



Universidade Federal do Amazonas
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento de Apoio à Pesquisa
Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica



**ECOMORFOMETRIA DE EMBRIÕES DE ARRAIAS DE ÁGUA DOCE
(POTAMOTRYGONIDAE): COM ÊNFASE AO ESTILO DE VIDA DOS NEONATOS**

Bolsista: Maria Isabel da Silva

**Manaus
2014**



Universidade Federal do Amazonas
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento de Apoio à Pesquisa
Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica



RELATÓRIO FINAL
PIB-B/0082/2013

**ECOMORFOMETRIA DE EMBRIÕES DE ARRAIAS DE ÁGUA DOCE
(POTAMOTRYGONIDAE): COM ÊNFASE AO ESTILO DE VIDA DOS NEONATOS**

Bolsista: Maria Isabel da Silva
Colaborador: Yago Vinícius Serra dos Santos

Orientador: **Doutor Wallice Luiz Paxiúba Duncan**

**Manaus
2014**

Todos os direitos deste relatório são reservados à Universidade Federal do Amazonas, ao Laboratório de Morfologia Funcional e aos seus autores. Parte deste relatório só poderá ser reproduzida para fins acadêmicos ou científicos.

Este trabalho foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM-PPP #389/2012 e FAPEAM-UNIVERSAL #209/2012) e foi executado no Laboratório de Morfologia Funcional (LMF/UFAM) e se caracteriza como sub projeto dos projetos financiados pela FAPEAM.

Resumo

A ecomorfometria é um campo de estudo que abrange as relações dos caracteres corporais de um organismo relacionando-o com seu respectivo nicho ecológico. Nesse sentido, as arraias de água doce da família Potamotrygonidae são excelentes modelos para direcionar tais questões, assim, foi feita a análise e comparação de medidas morfométricas entre embriões a termo de cinco espécies de potamotrigonídeos da bacia amazônica: *Paratrygon aiereba* Müller & Henle (1841), *Plesiotrygon iwamae* Rosa & Castello (1987), *Potamotrygon motoro* Müller & Henle (1841), *Potamotrygon* sp. C “arraia cururu”, e para uma nova espécie ainda não descrita também do gênero *Potamotrygon*. A interpretação foi feita baseado na ecologia e estilo de vida dos neonatos. Os índices ecomorfométricos analisados foram aqueles já preestabelecidos para Myliobatiformes (comprimento relativo da nadadeira peitoral, comprimento relativo da nadadeira pélvica, comprimento relativo da cauda, Largura relativa da boca e Abertura relativa do espiráculo). Foi observado que *Plesiotrygon iwamae* apresentou nadadeira caudal, relativamente grande, o que pode conferir estabilidade durante a atividade de natação do animal, principalmente em ambiente de forte correnteza. Por outro lado, quando avaliamos outra variável como o potencial de amplitude da boca, a nova espécie aqui chamada de *Potamotrygon* sp. B, apresentou a menor variável entre as espécies, o que pode estar correlacionado ao fato de se alimentar de pequenas presas, como insetos. *Potamotrygon* sp. (arraia cururu) apresenta uma nadadeira pélvica relativamente grande, essa característica pode estar relacionada ao fato de explorar ambiente com liteira (folhas e galhos) submersa nas áreas de igapós (floresta alagada) possuindo também grande abertura relativa do espiráculo em relação aos outros Potamotrygonidae, o que pode ter relação com as águas lânticas do igapó e com hipóxia ambiental. Portanto, as características morfométricas dos embriões reforçam a hipótese da ecomorfometria como estudo importante para a compreensão dos aspectos ecológicos e estilo de vida das arraias de água doce.

Palavras-chave: Ecomorfometria, Potamotrygonidae, Embriões, Arraias de água doce

Abstract

The Ecomorphometry is a field of Ecology that covers the relationships between body traits of an animal and relating it to their respective ecological niche. In this sense, the freshwater stingrays of the family Potamotrygonidae are excellent models to address such issues, thus the analysis and comparison of morphometric measurements of five near-born embryos of potamotrygonids from the Amazon basin was studied: *Paratrygon aiereba* Müller & Henle (1841), *Plesiotrygon iwamae* Rosa & Castello (1987), *Potamotrygon motoro* Müller & Henle (1841), *Potamotrygon* sp. C (cururus' ray), and a new non identified species from *Potamotrygon* genus. The interpretation was made based on the ecology and lifestyle of the neonate. The ecomorphometric indices were those described for Myliobatiformes (relative length of the pectoral fin, relative length of the pelvic fin, relative length of the tail, relative width of the mouth, and relative opening of spiracule). It was observed that *Plesiotrygon iwamae* possess relatively large caudal fin, which can provide stability during swimming activity, especially during strong water flux. On the other hand, when evaluating the potential amplitude of the mouth, the new species here called as *Potamotrygon* sp. B had a small mouth, which can be correlated to the small prey such as insects. *Potamotrygon* sp. (cururus' ray) possesses relatively large pelvic fins. This characteristic may be related to the environment with litter submerged in the areas of flooded forest (Igapós forest) also possess large relative opening of the spiracle in relation to the other Potamotrygonidae. Such traits may be related to the lentic waters with low levels of dissolved oxygen. Therefore, the morphometric characteristics of the embryos are agree with hypothesis that Ecomorphometry is an important issue to understand the ecological aspects and lifestyle of freshwater stingrays study.

Key-words: Ecomorphometry, Potamotrygonidae, Potamotrygonid embryos, Freshwater stingrays

Sumário

Introdução	9
Material e Métodos	11
Locais de Captura e procedimentos de Coleta	11
Amostragem e Morfometria	11
Análises estatísticas	14
Resultados	14
Discussão	20
Conclusão	23
Referências Bibliográficas	24

Lista de Tabelas

Tabela 1. Índices ecomorfológicos adaptado para potamotrygonídeos e suas respectivas interpretações ecológicas.	14
Tabela 2. Média±desvio padrão das medidas lineares corporais de embriões a termo de arraiais de água doce.	15

Lista de Figuras

Figura 1. Alguns exemplares de embriões Potamotrygonidae examinados nesse estudo	12
Figura 2. Medidas lineares do corpo utilizadas no cálculo dos índices ecomorfológicos de potamotrigonídeos	13
Figura 3. Índice ecomorfométricos obtidos em embriões de cinco espécies de arraiais de água doce	16
Figura 4. Abertura relativa do espiráculo (ROSp) em diferentes espécies de Potamotrygonidae.	17
Figura 5. Diagrama obtido com os dois primeiros eixos (componente 1 e componente 2) da análise dos componentes principais	18
Figura 6. Diagrama obtido com os dois primeiros eixos (componente 1 e componente 2) da análise de covariáveis canônicas	19
Figura 7. Dendrograma baseado nos cinco índices ecomorfométricos mostrando as relações entre os embriões de potamotrigonídeos.	20

Introdução

As arraias da família Potamotrygonidae pertencentes à ordem Myliobatiformes são animais bentônicos completamente adaptados à vida no ambiente dulcícola. São encontrados nos maiores sistemas fluviais da América do Sul que drenam para o Atlântico ou para o Caribe (Compagno & Cook, 1995; Carvalho et al., 2003). Este grupo é formado por quatro gêneros válidos: *Potamotrygon*, *Paratrygon*, *Plesiotrygon* e o recém descrito *Heliotrygon* (Carvalho et al., 2003; Rosa et al., 2010; Carvalho & Lovejoy, 2011). Uma das principais características que distinguem a família é a grande diversidade morfológica (Rosa, 1985) e ampla distribuição geográfica (Duncan & Fernandes, 2010). As Arrais ocupam habitats variados ou específicos, os quais incluem canais dos rios, praias, lagos e igapós (Carvalho et al., 2003; Rosa et al., 2010). É provável que os hábitos especializados ou generalistas podem se refletir nos traços morfológicos.

