

UFRRJ

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

DISSERTAÇÃO

Associações entre peixes, invertebrados bentônicos e variáveis ambientais em
um sistema lagunar no Estado do Rio de Janeiro

FERNANDA SILVA DE AGUIAR DO PRADO

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

TÍTULO

Associações entre peixes, invertebrados bentônicos e variáveis ambientais em um sistema lagunar no Estado do Rio de Janeiro

FERNANDA SILVA DE AGUIAR DO PRADO

Sob orientação do Professor

Francisco Gerson Araújo

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Biologia Animal**, do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Área de Concentração em Biodiversidade Animal.

Seropédica, RJ
2021

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Biblioteca
Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

d896a do Prado, Fernanda Silva de Aguiar, 1988-
Associações entre peixes, invertebrados bentônicos e
variáveis ambientais em um sistema lagunar no Estado
do Rio de Janeiro / Fernanda Silva de Aguiar do
Prado. - Seropédica, 2021.
56 f.: il.

Orientador: Francisco Gerson Araújo.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Biologia
Animal, 2021.

1. Peixes. 2. Invertebrados Bentônicos. 3. Lagoas
Costeiras. 4. Variáveis Ambientais. I. Araújo,
Francisco Gerson , 1954-, orient. II Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação
em Biologia Animal III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA

ANIMAL

FERNANDA SILVA DE AGUIAR DO PRADO

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre (a)**, no Programa de Pós Graduação em Biologia Animal, Área de Concentração em Biodiversidade Animal.

TESE APROVADA EM 11/08/2021

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e neste caso a folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese / dissertação.

FRANCISCO GERSON ARAUJO (ORIENTADOR)

GUSTAVO MATTOS SILVA DE SOUZA - UFRJ

ELLEN MARTINS CAMARA - UFRJ

MAGDA FERNANDES DE ANDRADE TUBINO - UFRRJ

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof^o Francisco Gerson Araújo pela oportunidade de fazer parte da sua equipe, pelos ensinamentos e pela paciência de sempre.

À minha mãe, Juçara, mulher forte que me inspira todos os dias. Obrigada pela força, pelo apoio e principalmente por não me abandonar nunca. Obrigada por tudo o que fez e faz por mim!

À minha esposa, Ana Carolina, obrigada pelo suporte, pelos abraços, pelo companheirismo e por dividir comigo essa caminhada dura chamada Mestrado. Sem você ao meu lado tudo seria muito mais difícil.

À minha família, meu irmão Felipe, minha cunhada Isabela e meu padrasto Paulo. Obrigada pela amizade e por caminharem ao meu lado sempre.

Agradeço à Rafaela pela ajuda, pelas palavras e orientação sempre que possível. Dividimos dúvidas, momentos difíceis e glórias durante essa trajetória sempre compartilhando nosso conhecimento uma com a outra. Foi muito importante para mim.

Agradeço demais ao Gustavo pela ajuda e pelo imenso suporte de sempre. Você é muito fera! Te devo demais!

Agradeço à Maria Clara e Lislane pela imensa ajuda na triagem do material. Foi muito bom poder compartilhar com vocês esse período. Não teria conseguido nem metade sem a ajuda de vocês.

Agradeço à toda equipe do Laboratório de Ecologia de Peixes pelas coletas, pelos cafés, risadas e pelo aprendizado que tive com vocês. Lembrarei de vocês sempre com muito carinho. Obrigada por tudo Taynara, Magda, Denis, Wagner, Débora, Claudio, Dandhara, Léo, Ellen, Luana e Diego.

Agradeço à minha outra família que encontrei na Rural. Amigos que compartilharam momentos maravilhosos e pesados junto comigo, que me auxiliaram e me apoiaram sempre. Sem vocês tudo seria bem mais difícil. Obrigada 2012.1 e agregados! Isaias, Minas, Gui, Diogo (Zoo), Luan, Alex, Tami e Duda. Amo vocês!

Aos meus amigos Biofísicos que a UFRJ me presenteou e que até hoje fazem parte da minha família. Obrigada pelo apoio durante essa jornada e pelos 13 anos juntos. Juliana, Anderson, Gabi e principalmente ao Rafa pela enorme ajuda durante esse processo difícil. Sem sua ajuda teria sido impossível!

Agradeço à minha Professora de inglês e amiga Bianca. Obrigada pela paciência e dedicação comigo. Com certeza eu não teria chegado até aqui sem a sua ajuda e seus ensinamentos. A melhor professora de inglês que já tive!

Agradeço a minha psicóloga Isabella Andrade pelo ótimo trabalho e por me auxiliar nesse longo processo. Grande parte da finalização desse ciclo foi graças ao seu suporte. Obrigada!

Por fim e não menos importante, agradeço a mim mesma. Sinto orgulho do quanto amadureci, pelo que me tornei e por conseguir finalizar essa etapa em um momento tão difícil.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

PRADO, Fernanda Silva de Aguiar. **Associações entre peixes, invertebrados bentônicos e variáveis ambientais em um sistema lagunar no Estado do Rio de Janeiro**. 2021. 44p. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal). Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde. Departamento de Biologia Animal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

Lagoas costeiras são corpos de águas rasas separados do mar por algum tipo de barreira ou mantendo limitada conexão com o ambiente marinho por canais naturais ou artificiais. Devido à elevada produtividade, esses ecossistemas comportam comunidades distintas como os peixes e invertebrados bentônicos, apresentando elevado valor ecológico e econômico. O objetivo desse trabalho foi avaliar variações na estrutura da ictiofauna e de invertebrados bentônicos ao longo de gradientes ambientais durante as estações seca e chuvosa, além de avaliar a associação entre esses dois grupos bióticos no Sistema Lagunar de Maricá, município de Maricá, estado do Rio de Janeiro. A hipótese testada foi de que variáveis ambientais determinam a distribuição de peixes e invertebrados bentônicos e que estas são influenciadas pela distância da conexão com o mar, bem como de que estas duas comunidades apresentam associação significativa. Três zonas foram estabelecidas para o programa de amostragem de acordo com a distância da conexão com o mar: Zona Interna (ZI, mais distante da conexão com o mar), Zona Central (ZC) e Zona Externa (ZE, mais próxima da conexão com o mar). As coletas do material biótico e medições das variáveis ambientais ocorreram em julho de 2018 (estação seca) e em janeiro de 2019 (estação chuvosa). A estrutura da comunidade de peixes diferiu significativamente entre as zonas, estações e apresentou significativa interação entre esses dois fatores ($p < 0,05$), com maior abundância de peixes na ZI e menor na ZE. *Atherinella brasiliensis* e *Anchoa januaria* foram as espécies que mais contribuíram em todas as zonas e estações. Temperatura e salinidade foram as variáveis com maior poder explicativo independente dos preditores (49.29% e 18.29%, respectivamente) para a riqueza das espécies de peixes, apresentando correlação negativa e positiva, respectivamente. Os invertebrados bentônicos diferiram significativamente entre todos os fatores estudados. A maior abundância encontrada foi na ZI e a menor na ZE. Nereididae foi a família de poliquetas com maior contribuição na estação seca e nas zonas interna e central. Oligoquetas foi o grupo de invertebrado que mais contribuiu na estação chuvosa. Capitellidae apresentou maior contribuição na ZE. Para os invertebrados bentônicos, salinidade e temperatura foram as variáveis com maior poder explicativo independente dentre os preditores (40,047% e 18.85%, respectivamente). Diferentemente dos peixes, a salinidade apresentou correlação significativamente negativa e temperatura correlação positiva com a riqueza dos invertebrados. A correlação entre peixes e invertebrados bentônicos foi significativa, porém baixa, mesmo após o controle das variáveis ambientais. Os peixes e invertebrados bentônicos que compartilham o Sistema Lagunar de Maricá estão submetidos a condicionantes ambientais semelhantes, que parecem atuar de forma diferente em cada grupo. A maior parte da variação explicada da comunidade de peixes foi associada aos efeitos compartilhados pelas variáveis ambientais e pela estrutura espacial-zonas (16%), e uma fração negligível foi explicada exclusivamente pelos invertebrados (1%). Considerando os

invertebrados bentônicos, maiores frações da variância (18%) foram associadas aos efeitos compartilhados pelos três fatores (peixes, variáveis ambientais e zonas), além de uma expressiva explicação adicional sendo compartilhada pelas variáveis ambientais e zona (10%) e pela explicação exclusiva das variáveis ambientais (13%). Compreender a forma como cada grupo taxonômico responde a variáveis ambientais e à estrutura espacial simultaneamente pode ser uma importante ferramenta no auxílio de tomada de decisões para a conservação de ecossistemas aquáticos em diferentes escalas.

Palavras-chave: Comunidades, Conservação, Lagoas costeiras

ABSTRACT

PRADO, Fernanda Silva de Aguiar. **Fish, benthic invertebrates and environmental variables associations in a lagoon system of Rio de Janeiro State.** 2021. 44p. Dissertation (Master Science in Animal Biology). Institute of Biological and Health Sciences, Department of Animal Biology, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2021.

Coastal lagoons are shallow water bodies separated from the sea by any type of barrier or with limited connection with the marine environment through natural or man-made channels. Due to the high productivity, these ecosystems shelter distinct communities as fish and benthic invertebrates, which shows high economic and ecological value. The aim of this work was to evaluate the variation in the structure of the ichthyofauna and benthic invertebrates over environmental gradients during dry and rainy seasons, in addition to assess eventual association between both biotic groups in the Maricá Lagoon System, located at Maricá city, Rio de Janeiro State. The tested hypothesis is that environmental variables determine the fish and benthic invertebrates' distribution and that these variables are influenced by the distance from the sea connection, and that these two communities present significant association. Three zones were established to the sampling program according to the distance from the sea connection: Inner Zone (IZ, more distant from the sea connection), Middle Zone (MZ) and Outer Zone (OZ, closer to the connection with the sea). The collection of biotic material and the environmental variables measurements occurred in July 2018 (dry season) and January 2019 (rainy season). The fish community structure differed significantly among zones, seasons and was significant for the interaction between these two factors ($p < 0,05$). Higher fish abundance was found in IZ and lower in OZ. *Atherinella brasiliensis* and *Anchoa januaria* were the species with most contribution in all zones and seasons. Temperature and salinity were the variables that presented the greatest independent explanatory power among the predictors of species richness (49.29 % and 18.29%, respectively) of the fish community, showing negative and positive correlations, respectively. The benthic invertebrates were significantly different among all studied factors. The greatest abundance was found on IZ and the lowest on OZ. Nereididae were the polychaetes family with most contribution on dry season and on inner and middle zones. Oligoquetas was the invertebrate group that most contributed on rainy season. Capitellidae presented most contribution on OZ. Concerning the benthic invertebrates, salinity and temperature were the variables with greatest independent explanatory power (40,047% and 18.85%, respectively). Contrarily to fishes, salinity showed significantly negative correlation and temperature showed positive correlation with benthic invertebrate. The correlation between these two groups was significant but low, even after the environmental variables control. Fish and benthic invertebrates that share the Maricá Lagoon System are submitted to similar environmental conditioning, that seem to act in different way for each group. Most of the explained variation of the fish community was associated with effects shared by environmental variables and by the spatial-zone structure (16%), and a negligible fraction was explained exclusively by invertebrates (1%). Considering benthic invertebrates, larger fractions (18%) were associated with the effects shared by the three factors (fish, environmental variables and zones), in addition to a significant additional explanation being shared by environmental variables and zone (10%) and by the exclusive explanation of environmental variables

(13%). Understand the way that each taxonomic group responds to environmental variables and the spatial structure simultaneously could be an important tool to help decision-making related to the conservation of aquatic ecosystem in different scales.

Keywords: Community, Conservation, Coastal lagoons

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Locais de amostragem nas três diferentes zonas (interna, central e externa) do Sistema Lagunar de Maricá, estado do Rio de Janeiro. Conexão com o mar indicada pelo canal de Ponta Negra, na extremidade oeste..... 6
- Figura 2:** Locais de coleta em cada zona. ZI: Zona Interna; ZC: Zona Central; ZE: Zona Externa. Foto: Leonardo Almeida (Equipe de coleta)..... 7
- Figura 3:** Diagrama de ordenação dos dois primeiros eixos da análise de componentes principais (ACP) mostrando a dispersão das amostras em relação as variáveis ambientais, separado entre as zonas. Sal: salinidade, AG: areia grossa, Temp: temperatura; P: fósforo; Turb.: turbidez; AMG: areia muito grossa; N: nitrogênio; MO: matéria orgânica 13
- Figura 4:** Diagrama de Venn mostrando os resultados da partição da variância baseada na assembleia de peixes, analisando os efeitos exclusivos e compartilhados entre invertebrados bentônicos (Invert), variáveis ambientais (Amb) e zona..... 17
- Figura 5:** Distribuição dos efeitos independentes (I%) de cada variável preditora calculada através da partição hierárquica de acordo com a riqueza de peixes. Variáveis ambientais: Sal, salinidade; Temp., temperatura; Turb., turbidez; P, fósforo; MO, matéria orgânica; N, nitrogênio; AMG, areia muito grossa; AG, areia grossa 18
- Figura 6:** Gráfico triplot da Análise de redundância (RDA) mostrando as relações entre as espécies de peixes, variáveis ambientais e as zonas do Sistema Lagunar de Maricá. 1=Zona interna, 2=Zona central e 3=Zona externa. Variáveis ambientais: Sal, salinidade; Temp., temperatura; Turb., turbidez; P, fósforo; MO, matéria orgânica; N, nitrogênio; AMG, areia muito grossa; AG, areia grossa. Código dos peixes: Anexo B..... 20
- Figura 7:** Diagrama de Venn mostrando os resultados da partição da variância nos invertebrados bentônicos, explicada pesos os efeitos exclusivos e compartilhados dos peixes, variáveis ambientais (Amb) e zona 23
- Figura 8:** Distribuição dos efeitos independentes (I%) de cada variável preditora calculada através da partição hierárquica de acordo com a riqueza de invertebrados bentônicos. Variáveis ambientais: Sal, salinidade; Temp., temperatura; Turb., turbidez; P, fósforo; MO, matéria orgânica; N, nitrogênio; AMG, areia muito grossa; AG, areia grossa 24
- Figura 9:** Gráfico triplot da Análise de redundância (RDA) mostrando as relações entre invertebrados bentônicos, variáveis ambientais e as zonas do Sistema Lagunar de Maricá. 1=Zona interna, 2=Zona central e 3=Zona externa. Variáveis ambientais: Sal, salinidade; Temp., temperatura; Turb., turbidez; P, fósforo; MO, matéria orgânica; N, nitrogênio; AMG, areia muito grossa; AG, areia grossa. Código dos invertebrados: anexo. 25

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Resultado da análise do PERMANOVA, indicando os valores de Pseudo-F, de p e comparações das variáveis ambientais entre as estações do ano, zonas e interações. ns, não significativa ($p > 0,05$), * = $p \leq 0,05$; ** = $p \leq 0,01$ 12
- Tabela 2:** Pseudo-F e e t-Student para comparações do número de indivíduos (N) entre as zonas e estação do ano, e interações zonas vs. estação do ano. ZI, Zona Interna; ZC, Zona Central; ZE, Zona Externa. ns, não-significante; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ 14
- Tabela 3:** Abundância numérica (N) e frequência de ocorrência (FO=%) das espécies de peixes nas três zonas do Sistema Laguar de Maricá. ZI, zona intern; ZC, zona central; ZE, zona externa. 15
- Tabela 4:** Resultado da análise do SIMPER mostrando os valores de similaridade média referentes a cada estação e zona (entre parênteses), a abundância média de cada espécie e os valores (em porcentagem) da contribuição de cada espécie de peixes. Em negrito estão as maiores contribuições de cada espécie. AM = abundância média, C (%) = porcentagem da contribuição de cada espécie para a similaridade média do grupo. ZI, zona interna; ZC, zona central e ZE, zona externa 16
- Tabela 5:** Partição hierárquica das variáveis ambientais explicando a riqueza de peixes. MO = matéria orgânica; AMG = areia muito grossa; AG = areia grossa; I%= contribuição percentual do preditor para a variável resposta; I = efeito independente; J = efeito conjunto; Total= total dos preditores sobre a riqueza; * = significância baseada em $p < 0,05$ 19
- Tabela 6:** Número de indivíduos (N) e frequência de ocorrência (FO%) por zonas no Sistema Lagunar de Marica. ZI, Zona Interna; ZC, Zona Central; ZE, Zona Externa..... 21
- Tabela 7:** Resultado da análise de PERMANOVA com os valores do Pseudo-F para cada análise principal e de t para comparações par a par da estrutura da comunidade de invertebrados bentônicos entre as zonas e estações do ano. ZI, zona interna; ZC, zona central; ZE, zona externa. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. Se, estação seca; Chu, estação chuvosa..... 21
- Tabela 8:** Resultado da análise do SIMPER mostrando os valores de similaridade média referentes a cada estação e zona (entre parênteses) e os valores (em porcentagem) da contribuição de cada grupo de invertebrados bentônicos para a similaridade média do grupo. Em negrito estão as maiores contribuições de cada grupo. AM = abundância média; C (%) = porcentagem da contribuição de cada espécie. ZI, zona interna; ZC, zona central; ZE, zona externa 22

