



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA - UEPB**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E SOCIAIS APLICADAS - CCBSA**  
**CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**VIVIANNE EVELYN DO NASCIMENTO ALVES**

**Diferentes graus de atividade humana afeta a dieta de *Atherinella brasiliensis* em  
dois estuários tropicais brasileiros?**

**JOÃO PESSOA - PB**

**2016**

**VIVIANNE EVELYN DO NASCIMENTO ALVES**

Diferentes graus de atividade humana afeta a dieta de *Atherinella brasiliensis* em dois estuários tropicais brasileiros?

Trabalho de Conclusão de Curso em formato de artigo, com as normas da revista Journal of Fish Biology, apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Biológicas, a Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Lúcia Vendel

**João Pessoa - PB**

**Mai/2016**

A474d Alves, Vivianne Evelyn do Nascimento.  
Diferentes graus de atividade humana afeta a dieta de *Atherinella Brasiliensis* em dois estuários tropicais brasileiros?/ (Manuscrito)/Vivianne Evelyn do Nascimento Alves. – 2016.  
48p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e Sociais Aplicadas, 2016.

“Orientação: Profa. Dra. Ana Lúcia Vendel, Departamento de Ciências Biológicas”.

1. Estuários tropicais. 2. Indicador ecológico. 3. Peixe generalista. 4. Onívoro. 5. Peixe residente. I. Título.

21. ed. CDD 597.66

**Diferentes graus de atividade humana afeta a dieta de *Atherinella brasiliensis* em dois estuários tropicais brasileiros?**

VIVIANNE EVELYN DO NASCIMENTO ALVES

Trabalho de Conclusão de Curso em formato de artigo, com as normas da revista Journal of Fish Biology, apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Biológicas, a Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Lúcia Vendel

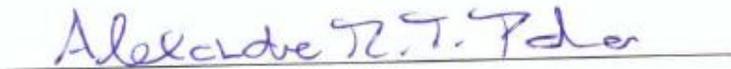
Aprovada em: 15/10/2015.

BANCA EXAMINADORA



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Lúcia Vendel (Orientadora)

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Alexandre Ramlo Torre Palma

(Universidade Federal da Paraíba (UFPB))



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Cristina Basílio Crispim da Silva

(Universidade Federal da Paraíba (UFPB))

*A família, pelo incentivo e companheirismo, dedico.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus pelo seu amor, bondade e graça. Por esquadrihar os meus passos e sempre me direcionar aos caminhos retos.

A toda minha família, em especial à minha mãe, pelo incentivo e dedicação. Por não me deixar desistir e por mostrar que eu era capaz, mesmo quando eu enxergava o contrário.

Aos meus tios, Álvaro, Alberto, Nena e Ana pelos exemplos de vida e as minhas avós, Angelita e Glória, pela paciência e carinho nos momentos de estresse.

A querida orientadora Dra. Ana Lúcia Vendel, por todas as oportunidades de aprendizado e pelo seu companheirismo.

A Dr<sup>a</sup>. Joana Patrício pelas suas contribuições no artigo. Ao Dr. Saulo Vital pela ajuda com os mapas.

A turma do laboratório de Ictiologia, Aninha, Amayana, Nathália, Anderson e Samara por todo apoio, palavras de ânimo, pelos momentos de diversão e por aturar a pessoa mais legal e calma (vulgo “Giovana”) do labictio rs.

Aos amigos de turma, Larissa, Mayara, Rayanne e João Victor pelas contribuições, apoio e cumplicidade ao longo do curso. As amigas, Jarbelly, Rebeca, Bia e Isa pelo incentivo. A turma dos "potes", Cleyde, Tiago, Edna, Jardeson, Mario, Tati Protegida e Jaci, por ter sido uma segunda família e sempre estarem presentes.

A banca examinadora, Dr. Alexandre Palma e Dr<sup>a</sup>. Cristina Crispim, pelas colaborações no presente estudo.

“Continue a nadar! Continue a nadar!

Para achar a solução, nadar, nadar!”

**Dory - Procurando Nemo, 2003.**

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. DESENVOLVIMENTO .....	12
2.1 MATERIAIS E MÉTODOS .....	12
2.1.1 LOCAIS DE ESTUDO .....	12
2.2 COLETA DE DADOS E ANÁLISES LABORATORIAIS .....	14
2.2.1 Dados ambientais .....	14
2.2.2 Dados bióticos.....	15
2.3 ANÁLISE DE DADOS.....	16
2.4 RESULTADOS .....	18
2.4.1 Condições ambientais .....	19
2.4.2 Padrões gerais de distribuição e dieta de <i>Atherinella brasiliensis</i> .....	20
2.4.3 Composição da dieta .....	23
2.5 DISCUSSÃO.....	25
2.5.1 Caracterização ambiental e impacto antrópico .....	25
2.5.2 A dieta de <i>A. brasiliensis</i> muda com o grau de impacto antrópico? .....	26
2.5.3 A dieta de <i>A. brasiliensis</i> muda ao longo do gradiente estuarino? .....	29
3. CONCLUSÃO .....	31
ABSTRACT.....	31
REFERÊNCIAS.....	32
APÊNDICE A -TABELAS.....	40
APÊNDICE B – FIGURAS .....	43

## Diferentes graus de atividade humana afeta a dieta de *Atherinella brasiliensis* em dois estuários tropicais brasileiros?

Vivianne Evelyn do Nascimento Alves

### **RESUMO**

O objetivo do estudo foi testar se diferentes graus de impacto humano afetam a dieta do *Atherinella brasiliensis* em dois estuários tropicais. Os peixes foram coletados ao longo do gradiente de salinidade dos dois estuários brasileiros - o estuário do rio Paraíba fortemente impactado e o estuário do rio Mamanguape menos impactado - nas estações seca e chuvosa. Os resultados confirmam que *A. brasiliensis* teve hábito alimentar generalista e foi capaz de mudar a sua dieta em diferentes cenários ambientais. Os resultados indicam clara mudança espacial (ou seja, ao longo do gradiente estuarino) na composição da dieta em ambos os estuários. No entanto, a dieta também foi influenciada pelo grau de perturbação antrópica. Durante a estação chuvosa o estuário do rio Paraíba, enriquecido em nutrientes, apresentou maior impacto humano neste período, a dieta de *A. brasiliensis* foi mais pobre e dominada por alguns itens alimentares, refletindo o empobrecimento de presas neste sistema fortemente perturbado. Os espécimes coletados no estuário mais impactado também apresentaram maior frequência de microplásticos e parasitas em seus estômagos, refletindo o maior grau de perturbação humana no estuário. Os resultados sugerem que a dieta de *A. brasiliensis* pode ser um bom indicador de mudanças na qualidade ecológica destes e outros estuários tropicais do Atlântico ocidental.

**PALAVRAS CHAVE:** Estuários tropicais; Indicador ecológico; Peixe generalista; Onívoro; Peixe residente.

## 1. INTRODUÇÃO

Estuários em todo o mundo estão sob altos níveis de pressão antrópica, devido à disponibilidade de diferentes serviços do ecossistema que são essenciais para a humanidade (McLusky & Elliott 2004; Elliott & Whitfield 2011). A capacidade dos estuários para receber, assimilar e dispersar contaminantes a partir de fontes naturais e antropogênicas é bem conhecida (McLusky & Elliott 2004; Silva *et al.*, 2015). No entanto, os estuários têm uma capacidade limitada de purificação que, quando excedida, pode comprometer a qualidade da água e os sedimentos nesses ecossistemas (Tappin, 2002). Portanto, a avaliação da qualidade do ecossistema aquático tornou-se uma das tarefas mais imperativas e urgentes para cientistas e gestores de recursos nas últimas décadas (Pech *et al.*, 2009). Existem várias ferramentas disponíveis para avaliar o grau do impacto humano nos ecossistemas costeiros. Um importante pressuposto é que os organismos aquáticos demonstram mudanças em sua abundância, comportamento ou características fisiológicas quando expostas a diferentes tipos e graus de perturbação antrópica. O conhecimento dos hábitos alimentares e da dieta dos peixes podem fornecer a chave para a compreensão acerca de sua biologia, fisiologia e comportamento (Gonçalves & Erzini, 1998). Essas informações, associadas aos dados de parâmetros ambientais, podem auxiliar na avaliação da qualidade ecológica dos sistemas de interesse.

*Atherinella brasiliensis* (Quoy & Gaimard, 1825) (Atheriniformes: Atherinopsidae), localmente conhecida como manjuba verde, é considerada uma espécie estuarina residente (Sczepanski *et al.*, 2007) e domina as assembleias de peixes residentes em águas rasas nos ecossistemas estuarinos com distribuição em zonas costeiras do Oeste Atlântico, entre a Venezuela e Rio Grande do Sul, Brasil (Garcia *et al.*, 2004). Esta espécie pode atuar como um importante componente trófico na cadeia alimentar em tais sistemas, uma vez que utiliza uma grande variedade de tipos de presas [por exemplo, zooplâncton (principalmente calanóides), diatomáceas, insetos terrestres e detritos de plantas] (Contente *et al.*, 2010) e é predada por níveis tróficos superiores.

O objetivo do estudo foi avaliar a dieta de *A. brasiliensis* em dois estuários tropicais brasileiros com diferentes graus e tipos de perturbação humana - o estuário do rio Paraíba fortemente impactado e o estuário do rio Mamanguape moderadamente afetado. Os peixes foram coletados ao longo do gradiente de salinidade de cada estuário nas estações seca e chuvosa para avaliar possíveis diferenças espaço-temporais na dieta. Em sistemas estuarinos, a dieta de peixes pode refletir os padrões espaciais e temporais de acordo com a variabilidade das condições ambientais (*e.x.* flutuações físico-químicas e disponibilidade de alimentos) e interações bióticas devido ao nicho e sobreposição trófica. (Elliott *et al.*, 2002; Selleslagh & Amara, 2014). Assim, peixes estuarinos são geralmente capazes de adaptar a sua dieta de acordo com as mudanças na disponibilidade de presas. A hipótese testada foi que a dieta de *A. brasiliensis* é um bom indicador do estado ecológico de sistemas em que este peixe vive. Como é uma espécie que possui hábito alimentar generalista (Contente *et al.*, 2012), é esperado que *A. brasiliensis* possa apresentar a capacidade de se alimentar de tudo o que está

disponível no ecossistema. Além disso, é amplamente aceito que estuários com elevado grau de impacto humano (*e.x.*, elevados níveis de nutrientes) tenham comunidades empobrecidas e, portanto, menor diversidade de presas. Além disso, algumas presas são capazes de dominar a comunidade em sistemas afetados. Portanto, a hipótese era de que *A. brasiliensis* teria uma dieta pobre (ou seja, menor diversidade de presas) dominada por poucas espécies tolerantes em sistemas fortemente impactados. Outra hipótese era a de que esta espécie teria a capacidade de alterar a sua dieta sazonalmente, bem como ao longo do gradiente estuarino. .