As arraias são caracterizadas por possuir o corpo circular ou em forma de disco comprimido dorso-ventralmente. Na região ventral localiza-se as narinas, a boca, as fendas branquiais, cloaca e duas nadadeiras pélvicas com formato triangular (Rand, 1907). A boca composta por uma série de pequenos dentes molariformes se adapta ao tipo de alimento consumido, sendo estes principalmente moluscos, crustáceos e pequenos peixes (Shibuya et al., 2012). Na região dorsal, dispõem-se os olhos voltados lateralmente, os espiráculos que consistem em aberturas para a tomada de água na cavidade branquial, e na cauda, superiormente, inserem-se os ferrões em número variando de um a quatro, todos implantados no mesmo local. Os ferrões possuem origem dérmica e parecem ser frequentemente substituídos (Carvalho et al., 2003).

Sendo a Ecomorfologia o estudo da relação entre a forma do corpo e seus fatores ambientais (físicos e bióticos), os quais interagem de algum modo com o organismo (Teixeira & Bennemann, 2007), dados biométricos podem ser utilizados para a obtenção de índices cuja associação ecológica permite a interpretação de características comportamentais de uma dada espécie. Assim, a morfologia corporal marcante, como a longa cauda de *Plesiotrygon iwamae* Castello & Thorson, 1987 e *Plesiotrygon nana* Carvalho & Ragno, 2011. (Carvalho & Lovejoy, 2011), ou o grande disco carnosos de *Paratrygon aiereba* Muller & Henle, 1841 (Rosa et al., 2010) podem estar relacionados ao habitat dessas espécies. Tais traços podem também ajudar a compreender os mecanismos de adaptação e evolução dessas espécies em um dado ambiente.

O comprimento relativo da nadadeira peitoral, o qual é o resultado da relação entre o comprimento linear da nadadeira peitoral (comprimento do disco) e o comprimento total do animal, pode ser utilizado para interpretar a capacidade de locomoção e propulsão do animal (Breda et al.,

2005). O comprimento relativo da cauda, dado pela relação entre o comprimento caudal linear e o comprimento total do animal, torna-se um índice morfológico importante na estimação de equilíbrio natatório, pois a cauda auxilia na natação e estabilidade em ambiente aquático (Casatti, 1996). Para espécies como *Paratrygon aiereba* e *Plesiotrygon iwamae* que são comumente encontradas nas margens arenosas ou lamacentas, próximas à calha do rio e com forte correnteza (Duncan & Fernandes, 2010), espera-se que a longa cauda e/ou nadadeiras peitorais proporcionalmente bem desenvolvidas possam ajudar na equilíbrio da natação e locomoção mesmo sobre forte correnteza na coluna da água.

Da mesma forma, comprimento relativo da nadadeira pélvica que é o resultado da relação entre a medida linear do comprimento dessa nadadeira e a nadadeira peitoral prediz uma capacidade de manutenção da estabilidade do animal próximo ao substrato (Lonardoní et al., 2009), pois em Batoidea a nadadeira pélvica é responsável pela fricção próximo ao substrato e estabilidade dos movimentos (Bond, 1979), permitindo ao animal a performance de movimentos finos na exploração e forrageamento no fundo do ambiente bentônico. Um exemplo interessante ocorre na espécie *Potamotrygon* sp. C (morfotipo vulgarmente denominado como “arraia cururu”, espécie ainda não descrita) do Rio Negro que até o presente momento, é considerada a menor das espécies de potamotrigonídeos, explorando preferencialmente habitat de igapó no Arquipélago de Mariuá (Duncan & Fernandes, 2010). A floresta alagada (igapó) possui folhiço e galhos submersos; essa característica pode ser inapropriada para espécies com nadadeiras peitorais proporcionalmente grandes, como a *Paratrygon aiereba* e *Potamotrygon orbignyi*. Por outro lado, o forrageamento na liteira submersa possivelmente requer o intenso uso da nadadeira pélvica, além disso o animal deve possuir nadadeiras peitorais relativamente pequenas, características possivelmente presentes na arraia cururu.

Além disso, considerando a funcionalidade dos espiráculos juntamente com a boca na canalização da água para a câmara branquial, as dimensões dessas estruturas inferem no volume de água bombeado. Assim, quanto maior o volume de água, maior a quantidade de oxigênio que perfunde o epitélio branquial, e isso sugere uma capacidade para tolerar águas hipóxicas (Rand, 1907). Por outro lado, o tamanho da boca da arraia pode estar também associado ao tamanho e tipo de presas capturadas para alimentação (Lonardoní et al., 2009).

Essas informações levam-nos a algumas questões como: Quais as semelhanças e as diferenças morfológicas em espécies simpáticas e sintópicas que exploram os mesmos recursos? Além disso, existem variações intraespecíficas nos índices ecomorfométricos em exemplares de diferentes regiões biogeográficas? Esse é especialmente o caso de *Potamotrygon motoro* Muller & Henle, 1841 presente nos rios de águas pretas e barrentas. Com isso, considerando que até o presente momento estudos sobre a ecomorfometria da família Potamotrygonidae foram realizados apenas em duas

espécies adultas da bacia do Paraná-Paraguai (Silva, 2006; Breda et al., 2005; Lonardoni et al., 2009), estudo teve o objetivo analisar os índices ecomorfométricos em embriões de cinco espécies de potamotrygonídeos amazônicos: *Potamotrygon* sp. C “arraia cururu”, *Potamotrygon* sp. B do Rio Jutai (espécie nova ainda não identificada), *Potamotrygon motoro* Müller & Henle (1841) do Rio Negro e do Rio Solimões, *Plesiotrygon iwamae* Rosa & Castello (1987), e *Paratrygon aiereba* Müller & Henle (1841).

Material e Métodos

Locais de Captura e Procedimentos de Coleta

A coleta dos exemplares foi realizada no Estado do Amazonas, nos rios Solimões (municípios de Iranduba: 3° 17' 6" S, 60° 11' 9" W e Manaquiri: 3° 25' 41" S, 60° 27' 34" – Novembro de 2012), rio Negro (município de Barcelos: 58' 30" S, 62° 55' 26" W – Março de 2013) e rio Jutai (município de Jutai: 3° 28' 51" S, 66° 04' 08" W – Setembro de 2012), com a permissão concedida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, agência ambiental brasileira) e em conformidade com os normas de tratamento do Comitê de Ética e Experimentação Animal, CEAA – UFAM protocolo N°. 070/2012.

Fêmeas adultas grávidas entre cinco espécies de potamotrygonídeos foram capturadas no período noturno (das 18:00 pm às 04:00 am) com o manuseio de apetrechos convencionais de pesca, como espinhéis (com 100 anzóis de nº6 e comprimento de 100 metros), arrasto de praia, rapichés, puçás e malhadeiras (com malha 80, 100 mm e 100 m de comprimento). Os animais foram mantidas em condições de aclimatização na própria água do rio, porém, o estresse de captura induziu o aborto (Charvet-Almeida et. al, 2005 e Garrone Neto, 2010). Os embriões abortados foram pesados, fixados em formaldeído 10% tamponado em fosfato-salino (pH 7,3) e armazenados em álcool 70%. Logo

Amostragem e Morfometria

Foram coletados 48 embriões de cinco espécimes de arraias de água doce da família Potamotrygonidae: *Potamotrygon* sp. C “arraia cururu” (N=24, peso $20 \pm 9,3$ g e largura de disco - LD $6,8 \pm 1,1$ cm – Rio Negro), *Potamotrygon motoro* (N=10, peso $44 \pm 6,8$ g e LD $10,1 \pm 0,4$ cm – Rio Solimões e N=4, peso $75,2 \pm 8,4$ g e LD $11,5 \pm 0,5$ – Rio Negro), *Potamotrygon* sp. B, espécie nova (N=2, peso $58 \pm 2,8$ g e LD 11 ± 0 cm – Rio Jutai), *Plesiotrygon iwamae* (N=4, peso $37,4 \pm 12,9$ g e LD $9,7 \pm 0,8$ cm – Rio Solimões) e *Paratrygon aiereba* (N=4, peso $152,5 \pm 13,3$ g e LD $15,8 \pm 0,2$ cm – Rio Jutai).

