



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

---

**TESE**

**O uso de morfometria e microquímica de otólitos *sagittae* como ferramentas para investigar a conectividade populacional de *Mugil liza* (Valenciennes, 1836) na costa do sudeste do Brasil**

**José Paulo do Carmo Silva**

*Sob a Orientação do Professor*

Dr. Francisco Gerson Araújo

*e Co-orientação de*

Dra. Taynara Pontes Franco

**Seropédica, RJ**

**Dezembro – 2019**



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

---

**O uso de morfometria e microquímica de otólitos *saggitae* como ferramentas para investigar a conectividade populacional de *Mugil liza* (Valenciennes, 1836) na costa do sudeste do Brasil**

**José Paulo do Carmo Silva**

*Sob a Orientação do Professor*

Dr. Francisco Gerson Araújo

*e Co-orientação de*

Dra. Taynara Pontes Franco

Tese submetida à coordenação do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Biologia Animal. Área de concentração: Biodiversidade Animal.

**Seropédica, RJ**

**Dezembro – 2019**

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

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

S586u Silva, José Paulo do Carmo, 1980-  
O uso de morfometria e microquímica de otólitos  
sagittae como ferramentas para investigar a  
conectividade populacional de Mugil liza  
(Valenciennes, 1836) na costa do sudeste do Brasil /  
José Paulo do Carmo Silva. - São Paulo, 2019.  
129 f.

Orientador: Francisco Gerson Araújo.  
Coorientador: Tainara Pontes Franco.  
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do  
Rio de Janeiro, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA  
ANIMAL, 2019.

1. Conectividade populacional. 2. Microquímica de  
otólitos. 3. Morfometria de otólitos. 4. Mugil liza. 5.  
Tainha. I. Araújo, Francisco Gerson, 1954-, orient.  
II. Franco, Tainara Pontes, 1986-, coorient. III  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL. IV.  
Título.

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

**JOSÉ PAULO DO CARMO SILVA**

**O uso de morfometria e microquímica de otólitos *sagittae* como ferramentas para investigar a conectividade populacional de *Mugil liza* (Valenciennes, 1836) na costa do sudeste do Brasil**

Tese aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

---

Francisco Gerson de Araújo (Ph.D) – UFRRJ  
(Orientador)

---

Magda Fernandes de Andrade Tubino (Dra) – UFRRJ

---

Raquel Rennó M. Martins (Dra.) – FIPERJ

---

Marcus Rodrigues da Costa (Dr.) – UFF

---

Jayme Santangelo Magalhães (Dr.) UFRRJ

*“Aos meus pais, que sempre acreditaram em mim e me ensinaram a importância da gratidão e da fé de que tudo vai dar certo. Meu eterno muito obrigado! Essa conquista é nossa!”*

*“Um homem ainda pode ir muito longe depois de estar cansado.”*

*Louis Joseph Lebret*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela capacidade de realizar esse trabalho. Este foi sem dúvida o maior desafio que eu vivi até agora. Houveram momentos difíceis, desafiadores, angustiantes e desesperadores, mas a redescoberta do exercício da fé me fez sempre acreditar que conseguiria e venci!

Ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Gerson Araújo, pela oportunidade e confiança em mim depositadas e pela boa amizade que os anos de convivência nos trouxeram. Agradeço as boas conversas e ensinamentos, que ainda por muitas vezes dispensam palavras e são muito valiosos. Dessa vez professor, eu aprendi o porque precisamos aproveitar o tempo, como o senhor sempre fala. É porque a gente não fabrica tempo. E eu vivi isso.

A meus pais e irmãs, que me acompanharam nesse processo desafiador e sempre incentivaram a acreditar que eu venceria. E eu venci!

A Paula, meu porto seguro, que esteve ao meu lado em todos os momentos, bons e ruins, sempre acreditando em mim, Sempre me fazendo acreditar. Sem a sua ajuda, eu não conseguiria...meu eterno muito obrigado!

A minha amiga e co-orientadora Taynara, como sou grato a você!! Sempre me incentivando com palavras de animo e energia. Você foi essencial nesse processo. Uma super co-orientadora!

Ao meu “kirido” amigo Hamilton Hissa, que me recebeu em sua casa tantas e tantas vezes...sempre querendo me ajudar buscando discutir sobre o trabalho...sem palavras meu “kirido”...”tamo junto..kkk”

Ao Tailan, meu parceiro do terceiro turno do Lep, que após a sua defesa me acolheu e me incentivou varias vezes me contando sobre o que existe do lado de lá do universo pós tese...kkk

Ao meu amigo Gustavo pela ajuda na formatação da tese.