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **2.1.1 LOCAIS DE ESTUDO**

O estudo foi desenvolvido em dois sistemas de transição, localizados no litoral Nordeste do Brasil – estuário do rio Paraíba e Mamanguape (Figura 1). As bacias hidrográficas do Paraíba e Mamanguape cobrem 20,124 km<sup>2</sup> e 3,522 km<sup>2</sup>, respectivamente (AESAs, 2015). Estas bacias estão inseridas em uma região coberta pela Caatinga e uma estreita faixa costeira originalmente coberta pela Mata Atlântica. De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, o tipo de clima nos dois estuários é equatorial, com verão seco (Alvares *et al.*, 2013). Em ambos os estuários a estação chuvosa se estende de fevereiro a agosto, com maior precipitação ocorrendo em junho e a menor em novembro, entretanto o estuário do rio Paraíba tem um clima mais úmido (1.717 milímetros/ano) do que o estuário do rio Mamanguape (1392 milímetros/ano) (dados de 1999-2014; CPTEC/INPE 2015). No litoral do

da Paraíba, as marés são semi-diurnas, ou seja, duas marés altas e duas marés baixas em cada 24 horas, com nível de maré máxima de 2,80m (Nishida *et al.*, 2006).

Como a bacia do Rio Paraíba drena a região mais seca do Brasil (o planalto da Borborema), a maior parte da precipitação na região do semi-árido é retida em reservatórios em vez de fluir para o mar, exceto durante os anos mais chuvosos (o último vazamento do reservatório ocorreu em 2011 no reservatório de Acauã ( AESA , 2015) . Durante o período de estudo, a água doce que chega no estuário do rio Paraíba é originada nas planícies costeiras úmidas. A bacia do rio Mamanguape drena áreas que são menos secas, incluindo uma extensão úmida, levando a frequente vazamento de água (reservatório de Araçagi) para as planícies costeiras (AESAs, 2015) .

Ambos os estuários possuem uma extensiva área de manguezais compostas por *Rhizophora mangle*, *Avicennia schaueriana*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus erectus*. As bacias hidrográficas que drenam diretamente para o rio Paraíba, em conjunto com as áreas costeiras mais baixas que drenam para o mar, têm aproximadamente 38.472 ha. O estuário do rio Paraíba em si possui 3.012 ha (Teixeira *et al.*, Submetido) e situa-se entre extensas plantações de cana de açúcar, bem como uma área metropolitana (Figura 1A), com cerca de 1.100.000 habitantes (João Pessoa e quatro outras cidades contíguas). Ao longo do estuário, também existem áreas de aquicultura para a produção de camarão. Uma ilha e o porto de Cabedelo são encontrados perto de 1,3 km da foz do rio. O estuário revela as características típicas de um rio submetido a um regime de fluxo médio, o que permite a formação de pequenas dunas. A profundidade média é de três metros, exceto perto do porto, onde a profundidade é de 11 metros.

As bacias hidrográficas que drenam diretamente para o rio Mamanguape, juntamente com as áreas costeiras mais baixas que drenam para o mar, tem aproximadamente 25.055 ha. O estuário do rio Mamanguape tem aproximadamente 690 ha (Teixeira *et al.* , Submetido) e manguezais bem preservados que crescem em torno do canal principal e riachos intertidais. Este estuário foi declarado como uma unidade de conservação de uso sustentável (área de proteção ambiental de Barra de Mamanguape, categoria V de acordo com a IUCN 1994), cujos principais objetivos são de proteger os habitats costeiros e o peixe-boi marinho *Trichechus manatus* Linnaeus, 1758. No entanto, existem extensivos canaviais e áreas de aquicultura para a produção de camarão, além da área de manguezais. Possui cerca de 66 mil habitantes em seu entorno (Figura 1B). A boca do rio forma uma baía de seis km de largura, que está quase fechada por uma linha de recifes costeiros, o que resulta em águas calmas e tranquilas.

## **2.2 COLETA DE DADOS E ANÁLISES LABORATORIAIS**

### **2.2.1 Dados ambientais**

Duas campanhas de amostragem foram realizadas em cada estuário - uma na estação seca (novembro de 2013) e uma na estação chuvosa (julho de 2014). A amostragem foi realizada durante a maré alta. Em cada estuário, amostras de água foram coletadas ao longo do gradiente de salinidade (15 locais de amostragem no estuário do rio Paraíba e 12 locais no estuário do rio Mamanguape) (Figura 1). Em cada ponto de amostragem, valores de superfície para salinidade, temperatura da água (°C), pH e turbidez (NTU) foram medidos *in situ*

utilizando uma sonda multiparâmetros (Horiba/U-50). Da mesma forma, a transparência da água (m) foi medida com disco de Secchi. As concentrações de Amônia, Nitrito e Nitrato (DIN,  $\mu\text{g/L}$ ) (APHA, 2005) e Fósforo total (P,  $\mu\text{g/L}$ ) (Strickland e Parsons, 1972) foram obtidas em laboratório. A concentração de Clorofila- *a* (Chl *a*,  $\mu\text{g/L}$ ) foi determinada baseado em Lorenzen (1967).

### **2.2.2 Dados bióticos**

Durante as mesmas campanhas de amostragens, em cada ponto nos estuários, os peixes foram capturados via arrasto manual, com rede de 10 m de comprimento x 1,5 m de altura e malha de 8mm. Os arrastos, com extensão de 30 m, ocorreram ao longo de cada estuário, em período diurno na baixamar. No total foram realizados 90 arrastos no estuário do Paraíba do Norte e 72 arrastos no estuário do Mamanguape. Os peixes capturados foram fixados em solução de formalina a 10% tamponada (Borato de Sódio) e conduzidos ao laboratório.

Em laboratório, foi medido o comprimento total (mm) e o peso total (g) dos indivíduos de *A. brasiliensis* capturados. Os estômagos dos peixes foram abertos sob microscópio estereoscópico para identificar a presença de itens alimentares e facilitar a remoção completa do conteúdo dos estômagos. Todos os itens alimentares foram contados e os volumes estimados para quantificar cada item alimentar comparativamente. Cada item foi uniformemente comprimido entre duas placas de vidro e a área foi gravada numa placa de Petri com 100 pontos quadriculados. Os pontos que cobriam o item foram contados e a área foi convertida em volume. Para Bacillariophyta, cada microalga foi contada em uma lamela

milimetrada utilizando um contador de células manual e foi seguida a metodologia proposta por Hillebrand *et al.* (1999) para estimar o biovolume das algas. Para calcular o biovolume de Centrais e Pennales o número de células em cada estômago foi multiplicado pelo volume médio de uma dada amostra ( $n = 30$ ), a qual foi determinada utilizando modelos geométricos.

### 2.3 ANÁLISE DE DADOS

Foi utilizada a PERMANOVA para testar diferenças entre os estuários com diferentes graus de impacto humano no que diz respeito aos dados abióticos e bióticos, considerando três fatores (Anderson *et al.*, 2008): "estuário" (com dois níveis: Paraíba e Mamanguape), "estação" (com dois níveis: secos e molhados) e "zona" (com 2 níveis: montante e jusante) *nested* em "estuário" e "estação". Os pontos de amostragem de 1 a 6 foi classificado como montante e os pontos  $\geq 7$  foi classificado como jusante.

Para as variáveis ambientais, foram verificados padrões de variação com auxílio do Draftsman's plot. Turbidez e clorofila-a foram transformadas pela raiz quadrada e P total, o  $\text{NH}_3$  -N e  $\text{NO}_x$  -N pela raiz quarta antes da análise de dados. Foi realizada uma PERMANOVA para cada variável individualmente, para as variáveis transformadas e para todas as variáveis em conjunto (transformadas e normalizadas) em uma matriz de distância euclidiana. A tendência de variação de cada variável foi representada com boxplots. As diferenças na densidade de peixes ( $\text{ind.}1000 \text{ m}^{-2}$ ), comprimento total e massa corporal dos espécimes coletados foram testados utilizando três fatores na PERMANOVA, conforme detalhado acima para cada variável. Diferenças no tamanho dos peixes foram testados para avaliar se as populações de peixes nos

dois estuários eram comparáveis. Antes da análise, os dados foram convertidos em uma matriz de similaridade usando a medida de distância Bray- Curtis.

Para avaliar a taxa de alimentação em ambas as zonas e estações de alimentação, foi calculado o índice de vacuidade (La Mesa *et al.*, 2006):

$$V = N_e/N_s$$

Em que  $N_e$  é o número de estômagos vazios e  $N_s$  é o número total de estômagos examinados por zona e estação.

A amplitude da dieta de *A. brasiliensis* por ponto de amostragem foi avaliada usando o índice de diversidade de Shannon -Wiener ( $H'$ ) complementado com o índice de uniformidade de Pielou's ( $J$ ), seguindo as recomendações de Marshall e Elliott (1997) e tendo o volume de presas em conta.  $H'$  é uma medida que aumenta com o aumento da diversidade de espécies, ao passo que  $J$  é uma medida da uniformidade que varia entre 0 e 1 (em que todas as espécies são igualmente abundantes) (Clarke *et al.*, 2014).

$$H' = - \sum_i p_i \ln(p_i)$$

$$J = H'/H'_{max}$$

Em que a unidade  $H'$  é naps/individual,  $p_i$  é a percentagem da contagem total (ou volume) da espécie e  $H'_{max}$  é o valor máximo possível da diversidade de Shannon. Diferenças na diversidade foram testadas usando três fatores na PERMANOVA.

