

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA APLICADA
AO MANEJO E CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS.**

JÉSSICA FERNANDES DE MELO

**O BOTO VERMELHO: HÁ DIFERENÇA BIOACÚSTICA
ENTRE AS ESPÉCIES E SUBESPÉCIES DO GÊNERO
INIA?**

**JUIZ DE FORA
2018**

JÉSSICA FERNANDES DE MELO

**O BOTO VERMELHO: HÁ DIFERENÇA BIOACÚSTICA
ENTRE AS ESPÉCIES E SUBESPÉCIES DO GÊNERO
INIA?**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais da Universidade Federal de Juiz de Fora, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Ecologia.

Orientador: Artur Andriolo

**JUIZ DE FORA
ABRIL DE 2018**

“Dedico este trabalho a todos que fizeram parte, contribuindo tanto para a pesquisa, quanto para meu lado pessoal.”

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos botos, à ciência e à biologia. Este trabalho, para mim, é muito mais que uma obtenção de título. A pesquisa nesta área, por nos proporcionar um maior entendimento sobre a natureza, tem a capacidade de nos despertar maior empatia por seres não humanos. Entender um pouco mais como eles vivem me engrandece como humana e me instiga cada vez mais a lutar pela conservação da natureza.

À minha família, meu porto seguro. Foram dois anos intensos que me fizeram enxergar melhor a importância de vocês na minha vida. Mesmo alguns não entendendo até hoje como eu trabalho com golfinhos em Minas Gerais, vocês me deram um apoio enorme apenas por estarem ao meu lado.

Ao meu orientador Dr. Artur Andriolo, que desde a graduação vem me guiando e influenciando na pesquisa. Obrigada por confiar em mim para realizar este trabalho! É muita sorte ter não só um grande pesquisador, como uma grande pessoa sendo meu orientador. Cresci muito trabalhando com você, e espero que meu caminho continue cruzando com pessoas assim.

Ao meu companheiro Vinícius, que tenta sempre me mostrar o caminho do amor. Você chegou já no final do trabalho, mas veio na hora certa. Gratidão por estar ao meu lado nesse momento de tanta mudança pessoal e profissional.

À Anne, minha migs gêmea de pensamento e ideologia, que cruzou meu caminho graças ao LABEC e já me cativou na primeira conversa. Nossa amizade se fortalece cada vez mais, e espero que você nunca saia da minha vida! Que haja sempre vontade de mudar o mundo em nós, e também de tomar um chopp numa segunda-feira.

Ao pessoal do LABEC, Fran, Thiago, Anne, Mari, Brunas, Gustavo, Yasmim, Ellen, João e Natália. Obrigada por sempre estarem dispostos a compartilhar conhecimentos e dúvidas, e por contruibuírem por um mundo melhor, onde os animais são vistos com a mesma importância que nós.

À Mari Paschoalini por ter feito possível esse trabalho de comparação das espécies do boto. Obrigada por levar todo o equipamento de acústica pra campo e disponibilizar os dados pro meu trabalho.

À Bruna Pagliani, que foi uma ajuda enorme no meu campo na Amazônia. Obrigada por passar calor, sofrer com mosquitos, com ônibus quebrado, com calor mais uma vez, com saudade do namorado, com falta de comunicação, enfim... Mesmo não sendo um campo tão

fácil, eu amei ter tido essa experiência e espero que você tenha gostado também. Nossas tentativas falhas de foto de yoga nunca sairão da minha cabeça.

À Samara, mais conhecida como Samara Ariranha, e ao seu companheiro, Pedro, por serem os melhores anfitriões, pessoas incríveis e totalmente dispostas em ajudar. Meu campo teria sido 10 vezes mais difícil sem a ajuda de vocês, e sou muitíssima grata por isso.

Aos amigos da pós em Ecologia pela união e amizade que fizemos nesse tempo.

Às biologatas. Cada um seguiu um caminho diferente, mas vocês foram essenciais na graduação e continuam sendo parte da minha vida.

Agradeço muito à arte, principalmente à dança, por ter me mudado completamente. Hoje não enxergo minha vida sem esse outro sonho além da biologia. Graças a ela, pude manter a esperança e entender meu lugar no mundo. E continuei vendo a biologia não apenas como uma ciência metodológica e supostamente exata, mas também como uma arte.

Ao veganismo, um ar de esperança e confiança de que o mundo pode ser bom. Pelas pessoas, pelos animais, pelo planeta.

Ao feminismo, que me fez enxergar o tamanho da importância da mulher na ciência. Que estejamos sempre unidas a favor de uma sociedade justa. Vai ter mulher na ciência sim, vai ter mulher fazendo campo pesado sim! Porque a gente pode tudo.

Ao Bill Rossiter por ser um enorme apoio para as pessoas que trabalham com Cetáceos poderem ir atrás dos sonhos. Agradeço pelo apoio financeiro para ir ao XI Congresso de la Sociedad Latinoamericana de Especialistas en Mamíferos Acuáticos e para realizar meu campo na Amazônia.

Ao Instituto Aqualie também pelo apoio financeiro para a realização do campo na Amazônia.

Aos trabalhadores do Parque Estadual do Cantão pelo maravilhoso apoio em campo, tanto com alojamento, cozinha, caronas, a até por me apresentar a tradicional festa junina de Caseara.

Ao Instituto Araguaia pela recepção, que mesmo curta, foi ótima!

Ao programa de pós-graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação de Recursos Naturais pela oportunidade de me tornar Mestre.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

Finalmente, a todos que irão dedicar um tempo para ler este trabalho. Espero que ele contribua para um maior entendimento sobre a bioacústica dos botos e sua importância para a pesquisa.

*"[...] Entendo bem o sotaque das águas
Dou respeito às coisas desimportantes
e aos seres desimportantes.*

Prezo insetos mais que aviões.

*Prezo a velocidade
das tartarugas mais que a dos mísseis.
Tenho em mim um atraso de nascença.*

*Eu fui aparelhado
para gostar de passarinhos.*

Tenho abundância de ser feliz por isso.

Meu quintal é maior do que o mundo.

Sou um apanhador de desperdícios:

*Amo os restos
como as boas moscas.*

Queria que a minha voz tivesse um formato de canto.

Porque eu não sou da informática:

eu sou da invencionática.

Só uso a palavra para compor meus silêncios."

(Manoel de Barros)

RESUMO

O boto amazônico é representante da família Iniidae, que atualmente é composta por três espécies: *Inia geoffrensis*, *I. boliviensis* e *I. araguaiaensis*, sendo que a espécie *I. geoffrensis* possui duas subespécies: *I. g. geoffrensis* e *I. g. humboldtiana*. O que as definem como espécies e subespécies distintas são diferenças moleculares e poucas características morfológicas. A bioacústica pode ser mais uma ferramenta para comparar as espécies e subespécies de boto. Especialmente através das análises dos sinais emitidos de ecolocalização, já que estes são influenciados por particularidades das estruturas morfológicas do crânio. Sendo assim, foi feita uma análise dos cliques de ecolocalização destas espécies com o objetivo de identificar possíveis diferenças nas emissões. As coletas dos dados ocorreram nos rios Guaviare (*I. g. humboldtiana*); Madeira (*I. boliviensis*, *I. g. geoffrensis* e híbridos); Xingu (*I. g. geoffrensis*); e no Parque Estadual do Cantão (*I. araguaiaensis*). Os sons foram captados por um hidrofone Cetacean Research™ C54XRS (+3/- 20 dB, - 185 dB re: 1V/μPa), estático de captação passiva e posteriormente transferidos para uma placa digitalizadora Daq/3000 Series, com resposta de frequência 200 kHz/24 bits. A análise acústica foi feita através do software Raven Pro. 1.5 e do MatLab R2014A, e a análise estatística no programa R (R CORE TEAM, 2015). No total, 158 cadeias de cliques foram analisadas (5851 cliques) em 86 minutos de gravação. Em todos os locais, os cliques apresentaram médias de frequência menores quando comparados a estudos anteriores. De acordo como o teste Kruskal-Wallis, houve diferença significativa entre as espécies para todos os parâmetros analisados (p-value < 0,001). O teste Mann-Whitney foi realizado para comparar os cliques entre duas localidades amostradas, através dos parâmetros de pico de frequência, e frequências em 3 e 10 dB. Apenas a banda de frequência em 3dB ente Cantão e Madeira e o pico de frequência entre Guaviare e Madeira não apresentaram diferenças significativas (p-value > 0,05). As diferenças encontradas reforçam as separações de espécie e subespécies já descritas, sendo mais um indício de que a família Iniidae realmente possui, pelo menos, três espécies distintas.

Palavras-chave: Boto. Cliques de ecolocalização. Diferenciação acústica. Pico de frequência. *Inia araguaiaensis*.

ABSTRACT

The Amazon River Dolphin is a representative of the Iniidae family, which currently consists of three species: *Inia geoffrensis*, *I. boliviensis* and *I. araguaiaensis*, and the species *I. geoffrensis* has two subspecies: *I. g. geoffrensis* and *I. g. humboldtiana*. Molecular differences and small morphological characteristics define them as different species and subspecies of Amazon River Dolphin. The bioacoustics can be a tool for the study of species differentiation, particularly through the analyzes of the emitted signals of echolocation, since these are influenced by peculiarities of the morphological structures of the skull. Therefore, their echolocation clicks were analyzed with the aim of identify possible differences in acoustic emissions. The acoustic data collection occurred in the rivers Guaviare (*I. g. humboldtiana*); Madeira (*I. boliviensis*, *I. g. geoffrensis* and hybrids); Xingu (*I.g.geoffrensis*); and in the Cantão State Park (*I. araguaiaensis*). The sounds were captured by a Cetacean Research™ C54XRS (+ 3 / - 20 dB, - 185 dB re: 1V / μ Pa) hydrophone, static passive pickup, and then the sounds were transferred to a Daq / 3000 Series digitizer board, with frequency of 200 kHz / 24 bits. An acoustic analysis was performed using the software Raven Pro. 1.5 and MatLab R2014A, and the statistical analysis with R program (R CORE TEAM, 2015). In total, 158 clicks were analyzed (5851 clicks) in 86 minutes of recording. In all places recorded, the clicks presented lower frequency averages when compared to previous studies. According to the Kruskal-Wallis test, there was a significant difference among species for all analyzed parameters (p-value <0.001). The Mann-Whitney test was performed to compare the clicks between two sampled sites, through the parameters of peak frequency, and bandwidth in 3 and 10 dB. Only the bandwidth in 3dB between Cantão and Madeira and the peak frequency between Guaviare and Madeira were not significant (p-value > 0.05). The acoustical differences reinforce the species and subspecies separations already described, being another indication that the Iniidae family actually has, at least, three distinct species.

Keywords: Amazon river dolphin. Echolocation clicks. Acoustic differentiation. Peak frequency. *Inia araguaiaensis*.

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1: Análise filogenética mostrando a proximidade da maioria das espécies de golfinhos de rio (*Lipotes vexillifer*, *Inia geoffrensis*, *I. boliviensis* e *I. araguaiaensis*, *Pontoporia blainvillei*, *Platanista g. gangetica* e *Platanista g. minor*). Fonte: Hrbek *et al.* (2014). 2
- Figura 2: Indivíduos da família Iniidae representados no rio Xingu (*Inia g. geoffrensis*), rio Guaviare (*Inia g. humboldtiana*), Parque Estadual do Cantão (*Inia araguaiaensis*) e rio Madeira (*Inia sp.*). 5
- Figura 3: Mapa mostrando a distribuição das espécies e subespécies de *Inia* (*Inia geoffrensis geoffrensis*, *Inia g. humboldtiana*, *Inia boliviensis* e *Inia araguaiaensis*). Fonte: Hrbek *et al.* (2014). 6
- Figura 4: Fotografia de um único indivíduo de *I. geoffrensis* ilustrando sua flexibilidade. Fonte: TRONE *et al.* (2015). 7
- Figura 5: Ilustração representando um corte vertical e horizontal do tecido adiposo da cabeça mostrando a localização de tecidos distintos definidos por uma composição lipídica e morfologia anatômica. Fonte: LITCHIFIELD & GREENBERG (1978). 11
- Figura 6: Mapa com os pontos de coleta das vocalizações de *Inia sp.* As linhas coloridas mostram o percurso dos rios Guaviare, Madeira, Xingu e Araguaia, respectivamente. O Parque Estadual do Cantão está inserido na área do rio Araguaia. 16
- Figura 7: Rio Guaviare. Foto: Mariana Paschoalini Frias. 17
- Figura 8: Mapa das sub-bacias que compõem a bacia brasileira do rio Madeira. 18
- Figura 9: Rio Madeira. Foto: Mariana Paschoalini Frias. 19
- Figura 10: Igarapé “Furo Irapari” no Rio Xingu. Foto: Mariana Paschoalini Frias. 20

| | |
|--|----|
| Figura 11. Mapa da área total do Parque Estadual do Cantão. Mapa do território brasileiro (acima), mapa do Estado do Tocantins (centro) e mapa do Parque Estadual do Cantão (abaixo)..... | 20 |
| Figura 12. Período de cheia no Parque Estadual do Cantão, típica floresta de igapó. | 21 |
| Figura 13. Período de seca no Parque Estadual do Cantão. Lagos isolados e surgimento de bancos de areias (praias)..... | 21 |
| Figura 14: Uma cadeia de cliques produzida por <i>Inia</i> sp. | 23 |
| Figura 15: Gráfico mostrando as médias (colunas) e desvio padrão (linhas) dos parâmetros analisados nos cliques das espécies de <i>Inia</i> sp. em cada lugar amostrado (Guaviare: <i>I. g. humboldtiana</i> ; Madeira: <i>I. boliviensis</i> , <i>I. g. geoffrensis</i> e híbridos; Xingu: <i>I. g. geoffrensis</i> ; Cantão: <i>I. araguaiaensis</i>). | 26 |

ÍNDICE DE TABELAS

- Tabela 1. Estatística descritiva dos cliques das espécies de *Inia* sp. separadas pelos locais gravados (Guaviare: *I. g. humboldtiana*; Madeira: *I. boliviensis*, *I. g. geoffrensis* e híbridos; Xingu: *I. g. geoffrensis*; Cantão: *I. araguaiaensis*) (média \pm desvio padrão; valor máximo – valor mínimo). 25
- Tabela 2. Comparação dos cliques das diferentes espécies de *Inia* representadas pelos locais de ocorrência. A comparação foi feita entre dois lugares através do teste Mann-Whitney 27
- Tabela 3. Comparação dos parâmetros dos cliques de *Inia g. geoffrensis* analisados neste trabalho com estudos anteriores. 29

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. Introdução e revisão da literatura..... | 1 |
| 1.1 Características gerais do boto..... | 1 |
| 1.2 Bioacústica..... | 9 |
| 2. Objetivos..... | 15 |
| 2.1 Objetivo geral..... | 15 |
| 2.1 Objetivo específico..... | 15 |
| 3. Material e Métodos..... | 16 |
| 3.1 Área de estudo..... | 16 |
| 3.2 Coleta dos dados..... | 22 |
| 3.3 Análise dos dados..... | 23 |
| 4. Resultados..... | 25 |
| 5. Discussão..... | 28 |
| 5.1 Caracterização dos cliques de ecolocalização..... | 28 |
| 5.2 Diferenciação das espécies e subespécies..... | 30 |
| 5.3 Conservação..... | 32 |
| 6. Conclusão..... | 35 |
| 7. Referências bibliográficas..... | 36 |

1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Características gerais do boto

A ordem Cetartiodactyla é composta por mais de 80 espécies divididas em duas subordens: Mysticeti, composta por 4 famílias, seis gêneros e pelo menos 13 espécies (REEVES *et al.*, 2002) e Odontoceti composta por 10 famílias, 40 gêneros e pelo menos 70 espécies. O primeiro grupo são as baleias com barbatana córnea e espiráculo com duas aberturas externas (RIDGWAY *et al.* 1997), já o segundo são os golfinhos com dentes e orifício respiratório (espiráculo) com apenas uma única abertura externa (PINEDO *et al.*, 1992). Dentro dos Odontoceti, poucas espécies constituem os chamados golfinhos de rio. Na Ásia estão presentes as espécies *Lipotes vexillifer* (MILLER, 1918), antigo habitante do rio Yang-Tsé (HAMILTON *et al.*, 2001) e já considerado funcionalmente extinto; e *Platanista minor* (ROXBURGH, 1801) e *Platanista gangetica* (ROXBURGH, 1801) no Rio Ganges (duas subespécies). Na América do Sul encontram-se os outros golfinhos de rio: *Pontoporia blainvillei* (GERVAIS & D'ORBUGNY, 1844), que vive tanto em águas costeiras como em água doce, sendo encontrada do norte do Golfo San Matias, Argentina, até o Espírito Santo, Brasil; *Sotalia fluviatilis* (GERVAIS & DEVILLE, 1853), encontrado no rio Amazonas; e as três espécies da família Iniidae – *Inia geoffrensis* (de BLAINVILLE, 1817), também localizado nos rios Amazonas e Orinoco; *I. boliviensis* (D'ORBIGNY, 1834) na Bolívia nos rios Mamoré, Itenez e Madeira, ocorrendo também no alto rio Madeira no Brasil (TRUJILLO *et al.*, 2011); e *I. araguaiaensis* (HRBEK *et al.*, 2014) nos rios Araguaia e Tocantins no Brasil.