A Márcia, sócia do Corrupto's Bar lá de Campo Grande, pelo acolhimento e palavras de conforto nos momentos de ansiedade e desespero com o tempo.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Ecologia de Peixes - LEP, citando "todos" não corro o risco de esquecer alguém...rs...pelo companheirismo, pela amizade, pela força, pelo acolhimento nos momentos difíceis e pelos conselhos.

Ao professor Dr. Anderson Vilasboa de Vasconcellos e a todos os amigos do LGPesq-UERJ, muito obrigado por me receberem e em breve espero estar de volta para concluir a missão por aí.

E por fim e não menos importante, a todos os meus amigos, colegas, chefes, diretores e secretários dos quais trabalhei na Prefeitura Municipal de São Sebastião. Obrigado pela sensibilidade com a questão dos meus estudos. Sempre me liberando para as incontáveis viagens para realizar este trabalho. Sem vocês eu nunca conseguiria. Obrigado pela torcida e apoio.

A todos, muito obrigado, cada um de vocês com certeza teve uma participação muito especial nesta etapa da minha vida, sem falar nas amizades que levarei comigo para sempre.

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

## RESUMO

SILVA, José Paulo do Carmo. **O uso de morfometria e microquímica de otólitos *sagittae* como ferramentas para investigar a conectividade populacional de *Mugil liza* (Valenciennes, 1836) na costa do sudeste do Brasil.** 2019. 129p. Tese (Doutorado em Biologia Animal). Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Departamento de Biologia Animal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

O estudo visa investigar a conectividade de um importante recurso pesqueiro da costa do Sudeste do Brasil (tainha, *Mugil liza*) entre sistemas costeiros semifechados e a zona costeira adjacente, objetivando fornecer subsídios para preservação e uso sustentável. Duas abordagens foram utilizadas buscando alcançar este objetivo, e que correspondem aos dois capítulos da Tese: 1. Morfometria de otólitos *sagittae*; 2. Microquímica de otólitos *sagittae*. Os peixes foram coletados ao longo de cerca de 612 km de extensão da costa, abrangendo os estados do Rio de Janeiro e São Paulo, nos seguintes sistemas semifechados e em suas respectivas zonas costeiras adjacentes: estuários de Santos/Guarujá e proximidades de Caraguatatuba/Ilha Bela; baías de Sepetiba/Ilha Grande e Guanabara; e lagunas de Saquarema e Maricá. Buscou-se, através das duas abordagens investigar a existência de diferentes grupos populacionais ao longo da área de estudo, a conectividade populacional entre os sistemas e os grupos populacionais, e a existência de diferentes padrões de movimentação dos indivíduos dentro dos diferentes sistemas (lagunas, baías e estuários). No primeiro capítulo testamos a existência de diferentes estoques populacionais de tainhas ao longo da costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Partindo da premissa de que os diferentes morfotipos e/ou variações na forma dos otólitos podem representar diferentes populações/estoques, testamos a hipótese de que exista mais de um estoque/população de *Mugil liza* ao longo da área de

estudo. Para isso utilizamos descritores elípticos de Fourier e índices morfométricos para identificar variações na forma. Um padrão geográfico de separação, sugerindo a existência de ao menos dois grupos populacionais ao longo da área de estudo foi detectado, tendo sido revelado a presença de três morfotipos de otólitos que não apresentaram um padrão clinal de distribuição, sugerindo a área de estudos como uma área de transição para diferentes grupos populacionais de *M. liza*. No segundo capítulo foram estudados os padrões de movimentos e de uso dos sistemas semifechados e da zona costeira aberta, partindo da premissa de que as tainhas utilizam sistemas estuarinos durante a fase inicial do seu ciclo de vida e migram para a plataforma quando adultos, compondo o estoque migrador/desovante da espécie. Testamos a hipótese de que exista uma diferenciação individual de uso, onde alguns indivíduos retornam para o ambiente estuarino após a desova e alguns indivíduos não precisam sair dos sistemas estuarinos para completar o ciclo de vida. Para isso foram avaliados os perfis elementares de estrôncio (Sr) e bário (Ba) das tainhas capturadas no interior dos principais sistemas estuarinos e respectivos locais da zona costeira adjacente. As concentrações de Sr ao longo do eixo núcleo-borda (historia de vida) e núcleo (áreas de nascimento) sugerem distintas populações/estoques e áreas de nascimento tanto na plataforma adjacente como na região estuarina. Três perfis de movimentação foram identificados sendo mais comum o Marinho Visitante (MV), representando conexões entre os ambientes estuarinos e o ambiente marinho. O segundo perfil, Estuarino Residente (ER), compreende os indivíduos que permaneceram no ambiente estuarino durante o todo o ciclo de vida. Por fim, o terceiro perfil identificado, Marinho Migrador (MM), representado por indivíduos que permaneceram em ambientes estuarinos durante as primeiras fases do ciclo de vida e migraram aparentemente de forma definitiva para o ambiente marinho. Foi constatada, neste estudo, a grande plasticidade desta espécie no

uso dos ambientes estuarinos e costeiros adjacentes, uma possível adaptação às condições euriralinhas que permitem a persistência de grupos populacionais em elevada abundância nesta região de transição entre as áreas temperadas e tropicais do sudeste do Brasil.

