



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**  
**CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**PAULO VICTOR DE OLIVEIRA ARAUJO**

**VARIAÇÕES ECOMORFOLÓGICAS INTRAESPECÍFICAS DE *Atherinella*  
*brasilensis* (ATHERINIFORMES: ATHERINOPSIDAE) EM ECOSISTEMAS  
DULCÍCOLA E SALOBROS**

**FORTALEZA**

**2016**

PAULO VICTOR DE OLIVEIRA ARAUJO

VARIAÇÕES ECOMORFOLÓGICAS INTRAESPECÍFICAS DE *Atherinella brasiliensis*  
(ATHERINIFORMES: ATHERINOPSIDAE) EM ECOSISTEMAS DULCÍCOLA E  
SALOBROS

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas do Departamento de Biologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Iván Sánchez Botero.

Coorientador: Carlos Alberto de Sousa Rodrigues Filho.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A69v Araujo, Paulo Victor de Oliveira.  
Variações ecomorfológicas intraespecíficas de *Atherinella brasiliensis* (Atheriniformes: Atherinopsidae) em ecossistemas dulcícola e salobros / Paulo Victor de Oliveira Araujo. – 2016.  
24 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Ciências Biológicas, Fortaleza, 2016.

Orientação: Prof. Dr. Jorge Iván Sánchez Botero.

Coorientação: Prof. Carlos Alberto de Souza Rodrigues Filho.

1. Ecologia. 2. Morfologia. 3. Peixe-rei. 4. Reservatório. 5. Lagoas costeiras. I. Título.

CDD 570

---

PAULO VICTOR DE OLIVEIRA ARAUJO

VARIAÇÕES ECOMORFOLÓGICAS INTRAESPECÍFICAS DE *Atherinella brasiliensis*  
(ATHERINIFORMES: ATHERINOPSIDAE) EM ECOSISTEMAS DULCÍCOLA E  
SALOBROS

Monografia apresentada ao Curso de Ciências  
Biológicas do Departamento de Biologia da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial para obtenção do título de Bacharel em  
Ciências Biológicas.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Jorge Iván Sánchez Botero (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. João Eduardo Pereira de Freitas  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

MSc. Luis Artur Valões Bezerra  
Universidade Federal do Paraná (UFPR)

## RESUMO

Análises ecomorfológicas são ferramentas de estudo da influência dos recursos, interações e fatores bióticos e abióticos sobre a forma do corpo dos indivíduos. De acordo com o conceito ecomorfológico, é possível realizar inferências da influência do ambiente e seus recursos a partir de características da forma dos espécimes. Estudos sobre variações morfológicas intraespecíficas em peixes indicam que estas podem ser resultado de diferenças de nicho entre populações, favorecendo a adaptação destas de acordo com mudanças ambientais. O peixe-rei, *Atherinella brasiliensis*, apresenta ampla distribuição geográfica ao longo de todo o Atlântico Sul e é residente de ambientes estuarinos. Espécimes desta espécie foram frequentemente capturados no reservatório Sítios Novos (Caucaia – CE), a 33km do litoral. A partir disto, este estudo teve por objetivo comparar as características ecomorfológicas das populações de *A. brasiliensis* do reservatório Sítios Novos e das lagoas da Taíba (São Gonçalo do Amarante – CE) e do Cauípe (Caucaia – CE), duas lagoas costeiras onde a espécie também ocorre. A hipótese deste estudo foi: “a população de *A. brasiliensis* do reservatório Sítios Novos apresenta estrutura ecomorfológica distinta em relação às populações da mesma das lagoas da Taíba e do Cauípe”. Coletas de espécimes de *A. brasiliensis* foram realizadas entre março e setembro de 2014, através de lances de tarrafa e arrastos de praia. Posteriormente, os espécimes capturados foram fixados em formol 10% e preservados em álcool 70%. Vinte e uma medições morfométricas foram realizadas em 20 espécimes de cada ecossistema estudado. A partir destas medições, 22 índices ecomorfológicos foram calculados. Uma Análise de Componentes Principais (PCA) identificou tendências na morfologia das populações de *A. brasiliensis* analisadas e uma Análises de Variância Multivariada com Permutações (PERMANOVA) indicou que a população do reservatório Sítios Novos diferiu significativamente em relação às populações das lagoas costeiras. Os indivíduos da população do reservatório Sítios Novos apresentaram bocas mais protráteis e nadadeiras peitorais, pélvicas e caudais mais desenvolvidas enquanto os indivíduos das populações das lagoas costeiras apresentaram olhos e cabeças maiores, corpos mais depressivos, e nadadeiras peitorais, pélvicas e dorsais mais desenvolvidas. As diferenças ecomorfológicas entre as populações de *A. brasiliensis* analisadas sugerem que um conjunto de variáveis ambientais influenciam estas em cada ecossistema estudado.

**Palavras-chave:** Ecologia. Morfologia. Peixe-rei. Reservatório. Lagoas costeiras.

## ABSTRACT

Ecomorphological analyzes are study tools of the resources, interactions and biotic and abiotic factors influence on the body shape of individuals. According to the ecomorphological concept, it is possible to make inferences of the environment influence and its resources from specimens shape characteristics. Studies on intraspecific morphological variations in fish indicate that they may be the result of niche differences among populations, favoring their adaptation according to environmental changes. The kingfish, *Atherinella brasiliensis*, has wide distribution throughout the South Atlantic and is resident of estuarine environments. Specimens of this species were often caught in Sítios Novos reservoir (Caucaia – CE), 33km from the coast. From this, this study aimed to compare the ecomorphological characteristics of *A. brasiliensis* populations from Sítios Novos reservoir (Caucaia – CE) and from Taíba (São Gonçalo do Amarante – CE) and Cauípe (Caucaia – CE) lagoons, two coastal lagoons where the species also occurs. This study hypothesis was: "Sítios Novos reservoir *A. brasiliensis* population has distinct morphological structure in relation to Taíba and Cauípe lagoons *A. brasiliensis* populations". Collects of *A. brasiliensis* specimens were carried out between March and September 2014, through castnet bids and beach seines. Subsequently, captured specimens were fixed in 10% formalin and preserved in 70% alcohol. Twenty-one morphometric measurements were performed on 20 specimens of each studied ecosystem. From these measurements, 22 ecomorphological indexes were calculated. A Principal Component Analysis (PCA) identified trends in *A. brasiliensis* populations morphology and a Permutational Multivariate Analysis of Variance (PERMANOVA) indicated that Sítios Novos reservoir population significantly differed from coastal lagoons populations. Sítios Novos reservoir population individuals presented more protractile mouths and more developed pectoral, pelvic and caudal fins while coastal lagoons populations individuals presented larger eyes and heads, more depressed bodies, and more developed pectoral, pelvic and dorsal fins. Ecomorphological differences among analyzed *A. brasiliensis* populations suggests that a number of environmental variables affect them in each studied ecosystem.