Tabela 9: Partição hierárquica das variáveis ambientais explicando a riqueza de invertebrados bentônicos. MO = matéria orgânica; AMG = areia muito grossa; AG = areia grossa; I%= contribuição percentual do preditor para a variável resposta; I = efeito independentes; J = efeito conjunto; Total: total dos preditores sobre a riqueza; * = significância baseada em $p < 0,05$. 24

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAIS E MÉTODOS	5
2.1 Área de Estudo.....	5
2.2 Programa de Amostragem.	7
2.3 Caracterização Ambiental.....	8
2.4 Ictiofauna	9
2.5 Invertebrados Bentônicos.	9
2.6 Análise de Dados.	10
3. RESULTADOS	11
3.1 Variáveis Ambientais.	11
3.2 Ictiofauna	14
3.3 Relação Ictiofauna – Variáveis Ambientais.	18
3.4 Invertebrados Bentônicos.	21
3.5 Relação Invertebrados Bentônicos – Variáveis Ambientais.	23
3.6 Correlação entre as Comunidades.	27
4. DISCUSSÃO	27
5. CONCLUSÃO.....	33
6. REFERÊNCIAS	35
7. ANEXOS	45
Anexo A.....	45
Anexo B.....	46
Anexo C.....	47

1. INTRODUÇÃO

Lagoas costeiras são corpos de águas rasas separados do mar por uma barreira de areia, restinga ou recife, ou com estreita conexão com o ambiente marinho por um ou mais canais (KENNISH, 2010), formando um ecossistema altamente produtivo entre a água doce e o oceano com gradientes físico-químicos e granulométricos bem definidos (DYER, 1997; VAZ *et al.*, 2019). Esses gradientes podem variar de acordo com a sazonalidade, proximidade da comunicação com o mar, marés e morfologia do sistema (VEGA-CENDEJAS & SANTILLANA, 2004). Devido aos gradientes ambientais, os sistemas lagunares apresentam uma grande variedade de habitats, levando à formação de comunidades distintas e que comportam diferentes espécies de peixes e invertebrados bentônicos (PÉREZ-RUZAFÁ *et al.*, 2019). Esta é uma das razões pelas quais as lagoas costeiras apresentam elevado valor ecológico e econômico (DITTMANN, 2000; FUJII, 2007), sendo utilizadas por diversas espécies marinhas como área de desova e alimentação, como também pelo homem, que utiliza seus recursos naturais para alimentação ou renda.

As variáveis físico-químicas da água, principalmente a salinidade, temperatura e turbidez, são importantes fatores determinantes da distribuição de diversos organismos, e normalmente apresentam fortes influências na riqueza e abundância de peixes (ATTRILL, M.J., 2002; GONZALÉZ CASTRO *et al.*, 2009; FRANCO *et al.*, 2018; FRANCO *et al.*, 2019; CAMARA *et al.*, 2021) e invertebrados bentônicos (ADANDEDJAN, *et al.*, 2012; BARRET; BELOVSKY, 2020). Algumas espécies de peixes vivem bem em ambientes de transição tolerando pequenas flutuações na salinidade, porém, a adaptação ao ambiente mais salino ou menos depende diretamente da sua tolerância fisiológica (BLABER, 1997). Em lagunas diluídas, como é o caso das lagunas de Maricá, a elevada abundância de determinadas espécies pode torná-las dominantes, culminando em uma baixa diversidade específica. (FRANCO *et al.*, 2019; VELÁZQUEZ-VELÁZQUEZ; VEGA-CENDEJAS; NAVARRO-ALBERTO, 2008). Assim como a salinidade, mudanças na temperatura também podem influenciar nos processos fisiológicos de espécies de peixes, atuando principalmente na taxa de crescimento (AMARAL; VALE, 2010; BRIAN *et al.*, 2008). Além disso, influenciam na distribuição de peixes em ambientes estuarinos, sendo positivamente correlacionada a abundância de indivíduos jovens (THIEL *et al.*, 1995). A turbidez também pode ser considerada um importante condicionante ambiental para a ictiofauna (CYRUS; BLABER, 1992), proporcionando proteção contra predadores e está diretamente associada a oferta de recursos alimentares (BLABER & BLABER, 1980; WHITFIELD, 1999).

. Os sedimentos de lagoas costeiras funcionam como importantes reservatórios de nutrientes, com acúmulos históricos resultantes de processos de deposição de compostos químicos. Os nutrientes chegam através de corpos d'água por fontes antropogênicas ou naturais, se depositam no sedimento através da remobilização e podem ser liberados novamente na coluna d'água (KJERFVE & KNOPPERS, 1999). A entrada de nutrientes como o fósforo e nitrogênio em ambientes costeiros pode ser considerado um fenômeno natural. No entanto, o aumento de áreas urbanizadas no entorno e o lançamento de esgoto *in natura* nesses sistemas podem levar ao aumento das concentrações desses nutrientes, acelerando o processo de eutrofização e conseqüentemente, impactando a biodiversidade local (SILVA, 2019). Esse processo é um dos principais causadores de degradação ambiental costeira, como vem ocorrendo em lagoas costeiras ao redor do mundo (LUET *et al.*, 2016 e RAPOSO *et al.*, 2018 no Brasil; DEROLEZ *et al.*, 2020 na França; PÉREZ-RUFAZA *et al.*, 2019 na Espanha e NKWOJI *et al.*, na Nigéria).

Além da comunidade de peixes, os invertebrados bentônicos também apresentam respostas às variáveis ambientais como salinidade, temperatura e granulometria e composição química do sedimento (MCLACHLAN & BROWN, 2006). Os macroinvertebrados são fundamentais no processo de bioturbação, no qual os nutrientes estocados no sedimento, são levados para a coluna d'água favorecendo níveis tróficos superiores (WARD, 1992; JOSEFSON & RASMUSSEN, 2000). Também são importantes itens alimentares para muitas espécies de peixes e outros organismos, desempenhando importante função na estrutura trófica dentro de um ecossistema (MCLACHLAN & BROWN, 2006). Dentre os macroinvertebrados, os poliquetas são importantes representantes de condições ecológicas específicas nos sistemas semifechados devido ao seu modo de vida sedentário e expectativa de vida longa (DÍAZ-JARAMILLO *et al.*, 2018; ELÍAS *et al.*, 2020; NKWOJI *et al.*, 2020). O declínio ou perda de populações de espécies na base das teias alimentares, pode afetar os grupos ou espécies associadas (DUNNE *et al.*, 2002; VAN COLEN *et al.*, 2014). Em geral, os invertebrados bentônicos são sensíveis às mudanças ambientais, o que faz desse grupo taxonômico uma base importante de avaliação e entendimento dos efeitos de atividades antrópicas nos sistemas aquáticos (BOYLE; FRALEIGH, 2003). De forma semelhante a Poliquetas, as Oligoquetass são representantes de condições ambientais específicas. Esse grupo de invertebrados vem sendo correlacionado positivamente com matéria orgânica, nitrogênio e fosfatos em ambientes estuarinos (ARMENDÁRIZ *et al.*, 2011; COELHO; PÉREZ-RUZAFÁ; GAMITO, 2015; OBOLEWSKI, 2018). Outros invertebrados, como por exemplo, os crustáceos da ordem

Decapoda, possuem dependência estuarina, utilizando esse ambiente como parte do seu ciclo de vida (PÉREZ-CASTAÑEDA; DEFEO, 2004).

Grande parte dos estudos de associação entre peixes e invertebrados bentônicos buscam entender suas relações tróficas (GUEDES *et al.*, 2004; MCLACHLAN & BROWN, 2006). Entretanto, recentemente estes dois grupos taxonômicos estão sendo utilizados também para investigar de que forma, diferentes grupos respondem às mesmas condições biológicas em ambientes aquáticos (AGUIAR *et al.*, 2020; JOHNSON & RINGLER, 2014; LARSEN *et al.*, 2012), tornando uma boa ferramenta de detecção de qualidade ambiental através da resposta em várias escalas. Ainda assim, a concordância entre esses dois grupos ainda é pouco compreendida em ambientes costeiros, como por exemplo, as lagoas costeiras e estuários.

A associação ou correlação de diferentes grupos taxonômicos em distintas localidades pode ser definida como concordância (HEINO, 2010). A resposta semelhante ao mesmo gradiente ambiental, como a perda comum de espécies ao longo de um gradiente de estresse e as interações bióticas são mecanismos que levam a concordância entre dois táxons diferentes (LARSEN *et al.*, 2012). No entanto, diferentes grupos taxonômicos tendem a utilizar diferentes habitats e por isso, espera-se que respondam de maneira diferentes às variáveis ambientais. Identificar como diferentes táxons respondem aos gradientes ambientais simultaneamente, mostra de forma mais consistente sobre como ocorre a interação dos grupos (AGUIAR, *et al.*, 2020). Muitos trabalhos evidenciam a perda da biodiversidade a um único grupo biótico em sistemas aquáticos. Entretanto, perda ou perturbações em grupos da base da cadeia alimentar, podem ocasionar uma cascata de efeitos nos grupos tróficos superiores, afetando todo o ecossistema (DUNNE, *et al.*, 2002). Portanto, identificar e avaliar a concordância de diferentes grupos taxonômicos em um gradiente ambiental é uma importante ferramenta para um eficiente diagnóstico das relações dos organismos versus ambiente e das interações bióticas entre diferentes grupos.

O Sistema Lagunar de Maricá (SLM), localizado na costa do estado do Rio de Janeiro, apresenta considerável aporte de água doce com vazão média de 0,035 m³/s a 0,065 m³/s nos principais afluentes (ROSMAN *et al.*, 2019), e considerando a capacidade de diluição, possui características estuarinas com ampla variação de salinidade (8 e 38) o que o caracteriza com uma lagoa costeira mesohalina (Franco *et al.*, 2019). A renovação das águas no SLM é influenciada principalmente pelas oscilações de maré e aporte dos rios. A lagoa de Guarapina, é a laguna que possui maior taxa de renovação, sendo influenciada diretamente pelo efeito da maré através do canal de ligação com o mar e pela desembocadura do Rio Doce. Na lagoa do

Padre a taxa de renovação é menor, porém esta parte do sistema também recebe influência do regime de marés. Já na lagoa da Barra, onde não ocorre influência das águas dos rios e nem do mar, a taxa de renovação é a mais baixa em todo o sistema. Na lagoa de Maricá, região mais afastada do canal de ligação com o mar, a oscilação da maré não influencia na renovação de águas, entretanto, a renovação nessa laguna é afetada principalmente pelas descargas do Rio Mambuca (ROSMAN *et al.*, 2019). Devido ao elevado tempo necessário para a renovação da água, que corresponde a cerca de 27 dias para 50% do volume, a Laguna de Maricá apresenta um elevado acúmulo de nutrientes, se tornando sensível às variações ambientais (CRUZ, 2010; KNOPPERS *et al.*, 1991). Estas características, juntamente com as variáveis físico-químicas da água, os nutrientes do sedimento, especialmente fósforo e nitrogênio, são fatores que influenciam diretamente e indiretamente a biodiversidade local (SILVA, 2019).

O SLM, por se situar na região dos lagos do Estado do Rio de Janeiro, onde a densidade populacional está associada com temporadas de verão e feriados prolongados, grande parte dos domicílios existentes, não são ocupados fora da alta temporada (CRUZ, 2010; SOUSA *et al.*, 2013) sugerindo que a especulação imobiliária e turismo são os principais fatores de crescimento desordenado nessas áreas (BERTUCCI *et al.*, 2016). Diferentes lagoas costeiras do estado do Rio de Janeiro estão localizadas em áreas com grande crescimento populacional, que tem aumentado ainda mais a pressão urbana nas últimas décadas (MANSUR, 2010; BERTUCCI *et al.*, 2016). Esse padrão observado nessas lagoas costeiras, e o aumento na participação de *royalties* de Petróleo, vem aumentando rapidamente a área urbana de maneira não planejada, tendo como consequência, o aumento na falta de saneamento básico e o assoreamento das lagoas, uma vez que o sistema lagunar é o destino das águas residuárias (GUERRA *et al.*, 2011), afetando de forma direta a biodiversidade local.

Comunidade é um grupo de organismos que representam múltiplas espécies coexistindo em um dado local e tempo (Vellend, 2010). O número de indivíduos e de espécies em uma comunidade pode variar tanto espacialmente como sazonalmente (BEGON *et al.*, 1990). Embora a sazonalidade não seja bem definida ao longo do ano, os meses de verão (janeiro, fevereiro e março) apresentam as maiores taxas de evaporação e pluviosidade, enquanto os meses de inverno (junho, julho e agosto) apresentam valores comparativamente menores para estes fatores, que influenciam diretamente as condições ambientais locais (FIGUEIREDO & CALLIARI, 2005). Temperatura e salinidade são as variáveis que sofrem mais alterações entre os períodos seco e chuvoso, sendo fatores limitantes para muitas espécies. Somado a isso, os períodos chuvosos podem aumentar a produtividade do ambiente devido ao aumento de

nutrientes, provendo melhor qualidade de habitat em ecossistemas aquáticos (AGBLONON HOUELOM *et al.*, 2017; YOBOUÉ *et al.*, 2020). Essas relações tornam a sazonalidade um fator relevante em estudos de dinâmica de comunidades.

O objetivo principal desse trabalho foi avaliar modificações na estrutura das comunidades de peixes e invertebrados bentônicos, e as mudanças ao longo de gradientes espaciais e ambientais em dois períodos do ano (estações seca e chuvosa) no Sistema Lagunar de Maricá. Além disso, objetivou-se identificar possíveis associações entre esses dois grupos de organismos, e analisar suas relações com as variáveis físico-químicas da água, granulometria e nutrientes do sedimento. A hipótese testada é de que diferentes fatores determinam a distribuição de peixes e invertebrados bentônicos e que estas são influenciadas de acordo com a área mais distante ou mais próxima da conexão com o mar. Espera-se que com esse estudo, é possível encontrar respostas que tragam melhor compreensão sobre a dinâmica da correlação entre as comunidades de peixes e invertebrados bentônicos em um sistema lagunar e conseqüentemente, ser uma importante contribuição na formulação de diretrizes para políticas de conservação e gestão ambiental.

2. MATERIALE MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O Sistema Lagunar de Maricá (SLM) tem uma área de 35,3 km², está inserido na região da Baixada litorânea, no município de Maricá, a cerca de 50 km da cidade do Rio de Janeiro. Esse sistema é composto por quatro lagunas interconectadas: Lagoa de Maricá (19.5 km²), Lagoa da Barra (6.2 km²), Lagoa do Padre (3.1 km²) e Lagoa de Guarapina (6.5 km²) com profundidade máxima de 2 metros. Essas lagunas são conectadas ao mar através de um canal na extremidade da laguna de Guarapina (Oeste), chamado Canal de Ponta Negra, construído em 1951 (Figura 1). Parte desse sistema faz parte da Área de Proteção Ambiental (APA) de Maricá, criada pelo Decreto Estadual nº7.230, de 23 de abril de 1984. Este sistema lagunar possui importância social, econômica e ambiental, servindo como base para diversos estudos na área de geologia, hidrobiologia, conservação, impactos ambientais e ecologia (CRUZ *et al.*, 1996; GUERRA *et al.*, 2011; BRUNO, 2013; FRANCO, 2019).

Antes da construção do Canal de Ponta Negra, em 1951, a abertura para o mar era um processo natural que ocorria quando o clima estava tempestuoso ou aberto por pescadores quando a Lagoa de Maricá atingia a cheia máxima (LAUT *et al.*, 2019). A construção do Canal de Ponta Negra trouxe mudanças ambientais significativas, como por exemplo, a diminuição do volume no corpo d'água e redução na pesca (CRUZ, 2010).