Os golfinhos de rio (exceto *Sotalia fluviatilis*) são morfológica e filogeneticamente distintos dos golfinhos marinhos e a maioria é restrita a ecossistemas de água doce (HAMILTON *et al.*, 2001). Possuem uma história evolutiva longa e independente, sendo um táxon altamente modificado, possuindo mais autopomorfias do que caracteres compartilhados úteis para determinar suas afiliações (MESSENGER, 1994). Morfologicamente, eles possuem um alongamento no rosto e sínfise mandibular, sendo estas características primitivas entre os odontocetos (HAMILTON *et al.*, 2000).

Percorrendo um pouco pela historia evolutiva, diversas pesquisas sugerem que as incursões marinhas no Mioceno penetraram profundamente na América do Sul continental

(HOORN *et al.*, 1995; LOVEJOY *et al.*, 1998). No norte, as incursões foram ao longo do rio Amazonas e no sul, ao longo da bacia do rio Paraná (COZZUOL, 1996). Possivelmente, as bacias dos rios Paraná e Amazonas se conectaram durante o alto nível do mar no Mioceno, dividindo o continente por uma via marítima e formando o chamado “Paranense Sea” (VON IHERING, 1927). Hamilton *et al.* (2000) propôs a hipótese de que os golfinhos entraram na via marítima pelo norte, chegando até o sudeste do Oceano Atlântico. Posteriormente a redução do nível do mar drenou o mar interior e separou as bacias do norte e sul, isolando os animais. Os ancestrais da família Iniidae permaneceram na imensa bacia Amazônica e evoluíram durante a transformação da Amazônia em um sistema extraordinariamente grande, diverso e abundante. Ainda de acordo com estes autores, os fósseis iniid dos gêneros *Ischyrorhynchus* e *Saurocetes* encontrados ao longo das margens do Rio Paraná pertencem ao clado que desapareceu com a retração do ecossistema marinho continental.

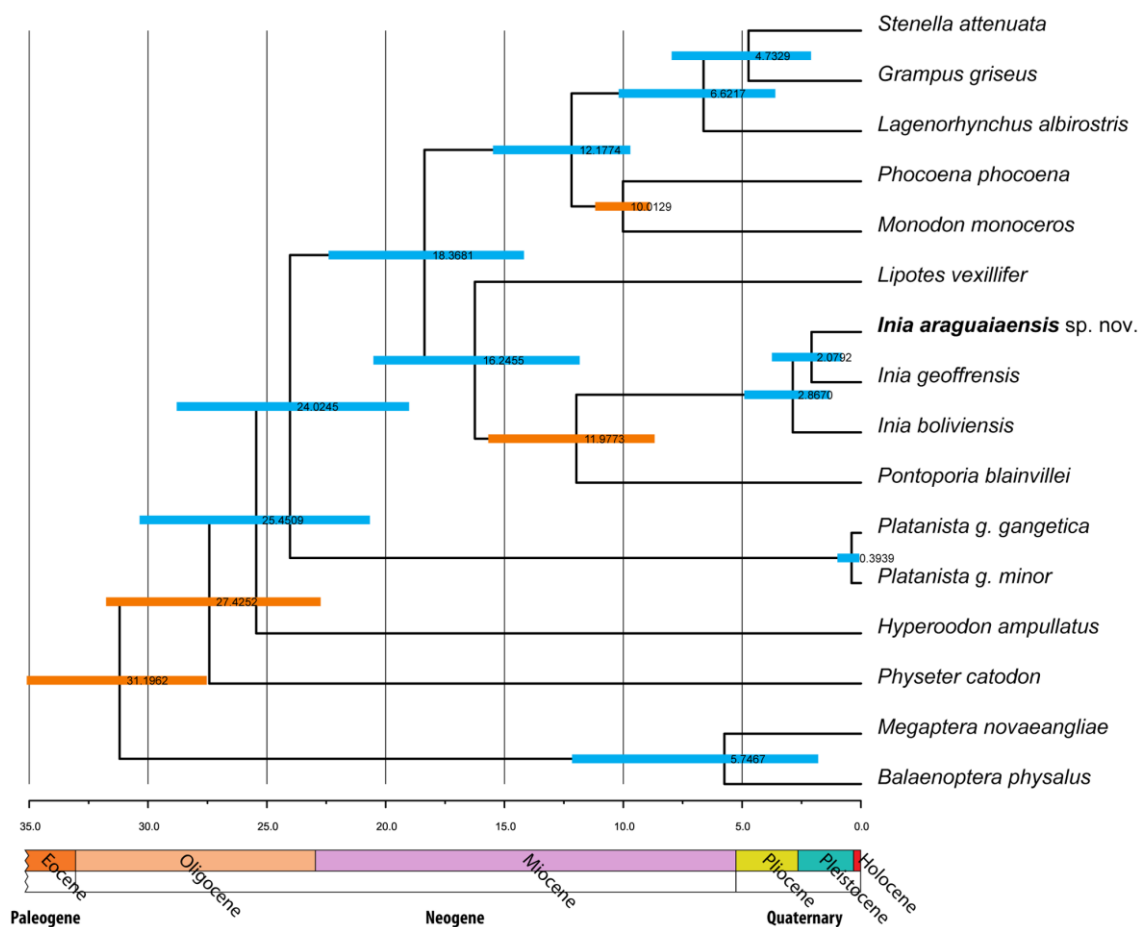


Figura 1: Análise filogenética mostrando a proximidade da maioria das espécies de golfinhos de rio (*Lipotes vexillifer*, *Inia geoffrensis*, *I. boliviensis* e *I. araguaiaensis*, *Pontoporia blainvillei*, *Platanista g. gangetica* e *Platanista g. minor*). Fonte: Hrbek *et al.* (2014)

Até 2014 acreditava-se que a família Iniidae era dividida em duas espécies: *I. geoffrensis* e *I. boliviensis*. As duas apresentam distribuição alopátrica e não possuem características externas marcantes que as distinguem. As diferenças entre as duas espécies são basicamente moleculares, como corroboram os estudos de Hamilton *et al.* (2001), Banguera *et al.* (2002) e Ruiz Garcia *et al.* (2008).

Por muito tempo, pensava-se que as corredeiras do rio Madeira eram uma barreira geográfica responsável pela separação do boto nessas duas espécies e, portanto, *I. boliviensis* ocorria apenas a montante (rio acima) das corredeiras na parte boliviana da sub-bacia do rio Madeira. No entanto, Gravena *et al.* (2014) publicou um estudo sobre a distribuição de *I. boliviensis* no qual todos os animais estudados que se situam a montante e a jusante (rio abaixo) das corredeiras até perto da foz do rio Madeira foram identificados como *I. boliviensis* utilizando-se DNA mitocondrial. Best e da Silva (1993) já haviam sugerido que os botos podiam atravessar as corredeiras do rio Madeira durante a cheia, o que de fato acontecera. Sendo assim, o rio Madeira atua como uma barreira em termos de dificultar a troca de genes entre as populações, mas não impossibilita o movimento dos animais. Em 2015, Gravena *et al.* (2015) detectaram as espécies *Inia geoffrensis*, *I. boliviensis* e híbridos no Rio Madeira, principalmente na região da corredeira de Teotônio. Os autores enfatizaram que mesmo havendo híbridos das duas espécies na zona de contato, elas permanecem distintas e seguem caminhos de evolução independentes, já que uma mudança na distribuição geográfica da espécie não invalida sua existência biológica.

A espécie *Inia geoffrensis* está distribuída nos rios da bacia Amazônica e Orinoco. Tem como principais limites para sua distribuição as corredeiras, cachoeiras e rios muito estreitos (BEST & DA SILVA, 1993). Esta espécie é subdividida em duas subespécies: *Inia geoffrensis geoffrensis*, encontrada nos rios do sistema Amazônico deste o delta, perto de Belém, até os principais afluentes do Rios Solimões, Branco, Negro e Tapajós (BEST & DA SILVA, 1993; PAVANATO *et al.*, 2016); e *Inia geoffrensis humboldtiana*, encontrada na bacia do rio Orinoco (PILLERI E GIHR, 1977). Foram encontradas diferenças morfológicas entre *I. g. humboldtiana*, *I. g. geoffrensis* e *I. boliviensis*. Pilleri e Gihhr (1977) encontraram diferenças no tamanho do rosto, no índice de largura zigomática e no número de dentes. Os machos de *I. g. humboldtiana* apresentaram tamanho corporal menor que as outras espécies/subespécies de acordo com Ruíz-Gacia *et al.* (2006).

A nova espécie da família, *Inia araguaiaensis* (ainda a ser reconhecida pelo comitê taxonômico de pequenos cetáceos da Marine Mammal Society), foi descrita por Hrbek *et al.* (2014). De acordo com este estudo, houve a separação das espécies *Inia araguaiaensis* e *Inia geoffrensis* pela barreira geográfica que separa o sistema de rios Araguaia-Tocantins da bacia do Rio Amazonas. As três espécies de *Inia* possuem divergências moleculares e morfológicas, sendo que *Inia araguaiaensis* possui mais diferenças morfológicas quando comparada a *I. boliviensis*. *Inia araguaiaensis* possui de 24 a 28 dentes, *I. geoffrensis* de 25 a 28, e *I. boliviensis* de 31 a 35 dentes. Além da quantidade, os dentes também possuem formatos distintos. Ainda de acordo com esses autores, *I. araguaiaensis* é espécie irmã de *I. geoffrensis*, compartilhando seu mais recente ancestral comum. O boto do araguaia (nome comum da espécie) foi localizado no baixo e médio Rio do Araguaia e no Rio Tocantins, nos estados do Pará, Goiás, Mato Grosso e Tocantins, sendo provável que a espécie ocorra em toda a bacia do Araguaia-Tocantins. O estado de conservação da espécie ainda não foi avaliado, mas os autores sugerem que há baixos níveis de diversidade genética e uma distribuição restrita, com provável baixo número de indivíduos. Além disso, a construção da hidrelétrica do Tucuruí em 1984 promoveu isolamento das populações, restringindo ainda mais sua distribuição (DA SILVA & MARTIN, 2010; ARAÚJO & WANG, 2012).



Figura 2: Indivíduos da família Iniidae representados no rio Xingu (*Inia g. geoffrensis*), rio Guaviare (*Inia g. humboldtiana*), Parque Estadual do Cantão (*Inia araguaiaensis*) e rio Madeira (*Inia sp.*).



Figura 3: Mapa mostrando a distribuição das espécies e subespécies de *Inia* (*Inia geoffrensis geoffrensis*, *Inia g. humboldtiana*, *Inia boliviensis* e *Inia araguaiaensis*). Fonte: Hrbek *et al.* (2014).

De uma forma geral, os botos do gênero *Inia* podem estar restritos aos lagos grandes e profundos e aos principais canais de rios durante a estação seca. Quando os rios aumentam o nível de água, os botos podem ser vistos nadando entre as árvores em áreas alagadas (BEST & DA SILVA, 1993). Possuem hábitos solitários, podendo ocorrer em grupos pequenos de 1 a 3 indivíduos, sendo mais frequentes aos pares (GOMEZ-SALAZAR *et al.*, 2012). Contudo, agregações associadas à alimentação e acasalamento ocorrem periodicamente (BEST & DA SILVA, 1989b). A maioria dos grupos de mais de dois indivíduos observados correspondem a mãe e filhote. (DA SILVA, 2002).

A maturidade sexual é diferente entre os gêneros. Os machos atingem a maturidade quando o peso dos testículos excede 0,4% do peso corporal, e o comprimento do corpo acima de 198 cm (BEST & DA SILVA, 1989). Já a fêmea atinge a maturidade sexual quando o comprimento do corpo atinge 180 cm (BEST & DA SILVA, 1989) e pela presença da *corpora lutea* e do corpo *albicans* nos ovários (HARRISON *et al.*, 1972). A gestação da espécie é estimada entre 10 e 12 meses, e o filhote nasce com aproximadamente 79 cm de comprimento (BEST & DA SILVA, 1989). *Inia geoffrensis* é a maior espécie de golfinho de

rio, na qual os machos são maiores (até 2,55 m de comprimento) e, geralmente, com uma coloração mais rosada que as fêmeas. Essas diferenças marcam a espécie como uma das que mais apresentam dimorfismo sexual entre os cetáceos (BEST & DA SILVA, 1993; DA SILVA, 2002; MARTIN & DA SILVA, 2006)

A coloração da pele dos botos varia em relação a idade (MARTIN & DA SILVA, 2006), transparência e da temperatura da água (BEST & DA SILVA, 1989). Os animais mais jovens apresentam coloração cinza mais escuro, e vão perdendo pigmentação com o envelhecimento, e a cor rosa (sem pigmentação) fica mais aparente (MARTIN & DA SILVA, 2006). Em relação à característica da água, os botos que vivem em águas brancas tendem a ficar predominantemente rosa quando adultos, enquanto que animais que vivem em águas escuras são predominantemente cinza, com a região ventral e abaixo das nadadeiras mais rosadas (BEST & DA SILVA, 1989). Os padrões de pigmentação juntamente com as cicatrizes na pele são recursos úteis para a realização de pesquisas através da metodologia de foto-identificação (GOMEZ-SALAZAR *et al.*, 2011).

O boto difere bastante de outras espécies de odontocetos de várias maneiras. Especificamente, ele não possui uma nadadeira dorsal proeminente que pode ser usado para a identificação individual (TRONE *et al.*, 2015). Eles também são extremamente flexíveis (BEST & DA SILVA, 1993), de tal modo que um único animal na superfície pode parecer ser dois indivíduos (Figura 4). Além disso, estes golfinhos são caracterizados por comportamento de superfície rasa, ou seja, eles sobem pouco à superfície, tornando difícil detectar um indivíduo quando a costeleta de superfície do rio é de apenas 15 cm (TRONE *et al.*, 2015).



Figura 4: Fotografia de um único indivíduo de *I. geoffrensis* ilustrando sua flexibilidade. Fonte: TRONE *et al.* (2015).