Em laboratório os embriões foram fotografados (Figura 1) e medidos (Tabela 2) com o auxílio de fita métrica e um paquímetro calibrado, conforme as medidas morfométricas propostas por Rosa (1985) (ver Figura 2): Comprimento total (LT), Comprimento de nadadeira peitoral (PecL), Comprimento da cauda (TaL), Comprimento do espiráculo (SpL), Largura do espiráculo (SpW), Largura do disco (DiW) e Largura da boca (MoW) para a aplicação no cálculo dos índices ecomorfométricos (Tabela 1). Pelo menos um exemplar de cada espécie foi preservado como testemunho e será enviado para uma coleção zoológica institucional (INPA ou UFAM).

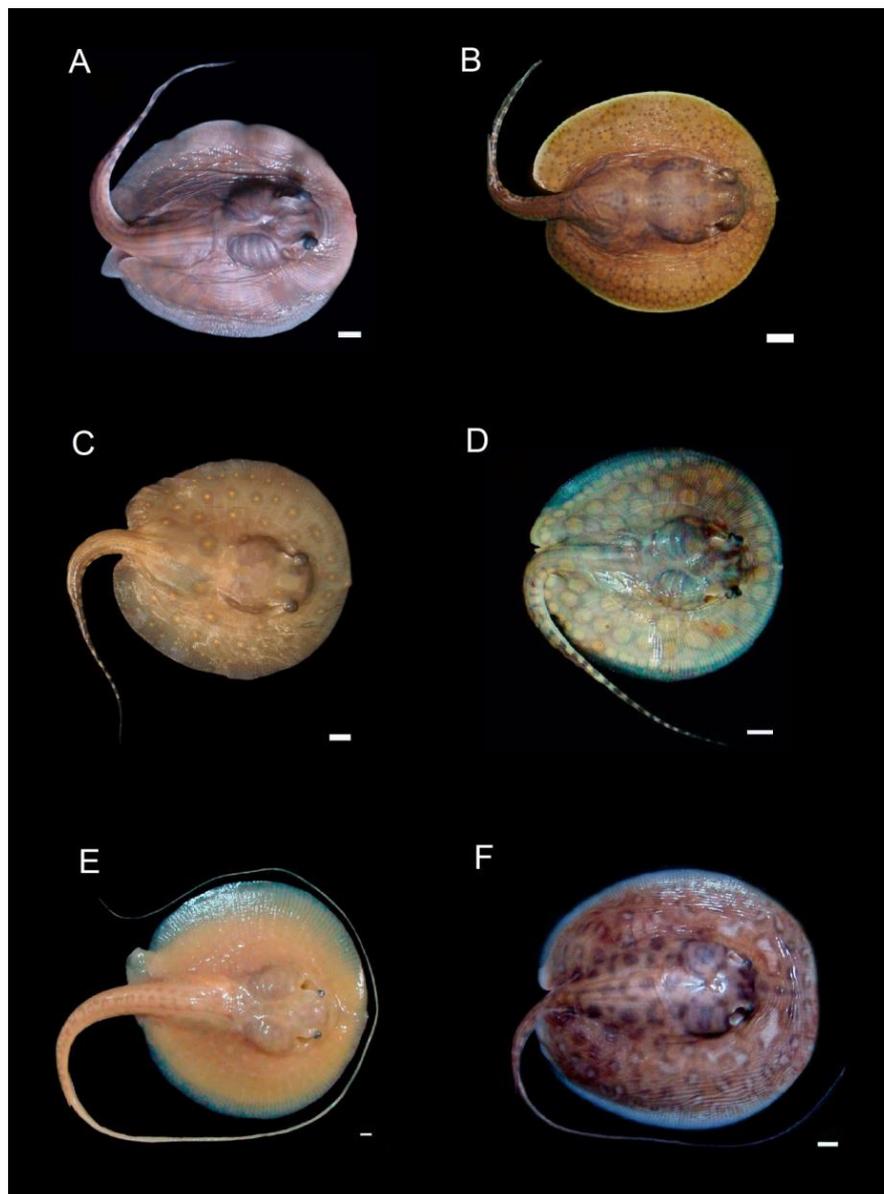


Figura 1. Alguns exemplares de embriões Potamotrygonidae examinados nesse estudo: (A) *Potamotrygon* sp. B - nova espécie, (B) *Potamotrygon* sp. C “arraia cururu”, (C) *Potamotrygon motoro* - Rio Negro, (D) *Potamotrygon motoro* - Rio Solimões, (E) *Plesiotrygon iwamae*, and (F) *Paratrygon aiereba*. Escala = 1 cm.