**Palavras-Chave:** Conectividade; recursos pesqueiros; otólitos; zonas costeiras

## ABSTRACT

SILVA, José Paulo do Carmo. **The use of morphometry and microchemistry of the sagittae otoliths as tools to investigate the population connectivity of *Mugil liza* (Valenciennes, 1836) on the the southeastern coast of Brazil.** 2019. 127p. Thesis (Doctorate in Animal Biology). Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Departamento de Biologia Animal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

The study aims to investigate the connectivity of an important fishery resource along the southeastern Brazilian coast of (mullet, *Mugil liza*) between semi-closed coastal systems and the adjacent coastal zone, aiming to provide subsidies for preservation and sustainable use. Two approaches were used to achieve these objectives, which correspond to the two chapters of the Thesis: 1. Morphometry of the *Sagittae* otolith; 2. Biochemistry of the *Sagittae* otolith. The fishes were collected along about 612 km, covering the coast of the states of Rio de Janeiro and São Paulo, in the following semi-closed systems and in their respective adjacent coastal zones: estuaries of Santos/Guarujá and proximities of Caraguatatuba/Ilha Bela; bays of Sepetiba/Ilha Grande and Guanabara; and the coastal lagoons of Saquaremma and Maricá. We investigated, through the two approaches, the existence of different population groups throughout the study area, the population connectivity between the systems and the stocks/populations, and the existence of different pattern of individual movements within the different systems (lagoons, bays and estuaries). In the first chapter we tested the existence of different stocks of mullets along the coast of the states of São Paulo and Rio de Janeiro. Assuming that different morphotypes and/or variations in otolith shape

may represent different populations/stocks, we tested the hypothesis that there is more than one *Mugil liza* stock/population across the study area. For this, we used Fourier elliptical descriptors and morphometric indices to identify variations in the shape of otoliths throughout the study area. A geographical pattern of separation, suggesting the existence of at least two stocks/populations throughout the study area was detected, and the presence of three otolith morphotypes that did not show a clinal distribution pattern was found, suggesting that the study area is a transition area for different stocks / populations of *M. liza*. In the second chapter, the patterns of movement and use of semi-closed systems and open coastal zone were studied. Assuming that mullets use estuarine systems during the early phase of their life cycle and migrate to the platform as adults, to be part of the migratory/spawning stock of the species. We tested the hypothesis that there is an individual differentiation of use, with some individuals returning to the estuarine environment after spawning and some others individuals do not need to exit estuarine systems to complete their life cycle. For this, the elemental strontium and barium profiles of the mullets captured within the main estuarine systems and respective coastal zone sites were evaluated. Sr concentrations along the nucleus-edge (life history) and nucleus (birth areas) axis suggest distinct populations / stocks and birth areas in both the adjacent platform and the estuarine region. Three movement profiles were identified, with the most common named Marine Visitors (MV), representing connections between estuarine and marine environments. The second profile was named Estuarine Resident Estuarine (ER), comprising individuals who remained in the estuarine environment during their life cycle. Finally, the third identified profile was named Marine Migrator (MM), represented by individuals who remained in estuarine environments during the early stages of the life cycle and apparently migrated permanently to the marine environment. In this study, the great plasticity of this species

was observed in the use of adjacent estuarine and coastal environments, a possible adaptation to the eurialine conditions that allow the persistence of stocks / populations in high abundance in this transition region between the temperate and tropical areas of southeastern Brazil. Brazil.

**Keywords:** Connectivity; fishery resources; otoliths; molecular markers; coastal zones

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

**Tabela 1.** Locais, área de coleta, número de indivíduos (N); média comprimentos (Lt), desvio padrão e amplitude dos comprimentos de *Mugil liza*.....33

**Tabela 2.** Fórmulas usadas para calcular os índices morfométricos conforme Tuset et al. (2003) .....35

**Tabela 3.** Índices morfométricos do otólito e suas correlações com o comprimento total de *M. liza*. – n.s = não significativo.....42

**Tabela 4.** Análise de variância (ANOVA) para comparação dos índices morfométricos dos otólitos de *M. liza*. entre os grupos formados pela análise de agrupamento e resultados do *post-hoc* teste para comparações entre os grupos.....44

**Tabela 5.** Tabela de classificação em regiões baseados nos índices morfométricos de *M. liza*.....46

**Tabela 6.** Análise de variância (ANOVA) e *post-hoc* dos índices morfométricos dos otólitos de *M. Liza* na Região 1.....49