As características do habitat do boto são adicionais para tornarem esta espécie única entre os demais cetáceos (TRONE *et al.*, 2015). A bacia amazônica é sua principal distribuição. É regida pelo ciclo anual das águas, que se caracteriza por um aumento no nível da água em até 14 m entre as temporadas de baixa e alta de água na Amazônia peruana (MARTIN & DA SILVA, 2004). Durante o período de cheia, de novembro a julho, é formado um complexo mosaico de lagos, canais e canos ligados a um vasto corpo de água que flui pela floresta alagada, que também é chamada de igapó (BANNERMANN, 2001). O comportamento do boto é fortemente influenciado por este ciclo. Embora ele tenha um corpo bastante robusto, é capaz de entrar na floresta alagada devido à ausência de vértebras cervicais fundidas, lhe permitindo uma maior mobilidade para nadar entre árvores, raízes e troncos caídos. Esta característica não é presente em sua espécie simpátrica, o tucuxi (*Sotalia fluviatilis*), restringindo a permanência deste aos rios principais (BEST & DA SILVA, 1989B; BANNERMANN, 2001; MARTIN & DA SILVA, 2004b). De acordo com Gomez-Salazar *et al.* (2012), o boto é frequentemente encontrado em áreas próximas das margens dos rios, em lagos e afluentes. Uma outra importante característica do habitat no qual o boto é encontrado é a água opaca (ALIAGA-ROSSEL, 2002), o que torna impossível ver o animal quando este está abaixo da superfície. Juntas, as características biológicas da espécie e de seu habitat fazem com que estudos que utilizem apenas técnicas visuais sejam de certa forma limitados. (MARTIN & da SILVA, 2004).

Em relação a conservação, os golfinhos de rio verdadeiros estão entre os mais raros e mais ameaçados de todos os vertebrados que compreendem linhagens evolutivas vivas de alta distinção taxonômica (CASSENS *et al.*, 2000; HAMILTON *et al.*, 2001). Das quatro espécies existentes listadas pela IUCN, três estão listadas na lista vermelha das espécies ameaçadas (VU - *Pontoporia blainvillei*, EN - *Platanista gangetica*, CR – *Lipotes vexillifer*) enquanto *Inia geoffrensis* está na categoria “Dados Deficientes”, e em 2014 foi categorizada como “Em Perigo” pelo IBAMA.

Atualmente, os animais que compõem a família Iniidae vêm sofrendo diversas ameaças à sua conservação, como a poluição dos rios, construção de barragens, assoreamento de lagos e canais, construção de portos, degradação dos habitats, as ocasionais mortes por emalhe em redes de pesca e conflitos com pescadores (TRUJILLO *et al.*, 2011). E, especialmente no Brasil, a caça dos botos para a confecção de iscas para a pesca da Piracatinga, um bagre da

espécie *Calophysus macropterus*, exportado para a Colômbia com o nome de Mota (FRIAS, 2014). Pesquisadores apontam esta pesca como uma das principais ameaças a espécie atualmente, juntamente com a construção de barragens (GOMEZ *et al.*, 2008). A piracatinga tem sido pescada em larga escala para exportação, e as iscas podem ser feitas de carne de boto (DA SILVA & MARTIN, 2007, FLORES *et al.*, 2008, LOCH *et al.*, 2009), e de outros animais como o jacaré (VASCONCELOS, 2005; IRIARTE & MARMONTEL, 2013). Segundo os trabalhos citados, a caça é realizada em níveis insustentáveis para a viabilidade futura da população e medidas políticas e de cunho científico devem ser tomadas. Ameaças similares a essas ocorreram nos rios Chineses, levando à extrema redução populacional do baiji (*Lipotes vexillifer*) (SMITH *et al.*, 2008). Além disso, a crescente interação com humanos, onde há alimentação dos botos como atividade turística, também pode ser considerada uma ameaça aos animais. Os animais nessas condições podem ficar agressivos uns com os outros, já que há um aumento da competição, alterando todo o comportamento social natural dos botos (ALVES *et al.*, 2012).

De acordo com Ecologia e Ação (ECOIA *et al.*, 2017) existem agora 13 hidrelétricas operando nas áreas de distribuição do boto: 6 estão na bacia Amazônica, 3 na bacia do Orinoco e 4 na bacia Araguaia-Tocantins. Está planejado para serem construídas por volta de 150 novas barragens nessas três bacias até 2030, 55 delas sobrepondo a área de distribuição desses animais. As principais ameaças ao boto ligadas à construção de barragens são a fragmentação das populações, isolamento e extirpação, isolamento reprodutivo, perda de conexão do rio, mudanças nos ciclos hidrológicos, aumento da temperatura da água, acidificação da água, mudanças na velocidade e nível da água e mudança na diversidade de peixes (PASCHOALINI *et al.*, 2016).

1.2 Bioacústica

O som pode ser descrito como a passagem de flutuações de pressão através de um meio elástico, como resultado de um impulso vibracional transmitido ao meio. Um sinal acústico pode surgir a partir de uma série de fontes, como, por exemplo, pela turbulência de ar ou qualquer outro gás, pela passagem de um corpo por meio de um fluido, e o impacto de um sólido contra outro sólido (RAICHEL, 2006). Acústica refere-se ao estudo de som, ou seja, a sua produção, a transmissão através de meios sólidos e líquidos, e a qualquer outro fenômeno gerado por sua propagação através do ambiente (RAICHEL, 2006).

A energia acústica se propaga na água mais eficientemente do que quase qualquer forma de energia e pode ser utilizada pelos animais para uma variedade de propósitos, como também por cientistas interessados em estudar a vida animal no oceano (AU & HASTINGS, 2008). Sendo assim, o método mais eficaz para um animal executar várias funções associadas com o seu ciclo de vida, tais como comunicações, navegação, desvio de obstáculos, evitar e detectar presas é através da utilização da acústica tanto pela ecolocalização ativa ou passiva. Do mesmo modo, a localização, o movimento, a interação social, a densidade e outros aspectos da vida animal no mar pode ser estudado pelo uso de técnicas acústicas (AU & HASTING, 2008).

Os pesquisadores da bioacústica estão interessados em uma ampla variedade de questões relativas à recepção e utilização de sons por diferentes animais. A água, por ser um meio muito mais denso que o ar, apresenta alguns problemas para a recepção e transdução de sons para os órgãos auditivos dos animais. Portanto, a estrutura anatômica do sistema auditivo dos animais aquáticos deve ter determinadas características que são muito diferentes da estrutura do órgão auditivo em animais terrestres (AU & HASTING, 2008). Apesar da anatomia auditiva dos cetáceos seguir o padrão básico dos mamíferos, assim como a produção sonora, a audição desses animais também ocorre de forma distinta. O canal auditivo desses mamíferos aquáticos é muito estreito e obstruído por cera, ao contrário dos mamíferos terrestres que é preenchido de ar, perdendo, portanto, sua função condutiva primária (TYACK, 1999). O canal central da maxila é preenchido por gordura que, associada à camada óssea, conduz o som para uma fina área do osso timpânico, chamada de placa timpânica, presumida como análoga à membrana timpânica dos mamíferos terrestres (NUMMELA *et al.*, 1999, NUMMELA *et al.*, 2007).

Em geral, o número de cetáceos é maior em mares turvos e altamente produtivos, onde a visão é prejudicada. Espécies que habitam águas profundas ou turvas como rios, estuários e baías, onde a visibilidade não atinge um metro, utilizam da percepção acústica para garantir a navegação precisa, a captura de presas (por ecolocalização) e a comunicação (PARSONS & DOLMAN, 2003).

De maneira geral o som apresenta duas funções básicas para os cetáceos: comunicação e ecolocalização (HOFFMANN, 2004). Na maioria dos cetáceos, a comunicação intra-específica ocorre por meio de assobios, caracterizados por sons tonais de frequência constante ou variando ao longo do tempo, o que caracterizaria um som com frequência modulada, podendo conter harmônicos (LAMMERS *et al.*, 2003; SANTOS, 1998). A ecolocalização é

expressa por meio de cliques - sons pulsados utilizados para localizar objetos, cardumes, e se localizar no espaço (KAMMINGA *et al.*, 1993). Neste processo, os odontocetos emitem pulsos sonoros e analisam os ecos que retornam dos obstáculos em seu ambiente criando uma imagem tridimensional dos mesmos (AU, 2008). Esse é um sistema bastante sensível, através do qual os golfinhos são capazes de identificar presas bem pequenas, e navegar onde a visão é bastante limitada (MORRIS, 1989; KAMMINGA *et al.*, 1993). Não há outro método de comunicação (visual, olfativo, térmico ou eletromagnético) que possa combinar todos esses recursos juntos e que foi submetido a tal variação filogenética (BRUDZYNSKI, 2010). Já os sons pulsados explosivos – cadeias rápidas de cliques de frequência ultrassônica com pequeno intervalo interclique (menos de 10 ms) (LAMMERS *et al.*, 2004; JANIK, 2009) - ocorrem em contextos altamente sociais, como encontros agonísticos (LAMMERS *et al.*, 2003) e alimentação (JANIK, 2000; MILLER *et al.*, 2004; MAY-COLLADO & WARTZOK, 2010).

Os cetáceos produzem sons específicos para interações sociais, corte, comportamento agonístico, viagens e forrageamento (DÍAZ LÓPEZ, 2011; DUDZINSKI, 1996; HERZING, 1996). As canções de baleias-fin (*Balaenoptera physalus*, CROLL *et al.*, 2002), baleias bowhead (*Balaena mysticetus*, JOHNSON *et al.*, 2015) e baleias jubarte (*Megaptera novaeangliae*) desempenham um papel no acasalamento (PAYNE & McVAY, 1971; WINN & WINN, 1978). Golfinhos-roazes (*Tursiops truncatus*) usam assobios assinatura para identificação de indivíduos (CALDWELL & CALDWELL, 1965; JANIK & SAYIGH, 2013). As orcas (*Orcinus*, FORD, 1989, 1991) e cachalotes (*Physeter macrocephalus*, WEILGART & WHITEHEAD, 1997) têm dialetos pelo qual populações que vivem na mesma região geográfica pode ser distinguidas, enquanto a emissão de sinais de alta frequência produzidos por baleias orcas ainda possui sua função desconhecida (ANDRIOLO *et al.*, 2015). A comunicação é crucial na aprendizagem social (NOAD *et al.*, 2000; RENDELL & WHITEHEAD, 2003) em algumas espécies de mamíferos marinhos.

O gerador de som para o processo de ecolocalização está na passagem nasal direita do animal, diretamente na frente do crânio e logo atrás do grande "melão" na testa do animal. Wood (1961) e Norris (1968, 1975) descobriram que o melão funciona como um transdutor acústico e lente sônica que dá direcionalidade para produzir o som para uma ecolocalização mais focada. A parte posterior do melão interno tem uma forma cônica com seu ápice em um nó na conexão nasal direita (figura 5). Este nó atua como o gerador de pulsos da ecolocalização em vários Odontoceti (WOOD, 1961; NORRIS, 1968, 1975; NORRIS *et al.*, 1971), e parece que o mesmo é verdade para os integrantes do gênero *Inia*. O caminho principal para a transmissão de energia sonora situa-se a partir deste nó através do melão

interno. Todas as ondas sonoras que passam para trás na passagem nasal seriam dissipadas pela reflexão omnidireccional. Os raios de som que se movem para a frente através do melão interno de *Inia* são guiados pelos músculos contíguos e fibrosos e não adiposos (LITCHIFIELD & GREENBERG., 1978). Norris e Harvey (1974) mostraram que as ondas sonoras são fortemente refletidas em uma interface de gordura muscular nos golfinhos.

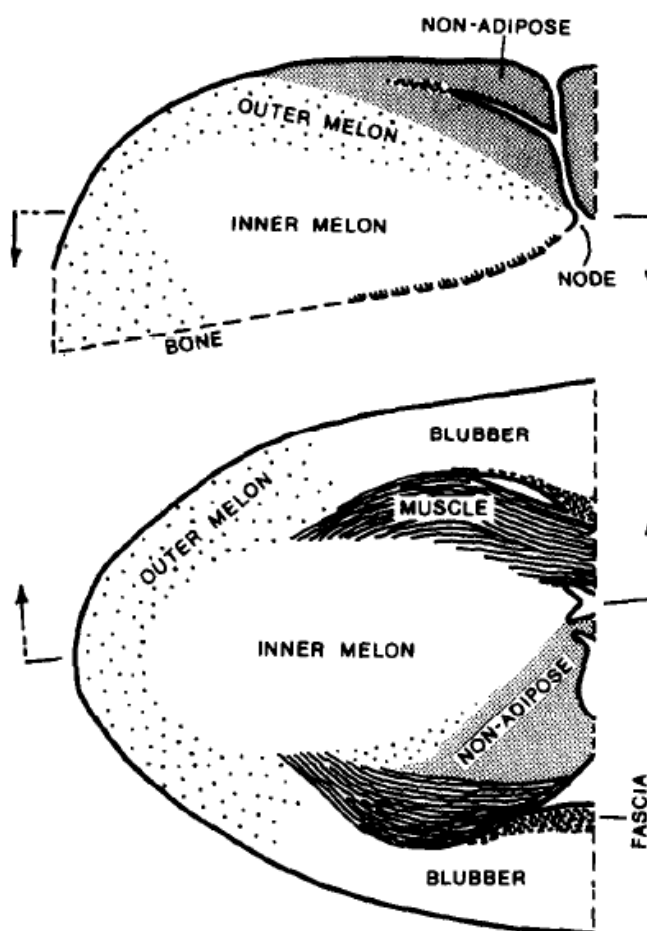


Figura 5: Ilustração representando um corte vertical e horizontal do tecido adiposo da cabeça mostrando a localização de tecidos distintos definidos por uma composição lipídica e morfologia anatômica. Fonte: LITCHIFIELD & GREENBERG (1978).

Os cliques de ecolocalização são pulsos curtos de banda larga com picos de frequência que variam de dezenas de kilohertz (por exemplo, golfinho-de-dentes-rugosos, *Steno bredanensis*, NORRIS & EVANS, 1966) para bem mais de 100 kHz (por exemplo, golfinho-nariz-de-garrafa, *Tursiops truncatus*, AU, 1980; o boto-de-Dall, *Phocoenoides dalli*, HATAKEYAMA & SOEDA, 1990). Estes cliques têm um tempo de subida rápido e uma curta duração, variando de aproximadamente 50 μ s (por exemplo, *T. truncatus*, AU, 1980) a

400 μ s (por exemplo, *P. dalli*, HATAKEYAMA & SOEDA, 1990). Cliques de ecolocalização geralmente ocorrem em cadeias que contêm poucas ou centenas de cliques e são usados para navegação e detecção de objetos e discriminação (AU, 1993).

Um sistema biossonar funcional exige cliques de alto nível de fonte para detectar e classificar presas em intervalos suficientes para que o animal encontre o alimento. Um nível de fonte alto é em parte obtido por alta direcionalidade. A direcionalidade é determinada pela relação entre o tamanho do órgão transmissor e o comprimento de onda do som projetado (URICK, 1983; AU, 1993) e conseqüentemente, pequenos animais que ecolocalizam devem usar frequências mais altas do que maiores espécies para alcançar uma direcionalidade similar (KYHN, 2010; KOBLITZ, 2012). Isso parece ser geralmente verdadeiro para baleias dentadas que produzem ecolocalização. No entanto, existem grandes diferenças em cliques de ecolocalização entre famílias diferentes de baleias dentadas e entre espécies dentro de algumas famílias que não são simplesmente um resultado do tamanho do corpo, mas podem ser relacionadas com as especialidades do habitat ou das presas (KYHN *et al.*, 2013).

Morcegos também são conhecidos por produzir sinais de ecolocalização espécie-específica, moldados por adaptação e evolução convergente (JONES & HOLDERIED, 2007). Diversos estudos mostraram que os sinais de ecolocalização dos morcegos microchiropterianos diferem no pico de frequência, largura de banda, duração e taxa de repetição do sinal em relação ao seu habitat (DENZINGER *et al.*, 2004; NEUWEILER, 2000).