O clima nessa região é caracterizado como tropical quente super úmido e média anual de precipitação pluviométrica de aproximadamente 2.000 mm com chuvas intensas no verão e estiagem no inverno (BOMFIM *et al.*, 2010). A temperatura média anual é de aproximadamente 23°C. O sistema é classificado como mesohalino com características mais próximas de um estuário e apresentando ampla faixa de salinidade (FRANCO *et al.*, 2019).

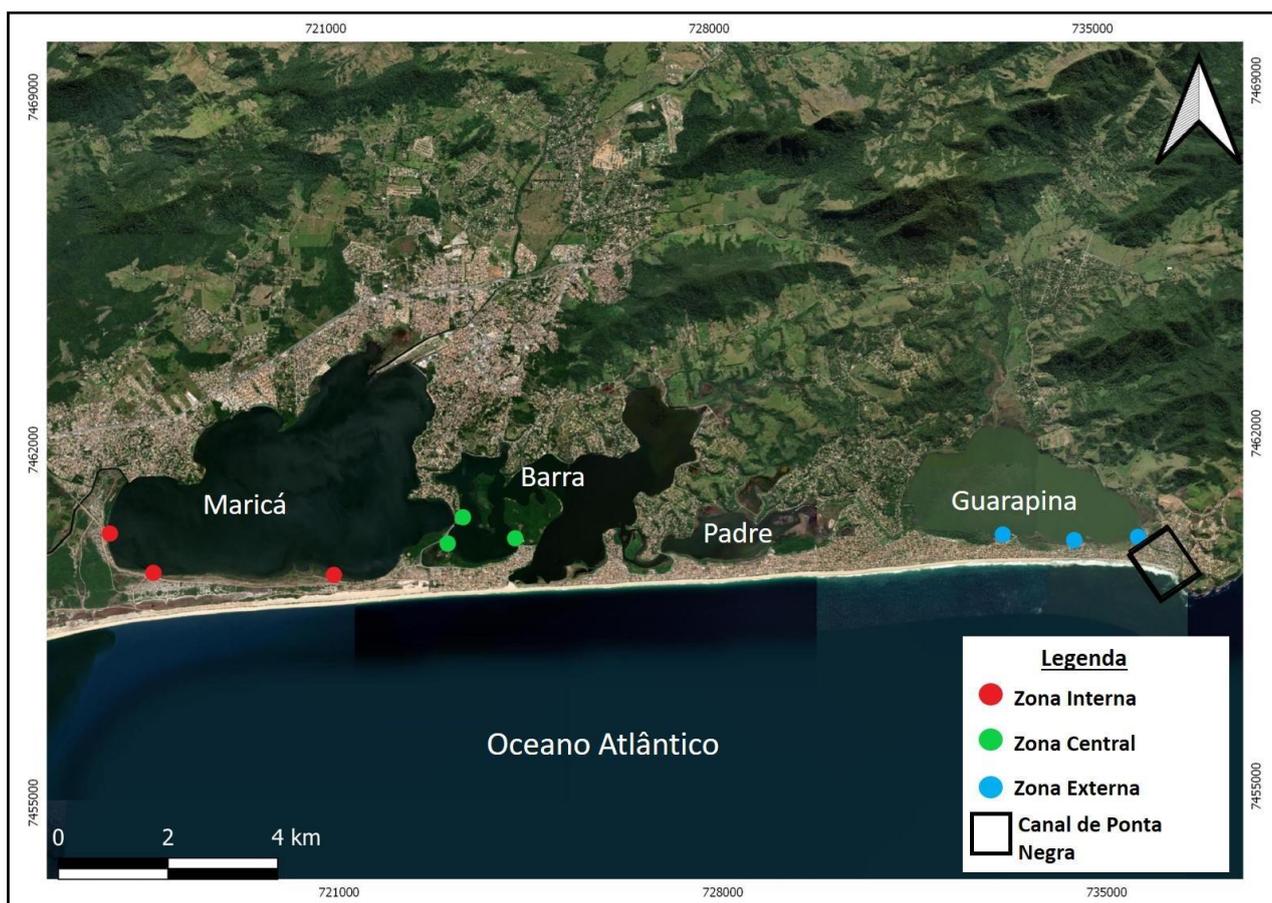


Figura 1: Locais de amostragem nas três diferentes zonas (interna, central e externa) do Sistema Lagunar de Maricá, estado do Rio de Janeiro. Conexão com o mar indicada pelo canal de Ponta Negra, na extremidade oeste.

Desde 1996, um rápido processo de urbanização e alterações no uso do solo vem sendo documentado em torno do sistema lagunar de Maricá (CRUZ *et al.*, 1996). A intensa especulação imobiliária e a atividade industrial como a extração de areia, leva a um aumento no aporte de sedimentação e enriquecimento de nutrientes, agravando a eutrofização, principalmente em locais onde a taxa de renovação de águas é mais baixa (CRUZ *et al.*, 1996; LAUT *et al.*, 2019).

2.2 Programa de Amostragem

As amostragens de peixes, invertebrados bentônicos e variáveis ambientais foram realizadas no Sistema Lagunar de Maricá e distribuídas em três zonas: Interna, Central e Externa. As zonas foram definidas de acordo com a proximidade do canal de conexão com o mar. A Zona Interna (ZI) - área mais distante da conexão com o mar e menor influência das marés; Zona Central (ZC) – área intermediária, com limitada influência da conexão com o mar; Zona externa (ZE) – área da conexão com o mar através do canal de Ponta Negra (Figura 2). O desenho amostral compreendeu um total de 54 amostras (3 zonas x 3 sites x 3 réplicas x 2 estações do ano) realizadas durante a estação seca, no mês de julho de 2018 e chuvosa, no mês de janeiro de 2019. As coletas foram realizadas durante o período de 8 às 17 horas, durante a maré de quadratura



Figura 2: Locais de coleta em cada zona. ZI: Zona Interna; ZC: Zona Central; ZE: Zona Externa. Foto: Leonardo Almeida (Equipe de coleta).

2.3 Caracterização Ambiental

Em cada local de amostragem, os parâmetros físico-químicos da água foram medidos simultaneamente com a coleta de peixes, invertebrados e sedimento. Temperatura da água (°C), salinidade e turbidez (NTU) foram medidos com o auxílio de um medidor multiparâmetros HANNA HI 9829 imerso a aproximadamente 0,5m de profundidade.

As amostras de sedimento foram obtidas com o auxílio de um “corer” de PVC (10cm de diâmetro e 50 cm de comprimento), a aproximadamente 1 metro de profundidade para análise granulométrica e concentração de nutrientes, com três repetições em cada praia. Em laboratório, as amostras foram pesadas em uma balança de precisão (0,01g), retirados 150 g para análise dos nutrientes e 300 g para análises granulométricas. Através de técnicas de padrões de peneiramento (SUGUIO, 1973), com o auxílio do aparelho Tamisador (Agitador Eletromagnético Para peneiras – Tamis, modelo Bertel), as amostras secas foram agitadas durante 15 minutos para a separação das partículas em peneiras. As partículas retidas em cada peneira foram pesadas separadamente e os parâmetros granulométricos foram calculados segundo FOLK & WARD (1957) e classificados de acordo com SHEPARD (1954). A análise dos dados foi feita com auxílio do programa SysGran 3.0 (CAMARGO, 2006). Sete classes de sedimento foram determinadas: grânulo (G), areia muito grossa (AMG), areia grossa (AG), areia média (AM), areia fina (AF), areia muito fina (AMF) e silte + argila (S+A).

As análises da química dos sedimentos para investigação do teor de matéria orgânica (g/dm^3), nitrogênio total (%) e fósforo (mg/dm^3) foram realizadas no Centro de Análises Químicas na UFRRJ (*Campus* Campos dos Goytacazes). A concentração de carbono foi determinada através do método de WALKEY & BLACK (1934). A solubilização das formas de fosfato mineral e orgânico foram realizadas com ácido sulfúrico (H_2SO_4) na concentração de 1:1 (BOWMAN, 1988). A concentração de nitrogênio total foi determinada utilizando o método Kjeldahl. A concentração de fósforo total foi determinada com o auxílio de um espectrofotômetro após a digestão com ácido nítrico e ácido clorídrico (HNO_3 – HCl) na proporção de 3:1 (V/V) a 200 °C.

2.4 Ictiofauna

Para a amostragem da ictiofauna, foi utilizada uma rede de arrasto de praia (12 m \times 2,5 m; malha 7,5 mm). Uma pessoa conduziu a rede de arrasto a uma profundidade máxima de 1,5

metros. A rede foi estendida paralela à linha de costa e, através de dois cabos de 30 m em cada uma das extremidades, foi operada perpendicularmente a linha da costa, com duas pessoas em terra realizando o recolhimento da rede. Para definição da unidade amostral, foi estabelecido como o número total de peixes capturados por 300 m² de área varrida pela rede arrasto (30 m de extensão x 10 m de abertura da boca da rede). Após a captura, os peixes foram anestesiados e posteriormente fixados em solução de formalina a 10%. Em laboratório, os peixes foram identificados e o material testemunho foi transferido para líquido conservante (álcool a 70%).

2.5 Invertebrados Bentônicos

Em cada praia foram feitas três réplicas de amostras dos sedimentos utilizando um “corer” de PVC (10cm de diâmetro e 50 cm de comprimento), delimitando uma área de 0,00785 m² a 1 metro de profundidade da água e 15 cm de sedimento. Segundo BALLY (1983), os primeiros 15-20 cm do substrato possui a maior abundância de organismos bentônicos. Ainda em campo, os organismos foram fixados com formalina a 10% para posterior triagem em laboratório. Em laboratório, as amostras dos sedimentos foram inicialmente triadas com o auxílio de uma bandeja de plástico contendo água, no qual foram retirados os indivíduos de maior tamanho. O material foi peneirado com abertura da malha de 0,05 mm e em seguida analisado em microscópio estereoscópico para triagem dos organismos menores e identificação ao menor nível taxonômico possível. Posteriormente, os espécimes foram conservados em álcool 70%. Segundo KILGOUR *et.al*, (1999), a identificação dos invertebrados bentônicos a nível de família ou espécie não possui diferença significativa quando correlacionamos estes com peixes.

2.6 Análise de Dados

Variáveis preditoras altamente correlacionados foram retirados das análises subsequentes através da análise do fator de inflação da variância (VIF) maior que 10,0 Com o intuito de excluir os efeitos das diferenças entre as escalas de medições, os dados das variáveis ambientais foram normalizados (centrados e reduzido) previamente às análises multivariadas. Para analisar os padrões de variação espacial entre as amostras associadas as variáveis ambientais, foi utilizada a Análise dos Componentes Principais (ACP). A Análise

Permutacional da Variância (PERMANOVA) sobre a matriz de distância Euclidiana (ANDERSON *et al.* 2008; ANDERSON, 2017), foi utilizada para comparar a variação de cada variável ambiental entre as zonas e estações com estações e zonas como fatores fixos e sites aninhados (*nested in*) dentro de zona como fator aleatório.

Para as análises de estrutura de comunidades de peixes e invertebrados bentônicos, os dados de composição e abundância foram transformados pela raiz quadrada buscando diminuir os efeitos das espécies mais abundantes (NEVES, 2013). Com a matriz de similaridade de Bray-Curtis, foi feita a PERMANOVA para a comparação da estrutura das comunidades entre as zonas e estações, utilizando estes como fatores fixos e sites aninhados (*nested in*) em zonas como fator aleatório. A Análise de Similaridade das percentagens (SIMPER) foi feita para avaliar a porcentagem da contribuição de cada espécie em cada zona e estações. O efeito independente, em conjunto e a contribuição percentual de cada variável preditora sobre a riqueza de espécies de peixes e invertebrados bentônicos foi feita utilizando a Partição hierárquica (CHEVAN & SUTHERLAND, 1991). Além disto, foi realizada uma correlação de Pearson entre os preditores e a riqueza de cada grupo biótico para elucidar a natureza dessa relação.

Para evitar distorções dos padrões, os táxons raros foram removidos das análises subsequentes (TER BRAAK, 1986) com corte de FO = 3, utilizando a fórmula de Frequência de Ocorrência (FO), $FO = Dx100/d$, onde, D = Número de amostras onde o táxon foi encontrado; d = Número total de amostras. Assim, grupos taxonômicos que apareciam em pelo menos três amostras, foram utilizados. Inicialmente foi feita a Análise de Correspondência Destendenciada (DCA) com o intuito de avaliar se a relação seria linear (comprimento do gradiente do primeiro eixo < 3.5) que seria melhor analisado pela Análise de Redundância, ou unimodal (gradiente \geq 4) (LEPS & SMILAUER, 2003) que seria mais adequado para ser analisado usando a Análise de Correspondência Canônica. A análise de DCA de ambos os grupos bióticos, resultaram em um gradiente < 3, sugerindo uma relação linear, sendo adequado a utilização da Análise de Redundância (RDA). A RDA foi realizada para a identificação da relação entre táxons (peixes ou invertebrados) e variáveis ambientais. Os dados ambientais foram centrados e reduzidos e os dados bióticos foram previamente logaritimizadas [$\text{Log}_{10}(x+1)$], onde x é o valor bruto.

Para avaliar a existência da correlação entre peixes e invertebrados bentônicos, foi utilizado o teste de Mantel na matriz de similaridade de Bray-Curtis de cada táxon. Em adição a isso, para controlar o efeito das variáveis ambientais, foi utilizado o teste de Mantel Parcial,

utilizando a matriz de distância Euclidiana nos dados das variáveis ambientais como covariável. Permutações aleatórias (999 vezes) foram utilizadas para obtenção do nível de significância do coeficiente de correlação. A análise da partição da variância (BOCARD *et al.*, 1992; LEGENDRE & LEGENDRE, 2012) foi utilizada para quantificar os efeitos abióticos (variáveis ambientais) e bióticos (peixes ou invertebrados bentônicos) na composição de cada grupo taxonômico estudado (peixes e invertebrados bentônicos), utilizando a matriz de composição e abundância, além de quantificar o efeito a nível espacial (zona).

As análises de PERMANOVA e SIMPER foram feitas utilizando o programa estatístico PRIMER 6+ PERMANOVA. As análises ACP, a partição hierárquica e a partição da variância foram feitas utilizando os pacotes *vegan* e *hier.part* no programa R. A análise de DCA e RDA foram feitas utilizando o programa CANOCO for WINDOWS 4.5.

3. RESULTADOS

3.1 Variáveis ambientais

As variáveis ambientais de forma geral, apresentaram diferenças significativas entre as zonas ($p \leq 0,05$). A salinidade diferiu entre as estações do ano e zonas e apresentou a interação significativa entre estação do ano *vs.* zonas ($p \leq 0,05$), indicando que as diferenças espaciais são dependentes da estação do ano. Os maiores valores médios de salinidade foram encontrados na ZE e durante a estação seca ($35,77 \pm 0,23$). As menores salinidades ($18,70 \pm 0,03$) foram encontradas na ZI durante a estação chuvosa (Tabela 1 e Anexo 1). O aumento da salinidade de acordo com a maior proximidade do canal de ligação com o mar foi observado tanto na estação seca quanto na chuvosa, indicando um padrão consistente no gradiente entre as zonas. A temperatura foi diferente entre as estações, entre as zonas e na interação entre os dois fatores, indicando que diferenças espaciais dependem da estação do ano. Os valores médios mais elevados ($33,54^{\circ}\text{C} \pm 0,52$) ocorreram durante a estação chuvosa na ZC e menores ($21,71^{\circ}\text{C} \pm 0,07$) durante a estação seca na ZE. A turbidez apresentou elevada variação entre as zonas (Pseudo-F = 30,14) com maiores valores na ZI ($24,40\text{NTU} \pm 0,99$) e menores na ZE ($7,08\text{NTU} \pm 0,44$), durante a estação seca.

Nenhuma variável química do sedimento apresentou diferença significativa entre as estações seca e chuvosa e nem foi verificada nenhuma variável significante na interação estação do ano vs. zona (Tabela 1). Matéria orgânica e nitrogênio tiveram respostas semelhante com maiores valores encontrados na ZC ($1,25\text{g/dm}^3 \pm 0,69$ e $0,12\% \pm 0,04$, respectivamente). O menor valor de matéria orgânica foi encontrado na ZI ($0,44\text{ g/dm}^3 \pm 0,15$) e o de nitrogênio na ZE ($0,08\% \pm 0,018$). Não houve diferença significativa nos sites quando aninhado (*nested in*) dentro das zonas (Pseudo-F = 0,0476; $p = 0,0997$) para as variáveis ambientais em geral.