Para avaliar a composição da dieta e identificar as presas mais importantes, as frequências de ocorrência (% F) dos diferentes itens alimentares foram calculadas por ponto de

amostragem com base no método descrito por Hyslop (1980). De acordo com a Baker *et al.* (2013) % F fornece dados robustos sobre a composição da dieta e estes valores foram utilizados para testar diferenças na composição da dieta entre os estuários, as estações e zonas com três fatores na PERMANOVA. Os dados foram convertidos para uma matriz de similaridade de Bray-Curtis (Clarke *et al.*, 2014) .

As relações entre a dieta de *A. brasiliensis* (usando % F) e as variáveis ambientais foram exploradas através de análise canônica (Smilauer & Lepš 2005) para cada estação. As variáveis ambientais mencionadas acima foram utilizadas, com a inclusão da média de classes de tamanho dos peixes para determinar se o tamanho exercia uma influência sobre a dieta. Todas as variáveis ambientais foram inicialmente marcadas para co-linearidade. A Análise de Correspondência (DCA) foi usada com os dados bióticos (% F) para avaliar o tipo de resposta do modelo para as análises canônicas. Como uma resposta linear foi detectada com a DCA nos dados bióticos, a análise de redundância (RDA) foi realizada para determinar as relações entre as variáveis bióticas e abióticas. O significado das variáveis ambientais não-colineares foi avaliado utilizando o processo de seleção (testes de permutação de Monte Carlo).

As análises de PERMANOVA foram realizadas usando PRIMER + PERMANOVA versão 6.1.11 (Clarke *et al.*, 2014; Anderson *et al.*, 2008). Os Boxplots foram feitos usando o R software (R Development Core Team, 2012). A análise RDA foi realizada usando CANOCO versão 4.5 (Smilauer & Lepš 2005).

## **2.4 RESULTADOS**

### 2.4.1 Condições ambientais

Tendo em conta todas as variáveis físico-químicas analisadas, a condição ambiental não diferiu significativamente entre os estuários (PERMANOVA, P-perm > 0.05), mas foram encontradas diferenças significativas entre as estações (P-perm = 0.027) e zonas (*nested* dentro de cada estação e estuário) (P-perm = 0.001). No entanto, algumas diferenças entre os estuários foram encontradas ao analisar cada variável individualmente (Figura 2a-i, PERMANOVA resultados apresentados no texto). Como esperado, salinidade foi mais elevada nas áreas a jusante de ambos os estuários (P-perm=0.001 para zona), especialmente na estação seca (Figura 2a), embora a diferença entre as estações não foi significativa. Temperatura e pH foram mais elevados na estação seca em comparação com a estação chuvosa (P-perm < 0.05 para estação), com diferenças significantes entre zonas (P-perm <0.04 para zona), apesar de variar dentro dos valores semelhantes para cada estuário (P-perm>0.05 por estuário (Figura 2b, c). Transparência variou dentro de valores similares, sendo ligeiramente superior nas áreas à montante do estuário do rio Mamanguape (P-perm = 0.003 para zona) na estação seca, apesar de não ter diferenças significativas entre as estações ou estuários (Fig. 2d). Turbidez foi mais alta na estação seca (P-perm = 0.03 por estação, especialmente nas áreas a jusante do estuário do rio Mamanguape (P-perm = 0.003 por zona, Figura 2e).

As concentrações de nutrientes (raiz quarta P total, NH<sub>3</sub>-N e NO<sub>x</sub>-N) foram geralmente muito mais elevadas no estuário do rio Paraíba do que no estuário do rio Mamanguape, independente da zona ou estação (Figura 2f-h), refletindo o maior grau de perturbação antrópica no estuário urbano. Além disso, as análises para cada nutriente demonstraram

diferenças significativas entre os estuários (PERMANOVA, P-perm < 0.05 por estuário). A interação significativa entre estuário e estação também foi encontrada em relação a NH<sub>3</sub>-N (P-perm = 0.01). Comparações do tipo “Pairwise” demonstraram que as diferenças na concentração de NH<sub>3</sub>-N entre estuários só foram significativas na estação chuvosa (P-perm = 0.001). Além disso, as concentrações totais de nutrientes foram maiores nas áreas à montante do estuário do rio Paraíba na estação chuvosa (Fig. 2g), apesar de não haver diferença estatística significativa encontrada por zona. No estuário do rio Mamanguape, concentrações de nutrientes, particularmente NO<sub>x</sub>-N, eram geralmente mais elevadas nas áreas a jusante do estuário (Figura 2f-h).

A Clorofila-*a* foi maior na estação seca nas áreas à montante do estuário do rio Paraíba, embora não tenham sido comprovadas diferenças estatísticas significativas (P-perm >0,05 para estuário, estação e zona). Outras condições variaram dentro de uma gama estreita de valores (Figura 2i).

#### **2.4.2 Padrões gerais de distribuição e dieta de *Atherinella brasiliensis***

*Atherinella brasiliensis* ocorreu em ambas as áreas à montante e jusante dos dois estuários. A densidade foi geralmente mais alta à montante, quando comparada com à jusante, independente de estuário e estação. (Figura 3a, b). No estuário do rio Mamanguape, uma tendência de aumento na densidade foi encontrada em locais de amostragem mais perto do oceano. No entanto, essas diferenças não foram estatisticamente significativas, como um efeito marginal encontrado nas diferenças entre as zonas (P-perm = 0.051).

Um total de 405 estômagos foram analisados para a caracterização da dieta – 215 espécimes provenientes do estuário do rio Paraíba e 190 do estuário do rio Mamanguape. O comprimento e peso total dos indivíduos variaram de 10mm a 129mm e 0.01g a 11.12g, respectivamente (Tabela I), sem diferenças estatísticas entre os estuários (PERMANOVA, P-perm > 0.8 para estuário). No estuário do rio Paraíba, não foram encontradas diferenças significantes entre as zonas tanto para o comprimento total quanto para o peso total na estação chuvosa. (P-perm > 0.1). Na estação seca, no entanto, indivíduos capturados à montante foram significativamente menores e mais leves (P-perm = 0.0001 para comprimento e peso) do que os coletados a jusante. (Tabela I). O mesmo padrão foi observado no estuário do rio Mamanguape em ambas as estações, com indivíduos mais pesados coletados à jusante. (P-perm < 0.03) (Tabela I). O tamanho e peso dos peixes foram similares por estuários e, portanto, a dieta por estuário foi comparável.

A vacuidade foi sempre inferior a 10% e ligeiramente maior no estuário do rio Paraíba em comparação com o estuário do rio Mamanguape (Tabela II). A vacuidade variou dentro de valores similares para as zonas e estações do estuário do rio Paraíba, mas foi maior na estação chuvosa no estuário do rio Mamanguape. Além disso, 32 % dos indivíduos no estuário do rio Paraíba e 22% dos indivíduos no estuário do rio Mamanguape havia digerido o conteúdo do estômago (ou seja, impossível de identificar indivíduos com estômagos vazios e aqueles com material digerido não foram considerados na análise mais aprofundada sobre a composição da dieta).

Em relação à amplitude da dieta com base no volume das presas, uma interação significativa foi encontrada entre estuário e estação para os índices de diversidade e

uniformidade (PERMANOVA,  $P < 0,05$ ), demonstrando diferenças por estuário sazonalmente. Ambas as variações dos índices foram similares na estação seca (comparação “pairwise” para a estação seca,  $P\text{-perm} > 0,05$ ), com valores ligeiramente mais elevados nas áreas à montante no estuário do rio Paraíba e em áreas a jusante no estuário do rio Mamanguape (Figura 4). No entanto, ambos os índices foram menores na estação chuvosa no estuário do rio Paraíba, em comparação com o estuário do rio Mamanguape (comparação “pairwise” para a estação chuvosa,  $P\text{-perm} = 0,001$ , Figura 4). Dentro de cada estuário, a diversidade foi maior em áreas à jusante (Figura 4), embora foram encontradas as diferenças significativas em relação às zonas. A tendência de variação de ambos os índices de diversidade de Shannon e índice de uniformidade de Pielou foi semelhante; quando a diversidade diminuiu, a abundância/volume tornou-se menos uniformemente distribuídas entre as presas (Figura 4).

27 itens alimentares foram identificados na dieta de *A. brasiliensis*, com 19 itens comuns nos dois sistemas (Tabela II). Além disso, microplásticos, (fios de plásticos) classificação de acordo com Lima *et al.*, 2014, foram encontrados nos estômagos dos indivíduos provenientes de ambos os estuários. Nove estômagos provenientes do estuário do rio Paraíba apresentaram microplásticos na estação chuvosa (13%) e dois estômagos tiveram microplásticos associados a sua dieta na estação seca (3%), enquanto no estuário do rio Mamanguape, foram encontrados microplásticos em cinco indivíduos na estação seca (6%). Alguns indivíduos exibiram parasitos do tipo Digenia (cisto e adulto) e Nematoda. Os parasitos foram encontrados em vinte estômagos (32%) provenientes do estuário do rio Paraíba na estação seca, mas apenas em um estômago (1%) na estação chuvosa. No estuário

do rio Mamanguape, encontrou-se um numero menor de estômagos parasitados, dois (2%) na estação seca e seis (12%) na estação chuvosa.

### **2.4.3 Composição da dieta**

As presas mais frequentes foram Bacillariophyta, material vegetal, Bivalvia e larva de Diptera (>50 %F), o grau de importância variou de acordo com o estuário, estação e zona (Tabela II). Por exemplo, Polychaeta foi o item importante nas áreas à montante, especialmente no estuário do rio Paraíba, enquanto larvas de Diptera e Bivalvia foram os itens mais frequentes no estuário do rio Mamanguape (Tabela II). Material vegetal esteve presente em todas as zonas, estações e estuários, mas ocorreu mais frequentemente no estuário do rio Paraíba. Teleostei (incluindo escamas), Calanoida, Gammaridea e larva de Chironomidae também foram importantes itens alimentares como presas secundárias (10 a 50%F, Tabela II). Embora não foram encontradas diferenças significativas na dieta na comparação dos dois estuários ou estações (PERMANOVA, P-perm > 0.05), diferenças significativas foram encontradas entre zonas (*nested* com estuário e estação, P-perm < 0.05). Em geral, a dieta foi mais heterogenia nas áreas à montante em ambas as estações, com a ocorrência de vários insetos de água doce e Polychaeta, mas também foi composta por Teleostei, Gammaridae e material vegetal como importantes presas, além de vários outros itens como presas acessórias (Tabela II). Em áreas à jusante, a dieta foi mais homogênea devido a alguns itens dominantes, particularmente na estação chuvosa, como a presa Bacillariophyta que foi dominante em ambos os estuários. (Tabela II). Para a estação seca, as áreas à jusante de Mamanguape foram novamente caracterizadas pela ocorrência de vários itens (Tabela II). Para o estuário do rio

Paraíba, houve uma clara mudança na dieta em áreas à jusante a partir de itens tipicamente maiores no período seco (*e.x.*, Teleostei e Gammaridae) e itens menores na estação chuvosa (*e.x.*, Bacillariophyta e Foraminifera).