As propriedades espectrais e temporais dos sinais acústicos de morcegos são fortemente otimizadas para navegação e alimentação nos nichos ecológicos das espécies (por exemplo, SCHNITZLER *et al.*, 2003; SIEMERS & SCHNITZLER, 2004). Essas adaptações de nicho especializado evoluíram de forma convergente várias vezes dentro de morcegos (JONES & TEELING, 2006; TEELING, 2009). Casos de convergência na evolução são relevantes para a nossa compreensão de seleção. A ecolocalização de morcegos e odontocetos difere em muitos aspectos, principalmente na forma como o sinal é produzido. No entanto, no nível de sequência de gene, como no gene auditivo *Prestin*, a evolução convergente ocorreu em linhagens não relacionadas de morcegos, assim como de golfinhos, aproximando estes mamíferos filogeneticamente distantes (LIU *et al.*, 2010).

O som é refletido em diferentes materiais dentro da cabeça gerando um conjunto de vários caminhos de pulsos fora do eixo com as propriedades espectrais específicas da espécie (BAUMANN-PICKERING *et al.*, 2010). Soldevilla *et al.* (2008) analisaram cliques no eixo e

fora do eixo do corpo do animal e argumentaram que, porque a orientação do animal vocalizante é desconhecida durante o monitoramento passivo acústico, examinar a informação espectral de todos os cliques registrados deve ser levado em consideração para identificação de espécies. Eles também concordam que cliques no eixo por si só podem não representar a variedade completa de cliques, e reflexões internas de pulsos podem revelar a anatomia do animal vocalizante e, portanto, mostrar um aspecto específico da espécie, observado apenas em cliques fora do eixo. Os autores sugeriram ainda que os picos espectrais são causados pela morfologia do crânio, sendo este um bom parâmetro para diferenciar espécies.

Os cliques variam em propriedades espectrais entre espécies e em algumas espécies, mesmo entre indivíduos (KYHN *et al.*, 2013). Sendo assim, a bioacústica pode ser uma ferramenta para diferenciar espécies de golfinhos. Através da análise dos cliques de ecolocalização, é possível distinguir as espécies, já que as características do som produzido pelo animal dependem da anatomia de seu crânio (WOOD, 1961; NORRIS, 1968, 1975: NORRIS *et al.*, 1971).

A maioria das pesquisas sobre as emissões sonoras subaquáticas de golfinhos foram conduzidas em ambiente marinho (e.g. WEILGART & WHITEHEAD, 1997; STAFFORD *et al.*, 2001; BAZÚA-DURÁN & AU, 2004; MORISAKA *et al.*, 2005; AU & HASTINGS, 2008; AZZOLIN *et al.*, 2013), e ainda há uma escassez de informações quanto à variação na produção acústica de golfinhos em ambientes de água doce (AMORIM *et al.*, 2016). Portanto, estudos que adicionam informação sobre a ecologia e biologia do boto vermelho são de extrema importância para sua conservação.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial da bioacústica como ferramenta para distinguir as espécies da família Iniidae através da descrição dos parâmetros acústicos dos cliques de ecolocalização dos animais.

2.2 Objetivo específico

Comparar os parâmetros acústicos dos cliques emitidos pelas três espécies e duas subespécies da Família Iniidae nos rios Madeira, Guaviare, Xingu e Araguaia.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A coleta de dados ocorreu em quatro regiões distintas, havendo o registro das três espécies de *Inia*, além da subespécie *Inia geoffrensis humboldtiana*. Foram coletados dados no rio Guaviare, localizado na Colômbia, onde a subespécie *Inia geoffrensis humboldtiana* está presente; na Amazônia brasileira foram amostrados o rio Madeira onde obteve-se registros das espécies *Inia geoffrensis geoffrensis* e *Inia boliviensis*, além de animais híbridos; no rio Xingu a espécie *Inia geoffrensis geoffrensis*; e no Parque Estadual do Cantão, localizado no rio Araguaia, a espécie *Inia araguaiaensis*.

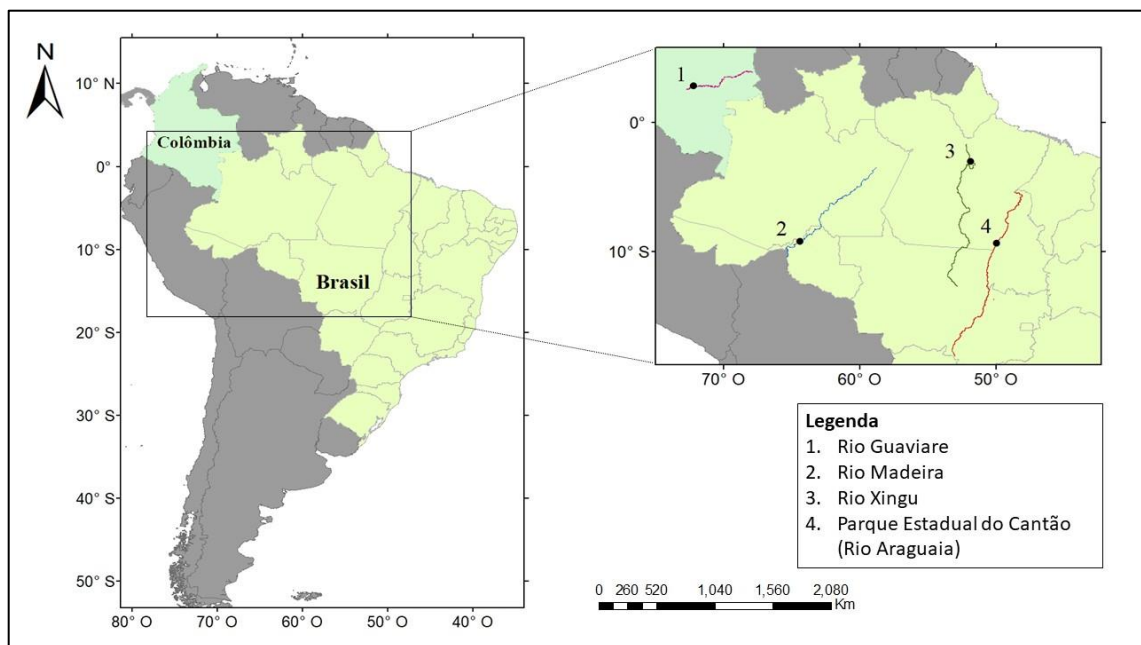


Figura 6: Mapa com os pontos de coleta das vocalizações de *Inia* sp. As linhas coloridas mostram o percurso dos rios Guaviare, Madeira, Xingu e Araguaia, respectivamente. O Parque Estadual do Cantão está inserido na área do rio Araguaia.

a. RIO GUAVIARE

O rio Guaviare é um rio largo da bacia do Orinoco que nasce na cordilheira da Colômbia oriental e desemboca no Orinoco frente a San Fernando de Atabapo, Venezuela, e a

Amanavén, Colômbia. Possui 1.350 km de longitude, com área da bacia de 112.522 km² e uma caudal de 8.200 m³/s (<http://www.siatac.co/web/guest/region/hidrologia>). Se forma pela Confluência dos Rios Guayabero e Ariari, na fronteira dos departamentos de Meta e Guaviare, e flui em direção a este, ligando a noreste, formando a fronteira norte de Guaviare e Guainía, e a fronteira de Meta e Vichada, até o desaguar no rio Orinoco, na fronteira com o estado venezuelano do Amazonas.



Figura 7: Rio Guaviare. Foto: Mariana Paschoalini Frias.

b. RIO MADEIRA

Com um comprimento linear de 3.352 km e largura de 440 a 9900 m (GOULDING, *et al.* 2003), o rio Madeira tem a sua nascente na Bolívia, sendo formado pelo rio Beni até a confluência com o rio Mamoré, em frente à localidade boliviana de Villa Bella, na fronteira brasileira. A partir daí, ele segue por 1.700 km pela Amazônia brasileira, até desembocar no rio Amazonas, 40 km a montante da cidade de Itacoatiara. A bacia do rio Madeira estende-se a três países, com 51% no Brasil, 42% na Bolívia e 7% no Peru, onde nasce o rio Madre de Dios, afluente do rio Mamoré. Sendo o maior afluente do Rio Amazonas (GUYOT, 1993), a sub-bacia do rio Madeira representa 20,1% da área total da bacia amazônica e ocupa uma área de 1,4 milhão km² (GOULDING *et al.*, 2003). Ele é formado pela confluência de quatro rios principais, oGuaporé, Mamoré, Beni e Madre de Dios (GOULDING *et al.*, 2003; BOURREL

et al., 2009). Internamente, a bacia brasileira do rio Madeira divide-se em 9 sub-bacias (Figura 8).

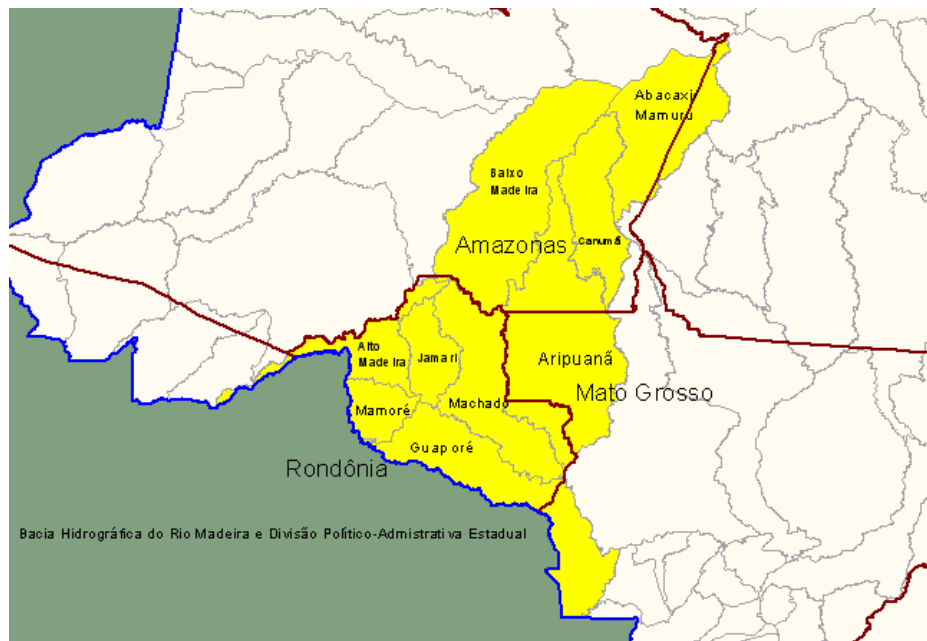


Figura 8: Mapa das sub-bacias que compõem a bacia brasileira do rio Madeira.

Ao longo do rio Madeira há 18 corredeiras e cachoeiras que se estendem a uma distância de 290 km (CELLA-RIBEIRO *et al.*, 2013). Duas destas corredeiras foram formalmente designadas como cachoeiras devido a diferenças acentuadas na elevação média da superfície da água acima e abaixo das corredeiras (CELLA-RIBEIRO *et al.*, 2013). A cachoeira Teotônio é a maior e possuía 900 m de largura (CELLA-RIBEIRO *et al.*, 2013). A cachoeira de Jirau, a segunda maior cachoeira no rio Madeira, é acima da cachoeira de Teotônio e possuía 730 m de largura e atingiu 1100 m (CELLA-RIBEIRO *et al.*, 2013). Atualmente estas e outras oito corredeiras estão submersas pelos reservatórios das hidrelétricas Santo Antônio e Jirau (GRAVENA *et al.*, 2015).



Figura 9: Rio Madeira. Foto: Mariana Paschoalini Frias

c. RIO XINGU

O rio Xingu pertence à bacia hidrográfica amazônica, sendo um dos maiores afluentes do rio Amazonas. Corre na direção sul-norte, paralelo aos rios Tapajós e Tocantins, entre os paralelos 1° e 15° de latitude sul e os meridianos 50° e 56° de longitude oeste, com nascentes no Planalto dos Guimarães, centro leste de Mato Grosso, e foz no trecho final do rio Amazonas, nordeste do Pará. A bacia do rio Xingu abrange uma área de drenagem de aproximadamente 520.000 Km² e cerca de 2.000 Km de comprimento com vazão média entre 2.582 e 9.700 m³/s (PETTENA *et al.*, 1980; LATRUBESSE *et al.*, 2005). A cobertura vegetal original é do tipo floresta tropical densa e o clima é tropical úmido. A pluviosidade nessa região é alta, variando de 1750 a 3500 mm por ano (AMARAL, 1980).

A estação chuvosa na maior parte do Xingu ocorre de dezembro a maio, período em que o nível do rio atinge seu pico máximo. Nas regiões afetadas pelas marés no baixo curso do rio, a flutuação média anual do nível do rio é de somente dois metros. Em outros setores do rio, esta flutuação varia de quatro a quatro e meio metros. As maiores diferenças observadas entre o nível mínimo e máximo do rio é de oito metros (<http://pt.aguasamazonicas.org>).



Figura 10: Igarapé “Furo Irapari” no Rio Xingu. Foto: Mariana Paschoalini Frias

d. PARQUE ESTADUAL DO CANTÃO

O Parque Estadual do Cantão situa-se no extremo norte da grande planície aluvial que é a Ilha do Bananal. Sua área é um delta interior do Rio Javaés formado por uma vasta planície com mais de 800 lagos e centenas de canais naturais (SEPLAN, 2001). Possui uma área total de mais de 900 km² e seus limites atuais, salvo nas partes sudeste e centro oeste, são limites naturais seguindo o curso dos rios principais: Rio Araguaia, Rio Javaés, e Rio Coco.

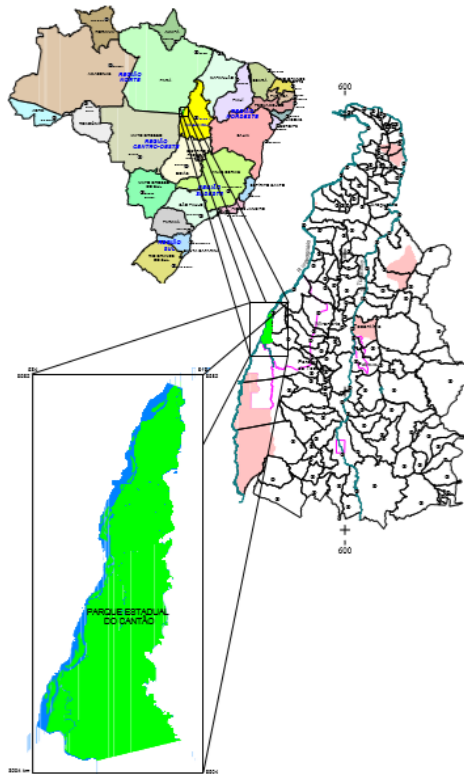


Figura 11. Mapa da área total do Parque Estadual do Cantão. Mapa do território brasileiro (acima), mapa do Estado do Tocantins (centro) e mapa do Parque Estadual do Cantão (abaixo).