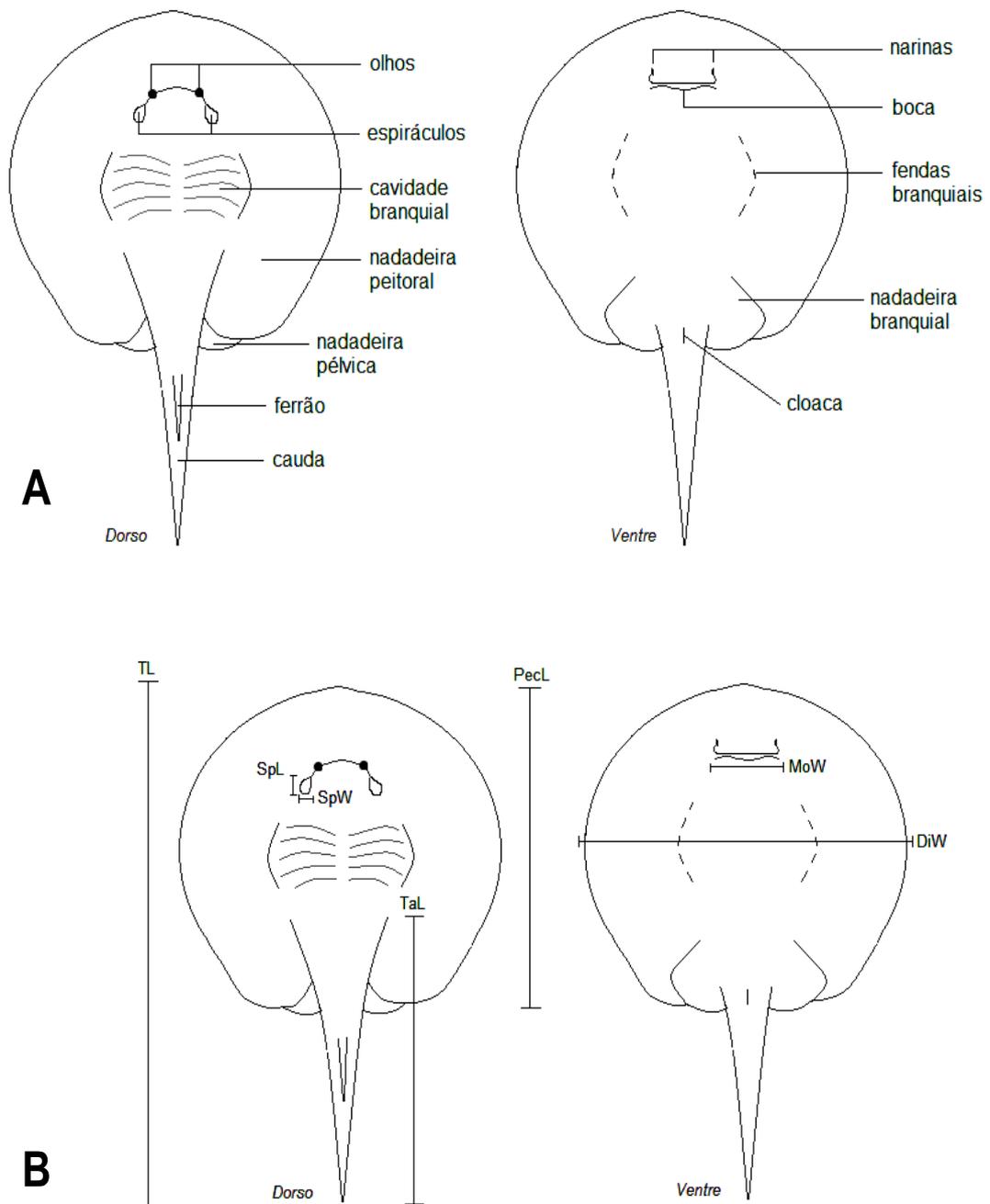


Figura 2. [A] Anatomia corporal dorsal e ventral de potamotrigonídeos. [B] Medidas lineares do corpo utilizadas no cálculo dos índices ecomorfológicos de potamotrigonídeos (*Ilustração: Maria Isabel da Silva*).

Tabela 1. Índices ecomorfológicos adaptado para potamotrygonídeos e suas respectivas interpretações ecológicas (baseado em Lonardoni et al., 2009).

ÍNDICES ECOMORFOLÓGICOS		
Índice	Fórmula	Interpretação ecológica
Comprimento relativo da nadadeira peitoral (RLPec).	$RLPec = PecL / TL$	- Representa a capacidade de locomoção e propulsão da nadadeira peitoral.
Comprimento relativo da nadadeira pélvica (RLPel).	$RLPel = PelL / PecL$	- Representa a capacidade de estabilidade do animal próximo ao substrato.
Comprimento relativo da cauda (RLTa)	$RLTa = TaL / TL$	- Representa a capacidade natatória e de estabilidade nos movimentos em ambiente lótico.
Abertura relativa da boca (RWMo)	$RWMo = MoW / DiW$	- Analisa o potencial de amplitude da boca e tamanho da presa.
Abertura relativa do espiráculo (ROSp)	$ROSp = SpL * SpW$	- Indica a capacidade de entrada de água na câmara branquial, além disso, sugere maior resistência às baixas concentrações de oxigênio ambiental.

Análises estatísticas

Os valores nos gráficos estão apresentados em média±desvio padrão. As medidas lineares foram inicialmente transformadas em $\log_{10} + 1$ para o cálculo dos índices ecomorfolométricos. Uma análise de componentes principais foi feita com os dados lineares morfolométricos transformados ($\log_{10} + 1$). Os dados dos índices foram utilizados em análises multivariadas (análise de variáveis canônicas) para descrever as relações entre os índices para descrever as mais importantes características ecomorfológica de cada espécie (na fase embrionária). Uma análise de Cluster utilizando as distâncias euclidianas foi utilizada para descrever as relações de semelhanças entre os potamotrygonídeos. Todos os testes foram realizados no pacote estatísticos PAST. O valor de probabilidade aceito será $p < 0,05$.

Resultados

Na tabela 2 estão apresentadas as principais medidas lineares dos embriões de potamotrygonídeos. Todos os embriões estavam a termo, ou seja, totalmente desenvolvidos e prontos para nascerem. Dentre as cinco espécies estudadas *Potamotrygon* sp. C “arraia cururu” é a menor, enquanto a espécie *Paratrygon aiereba* é a maior.

Tabela 2. Média±desvio padrão das medidas lineares corporais de embriões a termo de arraias de água doce: massa corporal - MC (g), área corporal – AC (cm²), comprimento total – CT (cm), comprimento da nadadeira peitoral – PecL (cm), largura do disco - DiW (cm), comprimento do espiráculo – SpL (cm), largura do espiráculo – SpW (cm), comprimento da cauda, TL (cm), largura da boca – MoW (cm), comprimento da nadadeira pélvica – PelL (cm). N= número de amostras analisadas.

	N	MC	AC	CT	PecL	DiW	SpL	SpW	TL	MoW	PelL
Potamotrygon sp. C	24	20±9.3	90.2±34.9	13.2±1.8	7.5±1.3	6.8±1.1	0.8±0.08	0.5±0.06	7.3±0.9	0.7±0.12	1.6±0.34
Potamotrygon motoro Rio Negro	4	75.2±8.4	203,1±24.3	23.5±0.8	12.5±0.5	11.5±0.5	1±0.09	0.8±0.11	13.2±0.8	1.1±0.16	2.4±0.23
Potamotrygon motoro Rio Solimões	10	44±6.8	158.2±15.8	22.1±0.9	10.5±0.4	10.1±0.4	1.2±0.11	1±0.11	13.4±0.8	1.1±0.15	1.8±0.13
Plesiotrygon iwamae	4	37.4±12.9	149.4±20.4	50.5±2.9	10.1±0.4	9.7±0.8	0.9±0.05	0.6±0.09	41.5±2.9	0.9±0.12	2±0.3
Potamotrygon sp. B	2	58±2.8	168±8.4	22.5±0	11.7±0.3	11±0	1.2±0.07	0.9±0	12±0	0.9±0.07	1.8±0.07
Paratrygon aiereba	4	152.5±13.3	314.8±51.3	42.2±1	17.7±0.5	15.8±0.2	1±0.08	1±0.05	26.2±0.5	1.6±0.26	2±0.26

Em relação aos índices morfométricos, os embriões de *Plesiotrygon iwamae* podem ser caracterizados com reduzido comprimento relativo da nadadeira peitoral, nadadeira pélvica expandida e cauda (nadadeira caudal) extremamente longa (Figura 3). Por outro lado, *Paratrygon aiereba* possui nadadeira peitoral relativamente grande e nadadeira pélvica proporcionalmente pequena, características bem distintas de *Plesiotrygon iwamae*. Com isso, a relação nadadeira pélvica/peitoral (razão Pel/Pec) é substancialmente menor em *Paratrygon aiereba* que em *Plesiotrygon iwamae*. Semelhante aos embriões de *Plesiotrygon iwamae*, *Paratrygon aiereba* possui cauda relativamente longa, mas essa característica é observada apenas nos embriões e neonatos. Nos outros embriões, a relação entre esses índices são semelhante. Destaca-se o grande tamanho relativo das nadadeiras peitoral e pélvica nos embriões de *Potamotrygon* sp. C “arraia cururu”, uma espécie é de pequeno porte.