**Tabela 7.** Análise de variância (ANOVA) e *post-hoc* dos índices morfométricos dos otólitos de *M. liza* na Região 2.....53

### CAPÍTULO II

**Tabela 1.** Número de indivíduos (n), média e desvio padrão do comprimento total (cm) e concentrações em mmol/mol de Ba:Ca e Sr:Ca da região do núcleo, da borda e de todo eixo núcleo-borda de cada local.....83

**Tabela 2.** ANOVA one-way das concentrações de Ba:Ca e Sr:Ca da região do núcleo, da borda e de todo o eixo núcleo borda dos otólitos de cada local (sistemas estuarinos e costeiros) seguido de teste a posteriori de Tukey.....84

**Tabela 3.** Resultado da análise linear discriminante das concentrações médias de núcleo e borda das tainhas dos sistemas estuarinos com as taxas de classificação.....85

<b>Tabela 4.</b> Distribuição dos locais de nascimento nos pontos de coleta ao longo da área de estudo.....	86
<b>Tabela 5.</b> Resultado da análise linear discriminante das concentrações de Sr:Ca e Ba:Ca do núcleo dos locais de nascimento com as taxas de classificação.....	87
<b>Tabela 6.</b> Distribuição perfis de Sr:Ca e Ba:Ca dos otólitos de <i>M. liza</i> nos locais de coleta.....	90
<b>Tabela 7.</b> Resultado da análise linear discriminante dos perfis de movimentação com as taxas de classificação.....	91

## LISTA DE FIGURAS

### INTRODUÇÃO GERAL

<b>Figura 1.</b> Área de estudo longo da costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. E: Estuários; B: Baias; L: Lagoas - ●: sistemas estuarinos semifechados; ●: zonas costeiras adjacentes – GD: Guarujá Dentro; GF: Guarujá Fora; CD: Caraguatatuba Dentro; IB: Ilhabela Fora; BS: Baía de Sepetiba Dentro; IG: Ilha Grande Fora; BG: Magé Dentro; IT: Itaipú fora; MD: Maricá Dentro; MF: Maricá Fora; SD: Saquarema Dentro; Saquarema Fora.....	06
--	----

### CAPÍTULO I

<b>Figura 1.</b> Otólito direito de <i>M. liza</i> : OL: comprimento do otólito; OW: altura do otólito; OP: perímetro otólito (linha branca tracejada); perímetro do sulco (linha preta continua).....	34
--	----

<b>Figura 2.</b> Representação gráfica do percentual cumulativo da explicação da variação indicada pelos 11 primeiros componentes principais.....	38
<b>Figura 3.</b> Variação na forma dos otólitos (média ± s.d) de <i>M. liza</i> explicada por cada componente principal.....	39
<b>Figura 4.</b> Dendograma baseado nas distancias euclidianas das amplitudes das 20 primeiras harmônicas.....	40
<b>Figura 5.</b> Morfotipos de otólitos de <i>M. liza</i> estabelecidos pela análise de agrupamento a partir da amplitude das 20 primeiras harmônicas.....	40
<b>Figura 6.</b> Gráfico de ordenação componentes principais PC1 x PC2 – A: Morfotipos: ● - I; ● - II; ● - III; B: Regiões: ● - 1 (Guarujá, Caraguatatuba, Ilhabela, Ilha Grande); ● 2 (Sepetiba, Magé, Itaipú, Maricá, Saquarema); C: Sexos: ● - Fêmeas; ● - Machos; D: Área de coleta: ● - Dentro; ● - Fora.....	41
<b>Figura 7.</b> Variação do fator de condição entre morfotipos de <i>Mugil Liza</i> .....	42
<b>Figura 8.</b> Diagrama de dispersão dos eixos PC1 x PC2 da análise componentes principais sobre os índices morfométricos.....	43
<b>Figura 9.</b> Grupos formados pela análise de agrupamento baseado nas variações dos índices morfométricos.....	44

**Figura 10.** Gráfico de ordenação dos componentes principais PC1 x PC2 dos índices morfométricos. A: Regiões: ● - Região 1 (Guarujá, Caraguatatuba, Ilhabela, Ilha Grande); ● Região 2 (Sepetiba, Magé, Itaipú, Maricá, Saquarema); B: ● Região 1; ● Zona mista; ● Região 2.....45

**Figura 11.** Variação do fator de condição (K) entre as Regiões 1 e 2 de *Mugil Liza*....46

**Figura 12.** Dendograma baseado nas distancias euclidianas das amplitudes das 20 primeiras harmônicas para Região 1.....47

**Figura 13.** Gráfico de ordenação componentes principais PC1 x PC2 para Região 1– A: Morfotipos: ● - I; ● - II; ● - III; B: Área de coleta: ● - Dentro; ● - Fora.....47