A malha hidrográfica do parque caracteriza-se por uma floresta tropical tipicamente amazônica, porém com uma composição única, onde seu ecossistema combina características de três biomas distintos: Cerrado, Pantanal e, predominantemente, Amazônico. A dinâmica dessa formação vegetal é condicionada pelas enchentes do Rio Javaés que inunda seu delta, deixando secas apenas os denominados torrões, ou seja, as terras mais elevadas (SEPLAN, 2001). O clima da região é tropical, e o período de cheia é de outubro até abril e às vezes maio, quando quase toda a precipitação de 2000 milímetros do Cantão cai sob a forma de chuvas torrenciais. Na cheia, os corpos d'água do parque se interconectam, transformando vastas extensões numa floresta inundada, denominada floresta de igapó. As águas sobem e durante um período que pode variar de 2 a 6 meses a maior parte do Parque fica inundada. É possível explorar todo o parque do Cantão navegando entre lagos através de canais naturais. Na seca, aproximadamente seis meses depois, o nível da água normalmente baixa de 5 a 7 metros. Os lagos profundos ficam isolados, as lagoas rasas chegam a secar entre junho e setembro, canais naturais também secam, onde estes passam por um processo de

assoreamento que resulta em sua fragmentação deixando uma série de lagoas conectadas por canais menores chamados "esgotos". Surgem durante esse período extensas praias nas margens dos rios com campos abertos e vegetação arbustiva, além de furos sinuosos. A diferença entre lagos e canais naturais, em termos ecológicos, praticamente não existe já que, durante a cheia, todos esses corpos de água se interligam. No período seco é comum que se passem 90 ou mais dias sem chuva. As árvores nos terrenos baixos que compõem 80% do parque tem acesso a água o ano todo, pois mesmo no auge da seca o lençol freático fica a poucos metros de profundidade. Isso reforça a característica do Cantão de ecótono entre a Amazônia e o Cerrado (SEPLAN, 2001).



Figura 12. Período de cheia no Parque Estadual do Cantão, típica floresta de igapó.



Figura 13. Período de seca no Parque Estadual do Cantão. Lagos isolados e surgimento de bancos de areias (praias).

3.1 Coleta dos dados

No rio Guaviare (latitude 2,881779 e longitude -72,174796), a coleta de dados foi realizada em março de 2016; no rio Madeira, a coleta de dados ocorreu entre as hidrelétricas Santo Antônio e Jirau (lat -9,18775; long -64,37681), em outubro de 2014; no rio Xingu, a coleta ocorreu no estado do Pará (lat -2,69884; long -51,970867) nos meses de maio, junho e agosto de 2015; e no Parque Estadual do Cantão (lat -9,3133; long -49,9437), a espécie foi amostrada em junho de 2017.

Para a coleta de dados, foi utilizada uma embarcação com motor de popa de pequeno porte (voadeira). A partir da visualização de um grupo de golfinhos, o motor da embarcação foi desligado e o hidrofone colocado dentro da água a uma profundidade de aproximadamente de 2 metros. O registro acústico foi feito de forma oportunista durante avistagem de um

animal ou grupo de animais. Foram coletados também dados de profundidade, transparência da água, distância aproximada do animal à embarcação, número de animais, presença de filhotes, comportamento visual dos animais, largura do corpo d'água, ambiente em que se encontra o animal (rio principal, igarapé, furo, ilha, lago e confluência) e tipo de margem (terra firme ou igapó, capim flutuante, rocha, barranco e meio rio).

As emissões sonoras subaquáticas foram captadas através de um hidrofone Cetacean Research™ C54XRS (+3/- 20 dB, - 185 dB *re*: 1V/ μ Pa), estático de captação passiva, fabricado pelo Auset. Os sons captados foram transferidos para uma placa digitalizadora Daq/3000 Series, e os arquivos foram gravados em formato .bin e, posteriormente, convertidos em .wav (resposta de frequência 200 kHz/24 bits). No mesmo momento da gravação, os comportamentos exibidos pelos animais foram registrados (grupo focal) em planilha de campo.

3.2 Análise dos dados

As análises acústicas foram realizadas através do software Raven Pro. 1.5 (CORNELL LABORATORY OF ORNITHOLOGY, NEW YORK onde as cadeias de cliques foram separadas individualmente), e para extração dos parâmetros dos cliques, foram usados códigos do MatLab R2014A para os seguintes elementos: pico de frequência, banda de frequência a 3 dB e 10 dB e intervalos entre cliques (ICI). Estes parâmetros foram escolhidos com base na literatura.

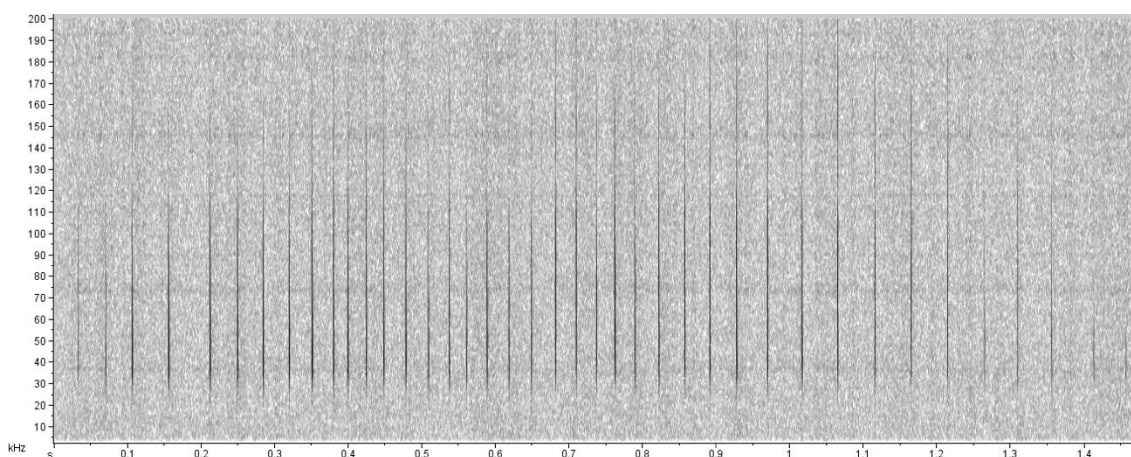


Figura 14: Uma cadeia de cliques produzida por *Inia sp.*

Os valores obtidos para os parâmetros foram analisados através programa estatístico R (R CORE TEAM, 2015). A estatística descritiva de todos os parâmetros incluiu valores máximos e mínimos, médias, desvio padrão e coeficiente de variação. Foi aplicado o teste Kruskal-Wallis para verificar se há diferença entre as três espécies. Este teste é não paramétrico, ou seja, a distribuição da população analisada não necessita ser normal, e é utilizado para comparar três ou mais populações. Posteriormente, foi feito o teste Mann-Whitney para discriminar as espécies, sendo aplicado para duas populações com distribuições desconhecidas.

4. RESULTADOS

No total, 158 cadeias de cliques foram analisadas – sendo um total de 5851 cliques - em 86 minutos de gravação. No rio Guaviare foram analisadas 24 cadeias e 1636 cliques em 5 minutos; no rio Xingu houve um total de 53 cadeias e 779 cliques analisados em 23 minutos; no; no rio Madeira foram analisados 40 cadeias e 1799 cliques em 18 minutos de gravação; no Parque Estadual do Cantão foi um total de 41 cadeias e 1637 cliques analisados em 34 minutos de gravação.

A estatística descritiva dos cliques contendo média, desvio padrão e valores máximos e mínimos está representada na tabela 1. Os sons foram analisados separadamente pela área de coleta, e posteriormente, foi feita a estatística descritiva geral.

Tabela 1: Estatística descritiva dos cliques das espécies de *Inia* sp. (*I. g. humboldtiana*: rio Guaviare; *I. boliviensis*, *I. g. geoffrensis* e híbridos: rio Madeira; *I. g. geoffrensis*: rio Madeira; *I. araguaiaensis*: Parque Estadual do Cantão) (média \pm desvio padrão; valor máximo – valor mínimo).

| | ICI (ms) | BW10dB (kHz) | BW3dB (kHz) | PF (kHz) |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <i>I. g. humboldtiana</i> | 13,84 \pm 7,45 | 72,67 \pm 23,64 | 28,23 \pm 12,67 | 43,89 \pm 7,73 |
| | 96,88 - 2,47 | 370,77 - 24,67 | 77,13 - 10,99 | 97,63 - 24,4 |
| <i>Inia</i> sp. (<i>I. boliviensis</i> , <i>I. g. geoffrensis</i> e híbridos) | 33,88 \pm 28,41 | 77,59 \pm 28,91 | 33,76 \pm 20,10 | 45,46 \pm 12,37 |
| | 208,57 - 1,05 | 345,43 - 10,65 | 84,52 - 6,44 | 103,10 - 31,02 |
| <i>I. g. geoffrensis</i> | 68,94 \pm 35,51 | 65,48 \pm 28,82 | 24,34 \pm 14,78 | 45,51 \pm 9,93 |
| | 202,13 - 10,23 | 346,21 - 11,08 | 81,56 - 7,12 | 100,46 - 10,58 |
| <i>I. araguaiaensis</i> | 39,58 \pm 30,86 | 74 \pm 27,65 | 32,22 \pm 17,76 | 48,99 \pm 12,08 |
| | 228,28 - 2,04 | 354,93 - 11,64 | 84,94 - 7,19 | 105,98 - 32,69 |
| Geral | 32,91 \pm 30,55 | 73,47 \pm 27,45 | 30,53 \pm 17,22 | 46,02 \pm 11,02 |
| | 228,28 - 1,05 | 370 - 10,64 | 84,94 - 6,44 | 105,98 - 10,58 |

ICI: intervalo interclique; BW10dB: banda de frequência em 10 dB; BW3dB: banda de frequência em 3 dB; PF: pico de frequência.

A figura 15 mostra o gráfico das médias com o desvio padrão dos parâmetros analisados nos cliques em cada lugar de coleta, permitindo uma melhor visualização das diferenças entre os valores tanto dos parâmetros, quanto dos locais.

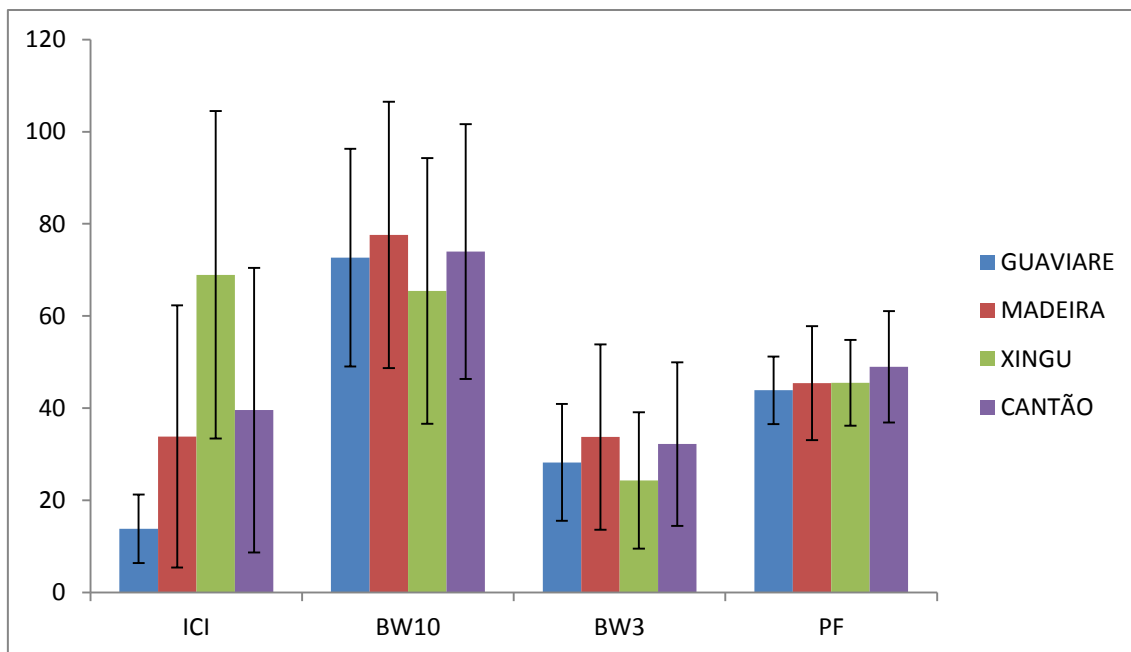


Figura 15: Gráfico mostrando as médias (colunas) e desvio padrão (linhas) dos parâmetros analisados nos cliques das espécies de *Inia* sp. em cada lugar amostrado (Guaviare: *I. g. humboldtiana*; Madeira: *I. boliviensis*, *I. g. geoffrensis* e híbridos; Xingu: *I. g. geoffrensis*; Cantão: *I. araguaiaensis*).

Para comparar os cliques entre as espécies de *Inia* sp. dos quatro lugares amostrados, foi feito o teste Kruskal-Wallis. De acordo com o teste, houve diferença significativa entre as espécies para todos os parâmetros analisados ($p\text{-value} < 0,001$).

O teste Mann-Whitney foi realizado para comparar os cliques entre dois lugares amostrados. Os valores do teste estão representados na tabela 2. De acordo com o teste, somente a banda de frequência em 3dB entre Cantão e Madeira (*Inia araguaiaensis* X *I. boliviensis*, *I. g. geoffrensis* e híbridos) e o pico de frequência entre Guaviare e Madeira (*I. g. humboldtiana* X *I. boliviensis*, *I. g. geoffrensis* e híbridos) não apresentaram diferenças significativas ($p\text{-value} > 0,05$).

Tabela 2: Comparação dos cliques das diferentes espécies de *Inia* representadas pelos locais de ocorrência. A comparação foi feita entre dois lugares através do teste Mann-Whitney.

| | BW10dB (kHz) | BW3dB (kHz) | PF (kHz) |
|---|--------------|-------------|----------|
| <i>I. araguaiaensis</i> X <i>I. g. humboldtiana</i> | <0,005 | <0,001 | <0,001 |
| <i>I. aragauaiaensis</i> X <i>I. boliviensis</i> , <i>I. g. geoffrensis</i> e híbridos | <0,001 | 0.6559 | <0,001 |
| <i>I. aragauaiaensis</i> X <i>I. g. geoffrensis</i> | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| <i>I. g. humboldtiana</i> X <i>I. boliviensis</i> , <i>I. g. geoffrensis</i> e híbridos | <0,001 | <0,001 | 0.056 |
| <i>I. g. humboldtiana</i> X <i>I. g. geoffrensis</i> | <0,001 | <0,001 | <0,05 |
| <i>I. g. geoffrensis</i> X <i>I. boliviensis</i> , <i>I. g. geoffrensis</i> e híbridos | <0,001 | <0,001 | <0,005 |

ICI: intervalo interclique; BW10dB: banda de frequência em 10 dB; BW3dB: banda de frequência em 3 dB; PF: pico de frequência.

5. DISCUSSÃO

5.1 Descrição dos cliques de ecolocalização

Há relativamente poucos estudos sobre a bioacústica de *Inia geoffrensis* e nenhum estudo sobre *I. boliviensis* e *I. araguaiaensis*. Alguns estudos que descrevem os cliques de ecolocalização do boto vermelho foram feitos por Kamminga *et al.* (1993), Ladegaard *et al.* (2015), Yamamoto *et al.* (2015) e Ladegaard *et al.* (2017). Todos, exceto o primeiro citado, descreveram somente cliques gravados no eixo do corpo do animal, ao contrário deste estudo, que analisou cliques tanto no eixo do animal como fora dele. A maioria dos esforços de pesquisa é direcionada para entender os cliques produzidos no eixo. No entanto, os cliques no eixo podem não representar com precisão o conjunto completo de cliques que são adquiridos durante o monitoramento acústico passivo de odontocetos (SOLDEVILLA *et al.*, 2008). Au *et al.* (1978) demonstraram distorção significativa na forma de ondas e no conteúdo espectral dos cliques em função do ângulo do feixe. Eles estabeleceram que as durações de cliques fora do eixo são mais longas, normalmente devido a caminhos múltiplos do pulso do clique inicial, e sugeriram que os caminhos múltiplos são devido a reflexões dentro da cabeça, do ambiente externo ou uma combinação dos dois. As reflexões internas dependem da anatomia e podem conter informações adicionais; no entanto, até agora, nenhum estudo examinou se os espectros distorcidos dos cliques fora do eixo contêm uma assinatura específica da espécie.