Keywords: Ecology. Morphology. Kingfish. Coastal lagoons. Reservoir.

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	06
2	<b>OBJETIVO</b> .....	08
3	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	09
3.1	<b>Áreas de estudo</b> .....	09
3.2	<b>Amostragem de <i>A. brasiliensis</i></b> .....	09
3.3	<b>Análise ecomorfológica de <i>A. brasiliensis</i></b> .....	10
3.4	<b>Análise de dados ecomorfológicos de <i>A. brasiliensis</i></b> .....	11
4	<b>RESULTADOS</b> .....	14
5	<b>DISCUSSÃO</b> .....	18
6	<b>CONCLUSÕES</b> .....	20
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	21

## 1 INTRODUÇÃO

A ecomorfologia é uma ferramenta utilizada para avaliar a relação entre características morfológicas das espécies e aspectos ecológicos (PERES-NETO, 1999). Seguindo esta premissa, é esperado que parte do nicho ecológico, ou seja, o conjunto de fatores bióticos e abióticos e os recursos disponíveis para as espécies (BEGON *et al.*, 2007), possa ser previsto pela avaliação de características morfológicas (WATSON; BALON, 1984). Neste contexto, variações morfológicas inter e intraespecíficas, que são consideradas elementos fundamentais da seleção natural (DARWIN, 1859), podem influenciar o desempenho no uso de recursos pelas espécies e, conseqüentemente, afetar a sobrevivência destas (WAINWRIGHT, 1994).

Estudos recentes têm mostrado que existe uma relação significativa entre variações morfológicas e aspectos ecológicos, tais como alimentação e ocupação de hábitat (TEIXEIRA; BENNEMANN, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2010; PAGOTTO *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2011). A partir destes estudos, a variação morfológica interespecífica parece ter um papel importante nos aspectos ecológicos, favorecendo a diversificação das espécies, promovendo a diferenciação de nicho e, conseqüentemente, a coexistência das espécies.

Por outro lado, variações morfológicas intraespecíficas também parecem ter um papel chave na ocupação e sobrevivência de algumas espécies ao longo do tempo em um determinado tipo de hábitat (VIOLLE *et al.*, 2012). Considerando o conceito ecomorfológico, variações morfológicas intraespecíficas podem resultar em diferenças súbitas de nicho entre os indivíduos, favorecendo a adaptação de algumas espécies de peixe de acordo com mudanças nas condições ambientais. Estas premissas são corroboradas por estudos realizados por Mittelbach *et al.* (1992), Robison *et al.* (1993), Langerhans *et al.* (2003) e Sampaio *et al.* (2013).

O peixe-rei *Atherinella brasiliensis* (Quoy & Gaimard, 1825), objeto de avaliação ecomorfológica no presente estudo, apresenta ampla distribuição geográfica ao longo de todo o Atlântico Sul, podendo ser encontrado desde a Venezuela ao Rio Grande do Sul (FIGUEIREDO; MENEZES, 1978). É considerado uma espécie residente de ambientes estuarinos (ANDREATA *et al.*, 1990; PESSANHA; ARAÚJO, 2001; NEVES *et al.*, 2006), sendo importante na cadeia trófica de ecossistemas costeiros devido ao papel desta como consumidora primária e secundária (ROCHA *et al.*, 2008). Apesar de ser abundante nos ecossistemas costeiros brasileiros, não possui importância comercial, podendo ainda ser citada

a utilização desta na pesca esportiva como isca, ou como fonte de alimento por comunidades costeiras (CONTENTE *et al.*, 2010).

Amostragens bimestrais de peixes realizadas pela equipe do Laboratório de Ecologia Aquática da Universidade Federal do Ceará (LEA – UFC) entre os anos de 2013 e 2014 registraram a constante ocorrência de *A. brasiliensis* em um ecossistema dulcícola, o reservatório Sítios Novos (Caucaia – CE). Posteriormente, foi identificado um canal de escoamento que possivelmente, em períodos de chuva, conecta o referido reservatório a uma lagoa costeira onde *A. brasiliensis* também ocorre, a lagoa da Taíba (São Gonçalo do Amarante – CE). Diante disso, surgiu uma questão direcionada à comparação ecomorfológica entre as populações de *A. brasiliensis* que ocorrem nos ecossistemas mencionados, juntamente com outra população da mesma que ocorre na lagoa do Cauípe (Caucaia – CE), outra lagoa costeira, porém sem aparente conexão com o reservatório Sítios Novos. Com base na ocorrência de *A. brasiliensis* em ecossistemas com diferentes características ambientais, a hipótese deste estudo foi: “a população de *A. brasiliensis* do reservatório Sítios Novos apresenta estrutura ecomorfológica distinta em relação às populações da mesma das lagoas da Taíba e do Cauípe”.

## 2 OBJETIVO

Verificar a existência de variações ecomorfológicas entre populações de *A. brasiliensis* do reservatório Sítios Novos (Caucaia – CE) e das lagoas da Taíba (São Gonçalo do Amarante – CE) e do Cauípe (Caucaia – CE).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Áreas de estudo

O reservatório Sítios Novos, localizado no município de Caucaia – CE (3°47'52"S, 38°58'12"O), possui área de 16,48 km<sup>2</sup> e profundidade média de 7,64 m (MAPA 1). Este ecossistema foi construído no ano de 1999 a partir do barramento do rio São Gonçalo e possui um canal de escoamento que abastece as cidades vizinhas (Bezerra *et al.*, 2014).

A lagoa da Taíba, localizada na zona costeira do município de São Gonçalo do Amarante – CE (3°28'3"S, 38°55'52"O), a aproximadamente 33 km do reservatório Sítios Novos, é formada pela foz do rio Anil (MAPA 1). Este ecossistema possivelmente apresenta conexão com o reservatório Sítios Novos através do canal de escoamento deste último em períodos de chuva (*Obs. Pess*).