Tabela 1: Resultado da análise do PERMANOVA, indicando os valores de Pseudo-F, de p e comparações das variáveis ambientais entre as estações do ano, zonas e interações. ns, não significativa ($p > 0,05$), * = $p \leq 0,05$; ** = $p \leq 0,01$.

Variável	Estação do ano	Comparações	Zona	Comparações	Estação do ano x Zona	Comparações
Salinidade	1283**	Chu. < Seca	6100**	ZI < ZC < ZE	2130,06**	ZI; ZC; ZE (chuv.) < ZI; ZC; ZE (seca)
Temperatura (°C)	2813,2* *	Seca < Chuv.	20,011*	ZI < ZC	26,52**	ZI; ZC; ZE (seca) < ZI; ZC; ZE (chuv.)
pH	53,13**	Seca < Chuv.	13,9**	ZI < ZC	497,98**	ZI; ZC (chuv.) < ZI; ZC (seca); ZE (seca) < ZE (chuv.)
Turbidez (NTU)	3,35	ns	90,095*	ZE < ZI, ZC	21,16**	ZI (chuv.) < ZI (seca) ZE (seca) < ZE (chuv.)
Fósforo (mg/dm^3)	0,091	ns	14,86**	ZE < ZI, ZC	3,71	ns.
Matéria orgânica (g/dm^3)	0,066	ns	14,17**	ZI, ZE < ZC	1,23	ns
Nitrogênio (%)	1,15	ns	16,23*	ZI, ZE < ZC	2,77	ns

A granulometria foi classificada em geral como areia muito grossa (AMG), variando para areia grossa (AG) na ZC. O tamanho médio do grão variou entre 1 e 2 mm (AMG) e $500\mu\text{m}$ a 1mm (AG). Os dois primeiros eixos da ACP explicaram 48,32% da variação ambiental nas

amostras (Figura 3). Salinidade e turbidez foram as variáveis que tiveram maior contribuição para o eixo 1, com os maiores valores da primeira variável correspondendo às amostras de zona externa, enquanto a maior turbidez correspondeu as amostras das zonas central e interna. No eixo 2, maiores valores de matéria orgânica, AMG e nitrogênio corresponderam as amostras da zona central enquanto AG corresponderam às amostras da zona interna. Salinidade, turbidez, matéria orgânica e temperatura foram as variáveis mais importantes na explicação da variabilidade das amostras com grande destaque para salinidade, que foi a principal responsável pela separação das amostras entre as zonas. Em geral, as maiores salinidades predominaram na ZE, as maiores concentrações de matéria orgânica e areia muito grossa na ZC e de AG na ZI (Figura 3).

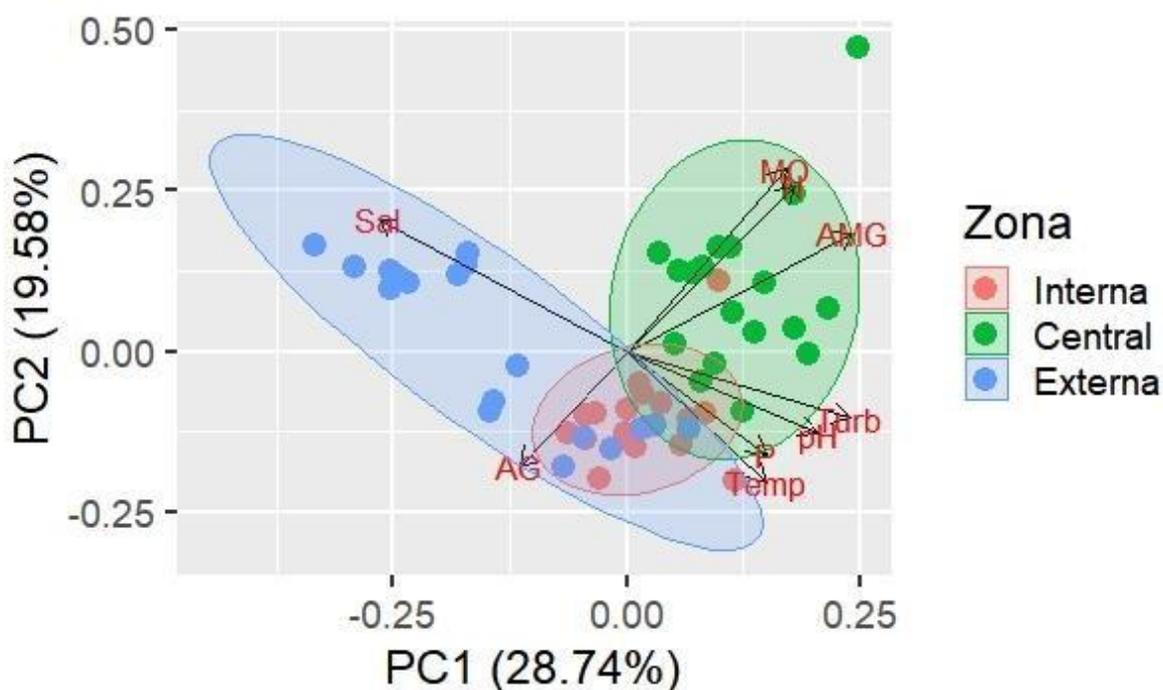


Figura 3: Diagrama de ordenação dos dois primeiros eixos da análise de componentes principais (ACP) mostrando a dispersão das amostras em relação às variáveis ambientais, separado entre as zonas. Sal: salinidade, AG: areia grossa, Temp: temperatura; P: fósforo; Turb.: turbidez; AMG: areia muito grossa; N: nitrogênio; MO: matéria orgânica.

3.2 Ictiofauna

Um total de 16.651 peixes foram amostrados, distribuídos em 21 espécies, 17 gêneros, 12 famílias e 10 ordens. Mugilidae, Carangidae, Clupeidae, Engraulidae, Gerreidae, Gobiidae e Poeciliidae foram representadas por duas espécies em cada. O maior número de indivíduos foi encontrado na ZI (7.634), seguido da ZC (5.247) e ZE (3.771) (Tabela 2). Mesmo com o menor número de indivíduos, a ZE apresentou 18 espécies, sendo a zona com maior riqueza de espécies (ZI=11 e ZC=13). A estação seca apresentou maior abundância e riqueza com 8.620 indivíduos e 18 espécies. A estação chuvosa apresentou 8.031 indivíduos e 13 espécies (Tabela 2).

A estrutura da comunidade de peixes diferiu significativamente entre as zonas, estações e foi significativa a interação entre zona vs. estação de acordo com a análise PERMANOVA (Tabela 3). Todas as zonas foram diferentes quando comparadas par a par, principalmente na comparação entre ZI e ZE ($p=0,001$; $t = 3,02$). A comunidade de peixes foi diferente apenas na ZC ($p=0,001$; $t = 2,50$) na comparação par a par da interação entre zona vs. estação do ano, indicando a dependência entre estes dois fatores.

Tabela 2: Pseudo-F e t-Student para comparações do número de indivíduos (N) entre as zonas e estação do ano, e interações zonas vs. estação do ano. ZI, Zona Interna; ZC, Zona Central; ZE, Zona Externa. ns, não-significante; * $p<0,05$; ** $p<0,01$.

Estação	t	Zona	t	Zona x estação	t
Pseudo-F=6.04 **		13.4 **		3.96 *	
Seca x chuvosa	2,11**	ZI x ZC	1,68*	ZI (Se) x ZI (Chu)	1,67*
		ZI x ZE	3,02**	ZC(Se) x ZC(Chu)	2,50**
		ZC x ZE	2,63**	ZE(Se) x ZE(Chu)	1,42ns

Tabela 3: Abundância numérica (N) e frequência de ocorrência (FO=%) das espécies de peixes nas três zonas do Sistema Lagunar de Maricá. ZI, zona interna; ZC, zona central; ZE, zona externa.

Espécies	ZI		ZC		ZE		TOTAL (N)
	N	FO (%)	N	FO (%)	N	FO (%)	
<i>Anchoa januaria</i>	4971	100	2895	88,88	2245	78,57	10111
<i>Anchoa sp.</i>	0	0	0	0	20	7,14	20
<i>Archosargus rhomboidalis</i>	0	0	0	0	1	7,14	1
<i>Atherinella brasiliensis</i>	1888	93,75	1950	100	923	100	4761
<i>Brevoortia pectinata</i>	13	12,5	11	5,55	53	7,14	77
<i>Ctenogobius boleosoma</i>	0	0	0	0	18	21,42	18
<i>Caranx latus</i>	0	0	0	0	1	7,14	1
<i>Diapterus rhombeus</i>	0	0	1	5,55	18	21,42	19
<i>Elops saurus</i>	9	37,5	8	27,77	24	35,71	41
<i>Eucinostomus argenteus</i>	22	6,25	2	5,55	406	78,57	430
<i>Harengula clupeola</i>	0	0	5	16,66	30	21,42	35
<i>Jenysia multidentata</i>	537	56,25	253	55,55	7	28,57	797
<i>Microgobius meeki</i>	6	31,25	32	33,33	0	0	38
<i>Mugil curema</i>	0	0	0	0	2	14,28	2
<i>Mugil liza</i>	1	6,25	4	11,11	14	21,42	19
<i>Mugil sp.</i>	0	0	0	0	2	7,14	2
<i>Oreochromis niloticus</i>	1	6,25	0	0	0	0	1
<i>Phalloptychus januariu</i>	41	62,25	66	50	2	7,14	109
<i>Poecilia vivipara</i>	145	50	18	27,77	3	14,28	166
<i>Trachinotus falcatus</i>	0	0	0	0	1	7,14	1
TOTAL	7634	-	5247	-	3770	-	16651

Anchoa januaria e *Atherinella brasiliensis* foram as espécies que mais contribuíram durante a estação seca, totalizando uma contribuição acumulada de mais de 70% da similaridade total em cada uma das zonas (Tabela 4). Durante a estação chuvosa, a similaridade média conjunta de *A. brasiliensis* e *A. januaria* contribuíram acumuladamente com 93,19% da similaridade total. *Atherinella brasiliensis* foi a espécie que mais contribuiu para a similaridade média do grupo nas duas estações. *Anchoa januaria* foi a espécie com maior contribuição na ZI e *A. brasiliensis* na ZC. *Eucinostomus argenteus* foi a segunda espécie que mais contribuiu para a similaridade média na ZE, ficando atrás apenas de *A. brasiliensis* nessa zona. *A. januaria* e *A. brasiliensis* foram espécies muito presentes em todo o sistema lagunar e durante as duas estações do ano. *Anchoa januaria* apresentou uma pequena diminuição na contribuição para a similaridade média de acordo com a aproximação do canal, reduzindo sua contribuição da ZI para a ZE, enquanto *A. brasiliensis* apresentou um padrão inverso, aumentando a contribuição relativa com a maior proximidade com o canal de ligação com a plataforma costeira.

Tabela 4: Resultado da análise do SIMPER mostrando os valores de similaridade média referentes a cada estação e zona (entre parênteses), a abundância média de cada espécie e os valores (em porcentagem) da contribuição de cada espécie de peixes. Em negrito estão as maiores contribuições de cada espécie. AM = abundância média, C (%) = porcentagem da contribuição de cada espécie para a similaridade média do grupo. ZI, zona interna; ZC, zona central e ZE, zona externa.

	Seca (57.95)		Chuvosa (47.85)		ZI (56.94)		ZC (57.68)		ZE (49.86)	
	AM	C (%)	AM	C (%)	AM	C (%)	AM	C (%)	AM	C (%)
<i>A. brasiliensis</i>	9,57	40,58	8,58	54,68	9,24	29,05	9,84	55,19	7,69	55,27
<i>A. januaria</i>	13,17	40,44	9,37	38,51	15,09	59,92	10,17	34,56	7,50	18,74
<i>J. multidentata</i>	3,55	10,45	1,39	0,56	3,83	5,08	2,54	5,78	0,37	0,46
<i>E. argenteus</i>	1,16	1,18	1,70	2,62	-	-	-	-	4,58	22,05
<i>P. januarius</i>	1,56	4,37	0,28	0,14	1,18	2,23	1,12	2,21	-	-
<i>M. meeki</i>	0,78	1,43	0,09	0,05	0,34	0,62	0,74	1,22	-	-
<i>E. saurus</i>	0,18	0,08	0,72	2,09	0,45	0,80	0,35	0,47	0,71	1,17
<i>P. vivipara</i>	0,92	0,82	0,80	0,73	1,90	2,26	0,46	0,39	-	-
<i>C. boleossoma</i>	-	-	0,27	0,25	-	-	-	-	0,51	0,92
<i>H. clupeola</i>	0,41	0,18	0,13	0,04	-	-	0,21	0,12	0,59	0,46

3.3 Relação Ictiofauna com Variáveis Bióticas e Abióticas

A maior parte da variação na assembleia de peixes foi explicada apenas pelas variáveis ambientais com 19% e os invertebrados explicaram a menor porção com apenas 2% da variação (Figura 4). Quando adicionamos o fator zona, este explica isoladamente a 5% e compartilha com as variáveis ambientais a maior parte da variação com 16%. Em ambas as situações, os invertebrados bentônicos explicam a menor parte da variação (7% quando as zonas não são consideradas e 5% compartilhados com zonas e variáveis ambientais).

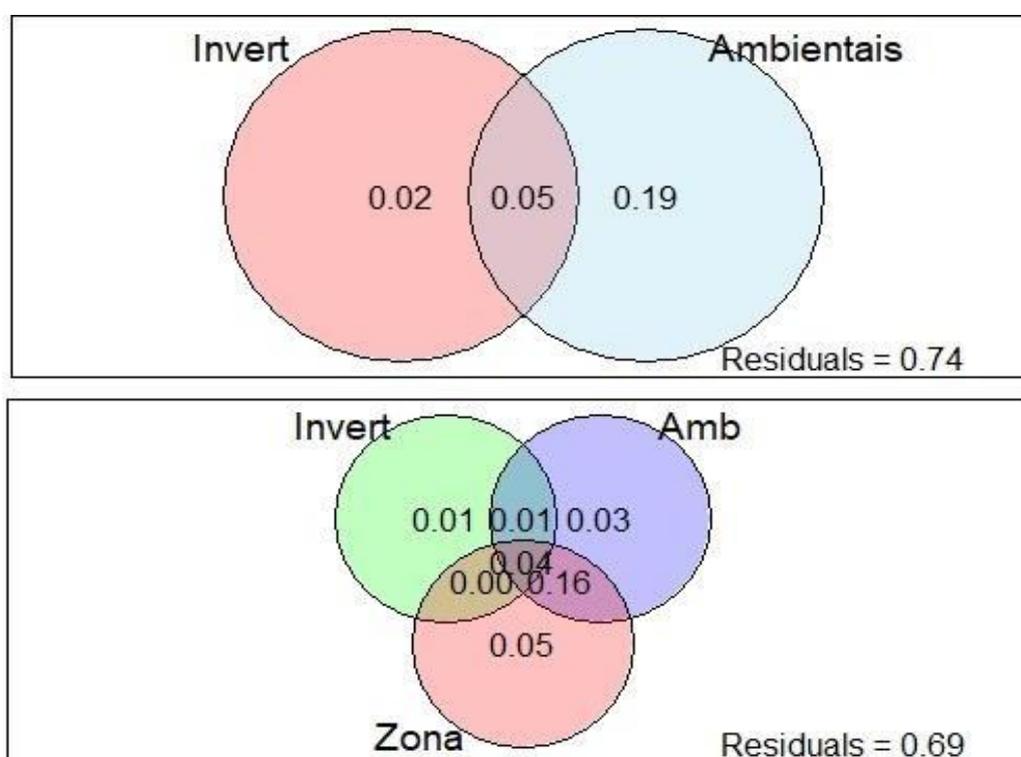


Figura 4: Diagrama de Venn mostrando os resultados da partição da variância baseada na assembleia de peixes, analisando os efeitos exclusivos e compartilhados entre invertebrados bentônicos (Invert), variáveis ambientais (Amb) e zona.

Temperatura foi a variável ambiental com maior poder explicativo independente para a ictiofauna, explicando uma proporção de 49.29% da variância, sendo negativamente correlacionada com a riqueza, ou seja, a riqueza de peixes foi maior em locais onde os valores de temperatura foram menores (Figura 5 e Tabela 5). Além de temperatura, salinidade também

apresentou uma proporção significativa contribuindo para a variação da ictiofauna com 18.59%, com correlação positiva com a riqueza de peixes (Tabela 5).