**Figura 14.** Scatterplot PC1 x PC2 da análise componentes principais dos índices morfométricos na Região 1.....48

**Figura 15.** Dendograma baseado nas variações dos índices morfométricos na Região 1.....49

**Figura 16.** Gráfico de ordenação dos componentes principais PC1 x PC2 dos índices morfométricos da Região 1 por área de coleta: ● - Dentro; ●- Fora.....50

**Figura 17.** Dendograma baseado nas distancias euclidianas das amplitudes das 20 primeiras harmônicas para Região 2.....51

<b>Figura 18.</b> Gráfico de ordenação componentes principais PC1 x PC2 para Região 2– A: Morfotipos: ● - I; ● - II; ● - III; B: Área de coleta: ● - Dentro; ● - Fora.....	51
<b>Figura 19.</b> Scatterplot PC1 x PC2 da análise componentes principais dos índices morfométricos na Região 2.....	52
<b>Figura 20.</b> Dendograma baseado nas variações dos índices morfométricos na Região 2.....	52
<b>Figura 21.</b> Gráfico de ordenação dos componentes principais PC1 x PC2 dos índices morfométricos da Região 2 por área de coleta: ● - Dentro; ●- Fora.....	53

## CAPÍTULO II

<b>Figura 1.</b> Faixas de razões de Sr:Ca por gradiente salino para <i>Mugil liza</i> . Indivíduo utilizado no exemplo capturado em Maricá (Lt = 47 cm) .....	82
<b>Figura 2.</b> Diagrama dos dois primeiros eixos da função discriminante linear das razões elementares de Sr:Ca e Ba:Ca no núcleo dos otólitos dos indivíduos nos sistemas estuarinos.....	86
<b>Figura 3.</b> Padrões de perfil de movimentação de <i>M. liza</i> – A: Marinho Visitante (Ilha Grande – Lt = 54cm); B: Marinho Migrador (Magé – Lt = 53cm); C: Estuarino Residente (Sepetiba – Lt = 44cm) – Sr:Ca: linha contínua; Ba:Ca: linha tracejada.....	89

**Figura 4.** Diagrama dos dois primeiros eixos da função discriminante linear dos perfis de movimentação encontrados para *M. liza*.....91

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	01
<b>2. METODOLOGIA GERAL</b> .....	06
2.1 Área de estudo.....	06
<b>3. REFERÊNCIAS</b> .....	12
<b>CAPÍTULO I</b> .....	25
Resumo .....	26
Abstract .....	28
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	30
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	32
2.1 Programa de amostragem.....	32
2.2 Índices morfométricos.....	34
2.3 Análise Fourier de Eliptica .....	35
2.4 Fator de condição.....	36
2.5 Análise de dados.....	36
<b>3. RESULTADOS</b> .....	38
3.1 Análise de contorno.....	38
3.2 Índices morfométricos .....	42
3.3 Análise de contorno Região 1 .....	46
3.4 Índices morfométricos Região 1 .....	47
3.5 Análise de contorno Região 2 .....	50
3.6 Índices morfométricos Região 2 .....	51
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	54

<b>5. REFERÊNCIAS</b> .....	60
<b>CAPÍTULO II</b> .....	73
Resumo .....	74
Abstract .....	76
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	78
<b>2. METODOLOGIA</b> .....	79
2.1 Programa de amostragem .....	79
2.2 Análises de dados .....	80
2.3 Análises estatísticas .....	82
<b>3. RESULTADOS</b> .....	83
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	92
<b>5. REFERÊNCIAS</b> .....	97
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	106

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A conectividade populacional pode ser definida como a troca de indivíduos e/ou propágulos por meio de migração e/ou dispersão entre os habitats ocupados por uma espécie (GILLANDERS et al., 2003; ANDRELLO et al., 2013). As conexões intrapopulacionais entre ambientes podem ocorrer, por exemplo, através da transferência de habitats de indivíduos juvenis para adultos, resultando em uma substancial transferência de biomassa, nutrientes e energia entre habitats e/ou ecossistemas (DEEGAN, 1993; NAIMAN et al., 2002; HEGG et al., 2015). A conectividade das populações de peixes ocorre em diferentes escalas espaciais que vão de centenas (conectividade genética) a poucas dezenas de quilômetros (conectividade ecológica) (HEGG et al., 2015). Em menor escala, a conectividade pode ser estabelecida no interior de um único ecossistema, sendo a movimentação principalmente relacionada à alimentação e procura por abrigo. Em ecossistemas marinhos, a conectividade genética de longa distância, por dispersão larval, está diretamente influenciada por processos oceanográficos, tais como correntes, ventos ou vórtices (PALUMBI, 2003).