A lagoa do Cauípe, localizada na zona costeira do município de Caucaia – CE (3°35'26"S, 38°46'38"O), a aproximadamente 27 km do reservatório Sítios Novos e 21 km da lagoa da Taíba, é formada pela foz do rio Cauípe (MAPA 1). Este ecossistema aparentemente não apresenta conexão com os outros ecossistemas avaliados neste estudo (*Obs. Pess*).

#### 3.2 Amostragens de *A. brasiliensis*

As coletas dos espécimes de *A. brasiliensis* foram realizadas nos meses de março, abril, maio, agosto e setembro de 2014, sendo obtidas três réplicas para cada ecossistema estudado. A captura dos espécimes foi realizada através de lances de tarrafa, com tarrafas de 2 m de diâmetro e malha de 0,8 cm entre nós adjacentes, e arrastos de praia, com uma rede de arrasto manual de 7 m de comprimento, 2 m de altura e malha de 0,8 cm entre nós adjacentes.

Os espécimes capturados foram identificados de acordo com Dyer (2006), fixados em formol 10% e então preservados em álcool 70%. Espécimes testemunhos foram depositados na coleção ictiológica do Laboratório de Ictiologia Sistemática e Evolutiva (LISE) da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), registrados com o número de tombo UFRN3526.

Mapa 1 – Localização das áreas de estudo.



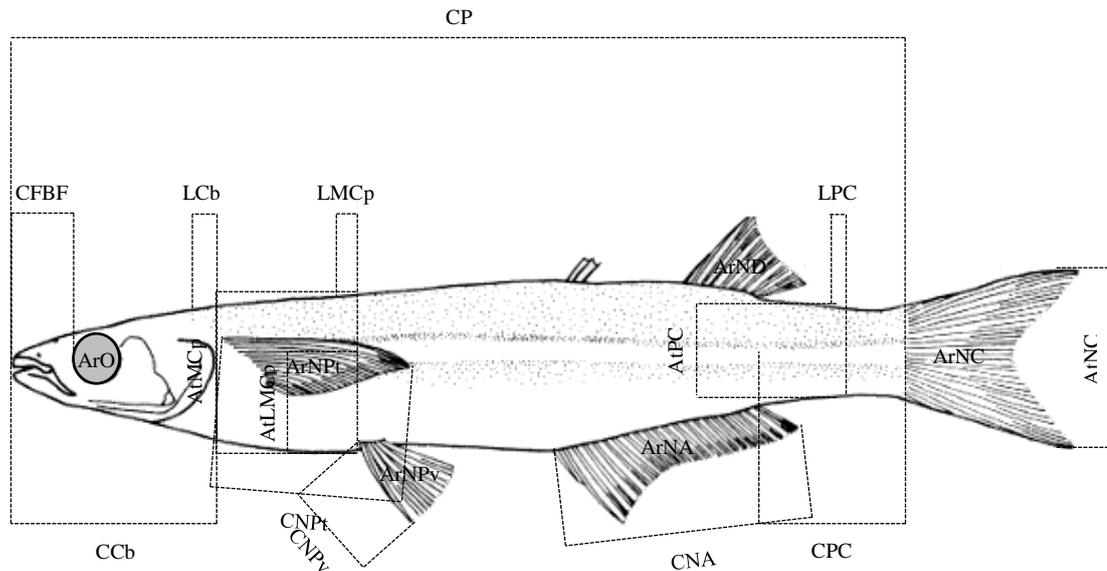
Fonte: WikiMapia (<http://www.wikimapia.org>, consultado em julho de 2016).

### 3.3 Análise ecomorfológica de *A. brasiliensis*

Um total de 60 espécimes de *A. brasiliensis* foram medidos, sendo 20 de cada ecossistema estudado. Apenas indivíduos adultos ( $\geq 7,6$  cm), considerando o comprimento médio da primeira maturação, de acordo com a metodologia proposta por Vazzoler (1996), foram utilizados nas medições. Quinze medições morfométricas lineares e seis áreas foram obtidas para cada espécime analisado (FIGURA 1).

As medições morfométricas lineares foram obtidas com um paquímetro digital, com 0,01 mm de precisão, e as áreas através da análise de fotos das estruturas dos espécimes inseridas no software AxioVision (ZEISS, 2011). Todas as medições foram obtidas do lado esquerdo dos espécimes. A partir das medições morfométricas lineares e áreas, 18 índices ecomorfológicos foram calculados para cada espécime analisado (TABELA 1).

Figura 1 – Representação esquemática das medições morfométricas lineares e áreas.



Fonte: FishBase (<http://www.fishbase.org>, consultado em julho de 2016). Legenda: CFBF – Comprimento do focinho com a boca fechada, CFBA – Comprimento do focinho com a boca aberta, CCB – Comprimento da cabeça, LCb – Largura da cabeça, AtLMCp – Altura da linha média do corpo, AtMCP – Altura máxima do corpo, LMCp – Largura máxima do corpo, CPC – Comprimento do pedúnculo caudal, AtPC – Altura do pedúnculo caudal, LPC – Largura do pedúnculo caudal, CP – Comprimento padrão, CNP – Comprimento da nadadeira peitoral, CNPv – Comprimento da nadadeira pélvica, CNA – Comprimento da nadadeira anal, AtNC – Altura da nadadeira caudal, ArO – Área do olho, ArNPT – Área da nadadeira peitoral, ArNPv – Área da nadadeira pélvica, ArND – Área da nadadeira dorsal, ArNA – Área da nadadeira anal, ArNC – área da nadadeira caudal.

### 3.4 Análise de dados ecomorfológicos de *A. brasiliensis*

Para comparar as características morfológicas dos indivíduos das populações de *A. brasiliensis* analisadas, uma Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada utilizando uma matriz de correlação formada pelos índices ecomorfológicos e os indivíduos de cada população analisada. O critério broken-stick foi adotado para selecionar os eixos significativos para interpretação (JACKSON, 1993).

Em complemento à PCA, uma Análise de Variância Multivariada com Permutações (PERMANOVA) foi realizada para testar diferenças significativas das estruturas ecomorfológicas entre as populações de *A. brasiliensis* analisadas. Ambas análises foram realizadas no software R (R CORE TEAM, 2013).