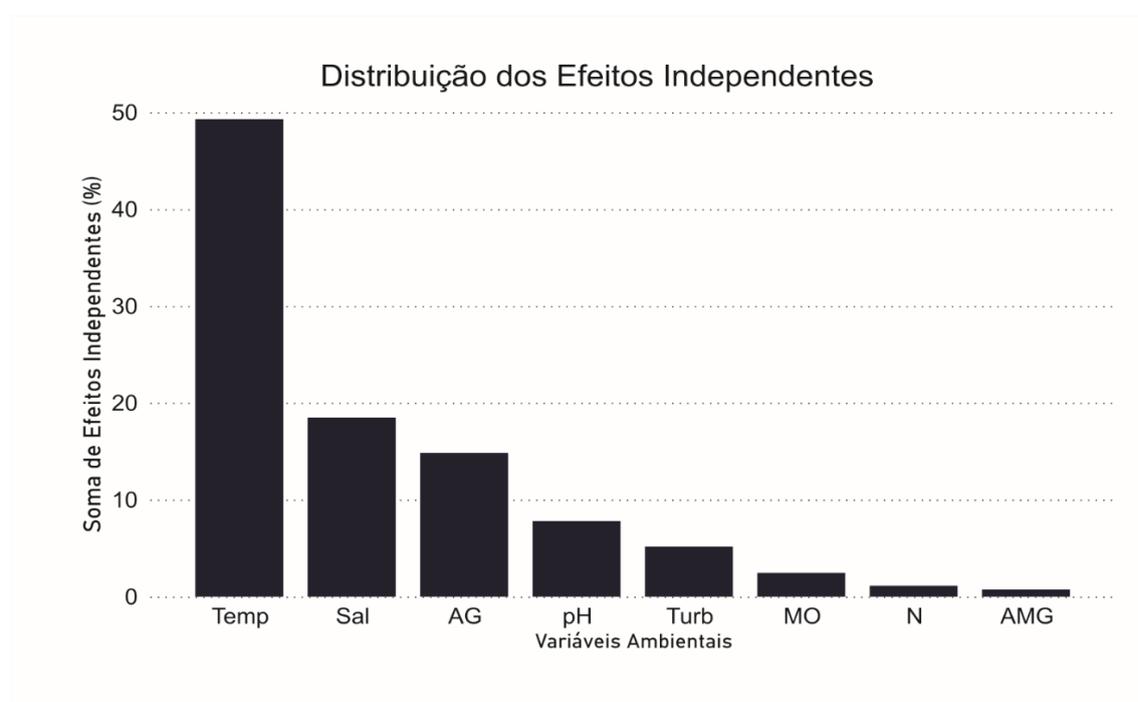


Figura 5: Distribuição dos efeitos independentes (I%) de cada variável preditora calculada através da partição hierárquica de acordo com a riqueza de peixes. Variáveis ambientais: Sal, salinidade; Temp., temperatura; Turb., turbidez; P, fósforo; MO, matéria orgânica; N, nitrogênio; AMG, areia muito grossa; AG, areia grossa

Tabela 5: Partição hierárquica das variáveis ambientais explicando a riqueza de peixes. MO = matéria orgânica; AMG = areia muito grossa; AG = areia grossa; I%= contribuição percentual do preditor para a variável resposta; I = efeito independente; J = efeito conjunto; Total= total dos preditores sobre a riqueza; * = significância baseada em $p < 0,05$.

Variável ambiental	I%	I	J	Total	Correlação
Salinidade	18.59	-	-0,055	-1.16	0,043*
		0,060			
Temperatura	49.29	-1.60	-0,024	-1.84	-0,053*
pH	7.00	-	0,05	-0,017	0,017
		0,022			
Turbidez	5.16	-	0,09	-0,07	-0,011
		0,016			
Fósforo	0,080	-0,02	0,01	-0,01	-0,05
MO	2.44	-0,07	0,06	-0,01	0,06
Nitrogênio	1.11	-0,03	-0,03	-0,07	0,011
AMG	0,073	-0,02	0,02	-0,001	0,01
AG	14.83	-	0,014	-0,033	0,023
		0,048			

Os dois primeiros eixos dos componentes principais da análise de redundância (RDA) explicaram acumuladamente 79.2% das relações entre peixes e variáveis ambientais com o eixo 1 explicando 60,06% da relação espécie-ambiente (Figura 5). Temperatura e salinidade foram as variáveis mais significativas no teste de permutação de Monte Carlo, ($p=0,006$ e $p= 0,002$, respectivamente) contribuindo para a distribuição das espécies. *Anchoa januaria*, *A. brasiliensis*, *P. vivipara* e *Phalloptychus januaris* apresentaram positiva associação com nitrogênio e negativa com a temperatura da ZI, enquanto *D. rhombeus* foi positivamente associado com a salinidade e AG da ZE. *Microgobius meeki* apresentou forte associação positiva com turbidez e AMG e negativa com salinidade (Figura 6).

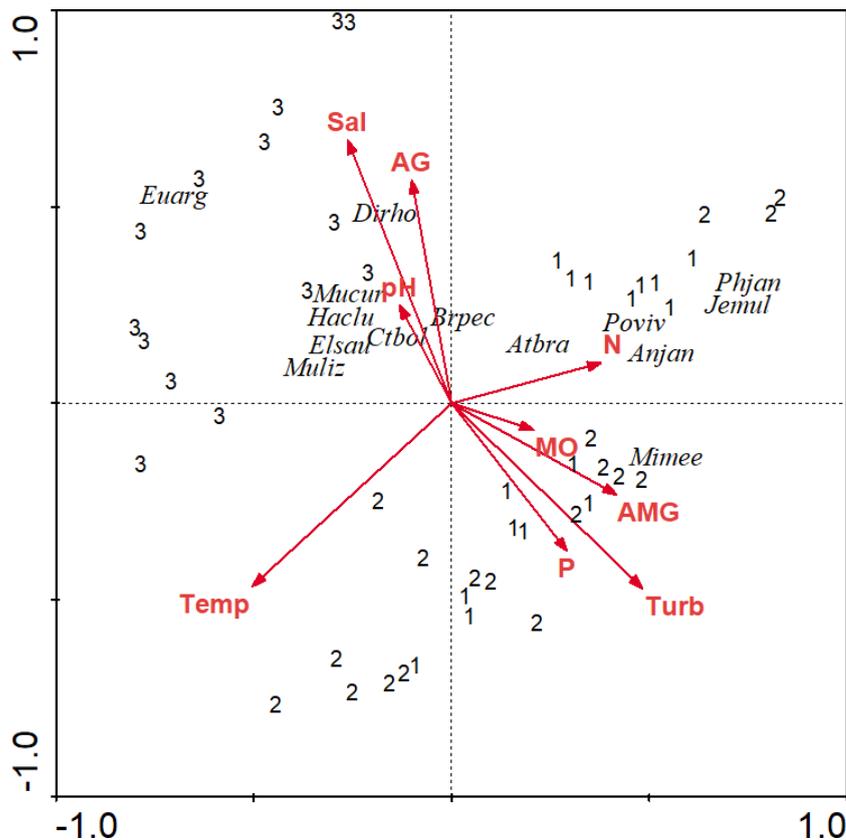


Figura 6: Gráfico triplot da Análise de redundância (RDA) mostrando as relações entre as espécies de peixes, variáveis ambientais e as zonas do Sistema Lagunar de Maricá. 1=Zona interna, 2=Zona central e 3=Zona externa. Variáveis ambientais: Sal, salinidade; Temp., temperatura; Turb., turbidez; P, fósforo; MO, matéria orgânica; N, nitrogênio; AMG, areia muito grossa; AG, areia grossa. Código dos peixes: Anexo B

3.4 Invertebrados Bentônicos

Foi registrado um total de 12.451 invertebrados bentônicos distribuídos em duas famílias de Polychaetas (Nereididae e Capitellidae), microcrustáceos da ordem Decapoda e Oligoquetass. Decapoda foi o grupo com maior número de indivíduos com 4.874, sendo destes 4.190 apenas na ZI durante a estação seca. Oligoquetas foi o segundo maior grupo com 4.422 indivíduos e Polychaeta com 3.155 indivíduos coletados no total. A maior abundância foi encontrada na ZI com 9.425 indivíduos, seguido da ZC e ZE com 2.683 e 343 respectivamente.

A estação seca apresentou o maior número de indivíduos 11.551 comparado com a estação chuvosa que apresentou apenas 978 indivíduos. Todos os quatro grupos amostrados apareceram pelo menos uma vez nas duas estações. No entanto, os Decapodas apresentaram abundância significativamente menor que os outros grupos com apenas três indivíduos amostrados na estação chuvosa.

Tabela 6: Número de indivíduos (N) e frequência de ocorrência (FO%) por zonas no Sistema Lagunar de Marica. ZI, Zona Interna; ZC, Zona Central; ZE, Zona Externa

Táxons	ZI		ZC		ZE		TOTAL (N)
	N	FO (%)	N	FO (%)	N	FO (%)	
Capitellidae	230	70,058	351	81.81	221	92.85	802
Nereididae	1928	94.11	403	100	22	50	2353
Oligoquetas	3075	82.35	1247	72.72	100	78.57	4422
Decapoda	4192	64.70	682	90,090	0	0	4874
TOTAL	9425	-	2683	-	343	-	12451

A composição dos invertebrados bentônicos diferiu entre as zonas, estações e foi encontrada significativa interação entre zona vs. estação do ano ($p = 0,001$). Apenas entre as ZI e ZC não houve diferença significativa na composição de invertebrados bentônicos, quando comparadas par a par ($p > 0,05$) (Tabela 7).

Tabela 7: Resultado da análise de PERMANOVA com os valores do Pseudo-F para cada análise principal e de t para comparações par a par da estrutura da comunidade de invertebrados bentônicos entre as zonas e estações do ano. ZI, zona interna; ZC, zona central; ZE, zona externa. * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$. Se, estação seca; Chu, estação chuvosa.

Estação	t	Zona	t	Zona x estação	t
Pseudo-F=12.35 **		24.29 **		5.54 *	
Seca x chuvosa	3.11**	ZI x ZC	n.s.	ZI (Se) x ZI (Chu)	2.53**
		ZI x ZE	4.17**	ZC(Se) x ZC(Chu)	2.95*
		ZC x ZE	4.18**	ZE(Se) x ZE(Chu)	2.22*

Na estação chuvosa, os valores de similaridade média foram maiores que o da estação seca, de acordo com a análise do SIMPER (Tabela 8). Oligoquetas e a família de poliquetas Capitellidae foram os grupos com maior contribuição (36.50% e 25.94%, respectivamente) na estação chuvosa, contribuindo em conjunto com 63.44% da similaridade total. Na estação seca, Nereididae foi a família de poliquetas que mais contribuiu com mais de 62,31% de contribuição. Entre as zonas, Nereididae foi o grupo com maior contribuição na ZI, seguida por Oligoquetas (Tabela 8). Juntos, esses dois grupos apresentaram cerca de 70% da contribuição acumulada nessa zona. Na ZC, houve uma contribuição similar entre os grupos, com maiores valores também para Nereididae. Na ZE, apenas Capitellidae e Oligoquetas apresentaram contribuição acumulada de 90,073% da similaridade total.

Tabela 8: Resultado da análise do SIMPER mostrando os valores de similaridade média referentes a cada estação e zona (entre parênteses) e os valores (em porcentagem) da contribuição de cada grupo de invertebrados bentônicos para a similaridade média do grupo. Em negrito estão as maiores contribuições de cada grupo. AM = abundância média; C (%) = porcentagem da contribuição de cada espécie. ZI, zona interna; ZC, zona central; ZE, zona externa

	Seca (37.08)		Chuvosa (42.70)		ZI (42.16)		ZC (51.63)		ZE (52.64)	
	AM	C (%)	AM	C (%)	AM	C (%)	AM	C (%)	AM	C (%)
Nereididae	4.25	62.31	5.90	18.41	8.93	47.65	5.38	35.95	0,087	7.82
Capitellidae	1.76	22.19	4.30	25.94	2.60	6.71	4.69	17.28	3.33	59.30
Oligoquetas	3.31	14.85	8.85	36.50	9.89	29.60	8.19	23.83	2.16	32.88
Decapoda	0,020	0,065	8.72	19.15	9.91	16.04	6.35	22.94	-	-

3.5 Relação Invertebrados Bentônicos e Variáveis Bióticas e Abióticas

Para os invertebrados bentônicos, as variáveis ambientais explicam isoladamente a maior parte da variação (23%), os peixes somente 2%, havendo uma variação compartilhada de 18% entre os peixes e variáveis ambientais (Figura 7). Quando adicionamos o fator zona, a maior parte da variação isolada foi explicada pelas variáveis ambientais (13%), que

compartilharam com a estrutura espacial (zona) 10% da variação. A variação compartilhada pelas três variáveis (ambientais, zonas e peixes) foi de 18%.

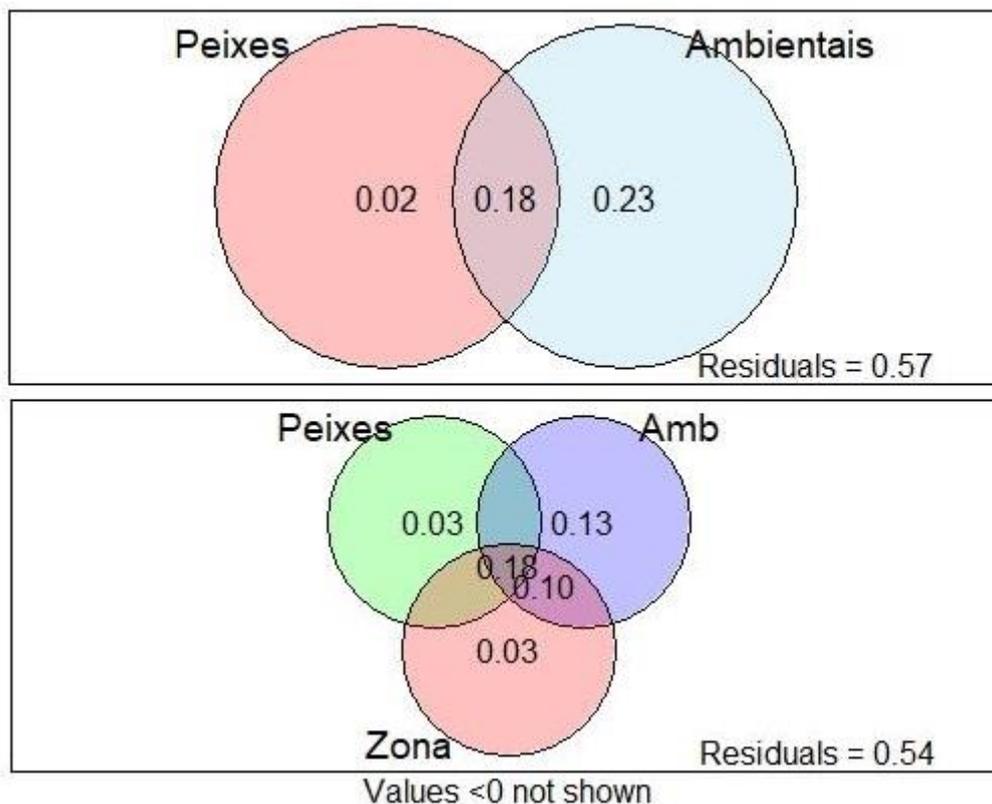


Figura 7: Diagrama de Venn mostrando os resultados da partição da variância nos invertebrados bentônicos, explicada pelos efeitos exclusivos e compartilhados dos peixes, variáveis ambientais (Amb) e zona.

