Malizia AI, Busch C. Breeding biology of the fossorial rodent *Ctenomys talarum*  
962 (Rodentia: Octodontidae). Journal of Zoology. 1997; 242: 463-471.
- 963 43- Zenuto RR, Lacey EA, Busch C. DNA fingerprinting reveals polygyny in the subterranean  
964 rodent *Ctenomys talarum*. Molecular Ecology. 1999; 8: 1529-1532.
- 965 44- Bioacoustics Research Program. Raven Pro: Interactive Sound Analysis Software  
966 [Computer software]. Ithaca, NY: The Cornell Lab of Ornithology. 2014; Version 1.5.  
967 Available from: [www.birds.cornell.edu/raven](http://www.birds.cornell.edu/raven)
- 968 45- Tokumaru RS, Ades C, Monticelli PF. 2004. Individual differences in infant guinea pig  
969 pups isolation whistles. Bioacoustics. 2004; 14: 197-208.
- 970 46- Charif RA, Strickman LM, Waack AM. Raven Pro 1.4 User's Manual. The Cornell Lab of  
971 Ornithology; 2010.
- 972 47- Francescoli G, Quirici V, Sobrero R. Patterns of variation in the tympanic bullae of  
973 tuco-tucos (Rodentia, Ctenomyidae, *Ctenomys*). Acta Theriologica. 2012; 57:153-163.

- 974 48- Heth G, Frankenberg E, Nevo E. Adaptive optimal sound for vocal communication in  
975 tunnels of a subterranean mammal (*Spalax ehrenbergi*). *Experientia*. 1986; 42: 1287–  
976 1289.
- 977 49- Schleich C, Francescoli G. Three Decades of Subterranean Acoustic Communication  
978 Studies. In: Dent M, Fay R, Popper A. editors. *Rodent Bioacoustics*. Springer; 2018.  
979 pp. 43-69.
- 980 50- Burda H. Ear and eye in subterranean mole-rats, *Fukomys anselli* (Bathyergidae) and  
981 *Spalax ehrenbergi* (Spalacidae): progressive specialisation or regressive degeneration?  
982 *Animal Biology*. 2006; 56: 475-486.
- 983 51- Geva-Sagiv M, Las L, Yovel Y, Ulanovsky N. Spatial cognition in bats and rats: from  
984 sensory acquisition to multiscale maps and navigation. *Nature Reviews Neuroscience*.  
985 2015; 16: 94.
- 986 52- Kimchi T, Reshef M, Terkel J. Evidence for the use of reflected self-generated seismic  
987 waves for spatial orientation in a blind subterranean mammal. *Journal of Experimental*  
988 *Biology*. 2005; 208: 647-659.
- 989 53- Randall JA, McCowan B, Collins KC, Hooper SL, Rogovin K. (2005). Alarm signals of the  
990 great gerbil: Acoustic variation by predator context, sex, age, individual, and family  
991 group. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2005; 118: 2706–2714.
- 992 54- Heth G, Frankenberg E, Pratt H, Nevo E. Seismic communication in the blind  
993 subterranean mole rat: Patterns of head thumping and their detection in the *Spalax*  
994 *ehrenbergi* superspecies in Israel. *Journal of Zoology*. 1991; 224: 633–638.
- 995 55- Mundinger PC. Microgeographic and macrogeographic variation in the acquired  
996 vocalizations of birds. *Acoustic communication in birds*. 1982; 2: 147-208.