Tabela 1 – Índices ecomorfológicos respectivas fórmulas e interpretações ecológicas. Continua.

Índices	Fórmulas	Interpretações ecológicas
Índice de protrusão	$IP = CFBA/CFBF$	Valores maiores estão relacionados a uma maior capacidade de captura de presas grandes e evasivas (HULSEY; GARCÍA DE LEÓN, 2005; COCHRAN-BIEDERMAN; WINEMILLER, 2010).
Comprimento relativo da cabeça	$CRCb = CCb/CP$	Valores maiores são encontrados em peixes que se alimentam de presas maiores (GATZ JR., 1979; WATSON; BALON, 1984).
Largura relativa da cabeça	$LRCb = LCb/LMCp$	Valores maiores são encontrados em peixes que se alimentam de presas maiores (OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2010).
Índice de depressão	$ID = AtLMCp/AtMCp$	Valores menores são encontrados em peixes que habitam locais com fluxo de água mais rápido. Corpos mais deprimidos favorecem a capacidade de permanência na coluna d'água sem natação (HORA, 1922; WATSON; BALON, 1984).
Índice de compressão	$IC = AtMCp/LMCp$	Valores maiores são encontrados em peixes que habitam locais com fluxo de água mais lento. Corpos mais comprimidos favorecem a capacidade de manobrabilidade (GATZ JR., 1979; WATSON; BALON, 1984).
Comprimento relativo do pedúnculo caudal	$CRPC = CPC/CP$	Valores maiores são encontrados em peixes que habitam locais com fluxo de água mais rápido, possuindo a necessidade de propulsão em pequenas distâncias (WATSON; BALON, 1984; OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2010).
Altura relativa do pedúnculo caudal	$AtRPC = AtPC/AtMCp$	Valores menores estão relacionados a uma maior capacidade de manobrabilidade (WINEMILLER, 1991; OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2010).
Largura relativa do pedúnculo caudal	$LRPC = LPC/LMCp$	Valores maiores estão relacionados a uma maior capacidade de natação contínua (WINEMILLER, 1991; OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2010).
Área relativa do olho	$ArRO = ArO/(CP)^2$	Índice relacionado à detecção de alimento. Indica a posição preferencial dos peixes na coluna d'água, uma vez que peixes que habitam locais mais profundos possuem olhos menores (GATZ JR., 1979; WIKRAMANAYAKE, 1990).
Razão de aspecto da nadadeira peitoral	$RANPt = (CNPt)^2/ArNPt$	Valores maiores estão relacionados a uma maior velocidade de natação (BREDA <i>et al.</i> , 2005). Para peixes bentônicos que habitam locais com fluxo de água mais rápido, nadadeiras peitorais mais longas favorecem a capacidade de manutenção da posição do corpo contra a correnteza (CASATTI; CASTRO, 1998).

Tabela 1 – Índices ecomorfológicos com respectivas fórmulas e interpretações ecológicas. Conclusão.

Índices	Fórmulas	Interpretações ecológicas
Área relativa da nadadeira peitoral	$ArRNPt = \frac{ArNPt}{(CP)^2}$	Valores maiores estão relacionados a uma maior capacidade de frenagem e aceleração (GATZ JR., 1979; WATSON & BALON, 1984). Para peixes bentônicos que habitam locais com fluxo de água mais rápido, nadadeiras peitorais maiores aumentam a área de contato com a superfície onde o peixe repousa, promovendo uma maior aderência ao substrato (CASATTI; CASTRO, 1998; KERFOOT JR.; SCHAEFER, 2006).
Razão de aspecto da nadadeira pélvica	$RANPv = \frac{(CNPv)^2}{ArNPv}$	Valores maiores estão relacionados a uma maior capacidade de frenagem (GATZ JR., 1979). Para peixes bentônicos que habitam locais com fluxo de água mais rápido, nadadeiras pélvicas mais longas favorecem a manutenção da posição do corpo contra a correnteza (CASATTI; CASTRO, 1998).
Área relativa da nadadeira pélvica	$ArRNPv = \frac{ArNPv}{(CP)^2}$	Valores maiores são encontrados em peixes mais bentônicos, enquanto valores menores são encontrados em peixes mais pelágicos (BREDA <i>et al.</i> , 2005). Para peixes bentônicos que habitam locais com fluxo de água mais rápido, nadadeiras pélvicas maiores aumentam a área de contato com a superfície onde o peixe repousa, promovendo uma maior aderência ao substrato (CASATTI; CASTRO, 1998; KERFOOT JR.; SCHAEFER, 2006).
Área relativa da nadadeira dorsal	$ArRND = \frac{ArND}{(CP)^2}$	Valores maiores estão relacionados a uma maior capacidade de estabilização e frenagem em aceleração (BREDA <i>et al.</i> , 2005).
Razão de aspecto da nadadeira anal	$RANA = \frac{(CNA)^2}{ArNA}$	Valores maiores estão relacionados a uma maior capacidade de execução de rápidos movimentos de progressão e regressão (BREDA <i>et al.</i> , 2005).
Área relativa da nadadeira anal	$ArRNA = \frac{ArNA}{(CP)^2}$	Valores maiores estão relacionados a uma maior capacidade de manobrabilidade e estabilização de movimento (BREDA <i>et al.</i> , 2005).
Razão de aspecto da nadadeira caudal	$RANC = \frac{(AtNC)^2}{ArNC}$	Valores maiores estão relacionados a uma maior capacidade de natação contínua, enquanto valores menores estão relacionados a uma maior capacidade de aceleração (BREDA <i>et al.</i> , 2005).
Área relativa da nadadeira caudal	$ArRNC = \frac{ArNC}{(CP)^2}$	Valores maiores estão relacionados a uma maior capacidade de aceleração (BREDA <i>et al.</i> , 2005; OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2010).

Fonte: Elaborada pelo autor.

## 4 RESULTADOS

As médias dos índices ecomorfológicos das populações de *A. brasiliensis* analisadas estão dispostas na tabela 2.