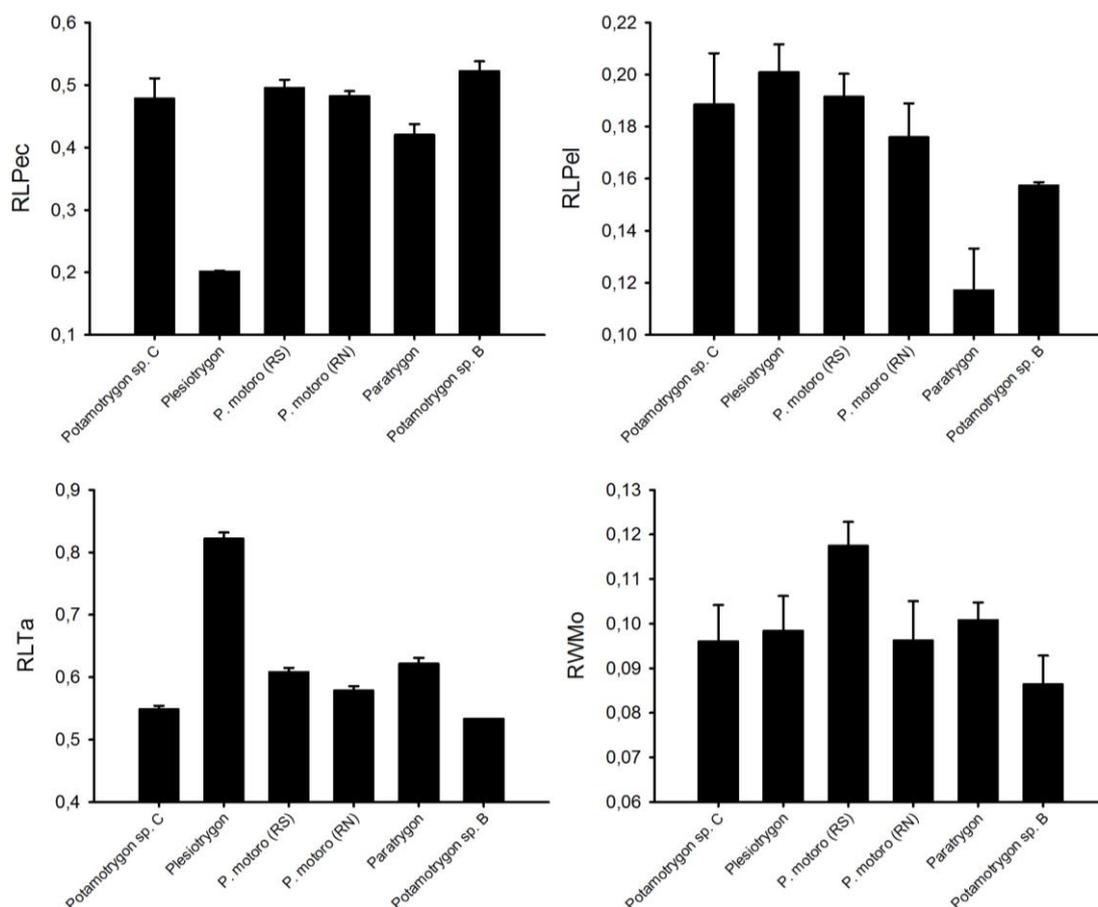


Figura 3. Índice ecomorfométricos obtidos em embriões de cinco espécies de arraias de água doce: Comprimento relativo da nadadeira peitoral (RLPec), Comprimento relativo da nadadeira pélvica (RLPel), Comprimento relativo da cauda (RLTa) e largura relativa da boca (RWMo). Os exemplares de *Potamotrygon motoro* foram provenientes de diferentes rios Solimões (RS) e Negro (RN).

Potamotrygon sp. B (nova espécie) apresenta uma reduzida abertura relativa da boca. Em contraste, para *P. motoro* do Rio Solimões e *P. sp. C* “arraia cururu” a amplitude da boca é

relativamente maior que nas demais espécies. Além disso, *P. motoro* do Rio Solimões e *Potamotrygon* sp. C “arraia cururu” possuem abertura espiracular especialmente bem desenvolvida enquanto em *Paratrygon aiereba* essa estrutura é relativamente diminuta (Figura 4).

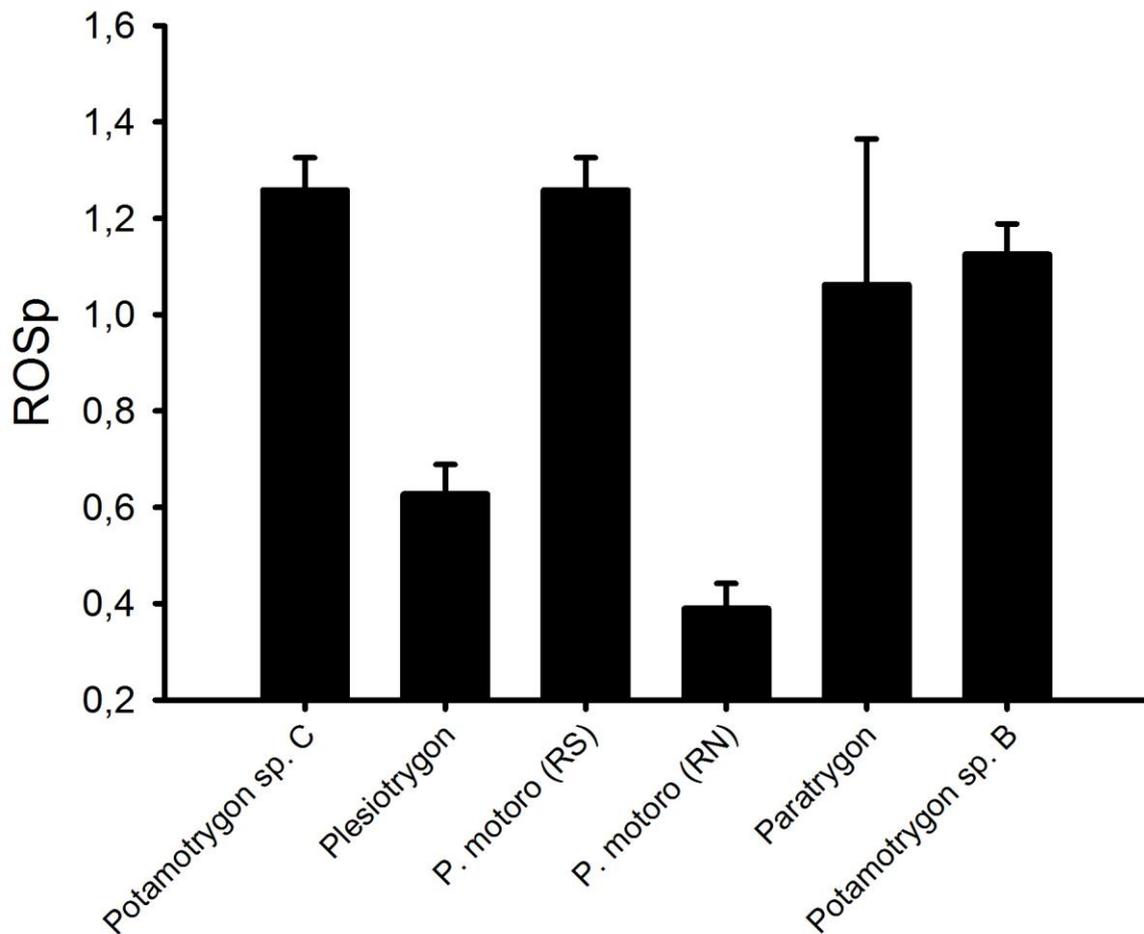


Figura 4. Abertura relativa do espiráculo (ROSp) em diferentes espécies de Potamotrygonidae na fase embrionária. Os exemplares de *Potamotrygon motoro* foram provenientes de diferentes rios Solimões (RS) e Negro (RN). A espécie ainda não descrita como *Potamotrygon* sp.C é vulgarmente conhecida como arraia cururu.

A análise dos componentes principais realizada com as variáveis lineares biométricas revelou que o componente 1 (eixo 1 com Eigenvalue = 8,1 explica 74% da variância) separa os embriões maiores da menor espécie de potamotrigonídeos estudados (*Potamotrygon* sp. C “arraia cururu”). Enquanto, as medidas relacionadas ao espiráculo (largura e comprimento) e ao comprimento da nadadeira pélvica separam as espécies pelo componente 2 (eixo 2 com Eigenvalue = 1,1 explica 11% da variância). Os embriões de *Potamotrygon* sp. C “arraia cururu” possuem tais dimensões relativamente maiores que as demais espécies (Figura 5).