Como a estação foi significativa na análise dos dados ambientais, com concentrações de nutrientes nos dois sistemas consideravelmente diferentes quando se comparam as estações, a relação entre os dados ambientais e composição da dieta (ou seja, análise RDA) foram analisados para cada estação afim de esclarecer padrões de mudança em relação ao impacto antropogênico. Na estação seca, todas as variáveis ambientais foram testadas, já que nenhuma foi colinear. As concentrações de nutrientes de NO<sub>x</sub>-N e P total, bem como turbidez, foram as variáveis ambientais significativas na RDA (Figura 5a), os dois eixos explicaram 83,1% da variação total. As maiores concentrações de nutrientes foram associadas com o estuário do rio Paraíba, que teve a dieta caracterizada por Crustacea (Caprellidae, Gammaride e Decapoda) e material vegetal em áreas à jusante, bem como vários insetos de água doce nas áreas à montante (Figura 5a). No entanto, a concentração de P total também foi associada com algumas amostras à montante do estuário do rio Mamanguape. Áreas à jusante desse estuário foram discriminadas por uma maior turbidez e uma dieta caracterizada por vários itens do plâncton, tais como Copepoda e Bacillariophyta, bem como moluscos, Bivalvia e Gastropoda (Figura 5a). Houve uma clara distinção entre a dieta em áreas à jusante de ambos os estuários, em comparação com a dieta nas áreas à montante, as amostras dispersas sugerem um alto grau de variabilidade espacial na dieta (Figura 5a).

Para a estação chuvosa as variáveis não colineares testadas foram transparência, salinidade, temperatura, pH, turbidez (raiz quadrada), NH<sub>3</sub>-N (raiz quarta), clorofila -*a* (raiz

quadrada). A salinidade foi a única variável significativa na RDA para a estação chuvosa (Figura 5b), que por si só explica 35 % da variação total. Como esperado, a salinidade mais elevada foi associada a áreas à jusante em ambos os estuários, que foram discriminados pela presença de Bacillariophyta como a presa dominante, mas também por Foraminífera e Cyclopoida como presas acessórias (Figura 5b). Menor salinidade e diferentes presas foram caracterizadas nas áreas à montante. No estuário do rio Mamanguape, as áreas à montante tiveram uma maior diversidade de presas, apesar de ter larvas de Diptera como a presa dominante (Figura 5b, Tabela II). As áreas à montante do estuário do Paraíba foram essencialmente caracterizadas pela presença de Polychaeta e material vegetal no conteúdo estomacal (Figura 5b, Tabela II).

## **2.5 DISCUSSÃO**

### **2.5.1 Caracterização ambiental e impacto antrópico**

Com relação à caracterização ambiental, a maior parte das diferenças entre os estuários ocorreu ao longo do gradiente estuarino (por exemplo, maior salinidade nas áreas à jusante) e devido aos ciclos sazonais de precipitação, com um maior volume de escoamento de água doce e menor turbidez na estação chuvosa. A temperatura variou dentro de uma faixa estreita ao longo do ano, que é um padrão típico em regiões equatoriais (Hijmans *et al.*, 2005).

O presente estudo foi baseado na suposição de que o grau de impacto antropogênico difere significativamente entre os dois estuários devido a pressões conhecidas: o estuário do rio Paraíba é altamente urbanizado, ao passo que o estuário do rio Mamanguape tem menos

impacto antropogênico e é declarado como área de proteção ambiental (IUCN, categoria de área protegida V). Os resultados relativos às concentrações de nutrientes eram claras: o estuário do rio Paraíba apresentou concentrações consideravelmente mais altas de todos os nutrientes do que o estuário do rio Mamanguape, independentemente do gradiente estuarino e da estação. Estes resultados refletem o grau de perturbação em cada sistema, como esperado, as atividades humanas podem produzir quantidades elevadas de compostos nitrogenados, particularmente sob a forma de amônio, e conduzir a um desequilíbrio da relação N/P (Downing *et al.*, 1999; Eddy, 2005), o que poderia exceder a capacidade de retenção do mangue (Prasad & Ramanathan, 2008). A diferença mais evidente entre os estuários foi o amônio, as concentrações foram maiores no estuário do rio Paraíba e apenas significativamente diferente na estação chuvosa, provavelmente devido ao maior escoamento das zonas circundantes que envolvem agricultura, aquicultura e efluentes industriais e urbanos, o que é característico desta estação. No entanto, os valores mais elevados de clorofila-*a* foram registrados na estação seca no estuário do rio Paraíba, sugerindo outras fontes de águas enriquecidas por nutrientes. Estes resultados são discutidos em detalhe abaixo, com reflexões sobre o impacto dessas mudanças ambientais sobre a dieta de *Atherinella brasiliensis*.

### **2.5.2 A dieta de *A. brasiliensis* muda com o grau de impacto antrópico?**

*Atherinella brasiliensis* é descrita como uma espécie onívora generalista, a sua dieta inclui crustáceos, insetos, moluscos, algas, poliquetas, material vegetal e até mesmo outros pequenos peixes (Contente *et al.*, 2010). Desta forma, era esperado que *A. brasiliensis* se

alimentasse dos recursos disponíveis no sistema e, portanto, pode ser usada como um indicador de qualidade ecológica de um sistema aquático. Ambos os estuários estudados submetidos a diferentes tipos de pressões antropogênicas, apresentaram altas concentrações de nutrientes no estuário do rio Paraíba, especialmente na estação chuvosa. Como consequência, seria esperado que as comunidades de peixes residentes do estuário do rio Paraíba e particularmente *A. brasiliensis* expressaria esse maior grau de impacto através de uma dieta menos variada e presas menos distribuídas (ou seja, maior predominância de espécies tolerantes nos itens). Mudanças perceptíveis na diversidade da dieta foram encontradas na estação chuvosa, quando as diferenças nas concentrações de nutrientes foram muito claras. Na verdade, os peixes do impactado estuário do rio Paraíba tiveram uma dieta menos diversificada, com itens menos distribuídos entre os poucos itens alimentares preferenciais quando comparado com o protegido estuário do rio Mamanguape. Graus mais elevados de diversidade e uniformidade foram encontrados na estação seca, sem padrões de variação claros relacionados aos impactos. Estes resultados estão de acordo com os dados sobre comunidades de invertebrados dos dois sistemas, os quais demonstram que as comunidades são menos diversificadas e menos uniformemente distribuídas, especialmente nas áreas a montante do estuário do rio Paraíba na estação chuvosa (dados não publicados, Silva *et al.*, Submetido).

A vacuidade foi geralmente baixa em ambos os estuários (<10 %), indicando que a espécie tinha presas disponíveis e atividade alimentar intensa no momento da amostragem. Curiosamente, no entanto, um maior número de estômagos vazios foram encontrados no estuário do rio Paraíba durante a estação chuvosa, quando as concentrações de amônio foram

maiores (superior a 4 mg/L) e pH menor (cerca de 7). Vários estudos sugerem que algumas espécies de peixes podem cessar a alimentação e diminuir a atividade de natação quando expostos a concentrações tóxicas de amônio em combinação com pH baixo (< 8) (Eddy, 2005), o que pode explicar o aumento da vacuidade no estuário do rio Paraíba. Além disso, o conteúdo estomacal de alguns indivíduos só tinha material digerido (22% no estuário do rio Mamanguape e 32% no estuário do rio Paraíba), indicando a digestão rápida potencializada pela alta temperatura da água nestes estuários tropicais.

Microplásticos foram encontrados nos estômagos de ambos os estuários, sendo um sinal claro do impacto antropogênico (Vegter *et al.*, 2014; Ramos *et al.*, 2014; Barboza & Gimenez, 2015), com uma maior ocorrência no estuário do rio Paraíba, presumivelmente associado ao elevado grau de urbanização. Microplásticos podem ter sido acidentalmente ingeridos devido as suas similaridades com Polychaeta, que é um item na dieta *A. brasiliensis*, como também observado por Ramos *et al.* (2014) para as espécies de Gerreidae. Além disso, parasitas foram encontrados no conteúdo estomacal, uma vez mais, com maior ocorrência no estuário do rio Paraíba, o que pode indicar o grau mais elevado de impacto humano neste sistema, em comparação com o estuário do rio Mamanguape. O aumento de parasitas em peixes tem sido associado com efluentes urbanos e industriais, que podem resultar numa resposta imunológica deficiente, levando a uma maior susceptibilidade às infecções parasitárias (Mackenzie, 2002). Por exemplo, Nematoda e larva de Digenea, tais como aqueles encontrados na dieta *A. brasiliensis* neste estudo, pode indicar estresse fisiológico pelos hospedeiros ao tentar resistir ao parasitismo e pode, portanto, ser considerados como indicadores de perturbação humana (Lafferty, 1997).

### 2.5.3 A dieta de *A. brasiliensis* muda ao longo do gradiente estuarino?

Os resultados discutidos acima indicam um potencial impacto antropogênico na dieta de *A. brasiliensis*. Além disso, na estação seca, maiores concentrações de nutrientes e vários itens alimentares foram associadas com áreas à montante do estuário do rio Paraíba, bem como áreas à jusante do estuário do rio Mamanguape, sugerindo impacto antropogênico também neste estuário. No entanto, diferenças significativas na composição da dieta só foram encontradas ao longo do gradiente estuarino. Assim, na estação chuvosa, salinidade foi o único preditor significativo de diferenças na dieta, pois é a variável que melhor reflete a distinção entre as áreas à montante e à jusante. Apesar destes resultados, apenas 35% de variação foi explicada nas análises RDA de ambas as estações, sugerindo que outros fatores poderão ser importantes para a discriminação da dieta desta espécie.