A PCA teve dois eixos retidos para interpretação de acordo com o critério brokenstick, que explicaram 39,32% da variabilidade total dos dados, tendo o eixo 1 explicado 22,84% e o eixo 2 16,48% (TABELA 3). Em geral, ocorreu uma clara separação entre a população de *A. brasiliensis* do reservatório Sítios Novos e as populações da mesma das lagoas costeiras ao longo do eixo 1, e uma tendência de separação entre as mesmas ao longo do eixo 2, com a população do reservatório Sítios Novos apresentando mais indivíduos com pontuações positivas e as populações das lagoas costeiras mais indivíduos com pontuações negativas ao longo de ambos os eixos (GRÁFICO 1). No eixo 1, os índices com maiores correlações foram o índice de protrusão, o comprimento e a largura da cabeça, a razão de aspecto da nadadeira caudal, e as áreas das nadadeiras peitoral, pélvica e caudal, separando a população do reservatório Sítios Novos, com indivíduos com bocas mais protráteis e nadadeiras peitorais, pélvicas e caudais mais desenvolvidas, em relação às populações das lagoas costeiras, com indivíduos com cabeças maiores (TABELA 3; GRÁFICO 1). No eixo 2, os índices com maiores correlações foram o comprimento da cabeça, o índice de depressão e as áreas do olho e da nadadeira dorsal, separando a população do reservatório Sítios Novos, com indivíduos com corpos menos deprimidos, em relação às populações das lagoas costeiras, com indivíduos com olhos e cabeças maiores, e nadadeiras dorsais mais desenvolvidas (TABELA 3; GRÁFICO 1).

Os resultados da PERMANOVA indicaram que a população de *A. brasiliensis* do reservatório Sítios Novos apresenta estrutura ecomorfológica distinta em relação às populações da mesma das lagoas costeiras ( $F = 20,62$ ,  $R^2 = 35,10\%$  e  $P = 0,001$ , na comparação entre a população do reservatório Sítios Novos e a população da lagoa da Taíba, e  $F = 20,85$ ,  $R^2 = 35,40\%$  e  $P = 0,001$ , na comparação entre a população do reservatório Sítios Novos e a população da lagoa do Cauípe) e que as populações das lagoas costeiras apresentam estruturas ecomorfológicas relativamente semelhantes ( $F = 2,67$ ,  $R^2 = 6,50\%$  e  $P = 0,068$ ), corroborando os resultados da PCA.

Tabela 2 – Média dos índices ecomorfológicos das populações de *A. brasiliensis* do reservatório Sítios Novos e das lagoas da Taíba e do Cauípe.

Índices ecomorfológicos	Populações		
	Lagoa da Taíba	Lagoa do Cauípe	Reservatório Sítios Novos
Índice de protrusão	1,272	1,275	1,349
Comprimento relativo da cabeça	0,263	0,259	0,239
Largura relativa da cabeça	1,277	1,202	1,074
Índice de depressão	0,639	0,636	0,684
Índice de compressão	1,728	1,719	1,574
Comprimento relativo do pedúnculo caudal	0,157	0,161	0,149
Altura relativa do pedúnculo caudal	0,481	0,514	0,483
Largura relativa do pedúnculo caudal	0,340	0,347	0,337
Área relativa do olho	0,004	0,004	0,003
Razão de aspecto da nadadeira peitoral	4,165	4,129	4,108
Área relativa da nadadeira peitoral	0,013	0,013	0,014
Razão de aspecto da nadadeira pélvica	2,099	1,974	1,898
Área relativa da nadadeira pélvica	0,008	0,008	0,009
Área relativa da nadadeira dorsal	0,005	0,005	0,005
Razão de aspecto da nadadeira anal	8,372	9,048	8,608
Área relativa da nadadeira anal	0,009	0,008	0,009
Razão de aspecto da nadadeira caudal	1,410	1,278	1,562
Área relativa da nadadeira caudal	0,030	0,028	0,031

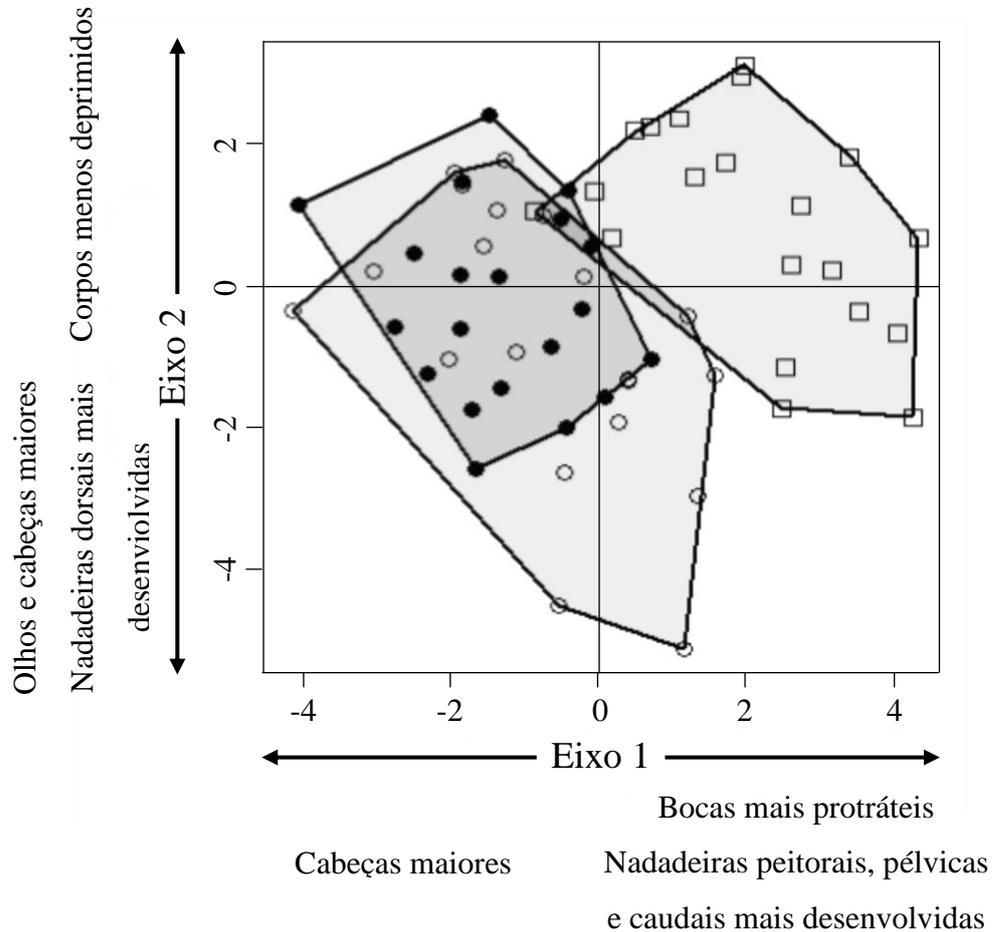
Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 3 – Autovetores dos índices ecomorfológicos nos eixos 1 e 2 da PCA. Os índices mais correlacionados positivamente e negativamente com cada eixo e os respectivos autovetores destes estão em negrito. Na porção inferior estão listados os autovalores real e previsto através do critério broken-stick e as variabilidades explicada e acumulada de cada eixo, em percentagem.