Independentemente, a salinidade, temperatura e nitrogênio foram as variáveis com maior poder explicativo independente na variância de invertebrados bentônicos. Apenas salinidade explicou 40,047%, seguida de temperatura com 18,85% e nitrogênio com 15,47% (Figura 8, Tabela 9). Destas, apenas salinidade apresentou correlação significativa negativa com a riqueza de invertebrados

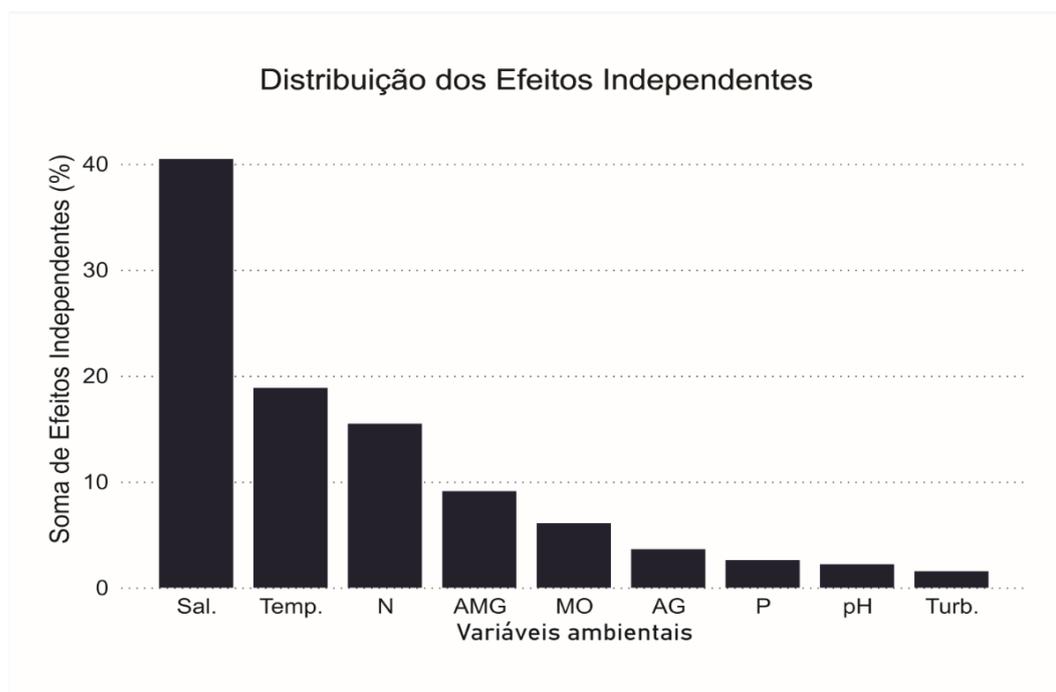


Figura 8: Distribuição dos efeitos independentes (I%) de cada variável preditora calculada através da partição hierárquica de acordo com a riqueza de invertebrados bentônicos. Variáveis ambientais: Sal, salinidade; Temp., temperatura; Turb., turbidez; P, fósforo; MO, matéria orgânica; N, nitrogênio; AMG, areia muito grossa; AG, areia grossa

Tabela 9: Partição hierárquica das variáveis ambientais explicando a riqueza de invertebrados bentônicos. MO = matéria orgânica; AMG = areia muito grossa; AG = areia grossa; I%= contribuição percentual do preditor para a variável resposta; I = efeito independentes; J = efeito conjunto; Total: total dos preditores sobre a riqueza; * = significância baseada em $p < 0,05$.

Variável ambiental	I%	I	J	Total	Correlação
Salinidade	40,047	-0,087	-0,050	-1,38	-0,060*
Temperatura	18,85	-0,040	-0,057	-0,098	0,051*
pH	2,20	-0,04	-0,03	-0,07	0,015
Turbidez	1,54	-0,03	0,001	-0,03	0,010
Fósforo	2,61	-0,05	0,03	-0,01	-0,07
MO	6,08	-0,013	-0,015	-0,028	0,028
Nitrogênio	15,47	-0,033	-0,019	-0,053	0,038*
AMG	9,11	-0,019	-0,036	-0,056	0,039*
AG	3,63	-0,07	-0,09	-0,017	-0,022

A análise de RDA apresentou que os primeiros dois eixos explicaram 94,5% da relação invertebrados-ambiente com 78.8% apenas no primeiro eixo. Salinidade e temperatura foram as variáveis selecionadas através do teste de Monte Carlo ($p=0,002$). Oligoquetas e Nereididae apresentaram associação negativa com salinidade e positiva com o fósforo, sendo predominantes na ZI. Temperatura foi positivamente associada ao poliqueta Capitellidae predominante nas ZI e ZC (Figura 7). Os microcrustáceos e Oligoquetas foram positivamente associadas a temperatura e fósforo da ZI e ZC.

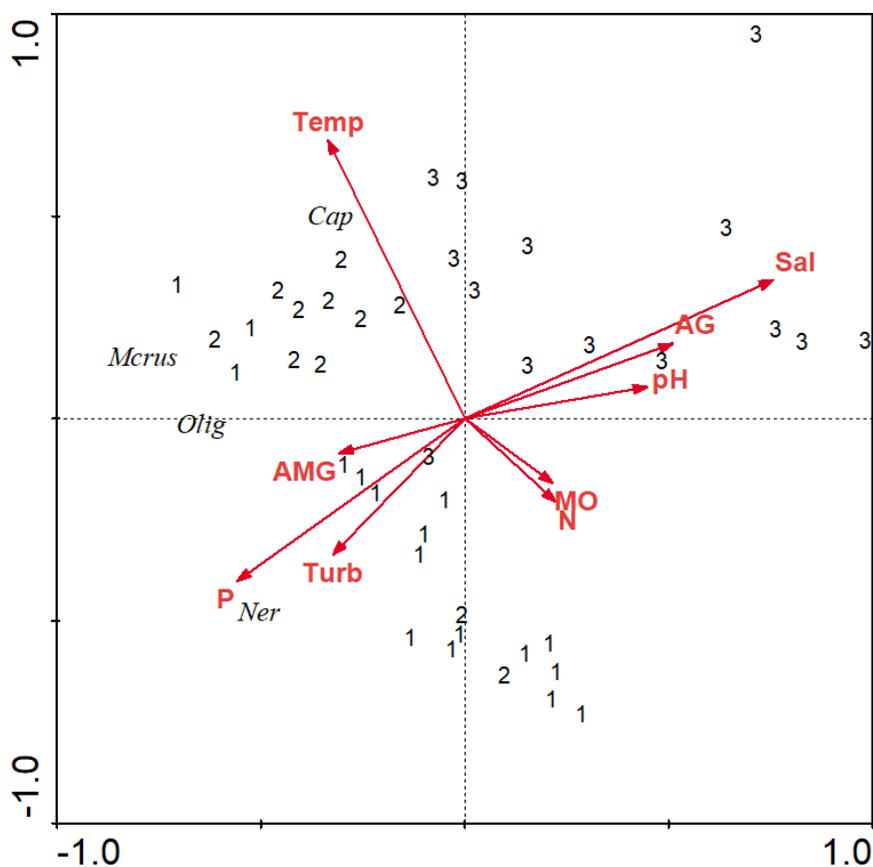


Figura 9: Gráfico triplot da Análise de redundância (RDA) mostrando as relações entre invertebrados bentônicos, variáveis ambientais e as zonas do Sistema Lagunar de Maricá. 1=Zona interna, 2=Zona central e 3=Zona externa. Variáveis ambientais: Sal, salinidade; Temp., temperatura; Turb., turbidez; P, fósforo; MO, matéria orgânica; N, nitrogênio; AMG, areia muito grossa; AG, areia grossa. Código dos invertebrados: anexo.

3.6 Correlação entre peixes e invertebrados bentônicos

Peixes e invertebrados bentônicos apresentaram correlação significativa, embora com valor r relativamente baixo de acordo com o teste de Mantel sobre as matrizes de similaridade de Bray-Crutis ($r = 0,02447$; $p = 0,001$). Após o controle das variáveis ambientais através do uso do teste de Mantel parcial, a correlação se manteve significativa, mas também com baixa correlação ($r = 0,02312$; $p = 0,001$).

4. DISCUSSÃO

A associação entre peixes e invertebrados bentônicos, embora significativa, não foi consistente, mesmo quando foram excluídos os efeitos das variáveis ambientais, indicando irrelevante interação entre esses dois grupos de organismos nesta lagoa costeira tropical. A baixa correlação foi provavelmente devido às características intrínsecas destes dois grupos que tendem a responder diferentemente às variáveis ambientais, com os peixes respondendo mais às variações de temperatura, enquanto os invertebrados bentônicos responderam mais às variações de salinidade. A estrutura espacial, representada pelas diferentes zonas, compartilhou com as variáveis ambientais uma maior explicação da estrutura das comunidades de peixes, enquanto para os invertebrados bentônicos a variação partilhada pelas variáveis ambientais, zonas e peixes tiveram maior influência. Adicionalmente, a explicação isolada dos invertebrados teve irrelevante explicação na comunidade de peixes, bem como os peixes isoladamente apresentaram baixa explicação para a estrutura dos invertebrados bentônicos.

Poucos estudos abordam a correlação entre dois diferentes grupos bióticos em sistemas costeiros simultaneamente (por exemplo, GRENOUILLET *et al.*, 2008 e LARSEN *et al.*, 2012 em riachos e AGUIAR *et al.*, 2020 em praias arenosas), notadamente em sistemas lagunares, tornando as informações insuficientes sobre como peixes e invertebrados bentônicos se correlacionam e como respondem aos gradientes ambientais. LARSEN *et al.* (2012) observaram um padrão semelhante a este estudo avaliando a comunidade de peixes e macroinvertebrados em riachos do Mediterrâneo na Itália com correlação significativa, porém fraca, mesmo retirando o efeito das variáveis ambientais.

A ictiofauna do Sistema Lagunar de Maricá apresentou distribuição espacial bem característica, seguindo os gradientes ambientais e espaciais que são típicos de ambientes costeiros semifechados, como resposta, principalmente, às variações nas condições físico-químicas da água. Estas variáveis foram descritas como importantes descritores da comunidade de peixes em diferentes sistemas costeiros semifechados (ARAÚJO & AZEVEDO, 2001; POMBO *et al.*, 2005; WHITFIELD & ELLIOTT, 2005 e BRUNO *et al.*, 2013). A temperatura foi a variável com maior poder explicativo independente na riqueza de peixes com quase 50% da proporção de acordo com os resultados da partição da variância. Além disso, foi possível observar que as temperaturas mais baixas foram favoráveis para a ocorrência de peixes abundantes como o Atherinidae *A. brasiliensis*, o Engraulidae *A. januaria* e os Cyprinodontiformes *P. vivipara*, *J. multidentata* e *P. januarius*. Estas condições foram favorecidas principalmente na ZI e ZC, onde se registraram as maiores riquezas de espécies, e as menores médias de temperatura e nitrogênio.

A salinidade foi a segunda variável mais importante de acordo com a partição hierárquica, apresentando diferença significativa entre as zonas, com reflexo do bem definido gradiente ambiental neste ambiente costeiro semifechado. Foi possível observar um padrão de distribuição na comunidade de peixes de acordo com o gradiente salino. A abundância respondeu de forma negativa e a riqueza de forma positiva aos maiores valores de salinidade. Locais onde foram encontradas as maiores riquezas de espécies de peixes e menores abundância como aqueles da ZE, foram onde se registraram as maiores médias de salinidade, especialmente pela proximidade da conexão com o mar. Por outro lado, locais onde os níveis de salinidade foram mais baixos (ZI), foram registradas as menores riquezas de espécies e maiores abundâncias. A associação de salinidade na distribuição de peixes em lagoas costeiras já foi também observada por THIEL *et al.*, (1995) e por SOSA-LÓPEZ *et al.*, (2007). No entanto, estes estudos observaram que o aumento do número de espécies foi inversamente proporcional aos níveis de salinidade, sugerindo, ao contrário do nosso estudo, uma correlação negativa entre salinidade e riqueza de espécies. Um importante fator abordado por FRANCO *et al.*, (2019) é a necessidade de compreender o uso do habitat pelas espécies de peixes nesses ambientes ao relacionar essa comunidade com as variáveis físico-químicas da água, principalmente temperatura e salinidade. Essa relação, sobretudo em locais com características estuarinas, pode também estar associada ao comportamento migratório de algumas espécies que utilizam esses ambientes para reprodução, alimentação ou refúgio (MARSHAL & ELLIOT, 1996). Estudar o efeito dessas variáveis em separado para cada grupo com uso de habitat diferente, pode

determinar respostas específicas e mais robustas da relação da comunidade de peixes e variáveis físico-química da água em sistemas lagunares. Outro importante fator destacado por SOSA-LÓPEZ *et al.*, (2007) e BARAN (2000), é a influência do tamanho da área na riqueza de peixes estuarinos e de lagoas costeiras. Diferenças de tamanho na área dos ambientes costeiros semifechados, especialmente aqueles com marcado gradiente ambiental, pode ser outro fator importante na distribuição e riqueza de espécies. Como é de amplo conhecimento, ambientes com maior área tendem a oferecer maior diversidade de habitats, favorecendo às maiores diversidade de espécies (SCHOENER, 1976) Portanto, comparações da riqueza de peixes em um sistema lagunar não dependem apenas de fatores físico-químicos da água, como temperatura e salinidade, mas também de fatores geomorfológicos, como a área e a diversidade de habitats que são utilizados pelos componentes das comunidades de peixes.

A correlação negativa de abundância com a salinidade encontrada neste estudo, corrobora com o reportado por ELIOT & MCLUSKY (2002) e VELÁZQUEZ-VELÁZQUEZ *et al.* (2008) para ambientes costeiros semifechados, os quais reportaram elevada abundância de peixes em estuários e lagoas costeiras. Também deve ser considerada nestas associações entre abundância de peixes e salinidade, as variações sazonais, que favorecem salinidades mais elevadas durante a estação seca e mais baixas durante a estação chuvosa devido à diluição influenciada pelas águas de drenagem continental aumentada durante o período das chuvas. Embora não tenham sido detectadas variações na composição de peixes entre as estações seca e chuvosa devido a presença de poucas espécies migrantes e maior contribuição de espécies residentes, parte desta variação na abundância sazonal das espécies podem estar associadas a períodos reprodutivos de determinadas espécies de peixes, que utilizam áreas do estuário para desova, alimentação e abrigo (WHITFIELD, 1999). Variações sazonais inconsistente na ocorrência de peixes em ambientes semifechados foram observadas em outros estudos em ambientes estuarinos (NEVES *et al.*, 2013) e em lagoas costeiras (MANZO *et al.*, 2016 e FRANCO *et al.*, 2019). Por estas razões, a variabilidade sazonal não foi considerada nas análises de partição da variância, tendo se considerado apenas a variabilidade da estrutura espacial.

Em geral, a ictiofauna pareceu seguir o gradiente salino encontrado no sistema lagunar de Maricá com algumas espécies sendo registradas somente na ZI e ZC, onde a salinidade é mais baixa e com maior aporte de nutrientes, enquanto outras espécies foram limitadas a ZE, onde a salinidade é mais elevada devido a maior proximidade com o mar. Além das espécies *A. brasiliensis* e *A. januaria*, que foram dominantes em todas as zonas, *P. januarius*, *M. meeki* e

P. vivipara foram frequentes apenas nas zonas interna e central, sendo ausentes ou com raras ocorrências na ZE. Em oposição a este padrão, citam-se *E. argenteus* e *H. clupeola* que foram observadas em maior abundâncias na ZE e com raros indivíduos sendo registrados na ZC. Este padrão diferenciado de ocorrência indica como as condicionantes ambientais e a estrutura espacial são determinantes para a ocorrência diferenciada das espécies.

Apenas *Atherinella brasiliensis* e *A. januaria* contribuíram com mais de 70% em cada compartimento do sistema lagunar estudado. A elevada abundância de poucas espécies dominantes em lagoas costeiras foi reportada por VELÁSQUEZ-VELÁSQUEZ *et al.*, (2008) e FRANCO *et al.*, (2019), corroborando o padrão que foi encontrado neste estudo. *A. januaria* foi a espécie mais abundante na ZI e ZC, locais onde possui o maior aporte de nutrientes como matéria orgânica, fósforo e nitrogênio, e menores níveis de salinidade. Na ZI ocorrem as maiores descargas de rios e riachos. Na ZC, devido a morfologia segmentada do SLM, as lagoas do Padre e da Barra funcionam como um bolsão, dificultando a renovação da água nesse local e apresentando maiores níveis de turbidez, matéria orgânica e nitrogênio. Essas áreas podem funcionar como área de alimentação e abrigo, como observado por SILVA & ARAUJO (2000) em um sistema semifechado, favorecendo espécies onívoras e tolerantes como *A. brasiliensis*, que é uma espécie estuarino residente, de crescimento rápido e vida curta (PESSANHA & ARAUJO, 2001). *Anchoa januaria* e *A. brasiliensis* habitam a maioria dos sistemas costeiros semifechados do Sudeste do Brasil, sendo presentes durante todo o ano e suportando uma extensa variação nas condições ambientais. Neste estudo, estas duas espécies tiveram associação às variáveis ambientais similares, com positiva associação com nitrogênio e negativa com temperatura.