- 997 56- Slabbekoorn H, Smith TB. Habitat-dependent song divergence in the little greenbul:  
998 An analysis of environmental selection pressures on acoustic signals. *Evolution*. 2002;  
999 56: 1849-1858.
- 1000 57- Toledo LF, Garcia PCA, Lingnau R, Haddad CFB. A new species of *sphaenorhynchus*  
1001 (anura; hylidae) from Brazil. *Zootaxa*. 2007; 1658: 57-68.
- 1002 58- Phillips CT, Johnston CE. Evolution of acoustic signals in *cyprinella*: Degree of similarity  
1003 in sister species. *Journal of Fish Biology*. 2009; 74: 120-132.
- 1004 59- Francescoli G. Environmental factors could constrain the use of long-range vocal  
1005 signals in solitary tuco-tucos (*Ctenomys*; Rodentia, Ctenomyidae) reproduction.  
1006 *Journal of Ecoacoustics*. 2017; 1: 1-9. Doi 10.22261/JEA.R7YFPO
- 1007 60- Naguib M, Hammerschmidt K, Wirth J. Microgeographic variation, habitat effects and  
1008 individual signature cues in calls of chiffchaffs *Phylloscopus collybita*  
1009 *canarensis*. *Ethology*. 2001; 107: 341-355.

1010

## 1011 **Conclusões finais**

1012 Esse estudo foi realizado a partir do desenvolvimento de uma metodologia incipiente,  
1013 pois não foi encontrado nenhum trabalho registrado bibliograficamente com metodologia  
1014 para captação sonora de roedores subterrâneos dentro de suas tocas em ambiente natural.  
1015 Até recentemente havia uma dificuldade em realizar gravações diretas nos túneis,  
1016 notoriamente o ambiente subterrâneo apresenta suas dificuldades. Os estudos com  
1017 vocalização de *Ctenomys* em campo foram todos gravados do lado de fora das tocas [1, 2],  
1018 porém na utilização desse método a captação de um sinal sonoro completo não é garantida  
1019 [2]. Segundo a metodologia que aplicamos temos uma grande margem de confiabilidade de

1020 que os sinais emitidos no interior dos túneis foram capturados por completo. A metodologia  
1021 utilizada está aberta a aprimoramentos, todavia conseguiu efetivar um dos principais  
1022 propósitos do trabalho, obter vocalizações orgânicas dos tuco-tucos interferindo o mínimo  
1023 possível no animal e em seu habitat.

1024           Para testar outras hipóteses, principalmente as que relacionem as estruturas dos sinais  
1025 com a função das mesmas ou a motivação do animal, são necessários estudos mais  
1026 aprofundados que permitam acesso animal e conseqüentemente ao comportamento exibido  
1027 no momento da emissão sonora, seja em laboratório ou desenvolvendo alguma técnica que  
1028 possibilite obter imagem no interior de seus túneis. Com a evolução da tecnologia, pesquisas  
1029 menos invasivas se tornam cada vez mais possíveis. É necessário se fazer parcerias com outras  
1030 áreas de conhecimento, para que, por um meio multidisciplinar, consigamos aplicar  
1031 metodologias que reduzam o mínimo possível a interferência no meio ambiente e no animal.

1032           Ainda há uma infinidade de perguntas sem respostas no campo da bioacústica, com  
1033 relação a produção, evolução e percepção dos sinais acústicos, a influência do ruído  
1034 antropogênico na comunicação animal, a caracterização dos chamados vocais em um  
1035 ambiente natural, a composição das paisagens acústicas, e outras mais. Como Frank Beach [3]  
1036 aconselhou: “Seria muito melhor se alguns de nossos experimentalistas bem treinados fossem  
1037 encorajados a agir com mais pioneirismo”.

1038

## 1039 **Referências**

1040           1- Francescoli G. Geographic variation in vocal signals of *Ctenomys pearsoni*. Acta  
1041           Theriologica. 2002; 47: 35-44.

- 1042 2- Amaya JP, Areta JI, Valentinuzzi VS, Zufiaurre E. Form and function of long-range  
1043 vocalizations in a Neotropical fossorial rodent: the Anillaco Tuco-Tuco (*Ctenomys* sp.).  
1044 PeerJ. 2016; 4: e2559
- 1045 3- Beach, FA. The snark was a boojum. *American Psychologist*. 1950; 5: 115–124.