<b>Índices ecomorfológicos</b>	<b>Eixo 1</b>	<b>Eixo 2</b>
<b>Índice de protrusão</b>	<b>0,244</b>	0,070
<b>Comprimento relativo da cabeça</b>	<b>-0,260</b>	<b>-0,324</b>
<b>Largura relativa da cabeça</b>	<b>-0,330</b>	-0,244
<b>Índice de depressão</b>	0,224	<b>0,268</b>
Índice de compressão	-0,233	-0,250
Comprimento relativo do pedúnculo caudal	-0,141	-0,186
Altura relativa do pedúnculo caudal	-0,209	0,043
Largura relativa do pedúnculo caudal	-0,210	-0,076
<b>Área relativa do olho</b>	-0,181	<b>-0,345</b>
Razão de aspecto da nadadeira peitoral	-0,136	0,213
<b>Área relativa da nadadeira peitoral</b>	<b>0,297</b>	<b>-0,314</b>
Razão de aspecto da nadadeira pélvica	-0,228	0,027
<b>Área relativa da nadadeira pélvica</b>	<b>0,297</b>	<b>-0,293</b>
<b>Área relativa da nadadeira dorsal</b>	0,107	<b>-0,405</b>
Razão de aspecto da nadadeira anal	-0,123	0,189
Área relativa da nadadeira anal	0,229	-0,217
<b>Razão de aspecto da nadadeira caudal</b>	<b>0,304</b>	0,037
<b>Área relativa da nadadeira caudal</b>	<b>0,318</b>	-0,235
Autovalor	4,111	2,968
Autovalor (broken-stick)	<4,111	<2,968
Variabilidade explicada (%)	22,84	16,48
Variabilidade acumulada (%)	22,84	39,32

Fonte: Elaborada pelo autor.

Gráfico 1 – Projeção dos eixos 1 e 2 da PCA mostrando a posição dos indivíduos das populações de *A. brasiliensis* do reservatório Sítios Novos e das lagoas da Taíba e do Cauípe no espaço ecomorfológico multivariado, assim como as características morfológicas mais correlacionadas positivamente e negativamente com cada eixo.



Fonte: Elaborada pelo autor. Legenda: □ – Indivíduos da população do reservatório Sítios Novos, ○ – Indivíduos da população da lagoa da Taíba, ● – Indivíduos da população da lagoa do Cauípe.

## 5 DISCUSSÃO

As populações de *A. brasiliensis* analisadas apresentaram estruturas ecomorfológicas distintas, com os indivíduos das populações das lagoas costeiras apresentando características morfológicas mais semelhantes entre si do que com os indivíduos da população do reservatório Sítios Novos, indicando possíveis influências do hábitat, sejam estas bióticas ou abióticas. Os indivíduos da população do reservatório Sítios Novos apresentaram bocas mais protráteis e nadadeiras peitorais, pélvicas e caudais mais desenvolvidas, enquanto os indivíduos das populações das lagoas costeiras apresentaram olhos e cabeças maiores, corpos mais deprimidos, e nadadeiras dorsais mais desenvolvidas.

A alta plasticidade fenotípica e adaptabilidade dos peixes da família Atherinopsidae, assim como a capacidade de colonização destes em ecossistemas dulcícolas e salobros, são reconhecidas na literatura científica (BAMBER; HENDERSON, 1988). Além disto, *A. brasiliensis* possui dieta generalista e oportunista, consumindo uma grande gama de recursos dependendo da disponibilidade (ROCHA *et al.*, 2008). Esses fatores poderiam explicar a ocorrência e o sucesso desta espécie no reservatório Sítios Novos, já que esta é incomum em ecossistemas dulcícolas.

Nadadeiras peitorais e caudais mais desenvolvidas estão relacionadas à uma maior capacidade de natação contínua, aceleração e frenagem (GATZ JR., 1979; WATSON & BALON, 1984; BREDA *et al.*, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2010). Assim, nadadeiras peitorais e caudais mais desenvolvidas na população de *A. brasiliensis* do reservatório Sítios Novos poderiam ser uma maior vantagem neste ecossistema mais profundo e menos estruturado (BEZERRA *et al.*, 2014).

Durante as amostragens de *A. brasiliensis* nas lagoas costeiras, outras espécies de peixes foram capturadas acidentalmente, como *Bathygobius soporator*, *Oreochromis niloticus* e *Cichla* sp., sendo que destas, apenas a última forneceria risco de predação à espécie analisada. Já no reservatório Sítios Novos, é comum a presença de grandes predadores como *Arapaima gigas*, *Cichla monoculus*, *Hoplias malabaricus* e *Plagioscion squamosissimus* (BEZERRA *et al.*, 2015). Assim, nadadeiras peitorais, pélvicas e caudais mais desenvolvidas nas populações de *A. brasiliensis* das lagoas costeiras poderiam ser uma maior adaptação ao maior risco de predação sob o qual estas estão sujeitas (GIBRAN, 2010).

Apesar de estarem relacionadas à captura de presas maiores (HULSEY; GARCÍA DE LEÓN, 2005; COCHRAN-BIEDERMAN; WINEMILLER, 2010), bocas mais protráteis também podem estar relacionadas à captura de presas menores (ALLEV, 1969; GATZ JR.,

1979; WINEMILLER, 1991; WILLIS *et al.*, 2005). Assim, bocas mais prostráteis na população de *A. brasiliensis* do reservatório Sítios Novos poderiam favorecer a maior captura de organismos zooplancônicos presentes em grande quantidade neste ecossistema devido ao fato de este ser eutrofizado (BEZERRA *et al.*, 2014).