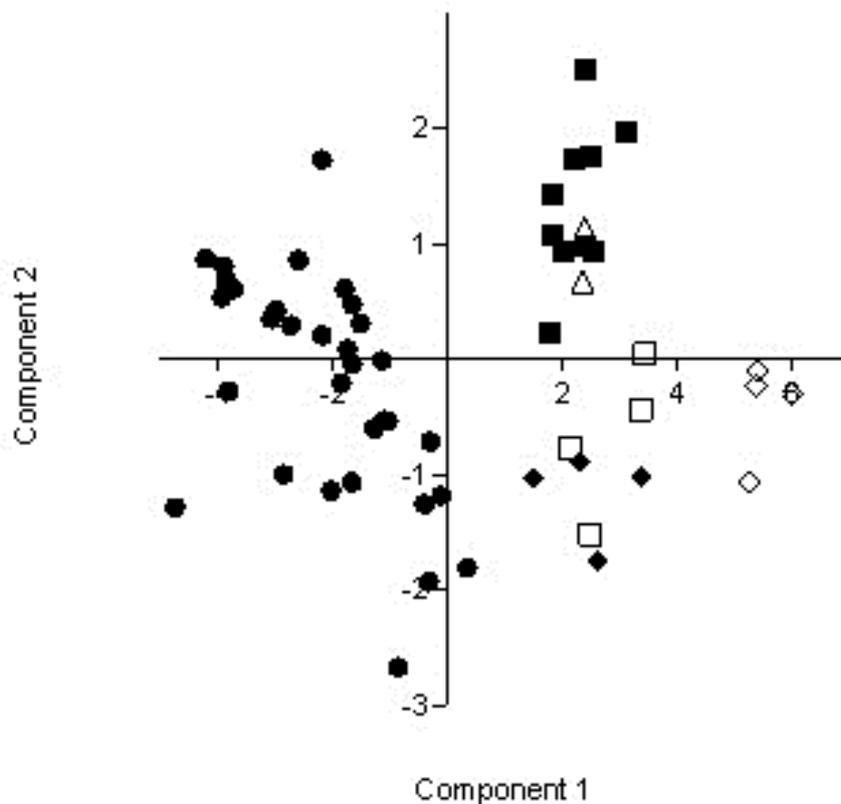


Figura 5. Diagrama obtido com os dois primeiros eixos (componente 1 e componente 2) da análise dos componentes principais (PCA) com as medidas lineares obtidas nos embriões de potamotrigonídeos: *Potamotrygon motoro*, Rio Solimões (■); *Potamotrygon motoro*, Rio Negro (□); *Potamotrygon* sp. C “arraia cururu” (●); *Paratrygon aiereba* (◇); *Potamotrygon* sp. B, espécie nova (△); *Plesiotrygon iwamae* (◆).

A análise de covariáveis canônicas utilizando apenas os cinco índices ecomorfométricos revela que o comprimento relativamente grande das nadadeiras caudal e pélvica separam os embriões de *Plesiotrygon iwamae* das demais espécies (eixo 1). De igual modo, os embriões de *Potamotrygon* sp. C “arraia cururu” separam-se das demais espécies (no eixo 2) devido ao reduzido comprimento relativo da cauda (Figura 6).

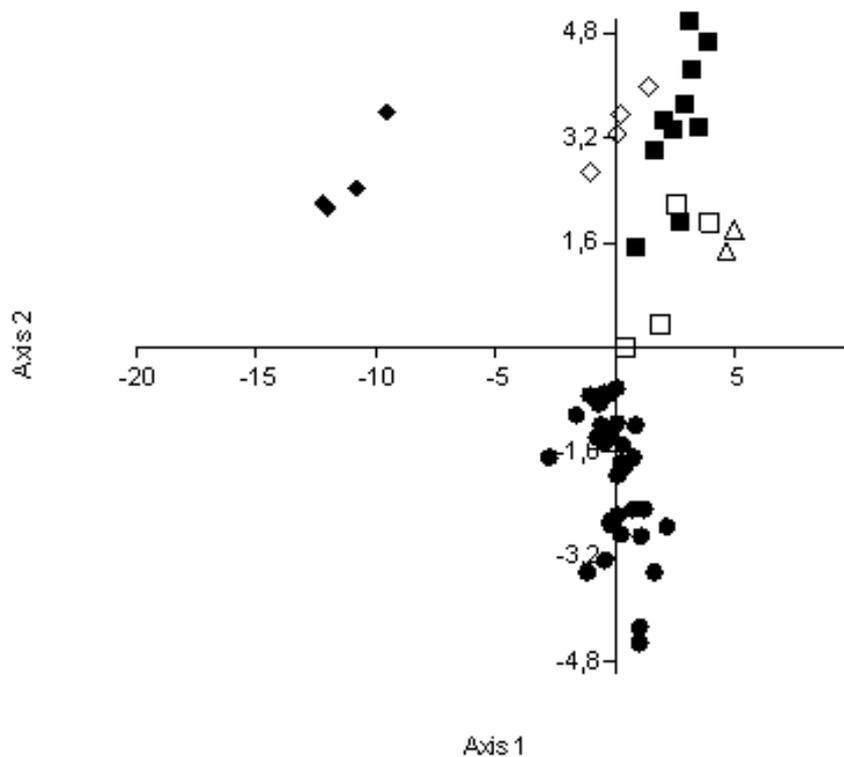


Figura 6. Diagrama obtido com os dois primeiros eixos (componente 1 e componente 2) da análise de covariáveis canônicas (CVA) com os cinco índices ecomorfométricos obtidas nos embriões de potamotrigonídeos: *Potamotrygon motoro*, Rio Solimões (■); *Potamotrygon motoro*, Rio Negro (□); *Potamotrygon* sp. C, arraia cururu (●); *Paratrygon aiereba* (◇); *Potamotrygon* sp. B, espécie nova (△); *Plesiotrygon iwamae* (◆). Os índices ecomorfométricos utilizados nessa análise foram: Comprimento relativo da nadadeira peitoral (RLPec), Comprimento relativo da nadadeira pélvica (RLPel), Relação entre nadadeira pélvica e peitoral (Pel/Pec), Comprimento relativo da cauda (RLTal), Abertura relativa da boca (RWMo) e Abertura relativa do espiráculo (ROSp). Os detalhes desses índices estão descritos no item material e métodos.

A análise de cluster utilizando apenas os índices ecomorfológicos agrupam os embriões de *Plesiotrygon iwamae* e *Paratrygon aiereba* como espécies morfológicamente semelhantes, especialmente no comprimento relativo da cauda. Os embriões de *Potamotrygon motoro*, independente do rio de coleta são morfotipicamente semelhantes entre si, e o mesmo ocorre entre *Potamotrygon* sp. C “arraia cururu” e *Potamotrygon* sp. B (Figura 7).