Em relação a comparação com estudos anteriores feitos com *Inia geoffrensis*, as médias de ICI foram mais longas neste trabalho (tabela 3). Como já citado anteriormente, as durações de clique fora do eixo são mais longas (AU *et al.*, 1978), podendo esta ser uma explicação para a diferença encontrada no ICI. Já a diferença na frequência encontrada neste estudo pode ser porque em cliques gravados fora do eixo há também um aumento da energia de baixa frequência, tendo uma maior ênfase em frequências menores (JENSEN *et al.*, 2013). Quanto mais longe o clique é gravado fora do eixo dos animais, tanto horizontal quanto verticalmente, a frequência mais baixa será o pico mais forte dos espectros (AU, 1980). Além disso, Cranford (2000) sugere que existem dois componentes da geração de som, um gerado no tecido e outro no ar. O componente gerado no tecido é maior na frequência, mais direcional e mais forte na amplitude. O componente aerotransportado é um subproduto da geração do som, sendo omnidirecional e menor na frequência e amplitude. Possivelmente, o último componente desempenha um importante papel na composição da frequência dos cliques fora

do eixo e pode ser responsável em grande parte pela baixa frequência encontrada aqui. Porém, analisar todo o repertório de cliques gravados, tanto no eixo como fora dele, também é importante para diferenciar espécies, sendo este o principal objetivo deste estudo.

Tabela 3: Comparação dos parâmetros dos cliques de *Inia g. geoffrensis* analisados neste trabalho com estudos anteriores.

| | Este estudo | Ladegaard <i>et al.</i> (2017) | Ladegaard <i>et al.</i> (2015) | Yammamoto <i>et al.</i> (2015) | Kamminga <i>et al.</i> (1993) |
|---------------------|--------------------|---|---|---|--|
| PF (kHz) | 45,51 ± 99,3 | 96,7 ± 11,6 | 93,1 ± 13,3 | 82,3 | 85-100 |
| BW10dB (kHz) | 65,48 ± 28,82 | 83,2 ± 13,2 | 117,6 ± 22,3 | 93,2 | – |
| BW3dB (kHz) | 24,34 ± 14,78 | 4,1 ± 11,6 | 50,1 ± 17,2 | 40 | – |
| ICI (ms) | 68,94 ± 35,51 | 16,5 ± 5,9 | 26,0 ± 9,2 | – | – |

PF: pico de frequência; BW10dB: banda de frequência em 10 dB; BW3dB: banda de frequência em 3 dB; ICI: intervalo interclique.

Em relação a outras espécies de golfinhos de rio, há apenas um estudo que descreve os cliques de ecolocalização do baiji (*Lipotes vexillifer*). De acordo com Akamatsu *et al.* (1998), o pico de frequência dos cliques do baiji está entre 50 e 100 kHz, sendo também maior que as frequências do boto amazônico encontradas neste estudo. Melcón *et al.* (2012) descreveram os cliques da toninha (*Pontoporia blainvillei*) e encontraram cliques de alta frequência, sendo a média do pico de frequência de 139 kHz. Os autores deste artigo sugeriram que esta alta frequência dos cliques pode ser devido a esses animais serem presas da orca (*Orcinus orca*). Supondo que as orcas não sejam capazes de ouvir acima de 100 kHz, é vantajoso para as toninhas vocalizarem em alta frequência para que não sejam ouvidos por seus predadores. Além disso, a toninha é um golfinho relativamente pequeno (chega até 1,70 m) (SECCHI *et al.*, 2001), um fator que também influencia na frequência das vocalizações. Já os cliques do golfinho-do-ganges (*Platanista gangetica gangetica*) foi descrito por Jensen *et al.* (2013), no qual obteve média de pico de frequência de 58.8 ± 6.8 kHz, banda de frequência a 3dB de 43.8 ± 7.1 e a 10 dB de 73.2 ± 8.7 , e intervalo interclique de 35 ± 18.4 . Entre os estudos já citados aqui, este foi o que mais se aproximou dos valores encontrados para o boto no presente trabalho. Tanto o golfinho-do-ganges quanto o boto vermelho enfrentam desafios para

localizar alimentos e se locomover em um habitat acústico com altos níveis de reverberação e desordem. Diversos estudos mostram como a qualidade do ambiente pode interferir na detecção de alvos dos animais através da acústica (AU & TURL, 1983; AU, 1992). Sendo assim, é mais vantajoso que o animal vocalize em frequências menores quando inseridos em condições complexas de florestas inundadas com troncos, galhos e vegetação flutuante, já que as frequências mais baixas apresentam maior comprimento de onda e, portanto, atingem maiores distâncias. Conseqüentemente, essa mudança nos parâmetros pode garantir que a informação acústica seja transmitida de forma fiável, aumentando o espaço ativo do sinal sob condições de maior atenuação e dispersão (HAMILTON, 1980). Estudos anteriores apoiam em parte esta hipótese de que a frequência máxima das vocalizações de botos que habitavam florestas inundadas foi ligeiramente inferior à de tucuxis que vivem em águas abertas (YAMAMOTO *et al.*, 2015).

5.2 Diferenciação das espécies e subespécies

Todos os parâmetros analisados neste trabalho (intervalo interclique, pico de frequência e banda de frequência em 3 e 10 dB) foram significativamente diferentes entre as espécies. Porém, de acordo com Baumann-Pickering *et al.* (2010), os parâmetros temporais de duração e intervalo interclique são fracos para discriminar espécies. Tanto a duração do clique quanto o intervalo interclique são dependentes da seleção de cliques aleatórios durante a análise e, muito provavelmente, também da situação comportamental dos animais gravados. Além disso, como já citado anteriormente, cliques gravados foram do eixo tendem a ter durações maiores, e o ângulo do animal em relação ao hidrofone foi desconhecido neste trabalho. Adicionalmente, o intervalo interclique depende da distância do animal em relação ao seu alvo, podendo ter médias diferentes em uma mesma espécie em contextos diferentes. Por exemplo, Ladegaard *et al.* (2017) mostraram que os botos amazônicos diminuem os ICIs a medida que aproximam das presas. Deste modo, seria necessário ter conhecimento da atividade dos animais no momento da gravação para poder fazer uma comparação das taxas de ICI entre as espécies.

Ainda de acordo com Baumann-Pickering *et al.* (2010), os parâmetros de banda de frequência também não são bons para discriminar espécies. Estes autores compararam cliques de golfinho-cabeça-de-melão (*Peponocephala electra*) com o golfinho-nariz-de-

garrafa (*Tursiops truncatus*) e golfinho-rotador (*Stenella longirostris longirostris*) e viram que não houve diferença significativa entre as bandas de frequência em 3 de 10 dB. Já o pico de frequência dos cliques foi um parâmetro robusto na discriminação de espécies. Portanto, no presente trabalho ele foi levado em consideração para comparar as espécies e subespécies de *Inia*.

O pico de frequência de *Inia araguaiaensis* teve a maior média ($48,99 \pm 12,08$), seguido de *Inia geoffrensis geoffrensis* ($45,51 \pm 9,93$), *Inia boliviensis* junto com *Inia geoffrensis geoffrensis* e híbridos ($45,46 \pm 12,37$) e, por último, *Inia geoffrensis humboldtidiana* ($43,89 \pm 7,73$). Essas espécies e subespécies são morfologicamente distinguíveis através de medições cranianas e quantidade de dentes, como já discutido na introdução. De acordo com Walker *et al.* (1986), a característica do crânio pode influenciar na via de produção do som. Essas espécies e subespécie não são visualmente distinguíveis, e a habilidade de distingui-los acusticamente poderia oferecer uma visão das diferenças na biologia de cada população (SOLDEVILLA *et al.*, 2008).

Visto que as populações do rio Xingu (*Inia geoffrensis geoffrensis*) tiveram médias bem próximas das populações do rio Madeira (*Inia geoffrensis geoffrensis*, *Inia boliviensis* e híbridos), é possível que essa aproximação é devido à presença da mesma espécie em ambos lugares. Houve, portanto, maior diferença de frequência entre espécies diferentes do que entre populações da mesma espécie. Este fato enfatiza o argumento de que as diferenças acústicas encontradas neste trabalho são devidas as especificidades de cada espécie, e não à forma em que os cliques foram gravados ou analisados.

Todas as populações amostradas neste trabalho são isoladas umas das outras. Os locais escolhidos para coleta são bem distantes e não há nenhum tipo de contato entre as populações. Em relação ao teste Mann-Whitney, não houve diferença significativa entre o pico de frequência dos cliques de populações do rio Guaviare (*Inia geoffrensis humboldtidiana*) e do rio Madeira (*Inia geoffrensis geoffrensis*, *Inia boliviensis* e híbridos). Como não há proximidade geográfica entre essas populações, a hipótese para este resultado é de que a análise dos cliques das duas espécies com híbridos que vivem juntas no Madeira, pode ter gerado médias parecidas com a subespécie *Inia g. humboldtiana*, talvez por *Inia boliviensis* produzir cliques com frequências menores que *Inia g. geoffrensis*, e quando analisadas juntas, houve uma proximidade com as menores médias encontradas em *Inia g. humboldtiana*. Para confirmar esta hipótese, é necessário coletar informações de *Inia boliviensis* separadamente, já que não há na literatura dados de bioacústica destes animais.

A diferença no pico de frequência dos cliques entre Guaviare e Xingu (*I. g. humboldtiana* e *I. g. geoffrensis*, respectivamente) foi significativa (p-value = 0.031), mas não foi tão grande como nas outras áreas onde o p-value foi menor que 0,001. Adicionalmente, a diferença entre populações do Xingu (*I. g. geoffrensis*) e Madeira (*I. g. geoffrensis*, *I. boliviensis* e híbridos) também foi significativa (p-value = 0,0041), mas não menor que 0,001. Isso pode dizer que as subespécies *Inia g. geoffrensis* e *Inia g. humboldtiana* são mais próximas acusticamente do que outras espécies de *Inia*, como é possível perceber com as diferenças encontradas quando comparadas a *Inia araguaiaensis*, que foi significativamente diferente (p-value < 0,001) de todos os outros. A proximidade das populações do rio Madeira com rio Xingu e Guaviare pode ser pela presença de indivíduos da espécie *I. geoffrensis*, causando uma maior aproximação nas frequências dos sons analisados.

Existem espécies de golfinhos que exibem essas diferenças acústicas interespecíficas, enquanto outras não. Pesquisadores no campo da bioacústica têm especulado muitas causas para essas diferenças interespecíficas, incluindo restrições filogenéticas, restrições de tamanho, diferenças morfológicas, preferências de presas, de nicho e variabilidade ambiental, incluindo as condições de ruído (DUDOK VAN HEEL, 1981; KAMMINGA *et al.*, 1986; WANG *et al.*, 1995; MADSEN *et al.*, 2004; OSWALD, 2006). Neste caso, acreditamos que as diferenças encontradas são resultado da diferença na morfologia do crânio entre as espécies e subespécies. Pelas diferenças morfológicas serem bem sutis, as diferenças encontradas nas frequências dos cliques também foram pequenas. Descartamos os motivos de preferências de presas e de nicho já que as preferências são as mesmas entre os animais estudados. O ambiente em que as populações estão inseridas poderia ser um fator causador das mudanças acústicas, mas pelo fato de serem espécies diferentes com morfologias de crânio diferentes, e ainda pela maior proximidade acústica encontrada em locais que possuem a mesma espécie (rios Xingu, Madeira e Guaviare), acreditamos que o fator principal responsável pelas diferenças acústicas são as diferenças morfológicas entre as espécies e subespécies, com uma maior proximidade entre as subespécies.

5.3 Conservação

O status de conservação de *Inia geoffrensis* é considerado como “data deficiente” na Lista Vermelha da IUCN (REEVES *et al.*, 2008), e “em perigo” pelo IBAMA (2014). Ainda

não há status de conservação para *Inia boliviensis* e *Inia araguaiaensis* por faltar estudos sobre a estimativa dessas espécies. Gomez-Salazar *et al.* (2012) sugerem que hajam listas independentes para populações de *Inia boliviensis* geograficamente distintas, separadas por diferentes bacias hidrográficas, que são definidas como a área drenada por um importante sistema fluvial ou por um dos seus principais afluentes. *Inia araguaiaensis* parece ter baixos níveis de diversidade genética e também tem uma distribuição restrita no que se estima ser um trecho de aproximadamente 1500 km do rio Araguaia com habitat fragmentado adicional na bacia do rio Tocantins, sendo o número de indivíduos também provavelmente baixo (HRBEK *et al.*, 2014). Esses dados, juntamente com a falta de estudos para essas espécies, são bem alarmantes. Para medidas conservacionistas serem tomadas, é aconselhável saber o status de conservação da espécie baseado em sua distribuição e número de indivíduos por espaço. Se a espécie estiver incluída na lista vermelha da IUCN, por exemplo, ela será priorizada em estudos de conservação. O presente estudo é importante para diferenciar as espécies de *Inia* sp. e enfatizar que são realmente espécies distintas, já que existem poucas diferenças morfológicas e ainda há controvérsias sobre a classificação delas. Saber que *Inia araguaiaensis* é uma espécie diferente de *Inia geoffrensis*, é importante para que estudos de distribuição e estimativa populacional sejam feitos com a finalidade de proporcionar um maior conhecimento sobre seu status de conservação, e assim, providenciar medidas protetivas para a nova espécie.

Existem diversos riscos para a conservação das espécies de *Inia* na Amazônia e são raros os planos de gerenciamento para mitigar essas ameaças. Em contramão, há planos para aumentar o número de projetos de desenvolvimento de água e expandir a indústria do petróleo. Embora a listagem de espécies sob categorias da Lista Vermelha não seja um objetivo final, é um passo importante na elevação da conscientização dentro dos governos e instituições sobre o possível declínio nos números de golfinhos se as ameaças humanas não forem mitigadas (GOMEZ-SALAZAR *et al.*, 2012). Por exemplo, as estimativas de abundância rigorosamente obtidas para a vaquita no México (*Phocoena sinus*) demonstraram o seu pequeno e provável tamanho de população decrescente, levando essa espécie a ser listada como "criticamente ameaçada" pela IUCN (JARAMILLO-LEGORRETA *et al.*, 1999, GERRODETTE *et al.*, 2011). Isso, como consequência, aumentou a conscientização sobre o estado de conservação da vaquita e a necessidade de atenuar ameaças diretas à sua sobrevivência.

O resultado de que *Inia araguaiaensis* produz cliques com pico de frequência significativamente diferente das outras espécies é muito relevante para comprovar que

realmente eles podem ser considerados como uma espécie distinta da família Iniidae. Como ela foi descoberta como nova espécie recentemente (em 2014), ainda há questionamentos sobre tal fato. O pico de frequência dos cliques revela a morfologia do crânio do animal, sendo considerado um parâmetro robusto na diferenciação de espécies. Sendo assim, estudos que revelem as diferenças entre as espécies *Inia araguaiaensis*, *Inia boliviensis* e *Inia geoffrensis* são necessários para que futuros estudos que tenham como objetivo revelar o status de conservação de cada uma delas separadamente sejam realizados e, consequentemente, contribuir para a conservação das mesmas.