Eucinostomus argenteus foi associado a elevados valores de salinidade sendo a segunda espécie com maior contribuição para a similaridade média na ZE. Essa espécie de Gerreidae é considerada uma espécie eurialina, possuindo elevada tolerância à salinidade (SALES *et al.*, 2016). No estuário do Tubarão, Nordeste do Brasil, onde a salinidade chega a ser superior a 40, SALES *et al.* (2018) observaram que *E. argenteus* foi uma das espécies mais abundantes, sendo diretamente associada às elevadas temperaturas e salinidades. A ZE do SLM apresentou salinidade máximas de 37.12. Esses resultados corroboraram com SALES *et al.* (2018), mostrando que *E. argenteus* é uma espécie frequente em ambientes mais salinos como é o caso da ZE, que recebe maior influência marinha devido a presença do canal de conexão com o mar.

A estrutura dos invertebrados bentônicos apresentou diferenças significativas tanto na abundância quanto na distribuição de táxons entre as zonas e entre as estações. A exemplo dos peixes, a ZI apresentou a maior abundância de indivíduos de invertebrados bentônicos, seguido pela ZC, enquanto a ZE apresentou menor abundância. Esse padrão foi recentemente relatado em um dos poucos estudos sobre a comunidade bentônica no SLM, por RICEVUTO *et al.* (2013) que observaram que o maior número de indivíduos foi encontrado na laguna mais afastada da conexão com o mar e a menor abundância, próximo ao Canal de Ponta Negra. Sazonalmente, a abundância de invertebrados foi maior durante a estação chuvosa. Com o aumento das chuvas, o aporte salino nas lagoas costeiras diminui através da diluição da água de drenagem continental, e com isso, pode ocorrer o aumento da abundância de invertebrados bentônicos como por exemplo, as poliquetas. Esses resultados corroboram com os resultados encontrados por HERNÁNDEZ-GUEVARA, *et al.*, (2008) em uma lagoa costeira no Golfo do México, constatando que a mudanças sazonais nas condições ambientais influenciam a abundância de invertebrados bentônicos. HERNÁNDEZ-GUEVARA *et al.*, (2008) sugerem ainda que durante a estação seca, quando a evaporação aumenta e ocorre maior estratificação da coluna d'água, pode ocorrer maior entrada de predadores e diminuição do número de indivíduos de invertebrados bentônicos.

A salinidade foi a variável que mais influenciou na composição e estrutura de invertebrados bentônicos no SLM. A relação entre riqueza de invertebrados bentônicos e a salinidade em lagoas costeiras já é bem documentada por PINDER *et al.*, (2005) e OBOLEWSKI *et al.*, (2018) que observaram influências da salinidade na sobrevivência de algumas espécies de invertebrados. A elevada salinidade pode dificultar tanto a reprodução quanto a osmorregulação de espécies de invertebrados, podendo ser um fator limitante na distribuição de alguns grupos de invertebrados, sendo suportada apenas pelos que estão adaptados a esse ambiente (RICEVUTO *et al.*, 2013). A temperatura foi o segundo fator mais importante na variação de invertebrados. Em lagoas costeiras que não apresentam variação espacial nos valores de temperatura (apenas sazonal), a associação entre essa variável e os invertebrados bentônicos pode estar relacionada ao ciclo de vida sazonal dos invertebrados (PONTI *et al.*, 2007). De forma geral, as lagoas costeiras são sistemas de transição, onde ocorre variação principalmente na salinidade e temperatura de acordo com a proximidade do canal de conexão com o mar e de acordo com as variações sazonais. Devido a essas características, esses ambientes oferecem habitats seletivos para espécies que suportam essas variações (LARDICCI *et al.*, 1997).

Poucas espécies conseguem suportar a variação na salinidade encontrada em sistemas lagunares, sendo particularmente resistentes. Espécies de poliquetas das famílias Nereididae e Capitellidae que são exemplos de famílias comumente encontradas nesses ambientes (RICEVUTO *et al.*, 2013; GRENZ *et al.*, 2017), e que suportam amplas variações das condições ambientais, são denominadas como poliquetas oportunistas. Tais famílias são abundantes em locais alterados e com elevada influência da urbanização (MIKAC, *et al.*, 2007). Neste trabalho, essas duas famílias foram encontradas em todos os compartimentos, porém suas maiores contribuições foram na ZI (Nereididae) e na ZE (Capitellidae). Nereididae foi associada positivamente com fósforo e turbidez e negativamente com salinidade. As descargas de rios tornam a ZI o local com maior carga de nutrientes como o fósforo, que apresentou os maiores níveis nessa zona, principalmente durante a estação seca. De forma geral, o fósforo está ligado diretamente ao despejo de esgoto e decomposição da matéria orgânica, podendo ser um fator limitante em ecossistemas aquáticos e benéfico para a grande proliferação de poliquetas oportunistas, como Nereididae. Mesmo possuindo distribuição significativa ao longo do sistema lagunar de Maricá, Capitellidae apresentou associação positiva com temperatura. Essa associação pode estar ligada diretamente a sua maior contribuição na ZE, onde se registrou um pequeno aumento na temperatura.

A maior abundância de Oligoquetas foi observado na ZC, onde foram detectados valores mais elevados de matéria orgânica e nitrogênio. Corroborando com esse estudo, ARMENDARIZ *et al.*, (2011), observou o aumento de Oligoquetas em locais com elevada carga desses nutrientes em um estuário na Argentina. COELHO *et al.*, (2015) e OBOLEWINSK *et al.*, (2018) também relacionaram o aumento de Oligoquetas com altas taxas de nitrogênio, reportando uma evidente associação de Oligoquetas com ambientes com alta cargas de nutrientes. Os microcrustáceos da ordem Decapoda foram os invertebrados bentônicos que apresentaram maiores abundâncias, porém, mais de 90% destes indivíduos foram encontrados apenas na ZI durante a estação chuvosa. Esse fenômeno pode ser explicado devido ao ciclo de vida dos Decápodos. Após a reprodução em águas salinas, no estágio pós larval, ocorre a migração dos decápodos para dentro de estuários ou lagoas costeiras, onde passam a utilizar o hábito bentônico. Permanecem nesse ambiente até o estágio adulto, quando retornam para as zonas com maior salinidade para então completar o ciclo (BOSCHI, 1974; 1981).

A pressão antrópica que o SLM vem sofrendo nas últimas décadas com a intensa sedimentação, urbanização e frequente despejos de esgotos, pode alterar significativamente a biodiversidade local. As zonas interna e central foram as que apresentaram os maiores valores

de nutrientes (fósforo, matéria orgânica e nitrogênio) como consequência da intensa atividade antrópica nessas áreas. A lagoa de Maricá (ZI) já foi caracterizada anteriormente por CRUZ *et al.* (1996) como a lagoa que apresenta a maior urbanização em seu entorno e conseqüentemente, maior despejo de esgotos em suas águas, sendo classificada como um ambiente muito ameaçado pelas atividades antropogênicas. LAUT *et al.*, (2019) reportaram que as lagoas de Maricá e da Barra como as mais impactadas por matérias orgânica no sedimento. ROSMAN *et al.* (2019), estudando o SLM, observaram que a Lagoa da Barra (ZC) é a que possui menor taxa na renovação de águas devido à ausência de canais de ligação com o mar ou a presença de rios. Essa baixa taxa de renovação da água somada ao aporte de nutrientes vindos da lagoa vizinha (Lagoa de Maricá), pode levar ao aumento da eutrofização desta lagoa e conseqüentemente, resultar no desequilíbrio nas condições abióticas e alterações na comunidade de organismos aquáticos. A compreensão das variações bióticas em diferentes níveis tróficos em um ecossistema inicialmente impactado, como é o caso do SLM, é fundamental para buscar novas ferramentas para conservação dessas áreas, incluindo a maior quantidade de grupos taxonômicos diferentes.

5. CONCLUSÃO

A distribuição de peixes e invertebrados bentônicos que utilizam o Sistema Lagunar de Maricá compartilham condicionantes ambientais, que parecem atuar de forma diferente em cada grupo. A temperatura foi a variável mais importante para a distribuição das espécies de peixes que se correlacionaram negativamente com esta variável ambiental. A salinidade foi a segunda variável mais importante com correlação positiva com a ocorrência de peixes. Para os invertebrados bentônicos, a salinidade foi o fator mais importante na distribuição dos grupos com correlação negativa com a ocorrência deste grupo de organismos. De forma contrária, a temperatura também apresentou importância significativa na distribuição dos invertebrados que foram mais abundantes em temperaturas mais elevadas. A riqueza de invertebrados bentônicos foi influenciada pelo tamanho do grão especialmente AMG e nitrogênio que favoreceram a ocorrência deste grupo de indivíduos. A abundância de peixes e invertebrados responderam de forma semelhante ao gradiente salino encontrado no Sistema Lagunar de Maricá, com a diminuição do número de indivíduos com o aumento da salinidade.

A irrelevante correlação entre peixes e invertebrados bentônicos encontrada no Sistema Lagunar de Maricá foi associada a resposta diferenciada às variáveis ambientais dos

componentes destes dois grupos. Embora a natureza dessa interação não tenha sido especificamente elucidada no presente trabalho, essa resposta fornece informações ecológicas relevantes para estudos de efeitos *top down* ou *bottom up* em um sistema costeiro semifechado frente a um estressor ambiental. Além disto, a bem definida estrutura espacial representada pelas diferentes zonas teve um papel relevante da distribuição dos dois grupos estudados, independentemente ou compartilhada com as variáveis ambientais.

Alterações antrópicas no entorno do sistema como o despejo de esgoto domésticos devido à alta especulação imobiliária desordenada e o assoreamento, têm provocado alterações significativas no aporte de nutrientes e na renovação da água nas lagoas. Essas modificações podem alterar as condicionantes ambientais importantes para a distribuição de peixes e invertebrados bentônicos e conseqüentemente, aumentar o número de indivíduos de espécies oportunistas e que tendem a aumentar em ambientes impactados, diminuindo a diversidade de espécies locais. Compreender de que forma cada grupo taxonômico responde a variáveis ambientais pode ser uma importante ferramenta, auxiliando na tomada de decisões para a conservação do ambiente em diferentes escalas. Este estudo representa um primeiro passo nesta direção de entender os complexos relacionamentos entre diferentes comunidades lagunares e as condicionantes ambientais.

6. REFERÊNCIAS

ADANDEDJAN, D.; LALEYE, P.; GOURENE, G. Macroinvertebrates communities of a coastal lagoon in southern Benin, West Africa. **International Journal of Biological and Chemical Sciences**, v. 6, n. 3, p. 1233–1252, 2012.

AGUIAR, F. S.; DE SOUSA GOMES-GONÇALVES, R.; ARAÚJO, F. G. Fish and benthic invertebrate relationship and their association to environmental variables in tropical sandy beaches. **Environmental Biology of Fishes**, v. 103, n. 11, p. 1309–1321, 2020,0

AGBLONON HOUELOM, T. M. *et al.* Inventaire et caractéristiques faunistiques des macroinvertébrés de la rivière Alibori dans le bassin cotonnier du Bénin. **International Journal of Innovation and Applied Studies**, v. 21, n. 3, p. 433–448, 2017.

AMARAL, M.; VALE, C. A. R. Biodiversidade E Mudanças Climaticas: Um Olhar Sobre a Amazonia. **Enciclopedia Biosfera**, v. 6, n. 11, p. 1–14, 2010,0

ANDERSON, M.J.; GORLEY, R.N.; CLARKE, K.R. **PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods**. Primer-E, Plymouth, UK. 214 p. 2008.

ANDERSON, M. J. Permutational Multivariate Analysis of Variance (PERMANOVA). **Wiley Stats Ref**. 1 – 15. 2017.

ARAÚJO, F. G.; COSTA DE AZEVEDO, M. C. Assemblages of southeast-south Brazilian coastal systems based on the distribution of fishes. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 52, n. 6, p. 729–738, 2001.

ARMENDÁRIZ, L. C.; RODRIGUES CAPÍTULO, A.; AMBROSIO, E. S. Relationships between the spatial distribution of oligochaetes (Annelida, Clitellata) and environmental variables in a temperate estuary system of South America (Río de la Plata, Argentina). **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, v. 45, n. 2, p. 263–279, 2011.

- BARAN, E. Biodiversity of Estuarine Fish Faunas in West Africa. 2000,0
- BARRET, K. L.; BELOVSKY, G. E. Great Salt Lake Biology. In: **Great Salt Lake Biology**. [s.l: s.n.]. p. 145–173.
- BALLY, R. Intertidal zonation on sandy beaches of the west coast of South Africa. **Cahiers de Biologie Marine**, v. 24, p. 85 – 103. 1983.
- BEGON, M., HARPER, J.L. & TOWNSEND, C.R. Ecology: Individuals, Populations and Communities. **Blackwell Scientific Publications**, Oxford. 1990,0
- BOCARD, D.; LEGENDRE P. & DRAPEAU P. Partitalling out the spatial component of ecological variation. **Ecology**. 73: 1045 – 1055. 1992.
- BOSCHI, E.E. Biología de los crustaceos cultivables en America Latina. **Carpas** 06: 1-24. 1974
- BOWMAN, R.A. A rapid method to determine total phosphorus in soils. **Sci Socie of America Jour**. 1988.
- BLABER, S. J. M.; BLABER, T. G. Factors affecting the distribution of juvenile estuarine and inshore fish. **Journal of Fish Biology**, v. 17, n. 2, p. 143–162, 1980,0
- BLABER, S.J.M. Fish and fisheries of tropical estuaries. Fish and Fisheries Series. 22, Chapman & Hall, London, United Kingdom. 1997
- BOMFIM, S.; VILELA, C. G.; GUEDES, D. C. Foraminíferos Bentônicos em Sedimentos de Fundo da Lagoa de Maricá , Estado do Rio de Janeiro - Benthic Foraminifera in Surface Sediments in the Maricá Lagoon , Rio de Janeiro State. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 33, p. 9–19, 2010,0
- BOYLE, T. P.; FRALEIGH, H. D. Natural and anthropogenic factors affecting the structure of the benthic macroinvertebrate community in an effluent-dominated reach of the Santa Cruz River, AZ. **Ecological Indicators**, v. 3, n. 2, p. 93–117, 2003.
- BRIAN, J. V. *et al.* Evidence of temperature-dependent effects on the estrogenic

response of fish: Implications with regard to climate change. **Science of the Total Environment**, v. 397, n. 1–3, p. 72–81, 2008.

CAMARGO, M.G. SYSGRAN: Um sistema de código aberto para análises granulométricas. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, p. 371 – 378. 2006.

COELHO, S.; PÉREZ-RUZAFÁ, A.; GAMITO, S. Effects of organic pollution and physical stress on benthic macroinvertebrate communities from two intermittently closed and open coastal lagoons (ICOLLs). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 167, p. 276–285, 2015.

CRISTINA, T. *et al.* Turismo E Urbanização: Os Problemas Ambientais Da Lagoa De Araruama – Rio De Janeiro. **Ambiente & Sociedade**, v. XIX, n. 4, p. 43–64, 2016.

CRUZ, A. C. Análise de intervenções no sistema lagunar de maricá-rj com auxílio de modelagem hidrodinâmica ambiental. 2010,0

CYRUS, D. P.; BLABER, S. J. M. Turbidity and salinity in a tropical northern Australian estuary and their influence on fish distribution. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 35, n. 6, p. 545–563, 1992.

DÍAZ-JARAMILLO, M. *et al.* Spatio-temporal trends and body size differences of OCPs and PCBs in *Laeonereis culveri* (Polychaeta: Nereididae) from Southwest Atlantic estuaries. **Marine Pollution Bulletin**, v. 136, n. August, p. 107–113, 2018.

DITTMANN S. 2000,0 Zonation of benthic communities in a tropical tidal lat of north east Australia. **Journal of Sea Research** 43, 33–51.

DUNNE, J. A.; WILLIAMS, R. J.; MARTINEZ, N. D. Network structure and biodiversity loss in food webs: Robustness increases with connectance. **Ecology Letters**, v. 5, n. 4, p. 558–567, 2002.

DYER, K.R. Estuaries: A Physical Introduction. 2nd edition. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, Chichester, UK, p. 195. 1997.

ELÍAS, R. *et al.* Los poliquetos como indicadores biológicos en Latinoamérica y el Caribe. **Marine and Fishery Sciences (MAFIS)**, v. 34, n. 1, 2020,0

ELLIOTT, M., MCLUSKY, D.S. The need for definitions in understanding estuaries.