*Atherinella brasiliensis* é descrita como uma espécie estuarina residente capaz de completar seu ciclo de vida dentro do ambiente estuarino (Contente *et al.*, 2010). Como uma residente estuarina, *A. brasiliensis* foi encontrada em áreas à montante e jusante, e espera-se que sua dieta pode ajustar-se às fontes de alimentos disponíveis em cada área, devido ao seu comportamento alimentar generalista (Contente *et al.*, 2010). Para o presente estudo, larvas de insetos de água doce, como larvas de Chironomidae e outras larvas de Diptera não identificadas, ocorreram principalmente nos estômagos dos indivíduos de áreas à montante. Esses itens foram realmente dominantes nas áreas à montante (dados não publicados), presumivelmente associados ao escoamento de água doce e menor salinidade. No entanto, diferenças também foram encontradas nas principais presas ao longo do gradiente estuarino, dependendo do estuário e da estação. Por exemplo, Polychaeta e material vegetal

foram os itens dominantes associados com áreas à montante do estuário do rio Paraíba durante a estação chuvosa, enquanto estes estavam como presas secundárias no estuário do rio Mamanguape.

Outro resultado interessante foi que larvas de Chironomidae, geralmente reconhecidas como um indicador de poluição de sedimentos (Carew *et al.*, 2007), ocorreram com maior frequência no estuário do rio Mamanguape, também denotando impacto antropogênico. Em áreas à jusante de ambos os estuários, o grupo Bacillariophyta era a presa dominante, a qual está correlacionada com maior salinidade, enquanto que este grupo só ocorreu como presa acessória nas áreas à montante em ambas as estações. Este resultado sugere um aumento na produção primária na estação chuvosa. Esta produção pode ter sido estimulada pela disponibilidade de elementos essenciais para este grupo de alga (por exemplo, sílica) e as condições ótimas em relação luz (Burford *et al.*, 2012), tal como sugerido pela menor grau de turbidez.

Parte das diferenças na dieta ao longo do gradiente estuarino pode estar relacionada com o tamanho do peixe no momento da amostragem. Peixes menores foram encontrados nas áreas à montante em ambos os estuários na estação seca, o que provavelmente reflete a agregação pós-reprodutiva de jovens em águas rasas (Carvalho & Spach, 2015). Assim, zooplâncton (particularmente calanóides) e Polychaeta foram presas importantes. Em contraste, presas maiores, como anfípodes e outros peixes, são mais importantes para peixes maiores em áreas à jusante. No estuário do rio Mamanguape, no entanto, a dieta de *A. brasiliensis* foi bem distribuída, com vários itens e nenhuma mudança de dieta era evidente. Esta falta de consistência na mudança de dieta com tamanho tem sido apontada como uma característica de

espécies generalistas com um alto grau de plasticidade trófica e a capacidade de explorar a presa mais disponível no ambiente em um determinado momento (Rodrigues & Bemvenuti, 2011; Contente *et al.*, 2012).

### 3. CONCLUSÃO

O presente estudo confirmou que *A. brasiliensis* é um consumidor generalista que é capaz de adaptar a sua dieta. As diferenças mais visíveis na composição da dieta ocorreram ao longo do gradiente estuarino de salinidade. No entanto, os resultados sugerem que a dieta também foi influenciada pelo grau de perturbação antrópica, como descrito na hipótese. No impactado estuário do rio Paraíba, principalmente durante a estação chuvosa, quando o impacto foi mais acentuado, a dieta de *A. brasiliensis* apresentou menor diversidade de itens (ou seja, Polychaeta e material vegetal à montante e Bacillariophyta à jusante), com maiores frequências de microplásticos e parasitas encontrados nos estômagos, que são indicadores claros de um maior grau de perturbação humana no estuário. Ademais, a dieta de *A. brasiliensis* foi um bom indicador das mudanças na qualidade ecológica dos sistemas estuarinos tropicais estudados.

### ABSTRACT

The aim of the present study was to test whether different degrees of human impact affect the diet of the Brazilian silverside (*Atherinella brasiliensis*) in two tropical estuaries. Fish were collected along the salinity gradient of two Brazilian estuaries – the heavily impacted Paraíba estuary and the less impacted Mamanguape estuary – in the dry and wet

seasons. The findings confirm that *A. brasiliensis* has generalist feeding habits and is able to change its diet in different environmental scenarios. The results indicate clear spatial (i.e., along the estuarine gradient) changes in diet composition in both estuaries. However, diet was also influenced by the degree of anthropogenic disturbance. During the wet season in the nutrient enriched Paraíba estuary, the human impact of which was higher in this period, the diet of *A. brasiliensis* was poorer and dominated by few dietary items, reflecting the potential impoverishment of prey items in this heavily disturbed system. The specimens collected in the most impacted estuary also had a greater frequency of microplastics and parasites in their stomachs, reflecting the greater degree of human disturbance in the estuary. The present findings suggest that the diet of *A. brasiliensis* could be a useful indicator of changes in the ecological quality of these and other tropical estuaries of the Western Atlantic.

**KEYWORDS:** Tropical estuaries; ecological indicator; generalist fish; omnivory; resident fish.

## REFERÊNCIAS

AESA (2015). Relação dos Açudes monitorados. Available at <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=listarAcudesUltimaCota> (last accessed 1 November 2015).

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M. & Sparovek, G. (2013). Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* **22**, 711–728. doi 10.1127/0941-2948/2013/0507
- Anderson, M. J., Gorley, R. N. & Clarke, K. R. (2008). *PERMANOVA for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods*. PRIMER–E Ltd.: Plymouth, UK.
- APHA, AWWA & WPCF. (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20<sup>a</sup> ed. Washington, APHA/AWWA/WPCF. 1193.
- Baker, R., Buckland, A. & Sheaves, M. (2013). Fish gut content analysis: robust measures of diet composition. *Fish and Fisheries* **15**, 170-177.
- Barboza, G. A. & Gimenez, B. C. G. (2015). Microplastics in the marine environment: Current trends and future perspectives. *Marine Pollution Bulletin* **97**, 5-12. doi:10.1016/j.marpolbul.2015.06.008
- Blott, S. J. & Pye, K. (2001). GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* **26**, 1237–1248. doi:10.1002/esp.261
- Burford, M. A., Webster, I. T., Revill, A. T., Kenyon, R. A., Whittle, M. & Curwen, G. (2012). Controls on phytoplankton productivity in a wet–dry tropical estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **113**, 141–151. doi:10.1016/j.ecss.2012.07.017
- Carew, M. E., Pettigrove, V., Cox, R. L. & Hoffmann, A. A. (2007). The response of Chironomidae to sediment pollution and other environmental characteristics in urban wetlands. *Freshwater Biology* **52**, 2444–2462. doi: 10.1111/j.1365-2427.2007.01840.x

- Carvalho, B. M. & Spach, H.L. (2015). Habitat use by *Atherinella brasiliensis* (Quoy & Gaimard, 1825) in intertidal zones of a subtropical estuary, Brazil. *Acta Scientiarum* **37**, 177-184. doi: 10.4025/actascibiolsci.v37i2.25205
- Clarke, K. R., Somerfield, P. J., Gorley, R. N. & Warwick, R. M. (2014). Change in Marine communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation 3rd ed. PRIMER-E Ltd.
- Contente, R. F., Stefanoni, M. F. & Spach, H. L. (2010). 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* **91**, 1197-1205. doi: 10.1017/S0025315410001116
- Contente, R. F., Stefanoni, M. F. & Spach, H. L. (2012). Feeding ecology of the American freshwater goby *Ctenogobius shufeldti* (Gobiidae, Perciformes) in a sub-tropical estuary. *Journal of Fish Biology* **80**, 2357–2373. doi:10.1111/j.1095-8649.2012.03300.x
- CPTEC/INPE. (2015). Proclima: Programa de monitoramento climático em tempo real da Região Nordeste - Análise municipal das componentes do balanço hídrico. Available at [http://proclima.cptec.inpe.br/balanco\\_hidrico/balancohidrico.shtml](http://proclima.cptec.inpe.br/balanco_hidrico/balancohidrico.shtml) (last accessed 1 November 2015).
- Downing, J. A., McClain, M., Twilley, R., Melack, J. M., Elser, J., Rabalais, N. N., Lewis Jr., W. M., Turner, R. E., Corredor, J., Soto, D., Yáñez-Arancibia A., Kopaska, J. A. & Howarth, R. W. (1999). The impact of accelerating land-use change on the N-cycle of tropical aquatic ecosystems: current conditions and projected changes. *Biogeochemistry* **46**, 109–148. doi: 10.1007/BF01007576

- Eddy, F. B. (2005). Ammonia in estuaries and effects on fish. *Journal of Fish Biology* **67**, 1495–1513. doi: 10.1111/j.1095-8649.2005.00930.x
- Elliott, M., Hemingway, K. L., Costello, M. J., Duhamel, S., Hostens, K., Labropoulou, M., Marshall, S. & Winkler, H. (2002). Links between fish and other trophic levels. In *Fishes in Estuaries* (Elliott, M. & Hemingway, K. L., eds), pp. 124–216. Bodmin: Blackwell Science.
- Elliott, M. & Whitfield, A. K. (2011). Challenging paradigms in estuarine ecology and management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **94**, 306–314. doi: 10.1016/j.ecss.2011.06.016
- Garcia, A. M., Vieira, J. P., Winemiller, K. O. & Grimm, A. (2004) Comparison of 1982–1983 and 1997–1998 El Niño Effects on the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon Estuary (Brazil). *Estuaries* **27**, 905–914. doi: 10.1007/BF02803417
- Gning, N., Vidy, G. & Thiaw, O. T. (2008). Feeding ecology and ontogenic diet shifts of juvenile fish species in an inverse estuary: The Sine-Saloum, Senegal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **76**, 395–403. doi: 10.1016/j.ecss.2007.07.018
- Gonçalves, J. M. S. & Erzini, K. (1998). Feeding habits of the two-banded sea bream (*Diplodus vulgaris*) and the black sea bream (*Spondyliosoma cantharus*) (Sparidae) from the south-west coast of Portugal. *Cybium* **22**, 245 - 254.
- Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G. & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* **25**, 1965-1978.