Corpos mais deprimidos poderiam estar relacionados a indivíduos que habitam a região mais próxima ao fundo nas populações de *A. brasiliensis* das lagoas costeiras, (CUNICO; AGOSTINHO, 2006; PESSANHA *et al.*, 2015), o que não seria esperado para os indivíduos da população do reservatório Sítios Novos devido à condição deste ecossistema de hipóxia crescente com a profundidade (ESTEVES; FURTADO, 2011; BEZERRA *et al.*, 2014).

Cabeças maiores estão relacionadas à alimentação em presas maiores (GATZ JR., 1979; WATSON; BALON, 1984; OLIVEIRA *et al.*, 2010), como organismos bentônicos nas lagoas costeiras. De fato, apesar de geralmente ocupar a superfície da coluna d'água, *A. brasiliensis* se alimenta de recursos tanto da coluna d'água quanto do fundo (GIBRAN, 2010; PESSANHA *et al.*, 2015).

A área relativa do olho está relacionada à detecção de alimento e indica a posição preferencial dos peixes na coluna d'água, uma vez que peixes que habitam locais mais profundos possuem olhos menores (GATZ JR., 1979; WIKRAMANAYAKE, 1990), fato observado para os indivíduos da população de *A. brasiliensis* do reservatório Sítios Novos. Já para os indivíduos das populações das lagoas costeiras, olhos maiores poderiam ser uma maior vantagem devido ao fato de estes estarem sujeitos a um menor risco de predação e, portanto, possuírem maior liberdade de forrageamento (GIBRAN, 2010; PESSANHA *et al.*, 2015).

Não foram encontradas possíveis interpretações ecológicas em relação às nadadeiras pélvicas e dorsais mais desenvolvidas nos indivíduos das populações de *A. brasiliensis* do reservatório Sítios Novos e das lagoas costeiras, respectivamente.

O contraste entre o tamanho dos olhos e da cabeça e o tamanho das nadadeiras nos indivíduos das populações de *A. brasiliensis* analisadas sugere a existência de diferentes padrões ecomorfológicos entre estes, com os indivíduos da população do reservatório Sítios Novos estando mais adaptados à fuga de predadores e os indivíduos das populações das lagoas costeiras mais adaptados ao forrageamento.

## 6 CONCLUSÃO

Características locais influenciam a ecomorfologia de *A. brasiliensis* sugerindo uma maior separação entre o reservatório Sítios Novos e as lagoas costeiras, que deve estar relacionada ao caráter artificial, introduções, variações de hábitat do reservatório Sítios Novos, além de variações entre micro-hábitats das lagoas costeiras.

Assim, a hipótese de que a população de *A. brasiliensis* do reservatório Sítios Novos apresenta estrutura ecomorfológica distinta em relação às populações da mesma das lagoas da Taíba e do Cauípe, foi corroborada.

Paralelas às avaliações ecomorfológicas realizadas neste estudo, análises que integrem dados de ecologia trófica e observações subaquáticas que avaliem características de comportamento seriam importantes para melhor compreender as respostas das populações de *A. brasiliensis* analisadas às condições ambientais sob as quais estas estão sujeitas.

## REFERÊNCIAS

- ALEEV, Y. G. **Function and gross morphology in fish**. Jerusalem: H. Mills, 1969.
- ANDREATA, J. V.; BARBIÉRI, L. R. R.; SEBÍLIA, A. S. C.; SILVA, M. H. C.; SANTOS, M. A.; SANTOS, R. P. Relação dos peixes da Laguna de Marapendi, Rio de Janeiro, Brasil. **Atlântica**, v. 12, n. 1, p. 5-17, 1990.
- BAMBER R. N.; HENDERSON, P. A. Pre-adaptive plasticity in atherinids and the estuarine seat of teleost evolution. **Journal of Fish Biology**, v. 33, p. 17-23, 1988.
- BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia de Indivíduos e Ecossistemas**. 4ed. São Paulo: Artmed, 2007.
- BEZERRA, L. A. V.; PAULINO, W. D.; GARCEZ, D. S.; BECKER, H.; SÁNCHEZ-BOTERO, J. I. Limnological characteristics of a reservoir in semiarid Northeastern Brazil subject to intensive tilapia farming (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 1, p. 47-59, 2014.
- BEZERRA, L. A. V. Influência da variação temporal no controle das teias tróficas em reservatório que abastece o complexo portuário do Pecém (Ce). Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, 2015.
- BREDA, L.; OLIVEIRA, E. F.; GOULART, E. Ecomorfologia de locomoção de peixes com enfoque para espécies neotropicais. **Acta Scientiarum: Biological Sciences**, v. 27, p. 371-381, 2005.
- CASATTI, L.; CASTRO, R. M. C. A fish community of the São Francisco River headwater riffles, southeastern Brazil. **Ichthyological Exploration of Freshwaters**, v. 9, p. 229-242, 1998.
- COCHRAN-BIEDERMAN, J. L.; WINEMILLER, K. O. Relationships among habitat, ecomorphology and diets of cichlids in the Bladen River, Belize. **Environmental Biology of Fishes**, v. 88, p. 143-152, 2010.
- CONTENTE, R. F.; STEFANONI, M. F.; SPACH, H. L. Feeding ecology of the Brazilian silverside *Atherinella brasiliensis* (Atherinopsidae) in a sub-tropical estuarine ecosystem. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 91, n. 6, p. 1197-1205, 2010.
- CUNICO, A. M.; AGOSTINHO, A. A. Morphological Patterns of Fish and Their Relationships with Reservoirs Hydrodynamics. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 49, n. 1, p. 125-134, 2006.
- DARWIN, C. **On the Origin of Species**. London: John Murray, 1859.
- DYER, B. S. Systematic revision of the South American silversides (Teleostei, Atheriniformes). **Biocell**, v. 30, n. 1, p. 69-88, 2006.

ESTEVEES, F. A.; FURTADO, A. L. S. Oxigênio dissolvido. In: ESTEVEES, F. A. (Ed.). *Fundamentos de Limnologia*. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p. 167-191.

FIGUEIREDO, J. L.; MENEZES, N. A. **Manual de Peixes Marinhos do Sudeste do Brasil. II. Teleostei (1)**. São Paulo: Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, 1978.