Os otólitos (do grego *oto*: ouvido e *lito*: pedra) consistem numa ferramenta amplamente utilizada em estudos sobre a discriminação de grupos populacionais (CASTONGUAY et al., 1991; BEGG et al., 2000; DE VRIES et al., 2002), conectividade entre berçários e zonas de recrutamento costeiro (REIS-SANTOS et al., 2012; CORREIA et al., 2014), investigações de processos migratórios (GILLANDERS 2005; ALBUQUERQUE et al., 2012; HIGGINS et al., 2013) e determinação de áreas de berçário (DI FRANCO et al., 2011; HAMER et al., 2011). Estas concreções são constituídas de cristais de carbonatos de cálcio inseridos numa matriz proteica (LECOMTE-FINIGER, 1999), os quais são regulados pelo ritmo endógeno do

metabolismo de cálcio (MIGIYA, 1987 *apud* MORALES-NIN, 2000) e pela secreção de neuropeptídeo no ouvido interno (GAUDIE e NELSON, 1988). Sua formação começa a partir do *primordium* ou zona central do otólito, secretado pelo ouvido interno, que é, geralmente, o primeiro tecido calcificado no embrião (LECOMTE-FINIGER, 1999; DUNKELBERGER et al., 1980 *apud* MORALES-NIN, 2000). O núcleo é formado quando a primeira unidade descontínua é depositada (DUNKELBERGER et al., 1980 *apud* MORALES-NIN, 2000). Isso geralmente corresponde ao nascimento, à primeira alimentação ou ao início da atividade do peixe (MORALES-NIN, 1992).

Nos otólitos, formam-se zonas opacas e translúcidas, decorrentes da deposição diferenciada de cálcio sobre uma base orgânica, durante períodos de crescimento rápido e lento, resultantes de diversos fatores, entre eles mudança de temperatura (ciclos sazonais), alimentação, ciclos reprodutivos, variações ambientais que provocam alterações na proporção da deposição dos compostos orgânicos-inorgânicos (FONTELES-FILHO, 1989; GREEN et al., 2009). À medida que o peixe cresce, além de carbonato de cálcio e otolina, outros elementos são depositados em pequenas concentrações, que guardam uma relação com sua disponibilidade na água em que os peixes se desenvolvem (FOWLER et al., 1995). Após serem depositados, o carbonato de cálcio, a otolina e outros elementos menores, não são observadas transformações ou modificações químicas nesta estrutura, o que significa dizer que são quimicamente inertes (CAMPANA e NEILSON, 1985). Com base nestas características, estudos com otólitos passaram a avaliar também processos de migração, identificação de estoques, determinação de locais de nascimento além de serem também usados para reconstruções das características da temperatura e salinidade de tempos pretéritos (CAMPANA, 1999).

Diversos elementos têm sido quantificados com o objetivo de descrever parte ou a totalidade do ciclo de vida de uma espécie. Entre eles, o mais estudado é o estrôncio (Sr). Esse metal existe em maiores concentrações em águas salgadas e tem sido usado como ferramenta para o estudo da migração de várias espécies (SECOR e ROOKER, 2000). Desta forma, um peixe que vive em águas mais salgadas deve apresentar em seus otólitos concentrações mais altas de estrôncio que outro animal da mesma espécie que vive em águas mais doces. Outro elemento bastante utilizado como indicador de águas oligohalina é o Bário (Ba) (VRIES et al., 2005). Este elemento é proveniente do sedimento erodido dos continentes e transportado pelos rios (NOZAKI et al., 2001). Portanto, peixes que vivem em áreas de água doce tendem a apresentar maiores concentrações de bário em seus otólitos. Contudo, foi evidenciado que as concentrações desses elementos nos otólitos se devem não somente à sua concentração absoluta na água, mas principalmente à concentração relativa ao cálcio (ELSDON e GILLANDERS, 2005).

Características morfométricas dos otólitos são complexas e altamente espécie-específica (GAEMER, 1984) e, como outros caracteres morfológicos espécie-específicos, apresentam frequentemente variação clinal relativa à distância, localização geográfica (WORTHMAN, 1979) e/ou profundidade (WILSON, 1985). Tendo em vista que as interações entre fatores genéticos e ambientais produzem diferenças na forma dos indivíduos (CADRIN, 2000), as técnicas morfométricas tornaram-se uma importante ferramenta na diferenciação dos grupos populacionais e/ou estoques. A aplicação das técnicas morfométricas em estudos sobre a discriminação de populações de peixes gera uma quantidade considerável de dados, aumentando o poder estatístico e conseqüentemente à compreensão sobre os processos biológicos e fatores de influência na variação de forma dos otólitos (MONTEIRO e REIS, 1999; MONTEIRO et al.,

2005). Por sua vez, os otólitos *sagittae* vem sendo amplamente utilizados em estudos de biologia pesqueira por possibilitarem tal diferenciação de grupos populacionais (DEVRIES et al., 2002; CARDINALE et al., 2004) sendo considerada uma ferramenta rápida, de baixo custo e robusta (TRACEY et al., 2006).