- Hillebrand, H., Dürselen, C. D., Kirschtel, D., Pollinger, U. & Zohary, T. (1999). Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology* **35**, 403-424. doi: 10.1046/j.1529-8817.1999.3520403.x
- Hyslop, E. J. (1980). Stomach contents analysis, a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology* **17**, 411-430. doi: 10.1111/j.1095-8649.1980.tb02775.x
- IUCN (1994). Guidelines for Protected Area Management Categories. CNPPA with the assistance of WCMC. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. x+261pp.
- Lafferty, K. D. (1997). Environmental parasitology: What can parasites tell us about human impacts on the environment? *Parasitology Today* **13**, 251-255. doi: 10.1016/S0169-4758(97)01072-7
- La Mesa, G., La Mesa, M. & Tomassetti, P. (2006). Feeding habits of the Madeira rockfish *Scorpaena maderensis* from central Mediterranean Sea. *Marine Biology* **150**, 1313–1320. doi: 10.1007/s00227-006-0414-1
- Lima, A. R. A., Costa, M. F. & Barletta, M. (2014). Distribution patterns of microplastics within the plankton of a tropical estuary. *Environmental Research* **132**, 146-155. doi: 10.1016/j.envres.2014.03.031
- Lorenzen, C. (1967). Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography* **12**, 343-346.
- Mackenzie, K. (2002) Parasites as biological tags in population studies of marine organisms: an update. *Parasitology* **124**, 153-163. doi: 10.1017/S0031182002001518
- Marshall, S. & Elliott, M. (1997). A comparison of univariate and multivariate numerical and graphical techniques for determining inter and intraspecific feeding relationships in

- estuarine fish. *Journal of Fish Biology* **51**, 526–545. doi: 10.1111/j.1095-8649.1997.tb01510.x
- McLusky, D. S. & Elliott, M. (2004). ‘Estuarine Ecosystem: Ecology, Threats, and Management’. (Oxford University Press), *Oxford*, 1–223.
- Nishida, A. K., Nordi, N. & Alves, R. R. N. (2006). The lunar-tide cycle viewed by crustacean and mollusk gatherers in the State of Paraíba, Northeast Brazil and their influence in collection attitudes. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* **2**, 1-12. doi: 10.1186/1746-4269-2-1
- Pech, D., Vidal-Martínez, V. M., Aguirre-Macedo, M. L., Gold-Bouchot, G., Herrera-Silveira, J., Zapata-Pérez, O. & Marcogliese, D. J. (2009). The checkered puffer (*Sphoeroides testudineus*) and its helminths as bioindicators of chemical pollution in Yucatan coastal lagoons. *Science of the Total Environment* **407**, 2315-2324. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.11.054
- Prasad, M. B. K. & Ramanathan, A. L. (2008) Sedimentary nutrient dynamics in a tropical estuarine mangrove ecosystem. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **80**, 60–66. doi:10.1016/j.ecss.2008.07.004
- R Development Core Team (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria, <https://www.r-project.org/>
- Ramos, J. A. A., Barletta, M., Dantas, D. V., Lima, A. R. A. & Costa, M. F. (2014). Trophic niche and habitat shifts of sympatric Gerreidae. *Journal of Fish Biology* **85**, 1446–1469. doi: 10.1111/jfb.12499

- Rodrigues, F. L. & Bemvenuti, M. A. (2011). Diet and feeding strategy of the silverside *Odontesthes bonariensis* (Valenciennes 1835) (Atheriniformes: Atherinopsidae) from the Mirim Lagoon, Rio Grande do Sul, Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* **6**, 161-169.
- Szczepanski, T. S., Noleto, R. B., Kantek, D. L. Z., Cortinhas, M. C. S. & Cestari, M. M. (2007). Classical and molecular cytogenetics of *Atherinella brasiliensis* (Teleostei, Atheriniformes) from South coast of Brazil. *Journal of Fish Biology* **71**, 453–460. doi: 10.1111/j.1095-8649.2007.01700.x
- Selleslagh, J. & Amara, R. (2014). Are Estuarine Fish Opportunistic Feeders? The Case of a Low Anthropized Nursery Ground (the Canche Estuary, France). *Estuaries and Coasts* **38**, 252–267. doi: 10.1007/s12237-014-9787-4
- Silva, M. A. M., Souza, M. F. L. & Abreu, P. C. (2015). Spatial and temporal variation of dissolved inorganic nutrients, and chlorophyll-a in a tropical estuary in northeastern Brazil: Dynamics of nutrient removal. *Brazilian Journal of Oceanography* **63**, 1-15. doi: 10.1590/S1679-87592015064506301
- Silva, C., Patrício, J., Marques, J. C., Olímpio, M., Farias, J. N. & Molozzi, J. (2016). Is family level enough to assess changes in polychaete assemblages in tropical estuarine gradients? *Acta Oecologica* (submitted, ref. ACTOEC-D-16-00004).
- Smilauer, P. & Lepš, J. (2005). *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO*. Cambridge University Press.
- Strickland, J.D.H. & Parsons, T.R. (1972). *A practical handbook of seawater analysis*. 2<sup>nd</sup> ed. Ottawa: *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada, Bulletin* **167**, 1-310.

- Tappin, A. D. (2002). An examination of the fluxes of nitrogen and phosphorus in temperate and tropical estuaries: current estimates and uncertainties. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **55**, 885–901. doi:10.1006/ecss.2002.1034
- Teixeira, Z., Vital, S. R. O., Vendel, A. L., Mendonça, J. D. L. & Patrício, J. (2015). Estimating land cover area of coastal watersheds. The case of two Brazilian estuaries with different conservation rules. *Estuaries and Coasts* (submitted).
- Vegter, A., Barletta, M., Beck, C., Borrero, J., Burton, H., Campbell, M., Costa, M. F., Eriksen, M., Eriksson, C., Estrades, A., Gilardi, K., Hardesty, B., Ivar do Sul, J., Lavers, J., Lazar, B., Lebreton, L., Nichols, W., Ribic, C., Ryan, P., Schuyler, Q., Smith, S., Takada, H., Townsend, K., Wabnitz, C., Wilcox, C., Young, L.C. & Hamann, M. (2014). Global research priorities to mitigate plastic pollution impacts on marine wildlife. *Endangered Species Research* **25**, 225-247. doi: 10.3354/esr00623

## APÊNDICE A -TABELAS

Tabela I. Média do comprimento (mm, média  $\pm$  d.v (min-max)) e peso (g, média  $\pm$  sd (min-max)) de *Atherinella brasiliensis* amostrados nas duas áreas (montante e jusante) dos estuários do rio Paraíba e Mamanguape, durante o período seco e chuvoso.

	Length [mm, average $\pm$ s.d. (min-max)]		Weight [g, average $\pm$ s.d. (min-max)]	
	UPSTREAM	DOWNSTREAM	UPSTREAM	DOWNSTREAM
PARAIBA				
Dry	27.5 $\pm$ 15.7 (10-86) n=111	70.8 $\pm$ 13.1 (46-88) n=11	0.3 $\pm$ 0.5 (0.01-4.3) n=111	3.0 $\pm$ 1.0 (1.27-4.7) n=11
Wet	95.4 $\pm$ 16.6 (45-121) n=32	87.6 $\pm$ 23.5 (42-125) n=61	5.0 $\pm$ 2.2 (0.3-11.1) n=32	4.2 $\pm$ 2.9 (0.3-9.9) n=61
MAMANGUAPE				
Dry	44.5 $\pm$ 16.7 (14-104) n=100	74.1 $\pm$ 20.8 (27-110) n=22	0.7 $\pm$ 1.2 (0.01-7.3) n=100	3.3 $\pm$ 2.7 (0.1-8.6) n=22
Wet	79.8 $\pm$ 14.4 (44-109) n=36	89.1 $\pm$ 21.4 (42-129) n=32	2.8 $\pm$ 1.5 (0.4-5.7) n=36	4.6 $\pm$ 2.8 (0.4-11.1) n=32

**Tabela II.** Frequência de ocorrência (%F) dos itens alimentares encontrados em *Atherinella brasiliensis*, com a indicação da vacuidade dos peixes coletados nas zonas à montante e à jusante (média±desvio padrão por zona) dos estuários do rio Paraíba e Mamanguape durante a estação seca e chuvosa. O número médio dos indivíduos com conteúdos estomacais analisados por ponto de amostragem de cada zona e número total de indivíduos analisados por zona (com e sem conteúdo) é referida, exceto quando a zona tinha um único ponto de amostragem.

Taxon	PARAIBA				MAMANGUAPE				
	DRY		Upstream N: 31	WET		DRY		WET	
	Upstream Avg. N: 13 ± 11; Total N: 52	Downstream Avg. N: 3 ± 1; Total N: 10		Downstream Avg. N: 13 ± 6; Total N: 39	Upstream Avg. N: 14 ± 11; Total N: 68	Downstream Avg. N: 14 ± 11; Total N: 41	Upstream Avg. N: 15 ± 14; Total N: 30	Downstream N: 22	
<b>NEMATODA</b>	7.5 ± 11.8	8.3 ± 14.4					4.0 ± 5.6		
<b>ANNELIDA</b>									
Polychaeta	13.2 ± 17.5		93.5	1.6 ± 2.8	23.3 ± 30.7		14.0 ± 8.4	9.0	
<b>ARTHROPODA</b>									
<b>CRUSTACEA</b>									
Decapoda		11.1 ± 19.2							
Brachyura									
Decapoda non-Brachyura	6.2 ± 12.5				4.7 ± 7.3	11.1 ± 19.2			
Zoea	1.0 ± 2.0	11.1 ± 19.2							
Gammaridea	8.9 ± 11.8	30.5 ± 33.7			11.2 ± 12.6		2.0 ± 2.8		
Caprellidae	6.2 ± 12.5					1.2 ± 2.2	2.0 ± 2.8		
Cumacea					4.8 ± 10.7				
Isopoda					1.0 ± 2.2				
Calanoida	22.2 ± 32.1	8.3 ± 14.4		4.1 ± 7.2	2.5 ± 5.6	13.2 ± 11.9	4.0 ± 5.6		
Cyclopoida	5.3 ± 7.5			4.1 ± 7.2	1.0 ± 2.2	8.1 ± 8.3			
Harpacticoida	1.0 ± 2.0	11.1 ± 19.2				3.8 ± 6.6			
Ostracoda	16.1 ± 10.5			7.2 ± 6.4	5.0 ± 8.6	6.4 ± 11.1	4.0 ± 5.6		
<b>CHELICERATA</b>									