GATZ JR., A. J. Ecological morphology of freshwater stream fishes. **Tulane Studies in Zoology and Botany**, v. 21, p. 91-124, 1979.

GIBRAN, F. Z. Habitat partitioning, habits and convergence among coastal nektonic fish species from the São Sebastião Channel, southeastern Brazil. **Neotropical Ichthyology**, v. 8, n. 2, p. 299-310, 2010.

HORA, S. L. Structural modifications in the fish of mountain torrents. **Records of the Indian Museum**, v. 24, p. 31-61, 1922.

HULSEY, C. D.; GARCÍA DE LEÓN, F. J. Cichlid jaw mechanics: linking morphology to feeding specialization. **Functional Ecology**, v. 19, p. 487-494, 2005.

JACKSON, D. A. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. **Ecology**, v. 74, n. 8, p. 2204-2214, 1993.

KERFOOT JR., J. R. & J. F. SCHAEFER. Ecomorphology and habitat utilization of *Cottus* species. **Environmental Biology of Fishes**, v. 76, p. 1-13, 2006.

LANGERHANS, R. B.; LAYMAN, C. A.; LANGERHANS, A. K.; DEWITT, T. J. Habitat-associated morphological divergence in two Neotropical fish species. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 80, p. 689-698, 2003.

MITTELBAACH, G. G.; OSENBURG, C. W.; WAINWRIGHT, P. C. Variation in resource abundance affects diet and feeding morphology in the pumpkinseed sunfish (*Lepomis gibbosus*). **Oecologia**, v. 90, p. 8-13, 1992.

NEVES, L.M.; PEREIRA, H. H.; COSTA, M. R.; ARAÚJO, F. G. Uso do manguezal de Guaratiba, Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, pelo peixe-rei *Atherinella brasiliensis* (Quoy & Gaimard) (Atheriniformes, Atherinopidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 2, p. 421-428, 2006.

OLIVEIRA, E. F.; GOULART, E.; BREDA, L.; MINTE-VERA, C. V.; PAIVA, L. R. S.; VISMARA, M. R. Ecomorphological patterns of the fish assemblage in a tropical floodplain: effects of trophic, spatial and phylogenetic structures. **Neotropical Ichthyology**, v. 8, n. 3, p. 569-586, 2010.

PAGOTTO, J. P. A.; GOULART, E.; OLIVEIRA, E. F.; YAMAMURA, C. B. Trophic ecomorphology of Siluriformes (Pisces, Osteichthyes) from a tropical stream. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 2, p. 469-479, 2011.

PERES-NETO, P. R. Alguns métodos e estudos em ecomorfologia de peixes de riacho. In: CARAMASCHI, E. P.; MAZZONI, R.; PERES-NETO, P. R. (eds.). **Ecologia de peixes de riachos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1999. p. 209-236.

- PESSANHA, L. F.; ARAÚJO, F. G. Recrutamento do peixe-rei, *Atherinella brasiliensis* (Quoy & Gaimard) (Atheriniformes, Atherinopsidae), na margem continental da Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 18, n. 4, p. 1265-1274, 2001.
- PESSANHA, A. L. M.; ARAÚJO F. G.; OLIVEIRA R. E. M. C. C.; SILVA, A. F.; SALES N. S. Ecomorphology and resource use by dominant species of tropical estuarine juvenile fishes. **Neotropical Ichthyology**, 2015.
- ROBINSON, B. W.; WILSON, D. S.; MARGOSIAN, A. S.; LOTITO, P. T. Ecological and morphological differentiation of pumpkinseed sunfish in lakes without bluegill sunfish. **Evolutionary Ecology**, v. 7, p. 451-464, 1993.
- ROCHA, A. A. F.; SILVA-FALCÃO, E. C.; SEVERI, W. Alimentação das fases iniciais do peixe-rei *Atherinella brasiliensis* (Atherinopsidae) no estuário do Rio Jaguaribe, Itamaracá, PE. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 4, p. 365-370, 2008.
- SAMPAIO, A. L. A.; PAGOTTO, J. P. A.; GOULART, E. Relationships between morphology, diet and spatial distribution: testing the effects of intra and interspecific morphological variations on the patterns of resource use in two Neotropical Cichlids. **Neotropical Ichthyology**, v. 11, n. 2, p. 351-360, 2013.
- SANTOS, A. B. I.; CAMILO, F. L.; ALBIERI, R. J.; ARAÚJO, F. G. Morphological patterns of five fish species (four characiformes, one perciform) in relation to feeding habits in a tropical reservoir in South-Eastern Brazil. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 27, p. 1360-1364, 2011.
- TEIXEIRA, I.; BENNEMANN, S. T. Ecomorfologia refletindo a dieta dos peixes em um reservatório no sul do Brasil. **Biota Neotropica**, v. 7, n. 2, p. 67-76, 2007.
- VAZZOLER, A. E. A. M. **Biologia da Reprodução de Peixes Teleósteos: Teoria e Prática**. Maringá: Eduem, 1996.
- VIOLLE, C.; ENQUIST, B. J.; MCGILL, B. J.; JIANG, L.; ALBERT, C. H.; HULSHOF, C.; JUNG, V.; MESSIER, J. The return of the variance: intraspecific variability in community ecology. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 27, n. 4, p. 244-252, 2012.
- WAINWRIGHT, P. C. Functional morphology as a tool in ecological research. *In*: WAINWRIGHT, P. C.; REILLY, S. M. (eds.). **Ecological Morphology: Integrative Organismal Biology**. Chicago: University of Chicago Press, 1994. p. 42-59.
- WATSON, D. J.; BALON, E. K. Ecomorphological analysis of fish taxocenes in rainforest streams of northern Borneo. **Journal of Fish Biology**, v. 25, p. 371-384, 1984.
- WIKRAMANAYAKE, E. D. Ecomorphology and biogeography of a tropical stream fish assemblage: evolution of assemblage structure. **Ecology**, v. 71, p. 1756-1764, 1990.

WILLIS, S. C., WINEMILLER, K. O.; LOPEZ-FERNANDEZ, H. Habitat structural complexity and morphological diversity of fish assemblages in a Neotropical floodplain river. **Oecologia**, v. 142, p. 284-295, 2005.

WINEMILLER, K. O. Ecomorphological diversification in lowland freshwater fish assemblages from five biotic regions. **Ecological Monographs**, v. 61, p. 343-365, 1991.