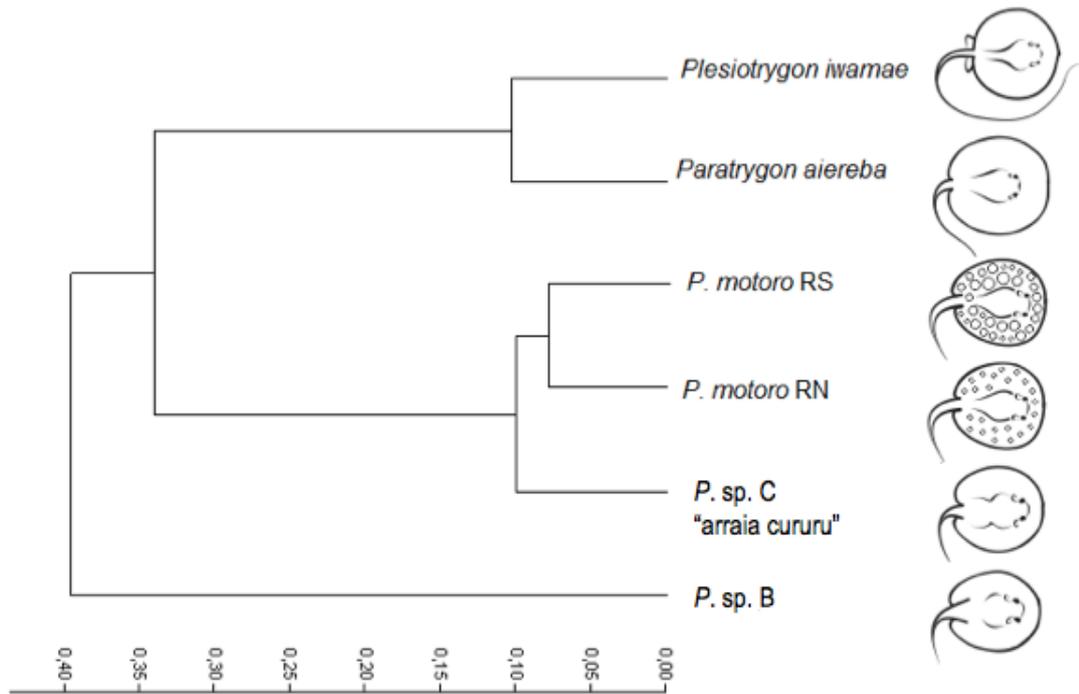


Figura 7. Dendrograma baseado nos índices ecomorfológicos mostrando as relações entre os embriões de potamotrigonídeos.

Discussão

Os batóideos possuem o corpo dorso-ventralmente achatado, o permite explorar um variado nicho bentônico. Esse grupo possui ainda uma natação singular como o resultado da modificação da nadadeira peitoral expandida em forma de disco permitindo uma capacidade de locomoção, propulsão e estabilidade durante o deslocamento. No entanto, a locomoção e capacidade de forragear diferentes substratos depende do conjunto e da sincronia das demais estruturas anatômicas. Além disso, pequenas diferenças observadas em diferentes linhagens podem ter sido o resultado de pressões seletivas ambientalmente induzidas.

Os resultados desse estudo, ainda que realizado com embriões a termo (próximo ao período do nascimento) de arraias de água doce da família Potamotrygonidae sustentam a hipótese de que traços morfológicos podem estar associados às características ecológicas e ao estilo de vida desses animais quando tornarem-se neonatos. Por exemplo, *Plesiotrygon iwamae* que é um gênero endêmico da drenagem Amazônica, do Rio Napo, no Equador, até a foz do Rio Amazonas, no Pará, inclusive do Baixo Rio Tocantins (Rosa et al., 2010) possui largura do disco relativamente curta em relação ao seu comprimento total. Com isso, a forma do disco dessa espécie tende a ser triangular. Nessa espécie, a cauda é extraordinariamente grande e robusta. Isso pode auxiliar nos movimentos natatórios proporcionando-lhe melhor fricção e estabilidade próximo ao substrato em ambiente de águas lótic, tais como nas calhas de águas correntes dos rios Solimões/Amazonas e Madeira onde essa espécie é normalmente encontrada (Duncan & Fernandes, 2010; Rosa et al., 2010). Ambiente lótico sugere água normóxica. De fato, diferente dos lagos, o canal principal do rio a saturação de oxigênio é elevada (Duncan & Fernandes, 2010). Se a abertura espiracular está associada à canalização de maior volume de água à câmara branquial. Espécies com maior abertura espiracular podem canalizar maior quantidade de oxigênio para o epitélio branquial. Mas isso pode não ser o caso para *P. iwamae*, pois o ambiente é normóxico. Com isso, o reduzido espiráculo pode estar associado às características peculiares do ambiente de fundo que essa espécie explora. O ambiente com forte correnteza e grande quantidade de material particulado poderá causar profundas lesões no delicado epitélio branquial.

À semelhança de *P. iwamae*, *Paratrygon aiereba* também possui um reduzido espiráculo. Mas, essa espécie é ampla distribuição. É encontrada em quase todas as grandes bacias hidrográficas da Amazônia (Rosa et al., 1987; Carvalho et al., 2003). É uma espécie plástica e tolerante aos diferentes tipos de águas (Duncan et al., 2009; Duncan et al., 2011). Com isso, é possível encontrá-la tanto em águas normóxicas da calha dos grandes rios, quanto nas hipóxicas dos lagos de várzea ou igapós (Duncan & Fernandes, 2010). Portanto, diferente de *P. iwamae*, o reduzido espiráculo pode estar associado ao comportamento lento e com baixa demanda metabólica. Por outro lado, embriões e neonatos de *P. aiereba* apresentam nadadeira caudal relativamente longa. Traço compartilhado com embriões e neonatos de *P. iwamae*. Essa característica é plesiomórfica (Lovejoy et al., 2006), por isso, que elas se mostram agrupadas nas análises de cluster (análise de agrupamento). Porém, diferente de *P. iwamae*, os jovens subadultos e adultos de *Paratrygon aiereba* não possuem tais características. Ainda não está esclarecido como a cauda torna-se reduzida nas fases mais tardias da vida de *Paratrygon aiereba*, mas provavelmente é mutilada por predadores ao longo da vida do animal. *Paratrygon aiereba* é provavelmente a maior arraia de água potamotrygonidae. Essa espécie pode chegar a pesar 113 kg (Barbarino & Lasso, 2009). A nadadeira peitoral expandida tem a forma circular.

Por outro lado, a nadadeira pélvica é relativamente curta se comparada à largura do disco. Isso sugere uma inabilidade para essa espécie explorar ambientes com folhiços, liteiras submersas, troncos ou regiões bentônicas com substratos rochosos, pois a imensa área ventral exposta torna-se vulnerável ao atrito com tais substratos. De fato, *Paratrygon aiereba* é uma espécie dominante nas áreas arenosas próximas às margens dos rios, lagos de várzea e igapós (Duncan & Fernandes, 2010). É uma espécie piscívora (Rosa et al., 2010). Isso pode explicar a boca proporcionalmente grande observada nessa espécie. A boca relativamente grande numa espécie de comportamento sedentário pode sugerir que essa espécie adota uma estratégia de captura de presa do tipo senta-espera ou forrageador lento que aprisiona as presas por submissão. O mecanismo de captura de presa de várias espécies de potamotrigonídeos tem sido estudado por Shibuya et al., 2009.

Em contraste, *Potamotrygon* sp. (arraia cururu) é a menor das espécies de potamotrigonídeos até então estudada. Essa espécie ainda não foi formalmente descrita na literatura. Indubitavelmente, é espécie de arraia de água doce mais estudada. Ainda que a forma do disco dessa espécie seja circular, a nadadeira pélvica e a abertura espiracular relativamente grandes sugere que essa espécie explora substratos hostis para a maioria das demais espécies de arraia de água doce. De fato, a arraia cururu é encontrada nas águas ácidas e pobres em íons de igapós do Rio Negro (Duncan et al., 2010; Rosa et al., 2010; Duncan et al., 2011). Com isso, a nadadeira pélvica pode ser vantajosa para explorar substrato de fundo recoberto por folhiços e troncos submersos à busca de presas. Além disso, a concentração de oxigênio nesses ambientes são normalmente hipóxicos. Todavia, essa espécie possui um espiráculo relativamente grande canalizando maior volume de água para sua imensa área branquial (Duncan et al., 2010), com isso conferindo uma excelente resistência à baixa concentração de oxigênio.

Potamotrygon motoro é a espécie com a maior distribuição geográfica dentre os potamotrigonídeos (Rosa et al., 2010). É encontrada em todos os tipos de água: preta, branca, clara (Duncan et al., 2010). Possui alguns traços morfológicos semelhantes à arraia cururu, porém, possui maior porte. Na análise de cluster, os embriões de *P. motoro* e arraia cururu estão agrupados no mesmo clado. Os adultos podem atingir 40 kg de peso corporal (Charvet-Almeida et al., 2005). Um exemplar de *Potamotrygon* (ainda não descrito) foi coletado no rio Jutáí (Alto Solimões, margem direita) apresentou características morfométricas semelhantes à *P. motoro*. Na bacia do Rio Negro *P. motoro* coexiste com a arraia cururu nas áreas de igapós. Por isso, algumas características biométricas são semelhantes entre essas duas espécies. Porém, devido ao porte físico apenas os exemplares neonatos são simpáticos e sintópicos com a arraia cururu.