Arachnida					2.7 ± 6.1			
<b>HEXAPODA</b>								
Chironomidae larvae	1.3 ± 2.6	11.1 ± 19.2			33.7 ± 34.6	1.2 ± 2.2	18.0 ± 25.4	
Tabanidae larvae	5.0 ± 10.1							
Ceratopogonidae larvae		8.3 ± 14.4			0.7 ± 1.5			
Other Diptera larvae	3.9 ± 7.8				18.7 ± 24.6	1.2 ± 2.2	56.0 ± 33.9	4.5
Hymenoptera adult	1.3 ± 2.6	8.3 ± 14.4	3.2	4.2 ± 7.2	16.7 ± 28.8		26.0 ± 19.7	22.7
Coleoptera adult						1.2 ± 2.2	6.0 ± 8.4	4.5
<b>MOLLUSCA</b>								
Bivalvia	6.2 ± 12.5		45.1	24.1 ± 31.6	5.0 ± 11.1	26.1 ± 12.5	26 ± 19.7	27.2
Gastropoda						10.5 ± 6.4		
<b>FORAMINIFERA</b>				20.7 ± 9.4		3.7 ± 6.4		18.1
<b>BACILLARIOPHYTA</b>	16.2 ± 19.7		32.2	55.9 ± 14.7	12.0 ± 26.8			45.4
<b>MACROALGAE</b>	1.3 ± 2.6				1.0 ± 2.2			
<b>PLANT MATERIAL</b>	14.5 ± 12.5	50 ± 16.6	80.6	24.7 ± 22.1	29.1 ± 27.3	11.8 ± 4.5	30 ± 14.1	9.0
<b>TELEOSTEI</b>	11.5 ± 13.3	25 ± 43.3	3.2	5 ± 8.6	24.6 ± 22.9		6.0 ± 8.4	
<b>VACUITY</b>	<b>8%</b>	<b>9%</b>	<b>7%</b>	<b>10%</b>	<b>3%</b>	<b>0%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>

## APÊNDICE B – FIGURAS

### LEGENDA DAS FIGURAS

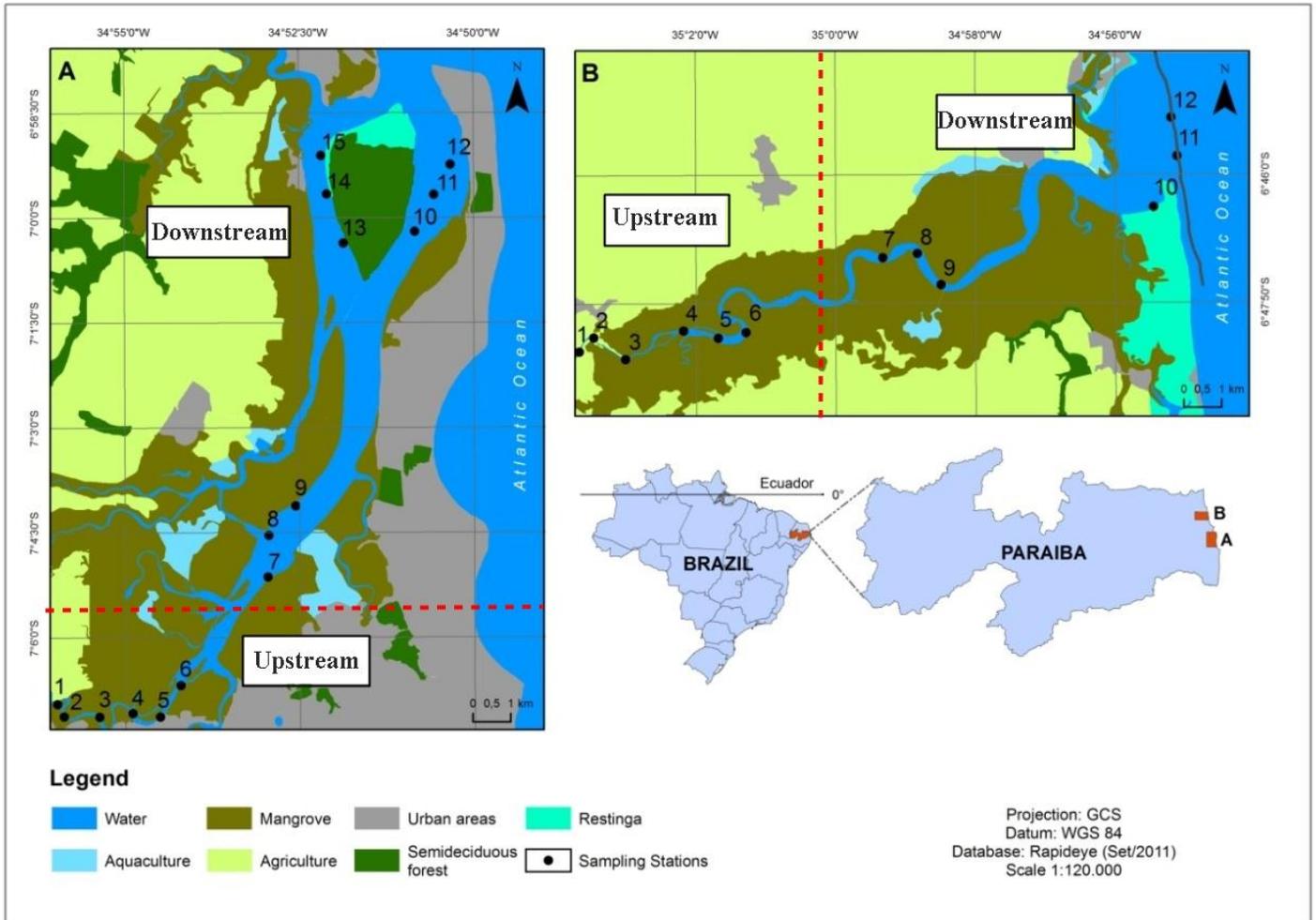
Figura 1. Áreas de estudo e locais de amostragem; A. estuário do rio Paraíba e B. estuário do rio Mamanguape (Autor: S. Vital)

Figura 2. Boxplots das variáveis físico-químicas em áreas montante e jusante dos estuários do rio Paraíba e Mamanguape na estação seca e chuvosa.

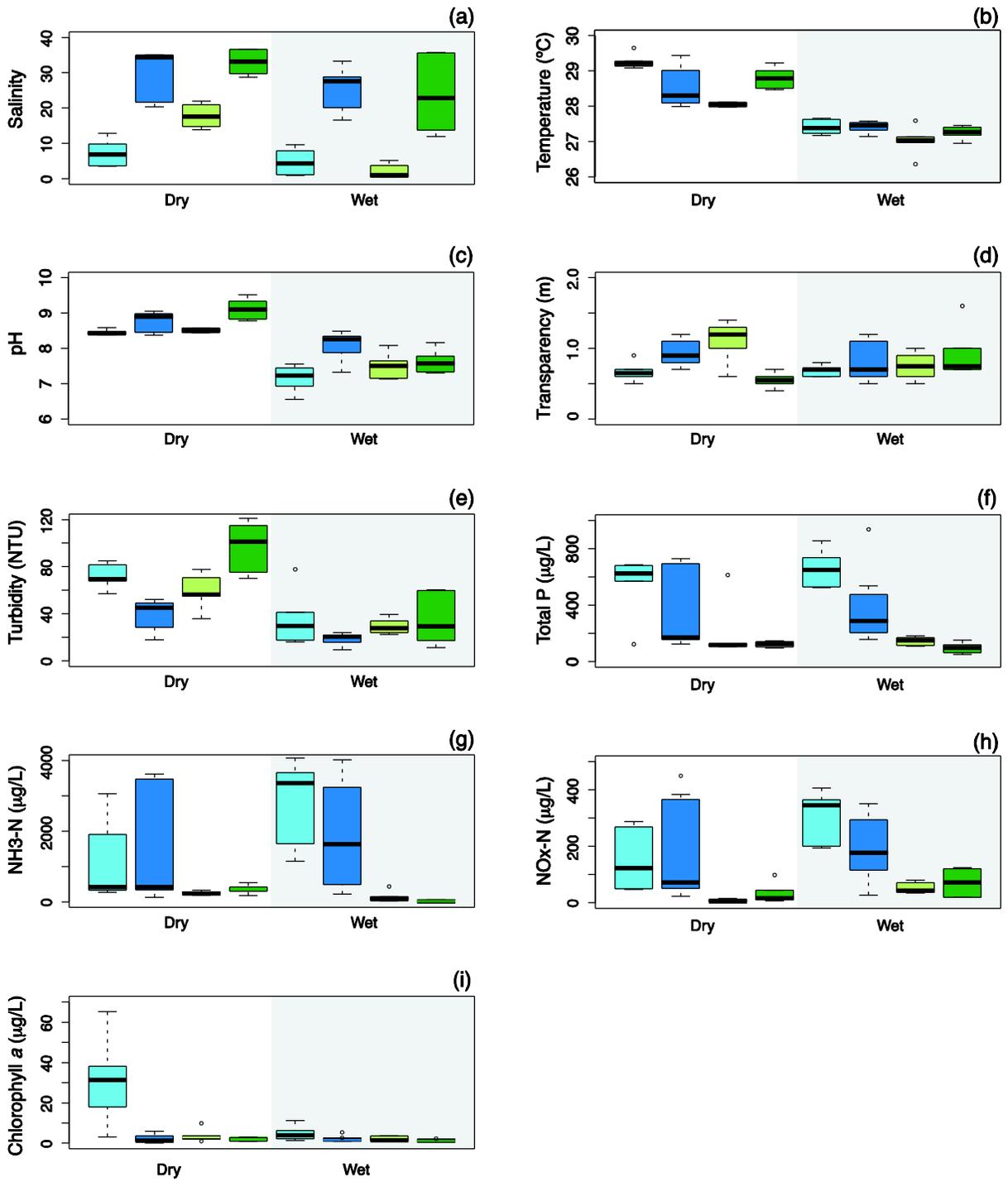
Figura 3. Distribuição da densidade de *A. brasiliensis* em ambos os estuários na estação seca (círculos cheios) e chuvosa (círculos abertos), com a indicação dos locais de amostragem e respectivas zonas montante e jusante.