A tainha *Mugil liza* (Valenciennes, 1836) é uma espécie pelágica amplamente distribuída na costa do Atlântico na América do Sul, ocorrendo desde o mar do Caribe até a Argentina (GARBIN et al., 2014). A espécie é considerada catádroma por realizar migrações entre ambientes de água doce, estuarinos e oceânicos apresentando hábitos dependentes de áreas estuarinas (CHAO et al., 1985; VIEIRA et al., 2008; POTTER et al., 2013). Após a desova em áreas oceânicas, as correntes de deriva carregam os juvenis para dentro dos estuários (VIEIRA, 1991) onde permanecem até serem recrutados para população adulta com 5 a 6 anos de idade (GARBIN et al., 2014).

Uma vez no ambiente marinho, a tainha desloca-se em direção a menores latitudes, até a área de desova (LE MOS et al., 2014). Os cardumes que saem da Lagoa dos Patos são acrescidos de indivíduos que vem do Uruguai e Argentina, e ao longo da migração também recebem aporte de tainhas que saem de outros estuários da costa do Brasil (VIEIRA e SCALABRIN, 1991, HERBST e HANAZAKI, 2014). A desova não necessariamente ocorre em um local geográfico determinado e sim quando cardumes encontram condições oceanográficas consideradas ideais, principalmente quanto à temperatura superficial do mar, que pode oscilar latitudinalmente de acordo com a dinâmica de massas d'água (VIEIRA e SCALABRIN, 1991).

A pesca sobre este recurso acompanha a distribuição da espécie em diversos habitats utilizados nos diferentes estágios do seu ciclo de vida. Durante a maior parte do ano há captura de grande quantidade de indivíduos com comprimentos menores que o tamanho médio de primeira maturação ( $L_{50}$ ) em estuários pela pesca artesanal

(ALBIERI e ARAÚJO, 2010; LEMOS et al., 2014). Quando a espécie entra no período reprodutivo nos meses de maio até agosto (MMA, 2007; VIEIRA et al., 2008; LEMOS et al., 2014), inicia sua migração a partir dos estuários para se reproduzir no mar, onde também passa a ser alvo da pesca industrial (IBAMA/ICMBio/CEPSUL, 2007; LEMOS et al., 2014) e da artesanal (ALBIERI e ARAÚJO, 2010).

A espécie destaca-se entre as nove principais espécies de peixes capturados pela pesca extrativa no Brasil (MPA 2009), alcançando produção superior a 18.000 t/ano (GONZALEZ-CASTRO et al., 2009; MPA, 2011). No sudeste e sul do Brasil sua pesca é cultural e historicamente importante (VIEIRA, 1991). As capturas no Rio Grande do Sul e Santa Catarina representam até 95% da captura total combinada de todos os outros estados brasileiros, Uruguai e Argentina (VIEIRA, 1991; IBAMA / ICMBIO / CEPSUL, 2007; MPA, 2012). Além disso, a espécie é um recurso pesqueiro compartilhado entre Brasil, Uruguai e Argentina.

O conhecimento acerca da conectividade populacional, seja em escala regional, investigando a contribuição de diferentes sistemas (bacias, lagoas, estuários) aos estoques, seja em escala local, investigando os padrões de movimentação dentro dos estuários, se mostra essencial para a compreensão do ciclo de vida de *M. liza*. Tais informações são importantes para elaboração de medidas de manejo (ex. cotas para captura por estoques), uma vez que evidencia, por exemplo, áreas as quais podem ser consideradas prioritárias a preservação e ou diferentes estratégias a serem adotadas.