Estuarine, Coastal and Shelf Science 55: 815-827. 2002.

FIGUEIREDO, S. A DE; CALLIARI, L. J. Sangradouros : Distribuição Espacial , Variação Sazonal , Padrões Morfológicos e Implicações no Gerenciamento Costeiro. **Journal of Coastal Research**, v. 3, n. 3, p. 47–57, 2005.

FUJII T. Spatial patterns of benthic macrofauna in relation to environmental variables in an intertidal habitat in the Humber estuary, UK: developing a tool for estuarine shoreline management. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 75, 101–119. 2007

FRANCO, T. P.; NEVES, L. M.; ARAÚJO, F. G. Better with more or less salt? The association of fish assemblages in coastal lagoons with different salinity ranges. **Hydrobiologia**, v. 828, n. 1, p. 83–100, 2019.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos river bar: a study of significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, p. 3 – 26. 1957.

GUEDES, A.P.P.; ARAUO, F.G.; AZEVEDO, M.C.C. Estrategia trofica dos linguados *Citharichthys spilopterus Ghunter* e *Symphurus tessellatus* (Quoy & Gaimard) (Actinopterygii, Pleuronectiformes) na baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v.21, n. 4, p. 857 – 864. 2004.

GRENOUILLET, G. *et al.* Concordance among stream assemblages and spatial autocorrelation along a fragmented gradient. **Diversity and Distributions**, v. 14, n. 4, p. 592–603, 2008.

GRENZ, C. *et al.* Benthic ecology of tropical coastal lagoons: Environmental changes over the last decades in the Términos Lagoon, Mexico. **Comptes Rendus - Geoscience**, v. 349, n. 6–7, p. 319–329, 2017.

HEINO, J. Are indicator groups and cross-taxon congruence useful for predicting biodiversity in aquatic ecosystems? **Ecological Indicators**, v. 10, n. 2, p. 112–117, 2010,0

HERNÁNDEZ-GUEVARA, N. A.; PECH, D.; ARDISSON, P. L. Temporal trends in benthic macrofauna composition in response to seasonal variation in a tropical coastal lagoon, Celestun, Gulf of Mexico. **Marine and Freshwater Research**, v. 59, n. 9, p. 772–779, 2008.

JOHNSON, S. L.; RINGLER, N. H. The response of fish and macroinvertebrate assemblages to multiple stressors: A comparative analysis of aquatic communities in a perturbed watershed (Onondaga Lake, NY). **Ecological Indicators**, v. 41, p. 198–208, 2014.

JOSEFSON, A.B.; RASMUSSEN, B. Nutrient Retention by Benthic Macrofaunal Biomass of Danish Estuaries: Importance of Nutrient Load and Residence Time. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 50, n. 2, p. 205 – 216. 2000,0

KENNISH, M. J. & PAERL, H. W. Coastal Lagoons: Critical habitats of environmental change. **Boca Raton: CRC Press**, 387 p. 2010,0

KILGOUR, B.W.; BARTON, D.R. Associations between stream fish and benthos across environmental gradients

KJERFVE, B.; KNOPPERS, B. A. Physical characteristics of lagoons of the East Fluminense Coast, State of Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental geochemistry of coastal lagoon systems, Rio de Janeiro, Brazil**, v. 6, p. 57–67, 1999.

KNOPPERS, B.; KJERFVE, B.; CARMOUZE, J. P. Trophic state and water turn-over time in six choked coastal lagoons in Brazil. **Biogeochemistry**, v. 14, n. 2, p. 149–166, 1991.

LARSEN, S. *et al.* Weak Concordance between Fish and Macroinvertebrates in Mediterranean Streams. **PLoS ONE**, v. 7, n. 12, 2012.

LAUT, L. *et al.* Organic Compounds As Proxies of the Sedimentary Environmental Quality of the Maricá-Guarapina Lagoon System (Se, Brazil). **Journal of Sedimentary Environments**, v. 4, n. 2, p. 159–173, 2019.

LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. Numerical ecology, 3rd English edition. **Elsevier Science BV**, Amsterdam. 2012

LEPS J, SMILAUER P. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. **Cambridge University Press**, Cambridge. 2003.

MANZO, C. *et al.* Characterization of the fish assemblage in a Mediterranean coastal lagoon: Lesina Lagoon (central Adriatic Sea). **Regional Studies in Marine Science**, v. 8, p. 192–200, 2016.

MANSUR, K. L. Diretrizes para geoconservação do patrimônio geológico do estado do Rio de Janeiro: o caso do domínio tectônico de Cabo Frio. 2010, 0 249 f. Tese (Doutorado em Geografia) – **Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 2010

MARSHALL, S. AND M. ELLIOTT. The structure of the fish assemblage in the Humber Estuary, U.K. **Publ. Espec. Inst. Esp. Oceanogr.**, 21: 231-242. 1996

MCLACHLAN A., BROWN A.C. **The ecology of sandy shores**, 2nd ed., Acad. Press, New York, 373p. 2006.

MIRANDA, L. B., CASTRO, B. M., KJERFVE, B. Princípios de oceanografia física de estuários. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 210 p. 2002

MIKAC, K. M.; MAHER, W. A.; JONES, A. R. Do physicochemical sediment variables and their soft sediment macrofauna differ among microsize coastal lagoons with forested and urbanised catchments? **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 72, n. 1–2, p. 308–318, 2007.

NKWOJI, J. A.; UGBANA, S. I.; INA-SALWANY, M. Y. Impacts of land-based pollutants on water chemistry and benthic macroinvertebrates community in a coastal

lagoon, Lagos, Nigeria. **Scientific African**, v. 7, p. e00220, 2020,0

OBOLEWSKI, K.; GLIŃSKA-LEWCZUK, K.; ASTEL, A. Lost connectivity between a coastal lagoon and the sea – implications of floodgate closure for benthic macroinvertebrates. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 211, p. 77–89, 2018.

PESSANHA, ANDRÉ LUIZ MACHADO; ARAUJO, 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**, Curitiba, PR, v. 18, n. 4, p. 1265-1274, 2001

PÉREZ-CASTAÑEDA, R.; DEFEO, O. Spatial distribution and structure along ecological gradients: Penaeid shrimps in a tropical estuarine habitat of Mexico. **Marine Ecology Progress Series**, v. 273, n. April 2014, p. 173–185, 2004.

PÉREZ-RUZAFÁ, A., DE PASCALIS, F., GHEZZO, M., QUISPE-BECERRA, J., HERNÁNDEZ-GARCÍA, R., MUÑOZ, I., VERGARA, C., PÉREZ-RUZAFÁ, ISABEL., UMGIESSER, G., MARCOS, C. Connectivity between coastal lagoons and sea: Asymmetrical effects on assemblages and populations structure. **Est Coas and Shelf Sci.** 2018

PINDER, A. M. *et al.* Occurrence of aquatic invertebrates of the wheatbelt region of Western Australia in relation to salinity. **Hydrobiologia**, v. 543, n. 1, p. 1–24, 2005.

POMBO, L.; ELLIOTT, M.; REBELO, J. E. Environmental influences on fish assemblage distribution of an estuarine coastal lagoon, Ria de Aveiro (Portugal). **Scientia Marina**, v. 69, n. 1, p. 143–159, 2005.

PONTI, M.; ANTONIA COLANGELO, M.; UGO CECCHERELLI, V. Composition, biomass and secondary production of the macrobenthic invertebrate assemblages in a coastal lagoon exploited for extensive aquaculture: Valle Smarlacca (northern Adriatic Sea). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 75, n. 1–2, p. 79–89, 2007.

RAPOSO, D., CLEMENTE, I.; FIGUEREDO, M.; VILAR, A.; LORINI, M.L.; Benthic foraminiferal and organic matter compounds as proxies of environmental quality in a

tropical coastal lagoon: The Itaipu lagoon (Brazil). **Mar Pollut Bull.** 129 (1): 114 – 125. 2018.

RICEVUTO, E. *et al.* Spatial variability of macrozoobenthic community and trophic structure of a subtropical lagoon on southeastern Brazil's atlantic coast. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 61, n. 2, p. 113–128, 2013.

RODRIGUES SOUSA, L. G.; CARLOS DE MIRANDA, A.; BASTOS DE MEDEIROS, H. O Sistema Lagunar De Maricá: Um Estudo De Impacto Ambiental. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 2, p. 153–165, 2013.

ROSMAN, P.C.C.; ROSMAN, P. A.; LIMA, L. S.; GUIMARÃES, F. B. F. G. Projeto baías do brasil sistema lagunar maricá-guarapina - rj **projeto baías do brasil sistema lagunar maricá-guarapina** - RJ. 2019.

SALES, N. S. *et al.* Dependence of juvenile reef fishes on semi-arid hypersaline estuary microhabitats as nurseries. **Journal of fish biology**, v. 89, n. 1, p. 661–679, 2016.

SCHOENER, T. W. The species–area relation within archipelagos: model and evidence from island land birds. **Proceedings of the International Ornithological Congress** 16: 628-642. 1976.

SILVA, K. . Estudo da geoquímica do fósforo em sedimentos da laguna de araruama-rj, para avaliação do processo de eutrofização. **Ayan**, v. 8, n. 5, p. 55, 2019.

SILVA, Márcio de Araújo ; ARAUJO, F. G. Distribution and relative abundance of anchovies (Clupeiformes, Engraulididae) in the Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, PR, v. 43, n. 4, p. 379-385, 2000

SOSA-LÓPEZ, A. *et al.* Fish species richness decreases with salinity in tropical coastal lagoons. **Journal of Biogeography**, v. 34, n. 1, p. 52–61, 2007.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo, Edgard Blucher, 317p. 1973.

SHEPARD, F. P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **J. sedim. Petrology**, v.

24, n. 3, p. 151 – 158. 1954.

CHEVAN A, SUTHERLAND M. Hierarchical partitioning. *Am Stat* 45(2):90–96. 1991.

TER BRAAK, C. J. F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, v. 67, p. 1167 – 1179. 1989.

THIEL, R. *et al.* Environmental factors as forces structuring the fish community of the Elbe Estuary. **Journal of Fish Biology**, v. 46, n. 1, p. 47–69, 1995.

VAN COLEN, C. *et al.* Sediment-benthos relationships as a tool to assist in conservation practices in a coastal lagoon subjected to sediment change. **Biodiversity and Conservation**, v. 23, n. 4, p. 877–889, 2014.

VAZ, N., VAZ, L., SERODIO, J., DIAS, J. A modeling study of light extinction due to cohesive sediments in a shallow coastal lagoon under well mixed conditions. *Science of the total environment* 694, 133707. 2019.

VEGA-CENDEJAS, M. E., SANTILLANA, M.H., 2004. Fish community structure and dynamics in a coastal hypersaline lagoon: Rio Lagartos, Yucatan, Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* 60: 285-294.

VELÁZQUEZ-VELÁZQUEZ, E.; VEGA-CENDEJAS, M. E.; NAVARRO-ALBERTO, J. Spatial and temporal variation of fish assemblages in a coastal lagoon of the Biosphere Reserve La Encrucijada, Chiapas, Mexico. **Revista de Biología Tropical**, v. 56, n. 2, p. 557–74, 2008.

WALKLEY, A.J. AND BLACK, I.A. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37, 29-38. 1934

WHITFIELD, A. K. Ichthyofaunal assemblages in estuaries: A South African case study. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, v. 9, n. 2, p. 151–186, 1999.

WHITFIELD, A.K., ELLIOTT, M. Fishes as indicators of environmental and ecological changes within estuaries: a review of progress and some suggestions for the future. *Journal of Fish Biology*, 61: 229-250,02002

YOBOUÉ, K. P. *et al.* Structure of benthic macroinvertebrates population in an area of Mopoyem Bay (Ebrie Lagoon, Côte d'Ivoire) exposed to the discharge of a fish farm effluents. ***Environmental Monitoring and Assessment***, v. 192, n. 4, 2020,0

WARD, J.V. ***Aquatic Insect Ecology: biology and habitat***. Toronto: John Wiley & Sons, Inc., 438 p. 1992.

7.

ANEXOS

Anexo A: Tabela com a média e desvio padrão das variáveis ambientais separadas em variáveis físico-química da água e nutrientes do sedimento

Estação	Zona	Salinidade	Temp. (°C)	pH	Turbidez (NTU)	Fósforo (mg/dm ³)	MO (g/ dm ³)	Nitrogênio (%)
<i>Seca</i>	<i>Interna</i>	25.42±0,03	22.81±0,015	8.75±0,05	24.40±0,099	111.22±29.18	0,037±0,05	0,08±0,02
	<i>Central</i>	26.79±0,010	22.35±0,025	8.65±0,03	22.45±1.55	53.22±8.54	1.36±0,032	0,014±0,01
	<i>Externa</i>	35.77±0,023	21.71±0,07	7.83±0,024	7.08±0,044	11.33±2.43	0,067±0,012	0,09±0,01
<i>Chuvosa</i>	<i>Interna</i>	18.70±0,03	30,080±0,014	8.27±0,02	16.07±1.58	54.22±11.57	0,051±0,03	0,09±0,005
	<i>Central</i>	20,034±0,014	33.54±0,052	8.53±0,02	19.22±2.00	50,088±4.72	1.14±0,08	0,011±0,01
	<i>Externa</i>	26.28±0,020	32.02±1.20	8.87±0,010	13.47±2.00	35.22±4.46	0,049±0,08	0,08±0,005
	ZI	22.06±3.45	26.81±4.13	8.51±0,027	20,023±5.75	82.72±70,095	0,044±0,015	0,09±0,03
	ZC	23.56±3.33	27.95±5.88	8.59±0,011	20,083±5.49	52.05±20,012	1.25±0,069	0,012±0,04
	ZE	31.03±4.92	27.87±5.85	8.35±0,076	10,027±5.35	23.27±16.13	0,057±0,031	0,08±0,018
	<i>Seca</i>	29.33±0,090	22.29±0,013	8.41±0,011	17.97±1.63	58.59±12.64	0,080±0,013	0,010±0,009
	<i>Chuvosa</i>	21.77±0,064	32.12±0,047	8.56±0,030	16.25±1.13	46.77±4.55	0,071±0,036	0,02±0,004

Anexo B: Lista de espécies de peixes classificadas de acordo com a ordem e família e os códigos correspondentes.

Ordem	Família	Espécies	Código
Elopiformes	Elopidae	<i>Elops saurus</i> Linnaeus, 1766	Elsau
Clupeiformes	Engraulidae	<i>Anchoa januaria</i> (Linnaeus, 1758)	Anjan
		<i>Anchoa sp.</i>	Ansp
	Clupeidae	<i>Harengula clupeola</i> (Curvier, 1829) <i>Brevoortia pectinata</i> (Jenyns, 1842)	Haclu Brpec
Mugiliformes	Mugiliidae	<i>Mugil curema</i> Valenciennes, 1829	Mucur
		<i>Mugil liza</i> (Valencinnes, 1836)	Muliz
		<i>Mugil sp.</i>	Musp
Atheriniformes	Atherinopsidae	<i>Atherinella brasiliensis</i> (Quo e Gaimard, 1825)	Atbra
Cyprinodontiformes	Anablepidae	<i>Jenysia multidentata</i> (Jenyns, 1842)	Jemul
	Poeciliidae	<i>Poecilia vivipara</i> Bloch e Schneider, 1801	Poviv Phjan
		<i>Phalloptychus januarius</i> (Hensel, 1868)	
Perciformes	Carangidae	<i>Trachinotus falcatus</i> (Linnaeus, 1758)	Trfal
		<i>Caranx latus</i> Agassiz, 1831	Calat
	Gerreidae	<i>Diapterus rhombeus</i> (Curvier, 1829)	Dirho
		<i>Eucinostomus argenteus</i> Baird e Girard, 1855	Euarg Arrho
	Sparidae		
	Gobiidae	<i>Archosargus rhomboidalis</i> (Linnaeus, 1758)	Ctbol Mimee
		Cichlidae	<i>Ctenogobius boleosoma</i> (Jordan e Gilbert, 1882)
	<i>Microgobius meeki</i> Evermann e Marsh, 1899		
	<i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)		
Elopomorpha	Larva leptocephala		Larlep

Anexo C: Lista de invertebrados bentônicos classificados de acordo com a classe e família e os códigos correspondentes.

Classe	Classificação	Código
Polychaeta	Capitellidae	<i>Cap</i>
	Nereididae	<i>Ner</i>
Malacostraca	Decapoda (ordem)	<i>Mcrus</i>
Oligoquetas		<i>Olig</i>