Figura. 4. Média e desvio padrão da diversidade da dieta (amplitude e equitabilidade) de *Atherinella brasiliensis* considerando as áreas montante e jusante do estuário do rio Paraíba e Mamanguape na estação seca e chuvosa. a) Diversidade de Shannon-Wiener; b) Equitabilidade de Pielou.

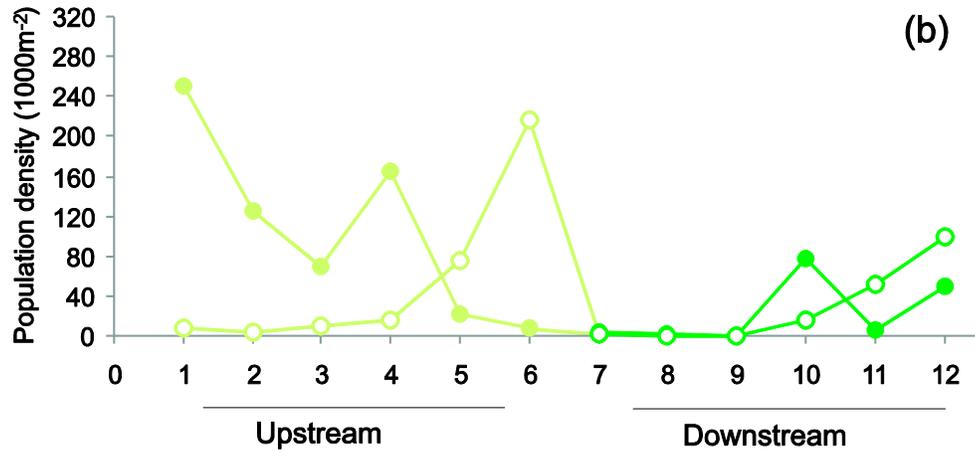
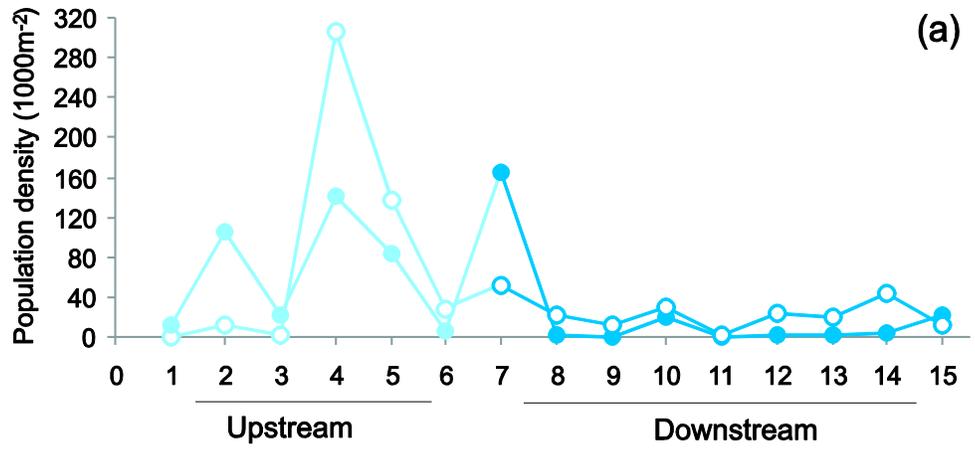
Figura 5. Ordenação RDA entre os itens alimentares (linhas cinzas) e as variáveis ambientais significativas (linhas pretas) para a a) estação seca e b) estação chuvosa. As variáveis ambientais significativas foram selecionadas após o teste de permutação Monte Carlo.



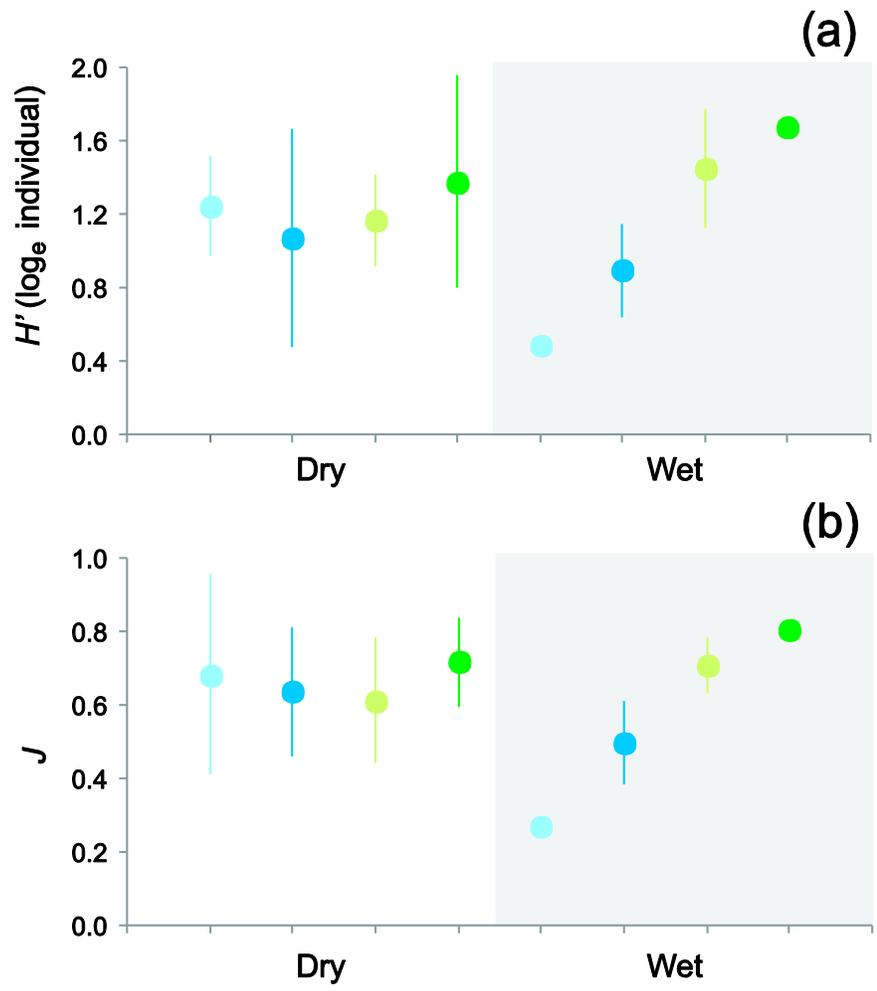
[Figura 1]



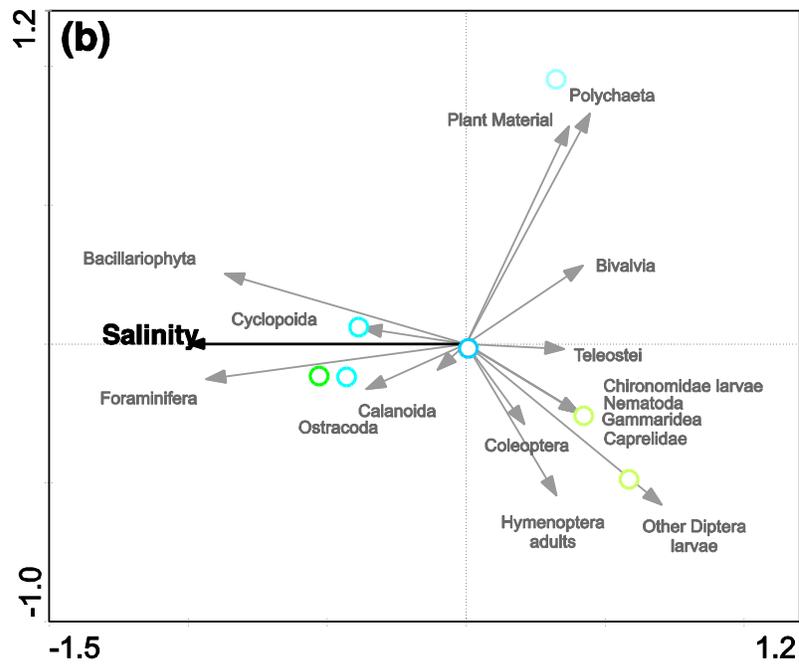
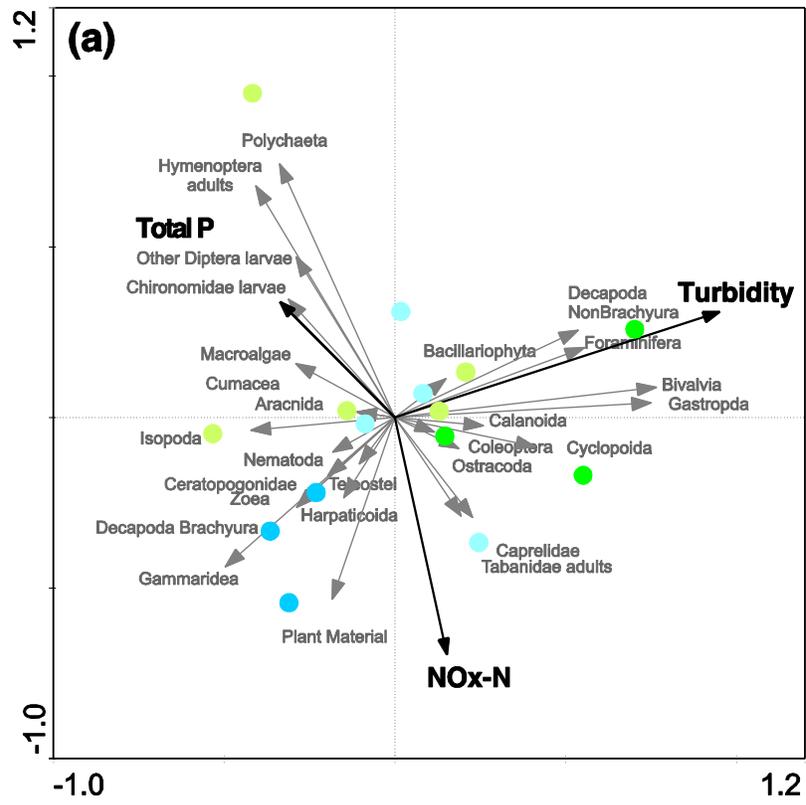
[Figure 2]



[Figura 3]



[Figura 4]



[Figura 5]