6. CONCLUSÕES

- 1) Os cliques analisados das espécies de *Inia* apresentaram baixa frequência em relação a estudos anteriores e a outras espécies de golfinhos de rio.
- 2) Houve uma maior semelhança dos valores dos parâmetros entre os locais que haviam a mesma espécie presente (*Inia geoffrensis*).
- 3) A espécie *Inia araguaiaensis* foi a que mais apresentou valores distantes das outras.
- 4) Os cliques analisados da subespécie *Inia g. humboldtiana* foram significativamente diferentes da subespécie *Inia g. geoffrensis*.
- 5) O pico de frequência dos cliques de *Inia g. humboldtiana* não foi significativamente diferente dos animais que vivem no rio Madeira (*Inia g. geoffrensis*, *I. boliviensis* e híbridos).
- 6) Estudo apresenta mais um elemento para comprovação de que a família Iniidae é composta por, pelo menos, três espécies distintas.
- 7) São necessários novos estudos que analisem a espécie *Inia boliviensis* separadamente para obter uma maior clareza sobre os resultados encontrados aqui.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAMATSU, T., WANG, D., NAKAMURA, K., WANG, K. Echolocation range of captive and free-ranging baiji (*Lipotes vexillifer*), finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides*), and bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). **Journal of the Acoustical Society of America** 104, 2511. 1998.
- ALIAGA-ROSSEL, E. Distribution and abundance of the river dolphin (*Inia geoffrensis*) in the Tijamuchi River, Beni, Bolivia. **Aquatic Mammals**, v. 28(3), p. 312 – 323, 2002.
- ALVES, L. C. P. S., ANDRIOLO, A., ORAMS, M. B., AZEVEDO, A. F. Resource defence and dominance hierarchy in the boto (*Inia geoffrensis*) during a provisioning program. **Acta Ethologica**, v. 16, p. 9-19, 2013.
- AMARAL, G. Conhecimento atual da geologia da região da Região Amazônica. *In*: Simpósio sobre as características geológico-geotectônicas da região amazônica. ABGE, pp. 01-43. 1980.
- AMORIM, T. O. S.; ANDRIOLO, A.; REIS, S. S. Vocalizations of Amazon river dolphins (*Inia geoffrensis*): Characterization, effect of physical environment and differences between populations. **Journal of Acoustic Society of America**. V. 139 (3), p. 1285–1293, 2016.
- ANDRIOLO, A., REIS, S. S., AMORIM, T. O. S., SUCUNZA, F., CASTRO, F. R., MAIA, Y. G., ZERBINI, A. N., BORTOLOTTI, G. A., DALLA ROSA, L. Killer whale (*Orcinus orca*) whistles from the western South Atlantic Ocean include high frequency signals. **Journal of the Acoustical Society of America**. 138(3), September, 2015.
- ARAÚJO C, WANG JY. Botos (*Inia geoffrensis*) in the upper reaches of the Tocantins River (central Brazil) with observations of unusual behavior, including object carrying. **Aquatic Mammals** 38: 435–440, 2012. doi:10.1578/AM.38.4.2012.435.
- AU, W, HERZIG, D. Echolocation signals of wild Atlantic spotted dolphin (*Stenella frontalis*). **Journal of the Acoustical Society of America**. 113: 598–604. 2003.
- AU, W. W. L. & HASTINGS, M. C. **Principles of Marine Bioacoustics**. New York: Springer. 2008.

AU, W. W. L. & HASTINGS, M. C. **Principles of Marine Bioacoustics**. New York: Springer. 2008.

AU, W. W. L. Application of the reverberation-limited form of the sonar equation to dolphin echolocation. **Journal of the Acoustical Society of America**. 92: 1822–1826. 1992.

AU, W. W. L. Echolocation signals of the Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) in open waters. In R. G. Busnel & J. F. Fish (Eds.), **Animal sonar systems**. New York: Plenum Press. pp. 251-282. 1980

AU, W. W. L. **The sonar of dolphins**. New York: Springer-Verlag. 1993.

AU, W. W. L., TURL, C. W. Target detection in reverberation by an echolocating Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*). **Journal of the Acoustical Society of America**. 73: 1676–1681. 1983.

AZZOLIN, M.; PAPALE, E., LAMMERS, M. O.; GANNIER, A.; GIACOMA, C. Geographic variation of whistles of the striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*) within the Mediterranean Sea. **Journal of Acoustic Society of America**, v. 134, p 694–705, 2013.

BANGUERA-HINESTROZA, E., CÁRDENAS H., RUIZ-GARCÍA, M., MARMONTEL, M., GAITÁN, E., VÁZQUEZ, R., GARCÍA-VALLEJO F. Molecular identification of evolutionarily significant units in the Amazon River dolphin *Inia sp.* (Cetacea: Iniidae). **The Journal of Heredity** 93: 312-322. 2002.

BANNERMAN, M.. **Mamirauá: Um guia da história natural da várzea amazônica**. Tefé, Insituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, p. 176, 2001.

BAUMANN-PICKERING, S., WIGGINS, S. M., HILDEBRAND, J. A., ROCH, M. A., AND SCHNITZLER, H.-U. Discriminating features of echolocation clicks of melon-headed whales (*Peponocephala electra*), bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*), and Gray's spinner dolphins (*Stenella longirostris longirostris*). **Journal of the Acoustical Society of America**. 128, 2212–2224. 2010.

BAZÚA-DURAN, C. & AU, W. W. L. Geographic variations in the whistles of spinner dolphins (*Stenella longirostris*) of the main Hawai'ian Islands. **Journal of Acoustic Society of America**, v. 116, p. 3757–3769, 2004.

BEST RC, DA SILVA VMF. *Inia geoffrensis*. **Mammalian Species** 426: 1–8. 1993.

- BEST, R. C. & DA SILVA, V. M. F. Amazon River Dolphin, Boto, *Inia geoffrensis* (DE BLAINVILLE, 1817). Pp. 1-23 In: S. H. Ridgway, R. J. Harrison (Eds). **Handbook of Marine Mammals**. London, Academic Press. v. 4, p. 584, 1989b.
- BOURREL L, PHILLIPS L, MOREAU S. The dynamics of floods in the Bolivian Amazon Basin. **Hydrological Processes**. 23: 3161–3167. 2009.
- BRUDZYNSKI, S. M. **Handbook of Mammalian Vocalization**. 530. 2010.
- CALDWELL, M.C.; CALDWELL, D.K., Individualized whistle contours in bottlenosed dolphins (*Tursiops truncatus*). **Nature**, v. 207 (4995), p. 434–435, 1965. CALDWELL, M. C., CALDWELL, D. K., & EVANS, W. E. Sounds and behavior of captive Amazon freshwater dolphin, *Inia geoffrensis*. *Mus. Cont. Sci.* 108, 1–24, 1966.
- CELLA-RIBEIRO A, TORRENTE-VILARA G, HUNGRIA DBDB, DE OLIVEIRA M. 2013. As corredeiras do rio Madeira. In: Queiroz LJ, Torrente-Vilara G, Ohara WM, Pires T, Zuanon J, Doria CRC, eds. **Peixes do rio Madeira**. São Paulo, Brazil: Editora Dialetto, 56–63. 2013.
- COZZUOL, M. A. The record of aquatic mammals in southern South America. **Munchner Geowissenschaftliche Abhandlungen** 30, 321-342. 1996.
- CROLL, D.A.; CLARK, C.W.; AZEVEDO, A.; TERSHY, B.; FLORES, S.; GEDAMKE, J.; URBAN, J. Only male fin whales sing loud songs. **Nature**, v. 417, p. 809, 2002.
- DA SILVA VMF, MARTIN AR. A study of the boto, or Amazon River dolphin (*Inia geoffrensis*), in the Mamirauá Reserve, Brazil: operation and techniques. In: Perrin WF, BROWNELL RL JR, KAIYA Z, JIONKANG L, eds. **Biology and conservation of freshwater Cetaceans in Asia**. Occasional Papers of the IUCN, Species Survival Commission No. 23. Gland, Switzerland: IUCN, 122–131. 2000.
- DA SILVA, V. Amazon River Dolphin. In: W Perrin, B Würsig, J Thewissen, Eds. **Encyclopedia of Marine Mammals**. San Diego: Academic Press, 2002, Pp. 18-20.
- Da SILVA, V.M.; MARTIN, A. R. Impact of Human Activities upon two species of dolphins in Amazonian flooded forest, Brazil. In: 17th **Biennial Conference on the Biology of Marine Mammals**. University of Pretoria, 1: 1-215. 2007.

dolphins using spectral properties of echolocation clicks. **Journal of the Acoustical Society of America**. 124:609-624. 2008.

DÍAZ-LÓPEZ, B. Whistle characteristics in free-ranging bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in the Mediterranean Sea: influence of behaviour. **Mammal Biology**, v. 76 (2), p. 180–189, 2011.

DUDZINSKI, K.M. **Communication and Behaviour in the Atlantic Spotted Dolphins (*Stenella frontalis*): Relationships Between Vocal and Behavioural Activities**. 1996. 215 f. Ph.D. Thesis. Texas A & M University, Texas. 1996.

DUDOK VAN HEEL, W. H. Investigations on cetacean sonar III. A proposal for an ecological classification of odontocetes in relation with sonar. **Aquatic Mammals**. 8, 65-68. 1981.

FORD, J. K. B. Acoustic behaviour of resident killer whales (*Orcinus orca*) off Vancouver Island, British-Columbia. **Canadian Journal of Zoology**. v. 67 (3), p. 727–745, 1989.

FORD, J. K. B. Vocal traditions among resident killer whales (*Orcinus orca*) in coastal waters of British Columbia. **Canadian Journal of Zoology**. v. 69 (6), p. 1454–1483, 1991.

FLORES, P.A.; TRUJILLO, F.; ROCHA-CAMPOS, C.C.; MARINI-FILHO, O.J.; DA SILVA, V.M.F.; MARTIN, A.R.; BOLANOS, J. 2008. The status of —piracatinga fishery using Amazon botos as bait in South America. In: **60th meeting of the International Whaling Commission**, Santiago, Chile, 2p, 2008.

GERRODETTE, T., B. L. TAYLOR, R. SWIFT, S. RANKIN, A. JARAMILLO-LEGORRETA AND L. ROJAS-BRACHO. A combined visual and acoustic estimate of 2008 abundance, and change in abundance since 1997, for the vaquita, *Phocoena sinus*. **Marine Mammal Science**. 27:E79- E100. 2011.

GOMEZ, C.; TRUJILLO, F.; DIAZGRANADOS, M.; ALONSO, J. Capturas dirigidas de delfines de rio em la amazonía para a pesca de mota (*Calophysus macropterus*) uma problemática de gran impacto. Em: Trujillo, F., Alonso. J.C., Diazgranados, M.C., y C. Gómez (eds). Fauna acuática amenazada en la Amazonía colombiana. Análisis y propuestas para su conservación. Fundación Omacha, Fundación Natura, Instituto Sinchi, Corpoamazonía. Bogotá. Colombia. p. 152. 2008.

GOMEZ-SALAZAR, C., COLL, M., WHITEHEAD, H. 2014. River dolphins as indicators of ecosystem degradation in large tropical rivers. **Ecological Indicators**. 23 19–26. 2012.

Gomez-Salazar, C., Trujillo, F., Portocarrero-Aya, M., & Whitehead, H. Population, density estimates, and conservation of river dolphins (*Inia* and *Sotalia*) in the Amazon and Orinoco river basins. **Marine Mammal Science**, 28(1), 124-153. 2012. doi: 10.1111/j.1748-7692.2011.00468.x

GOMEZ-SALAZAR, C., TRUJILLO, F., PORTOCARRERO-AYA, M., WHITEHEAD, H. Population, density estimates and conservation of river dolphins (*Inia* and *Sotalia*) in the Amazon and Orinoco river basins. **Marine Mammal Science**. 28 (1), 124–153, 2012. doi:10.1111/j.1748-7692.2011.00468.x.

GOMEZ-SALAZAR, C., TRUJILLO, F., WHITEHEAD, H. (2012). Ecological factors influencing group sizes of river dolphins (*Inia geoffrensis* and *Sotalia fluviatilis*). **Marine Mammal Science**, 28(2), 2012.

GOULDING M, BARTHEM R, FERREIRA EJG. The smithsonian atlas of the Amazon. Washington, DC: **Smithsonian Institution Press**. 2003.

GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS, SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE (SEPLAN), Plano de Manejo do Parque Estadual do Cantão, Palmas, 2001.

GRAVENA W, FARIAS IP, DA SILVA MNF, DA SILVA VMF, HRBEK T. Looking to the past and the future: were the Madeira River rapids a geographical barrier to the boto (Cetacea: Iniidae)? **Conservation Genetics** 15: 619–629. 2014.

GRAVENA, W., DA SILVA, V. M. F., DA SILVA, M. N. F., FARIAS, I. P., HRBEK T. Living between rapids: genetic structure and hybridization in botos (Cetacea: Iniidae: *Inia* spp.) of the Madeira River, Brazil. **Biological Journal of the Linnean Society**, 114, 764-777. 2015.

GUYOT JL. Hydrogéochimie des fleuves de l'Amazonie Bolivienne. Paris, France: ORSTOM.1993.

HAMILTON, E. L. Geoacoustic modeling of the sea floor. **Journal of the Acoustic Society of America**. v. 68, p. 1313–1340, 1980.

HAMILTON, H.; CABALLERO, S.; COLLINS, A. G; BROWNELL, R.L. Jr. Evolution of river dolphins. Proceedings of the Royal Society of London. n. 268, p. 549-556. 2001.

HATAKEYAMA, Y., & SOEDA, H. Studies on echolocation of porpoises taken in salmon gillnet fisheries. In J. A. Thomas & R. A. Kastelein (Eds.), **Sensory abilities of cetaceans.** New York: Plenum Press. pp. 269-281. 1990.

HERZING, D. L. Vocalizations and associated underwater behaviour of free-rangin. **Aquatic Mammals**, v. 22 (2), p. 61–79, 1996.

HOFFMANN, L.S. **Um estudo de longa duração de um grupo costeiro de golfinhos *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821) (Cetácea: Delphinidae) no Sul do Brasil, aspectos da sua biologia e bioacústica.** 2004. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004.

HOORN, C., GUERRERO, J., SARMIENTO, G. & LORENTE, M. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene northern South America. **Geology** 23, 237-240. 1995.

HRBEK, T.; DA SILVA, V.M.F.; DUTRA, N.; GRAVENA, W.; MARTIN, A.R.; FARIAS, I.P. A New Species of River Dolphin from Brazil or: How Little Do We Know Our Biodiversity. **PLoS ONE**, v. 9(1): e83623. 2014

IRIARTE, V.; MARMONTE, M. River dolphin (*Inia geoffrensis*, *Sotalia fluviatilis*) mortality events attributed to artisanal fisheries in the western Brazilian amazon. **Aquatic Mammals**, v. 39(2), p. 116-124. 2013.

JANIK, V. M., SAYIGH, L. S. Communication in bottlenose dolphins: 50 years of signature whistle research. **Journal of Comparative Physiology A – Springer**, v. 199 (6), p. 479–489, 2013.

JANIK, V. M. Acoustic communication in delphinids. In: NAGUIB, M.; ZUBERBUUMLHLER, K.; CLAYTON, N. S. & JANIK, V. M. (Eds.). **Advances in the Study of Behavior.** Academic Press, p. 123 – 157, 2009.

JANIK, V. M. Food-related bray calls in wild bottlenose dolphins (*Tursiops truncatos*). **The Royal Society**, v. 267, p. 923 – 927, 2000.