Em vários aspectos, os embriões da arraia *Potamotrygon orbgnyi* são semelhantes aos de *Potamotrygon motoro* e arraia cururu. Porém, a morfologia da boca é relativamente menor que nas

demais espécies de potamotrigonídeos. A amplitude da boca pode estar relacionada aos hábitos alimentares. Segundo Teixeira & Bennemann (2007) as arraias de água doce exibem os mais variados hábitos alimentares. Segundo, Moro & Guilherme (2011), a espécie *Potamotrygon orbignyi* alimenta-se de insetos, especialmente Díptera, Ephemeroptera e Odonata. Uma dieta que consiste de pequenas presas sugere um potencial reduzido na abertura bucal, tal como foi observado em nosso estudo.

Conclusão

Embriões de *Plesiotrygon iwamae* caracteriza-se por uma cauda longa e robusta, o qual pode representar melhor estabilidade na natação dos neonatos, além disso, essa espécie possui uma nadadeira peitoral triangular. Tais características contribuem positivamente em ambientes com forte e constante fluxo de água, como o Rio Solimões, no qual essa espécie é encontrada.

Embriões de *Paratrygon aiereba* possuem cauda longa, nadadeira peitoral bem desenvolvida, espiráculo pequeno e nadadeira pélvica reduzida. Isso proporciona ao animal maior força propulsiva para o nado e estabilidade em corrente de água. Além disso, pouca amplitude espiracular indica baixa capacidade à hipóxia, sendo assim essa espécie habitante de águas bem oxigenadas.

Embriões de *Potamotrygon* sp. C “arraia cururu” possuem disco circular, nadadeira pélvica bem desenvolvida, espiráculo bem desenvolvido e uma boca relativamente grande. Tais aspectos morfológicos contribuem para o nicho dessa espécie endêmica das áreas de igapó do Rio Negro pela necessidade de grande controle dos movimentos finos para locomoção entre troncos de árvores submersos na água, bem como à alta capacidade de vivencia em águas com pouco oxigênio disponível.

Referências Bibliográficas

- Barbarino, A. & Lasso, C. A. 2009. La Pesca Comercial de la Raya Manta *Paratrygon aiereba* (Müller & Henle, 1841) (Myliobatiformes, Potamotrygonidae), En el Rio Apure, Venezuela. *Acta Apuroquia*, (1):24-31.
- Bond, C. E. 1979. *Biology of Fishes*. Saunders College Publishing, Philadelphia, 514p.
- Breda, L.; Oliveira, E. F.; Goulart, E. 2005. Ecomorfologia de locomoção de peixes com enfoque para espécies neotropicais. *Acta Sci. Biol. Sci.*, 27(4):371-381.
- Carvalho, M. R.; Lovejoy, N. R. & Rosa, R. S. 2003. Family Potamotrygonidae (river stingrays). pp. 22-28. In: Reis, R. E.; Kullander, S. O. & Ferraris Jr., C. J. (Orgs.). *Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America*. Editora da Pontificia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 729 p.
- Carvalho, M. R. & Lovejoy, N. R. 2011. Morphology and phylogenetic relationships of a remarkable new genus and two new species of Neotropical freshwater stingrays from the Amazon basin (Chondrichthyes: Potamotrygonidae). *Zootaxa*, 2776: 13–48.
- Casatti, L. 1996. *Biologia e ecomorfologia dos peixes de um trecho de corredeiras no curso superior do rio São Fransisco, São Roque de Minas, MG*. Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- Charvet-Almeida, P.; Araújo, M. L. G. & Almeida, M. P. 2005. Reproductive aspects of freshwater stingrays (Chondrichthyes: Potamotrygonidae) in the Brazilian Amazon Basin. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 34: 165-171.
- Copagno, L. J. V. & Cook, S. F. 1995. The exploration and conservation of freshwater elasmobranchs: status of taxa and prospects for the future. In: Oetinger, M.I.; Zorzi, G.D. (Eds.). *The Biology of Freshwater Elasmobranch*. *Journal of Aquaculture & Aquatic Science*, 7: 62-90.
- Duncan, W. P., Costa, O. T. F., Araujo, M. L. G. & Fernandes, M. N. 2009. Ionic regulation and Na⁺-K⁺-ATPase activity in gills and kidney of the freshwater stingray *Paratrygon aiereba* living in white and blackwaters in the Amazon Basin. *Journal of Fish Biology*, 74:956–960.
- Duncan, W. P. & Fernandes, M. N. 2010. Physicochemical characterization of the white, black, and clearwater rivers of the Amazon Basin during the rainy period and its implications on the distribution of freshwater stingrays (Chondrichthyes, Potamotrygonidae). *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 53:454-464.

- Duncan, W. P.; Silva, N. F. & Fernandes, M. N. 2011. Mitochondrion-rich cells distribution, Na⁺/K⁺-ATPase activity and gill morphometry of the Amazonian freshwater stingrays (Chondrichthyes: Potamotrygonidae). *Fish Physiology and Biochemistry*. 37:523-531.
- Lonardoni, A. P.; Oliveira, E. F. & Goulart, E. 2009. Trophic ecomorphology of *Potamotrygon falkneri* and *Potamotrygon motoro* (Chondrichthyes - Potamotrygonidae) on the Upper Paraná river floodplain, Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 4(4):436-445.
- Lovejoy, N. R.; Albert, J. S. & Crampton, W. G. R. 2006. Miocene marine incursions and marine/freshwater transitions: Evidence from Neotropical fishes. *Journal of South American Earth Sciences*, (21):5-13.
- Moro, G.; Charvet, P. & Rosa, R. S. 2012. Insectivory in *Potamotrygon signata* (Chondrichthyes: Potamotrygonidae), an endemic freshwater stingray from the Parnaíba River basin, northeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 72(4):885-891.
- Rand, H. W. 1907. The functions of the spiracle of the skate. *The American Naturalist*, XLI(495): 287-302.
- Rosa, R. S. 1985. A systematic revision of the South American Freshwater stingrays (Chondrichthyes: Potamotrygonidae). A dissertation presented to the Faculty of the school of Marine Science the college of William and Mary in Virginia. 523pp.
- Rosa, R. S.; Charvet-Almeida, P. & Quijada, C.C.D. 2010. Biology of the South American potamotrygonid stingrays. pp. 241-281. In : Carrier, J. C.; Musick, J. A. & Heithaus, M. R. (Eds.), *Sharks and Their Relatives II: Biodiversity, Adaptive Physiology, and Conservation*. CRC Press, Florida, 736p.
- Shibuya, A.; Zuanon, J. & Tanaka, S. 2012. Feeding behavior of the Neotropical freshwater stingray *Potamotrygon motoro* (Elasmobranchii: Potamotrygonidae). *Neotropical Ichthyology*, 10(1): 189-196.
- Silva, A. G. C. 2006. Morfometria e ecologia de *Potamotrygon motoro* (Natterer in Muller & Henle, 1841) e *Potamotrygon falkneri* Castex & Maciel, 1963 (Chondrichthyes: Potamotrygonidae) da planície de inundação do alto rio Paraná, Brasil. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais da Universidade Estadual de Maringá.
- Teixeira, I.; Bennemann, S. T. 2007. Ecomorfologia refletindo a dieta dos peixes em um reservatório no sul do Brasil. *Biota Neotropica*, 7(2):67-76.