- JARAMILLO-LEGORRETA, A. M., L. ROJAS-BRACHO AND T. GERRODETTE. A new abundance estimate for vaquitas: First step for recovery. **Marine Mammal Science**. 15:957–973. 1999.
- JENSEN, F. H., ROCCO, A., MANSUR, R. M., SMITH, B. D., JANIK, V. M. AND MADSEN, P. T. Clicking in Shallow Rivers: Short-Range Echolocation of Irrawaddy and Ganges River Dolphins in a Shallow, Acoustically Complex Habitat. **Plos One** 8, e59284. 2013.
- JOHNSON, H. D.; STAFFORD, K. M.; GEORGE, J.C.; AMBROSE, W. G. J., CLARK, C. W. Atlantic spotted dolphins, *Stenella frontalis* and bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. **Marine Mammal Science**. 2015. <http://dx.doi.org/10.1111/mms.12196>.
- JONES, G., AND HOLDERIED, M. W. Bat echolocation calls: Adaptation and convergent evolution. *Proceedings of the Royal Society. B* 274, 905–912. 2007.
- JONES, G., AND TEELING, E. C. The evolution of echolocation in bats. **Trends in Ecology and Evolution**. 21, 149–156. 2006.
- KAMMINGA, C., KATAOKA, T., AND ENGELSMA, F. J. Underwater sounds of *Neophocaena phocaenoides* of the Japanese coastal population. **Aquatic Mammals**. 12, 52–60. 1986.
- KAMMINGA, C.; VAN-HOVE, M. T.; ENGELSMA, F. J. & TERRY, R. P. Investigation on cetacean sonar X: A comparative analysis of underwater echolocation clicks of *Inia* spp. **Aquatic Mammals**, v. 19, p. 31-43, 1993.
- KOBLITZ J, WAHLBERG M, STILZ P, MADSEN P, BEEDHOLM K, *et al.* Asymmetry and dynamics of a narrow sonar beam in an echolocating harbor porpoise. **Journal of the Acoustical Society of America**. 131: 2315–2324. 2012
- KYHN, L. A., TOUGAARD, J., BEEDHOLM, K., JENSEN, F. H., ASHE, E., WILLIAMS, R., MADSEN, P. T. Clicking in a Killer Whale Habitat: Narrow-Band, High-Band Frequency Biosonar Click of Harbour Porpoise (*Phocoena phocoena*) and Dann's Porpoise (*Phocoenoides dalli*). **PLoS ONE** 8(5): e63763. 2013. doi:10.1371/journal.pone.0063763.
- KYHN, L. Passive acoustoc monitoring of toothed whales with implications for mitigation, management and biology [Ph.D.]. Aarhus: Aarhus University. 166 p. 2010.

LADEGAARD, M., FRANTS, H. J., BEEDHOLM, K., DA SILVA, V. M. F., MADSEN, P. T. Amazon river dolphins (*Inia geoffrensis*) modify biosonar output level and directivity during prey interception in the wild. **Journal of Experimental Biology**. 2017. doi:10.1242/jeb.159913.

LADEGAARD, M., JENSEN, F. H., DE FREITAS, M., DA SILVA, V. M. F. AND MADSEN, P. T. Amazon river dolphins (*Inia geoffrensis*) use a high-frequency short-range biosonar. **Journal of Experimental Biology**. 218, 3091- 3101. 2015.

LAMMERS, M. O., AU, W. W. L., AUBAUER, R. & NACHTIGALL, P. E. A comparative analysis of the pulsed emissions of free ranging Hawaiian spinner dolphins (*Stenella longirostris*). In: THOMAS, J.A., MOSS, C. F. & VATER, M. (Eds.) **Echolocation in Bats and Dolphins**. Chicago: The University of Chicago Press. p. 414 – 419, 2004.

LAMMERS, M. O.; AU, W. W. L. & HERZING, D.L. The broadband social acoustic signaling behavior of Spinner and Spotted Dolphins. **Journal of the Acoustic Society of America**, v. 114, p. 1629-1639, 2003.

LATRUBESSE, E. M., STEVAUX J. C., SINHA R. Tropical Rivers. **Geomorphology** 70, 187-206. 2005.

LITCHFIELD, C., GREENBERG, A. J. Compositional topography of Melon Lipids in the Amazon River Dolphin, *Inia geoffrensis*: implications for echolocation. **Comparative Biochemistry and Physiology**. Vol 63A. pp. 183 – 187. 1978.

LIU, Y., COTTON, J. A., SHEN, B., HAN, X., ROSSITER, S. J., AND ZHANG, S. Convergent sequence evolution between echolocating bats and dolphins. **Current Biology**. 20, R53–R54. 2010.

LOCH, C.; MARMONTEL, M.; SIMÕES-LOPES, P. C. Conflicts with fisheries and intentional killing of freshwater dolphins (Cetacea: Odontoceti) in the Western Brazilian Amazon. **Biodiversity and Conservation**, 10p. 2009.

LOVEJOY, N. R., BERMINGHAM, E. & MARTIN, A. P. Marine incursions into South America. **Nature** 396, 421-422. 1998.

MADSEN, P. T., KERR, I., AND PAYNE, R. Echolocation clicks of two free-ranging, oceanic delphinids with different food preferences: False killer whales *Pseudorca crassidens*

and Risso's dolphins *Grampus griseus*. **Journal of Experimental Biology**. **207**, 1811–1823. 2004.

MARTIN, A. R. & DA SILVA, V. M. F. River dolphins and flooded Forest: Seasonal habitat use and sexual segregation in an extreme cetacean environment. **Journal of Zoology**, London, **263**: 295-305, 2004.

MARTIN, A. R.; SILVA, V. M. F. Sexual dimorphism and body scarring in the boto (Amazon river dolphin) *Inia geoffrensis*. **Marine Mammal Science**, n. 22, p. 25–33, 2006.

MAY-COLLADO, L. J. & WARTZOK, D. Sounds produced by the tucuxi (*Sotalia fluviatilis*) from the Napo and Aguarico rivers of Ecuador. **Latin American Journal of Aquatic Mammals**, v.8, p. 131-136, Dez. 2010.

MELCÓN, M. L., FAILLA, M., IÑÍGUEZ, M. A. Echolocation behavior of franciscana dolphins (*Pontoporia blainvillei*) in the wild. **Journal of the Acoustical Society of America**. 2012. [<http://dx.doi.org/10.1121/1.4710837>]

MESSENGER, S. 1994. Phylogenetic relationships of platanistoid river dolphins: assessing the significance of fossil taxa. Proceedings of the San Diego Society of Natural History. **29**, 125-133.

MILLER, P. J. O.; JOHNSON, M. P. & TYACK, P. L. Sperm whale behavior indicates the use of echolocation click buzzes —creaks in prey capture. **The Royal Society**, v. 271, p. 2239 – 2247, 2004.

MORISAKA, T.; SHINOHARA, M.; NAKAHARA, F.; AKAMATSU, T. Geographic variations in the whistles among three Indo-Pacific bottlenose dolphin *Tursiops aduncus* populations in Japan. **Fisheries Science**. v. 71, p. 568–576, 2005.

MORRIS, R. The world of the senses. In.: HARRISON, R. & BRYDEN, M. M. (Eds). **Whales, dolphins and porpoises**. New York. p. 122-133, 1989.

NOAD, M. J.; CATO, D. H.; BRYDEN, M. M.; JENNER, M.; CURT, K.; JENNER, S. Cultural revolution in whale songs. **Nature**, v. 408, p. 537, 2000.

NORREG K. S.. DORMER K. J., PEGG J. & LIFSE G. J. The mechanism of sound production and air recycling in porpoises: a preliminary report. **Proc. Con. Biot. Sonar Diving mammals**, Vol. 8, pp. 1-17. 1971.

NORRIS K. S. Cetacean biosonar. Part 1. Anatomical and behavioral studies. **Biochemical and biophysical perspectives in marine biology**. 2, 215-236. 1975.

NORRIS K. S. The evolution of acoustic mechanisms in odontocete cetaceans. In **Evolution and Environment** (Edited by DRAKE E. T.), Yale University Press, New Haven. pp. 297-324. 1968.

NORRIS, K. S., & EVANS, W. E. Directionality of echolocation clicks in the rough-toothed porpoise, *Steno bredanensis* (Lesson). In W. N. Tavolga (Ed.), **Marine bio-acoustics**. New York: Pergamon Press. pp. 305-324. 1966.

NORRIS, K.S. & HARVEY G.W. Sound transmission in the porpoise head. **Journal of the Acoustical Society of America**. 56:659. 1974.

OSWALD, J. N. An examination of the whistling behavior of small odontocetes and the development of methods for species identification of delphinid whistles. Ph.D. dissertation, University of California, San Diego, La Jolla, CA. 2004.

PARSONS, C. & DOLMAN, S. The use of sound by cetaceans. In: SIMMONDS, M.; DOLMAN, S. & WEILGART, L. **Oceans of Noise: A WDCS Science Report**. Chippeham: Whale and Dolphin Conservation Society, pp. 44-52, 2003.

PETTENA, J. L., BARROS, A. L. M. M., MATOS, W. D., RIBEIRO, A. C. O., CARVALHO, R. M. Estudos de Inventário Hidrelétrico na Amazônia: a Bacia do Rio Xingu. In: Simpósio sobre as características geológico-geotectônicas da região amazônica. ABGE, pp. 115-136. 1980.

PASCHOALINI, M. F. Percepção de turistas sobre —atividade/interação com botos vermelhos (*Inia geoffrensis*, de Blainville, 1827) no estado do Amazonas, Brasil. 2014. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG, Brasil, 2014.

PAVANATO, H. J., MELO-SANTOS, G., LIMA, D. S., PORTOCARRERO-AYA, M., PASCHOALINI, M., MOSQUERA, F., TRUJILLO, F., MENESES, R., MARMONTEL, M., MARETTI, C. Risks of dam construction for South American river dolphins: a case study of the Tapajós River. **Endangered Species Research**, 31, 47-60, 2016.

PAYNE, R. S.; MCVAY, S. Songs of humpback whales. **Science**, v. 173 (3997), p. 585–597, 1971.

PILLERI G, GIHR M. Observations on the Bolivian, *Inia boliviensis*, (D'Orbigny, 1834) and the Amazonian bufeo, *Inia geoffrensis* (Blainville, 1817), with a description of a new subspecies (*Inia geoffrensis humboldtiana*). In: Pilleri G, ed. **Investigations on Cetacea**. Colombia: Bogotá, 11–76. 1977.

PINEDO, M. C., F. W. ROSAS AND M. MARMONTEL. **Cetáceos e Pinípedes do Brasil – Uma revisão dos registros e guia para identificação das espécies**. 1992

RAICHEL, D. R. **Science and applications of acoustic**. New York: Springer. 2006.

REEVES, R. R., B. S. STEWART, P. J. CLAPHAM AND J. A. POWELL. **Guide to Marine Mammals of the World** (National Audubon Society Field Guide). New York, Knopf. 2002.

REEVES, R.R.; JEFFERSON, T.A.; KARZMARSKI, L.; LAIDRE, K.; O’CORRY-CROWE, G.; ROJAS-BRACHO, L.; SECCHI, E.R.; SLOOTEN, E.; SMITH, B.D.; WANG, J.Y. & ZHOU, K. *Inia geoffrensis*. In: **2008 IUCN Red List of Threatened Species**. <http://www.iucnredlist.org/details/10831>

RENDELLI, L. E.; WHITEHEAD, H. Vocal clans in sperm whales (*Physeter macrocephalus*). **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 270 (1512), p. 225–231, 2003.

RIDGWAY, S., D. CARDER, R. SMITH, T. KAMOLNICK AND W. ELSEBERRY. First audiogram for marine mammals in the open ocean and at depth: hearing and whistling by two white whales down to 30 atmospheres. **Journal of the Acoustical Society of America**. 101 (3136). 1997.

RUIZ-GARCIA, M., ESCOBAR-ARMEL, P., CABALLERO, S., SECCHI, E. Determination of microsatellite mutation rates and effective numbers in four Cetacean species (*Inia boliviensis*, *Inia geoffrensis*, *Pontoporia blainvillei* and *Sotalia fluviatilis*): comparisons with terrestrial mammals. **Molecular Biology and Evolution** (in press). 2008.

SANTOS, M. E. 1998. **Golfinhos-Roazes do Sado: Estudos de sons e comportamento**. Tese de Doutorado. Instituto de Psicologia Aplicada. Lisboa-PT.

SCHNITZLER, H.-U., MOSS, C. F., AND DENZINGER, A. From spatial orientation to food acquisition in echolocating bats. **Trends in Ecology and Evolution**. 18, 386–394. 2003.

SECCHI, E. R., OTT, P. H., CRESPO, E. A., KINAS, P. G., PEDRAZA, S. N., BORDINO, P. 2001. A first estimate of franciscana (*Pontoporia blainvillei*) abundance southern Brazil. **Journal of Cetacean RES. MANAGE.** 3(1):95–100, 2001.

SIEMERS, B. M., AND SCHNITZLER, H.-U. Echolocation signals reflect niche differentiation in five sympatric congeneric bat species. **Nature** 429, 657–661. 2004.

SMITH, H.; SAMUELS, A.; BRADLEY, S. Reducing risky interactions between free-ranging dolphins (*Tursiops* sp.) in an artificial feeding program at Monkey Mia, Western Australia. **Tourism Management** 29:994–1001, 2008.

SOLDEVILLA, M. S., HENDERSON, E. E., CAMPBELL, G. S., WIGGINS, S. M., HILDEBRAND, J. A., ROCH, M. A. Classification of Risso's and Pacific white-sided

STAFFORD, K. M.; NIEUKIRK, S. L.; FOX, C. G. Geographic and seasonal variation of blue whale calls in the North pacific. **Journal of Cetacean Research and Management**, v. 3, p. 65–76, 2001.

TEELING, E. C. Hear, hear: The convergent evolution of echolocation in bats? **Trends in Ecology and Evolution.** 24, 351–354. 2009.

TRONE, M.; GLOTIN, H.; BALESTRIERO, R.; BONNETT, D. E.; BLAKEFIELD, J. Heterogeneity of Amazon River dolphin highfrequency clicks: Current Odontoceti bioacoustics terminology in need of standardization. **168th Meeting of the Acoustical Society of America** Indianapolis, Indiana 27-31. 2014.

TRUJILLO, F., CRESPO, E., VAN DAMME, P., USMA, J.S. **Plan de Accion para La Conservacion los Delfines de Rio em Sudamérica. Resumem Executivo e avances 2010-2020.** WWF, Fundacion Omacha, WDS, WDCS, Solamac. Bogotá, D.C., Colômbia, 104 pp. 2011.

URICK, R. Principles of underwater sonar. New York: McGraw-Hill Book Company. 423 p. 1983.

VASCONCELOS, W. R. Diversidade genética e estrutura populacional dos crocodilianos jacaré-açú (*Melanosuchus niger*) e jacaré-tinga (*Caiman crocodilus*) da Amazônia. Dissertação de Mestrado em Biologia Tropical e Recursos Naturais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 97p. 2005.

VON IHERING, H. Die Geschichte des Atlantischen Ozeans. **Jena, Germany:** Gustav Fisher. 1927.

WALKER, W. A., LEATHERWOOD, S., GOODRICK, K. R., PERRIN, W. F., AND STROUD, R. K. Geographic variation and biology of the Pacific white-sided dolphin, *Lagenorhynchus obliquidens*, in the north-eastern Pacific. In: *Research on Dolphins*, edited by M. M. Bryden, and R. Harrison (Clarendon Press, Oxford, UK), pp. 441–465. 1986.

WANG, D., WURSIG, B., AND EVANS, W. Comparisons of whistles among seven odontocete species. In: **Sensory Systems of Aquatic Mammals**, edited by R. A. Kastelein, J. A. Thomas, and P. E. Nachtigall De Spil, Woerden, pp. 299-323. 1995.

WEILGART, L. & WHITEHEAD, H. Group-specific dialects and geographical variation in coda repertoire in South Pacific sperm whales. **Behavior Ecology Sociobiology**, v. 40, p. 277–285, 1997.

WINN, H. E. & WINN, L. K. The song of the humpback whale *Megaptera novaeangliae* in the **West Indies Marine Biology**, v. 47, p. 97–114, 1978.

WOOD F. G. Quoted In *Man and Dolphin* (by LILLY J. C.), p. 236. Doubleday, Garden City, N.Y. 1961.

YAMAMOTO, Y.; AKAMATSU, T.; SILVA, V. M. F.; YOSHIDA, Y.; KOHSHIMA, S. Acoustic characteristics of biosonar sounds of free-ranging botos (*Inia geoffrensis*) and tucuxis (*Sotalia fluviatilis*) in the Negro River, Amazon, Brazil. **Journal of Acoustic Society of America**, v. 138 (2), p. 687–693, 2015.