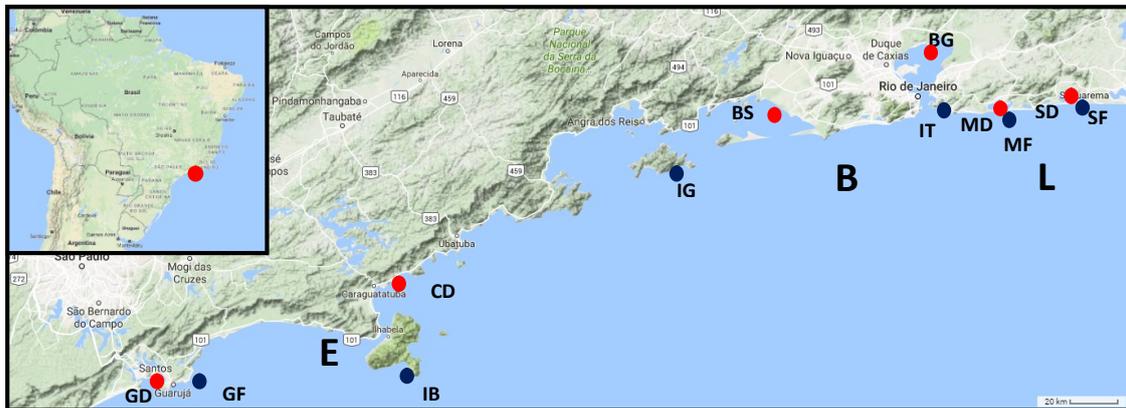
Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo utilizar técnicas de morfometria e análise química de otólitos para investigar: 1) a existência de diferentes grupos populacionais ao longo da área de estudo; 2) a conectividade populacional entre os sistemas e o(s) grupos populacionais; 3) e existência de diferentes padrões de

movimentação dos indivíduos dentro dos diferentes sistemas (baías, lagoas e estuários) e zonas costeiras adjacentes.

## 2. METODOLOGIA GERAL

### 2.1 Área de estudo:

A área de estudo compreende aproximadamente 612 km de extensão ao longo da costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Compreende diferentes sistemas: 2 baías, 2 lagoas e 2 estuários e as respectivas áreas costeiras adjacentes:



**Figura 1.** Área de estudo longo da costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. E: Estuários; B: Baías; L: Lagoas - ●: sistemas estuarinos semifechados; ●: zonas costeiras adjacentes – Estuários: GD, Guarujá (Dentro); GF, Guarujá (Fora); e CD, Caraguatatuba (Dentro); IB, Ilhabela (Fora); Baías: BS, Baía de Sepetiba (Dentro); IG, Ilha Grande (Fora); BG: Magé (Dentro); IT: Itaipú (Fora); Lagoas: MD, Maricá (Dentro); MF, Maricá (Fora); e SD, Saquarema (Dentro); SF, Saquarema (Fora).

## **ESTUÁRIOS:**

**Guarujá Dentro/Estuário de Santos (GD):** O estuário de Santos – SP separa a Ilha de Santo Amaro (Guarujá) da cidade de Santos. Está localizado na porção leste da Baía de Santos, que é a principal comunicação entre o complexo estuarino e a região costeira adjacente, apresentando praias arenosas de baixa declividade margeadas por manguezais (SOUSA, 1979; TOMMASI, 1979). A circulação das águas é regida por correntes de maré (SONDOTÉCNICA, 1977). A região do estuário é caracterizada por de baixa energia das ondas e fundos de silte e detritos vegetais (FÚLFARO e PONÇANO, 1976; TOMMASI, 1979).

**Guarujá Fora (GF):** Localizada na Ilha de Santo Amaro (23°59'S/46°15'W), limitando-se ao norte com o canal que separa Santos e Guarujá, a oeste com o canal do estuário de Santos, e ao sul e a leste com o Oceano Atlântico. Sua área total é de 139 km<sup>2</sup>. A face oceânica da ilha é caracterizada por praias de grande energia, com alto grau de exposição, possuindo areia como sedimento predominante (PAIVA FILHO e TOSCANO, 1987). A região recebe influência das ondas e das correntes geradas por elas e o sentido geral das correntes é dirigido predominantemente para norte/nordeste (SOUZA, 1997). Próximo às praias, as correntes de maré perdem força, se tornando em geral muito fracas, porém exercem papel fundamental nas modificações morfológicas e sedimentológicas.

**Caraguatatuba (CD):** A Baía de Caraguatatuba (23°37'S a 23°44'S e 45°24'W a 45°26'W), localizada no litoral norte do estado de São Paulo, possui uma largura total de cerca de 16 km. A região sul apresenta praias com inclinação mais suave. Essa área é

mais exposta à atividade de ondas e é influenciada em certa medida pelo rio Juqueriquerê, que forma um pequeno estuário. A região norte possui praias com inclinações mais acentuadas, sendo relativamente mais protegidas da energia das ondas e pouco influenciadas pelos rios Lagoa e Santo Antônio.

**Ilhabela (IB):** Considerada a maior ilha brasileira com 347,54 km<sup>2</sup> de extensão (23°46'28"S, 45°21'20"W), separada do continente pelo canal de São Sebastião, um estreito de 25 km no litoral norte do estado de São Paulo. Devido à curvatura do canal e dos padrões de circulação da água, a deposição de sedimentos é mais alta na margem continental e próxima às bordas (FURTADO, 1995; MIRANDA e CASTRO FILHO, 1995), resultando em uma margem continental mais rasa e arenosa e uma insular mais profunda com cascalho ou fundo arenoso. Ambas as margens possuem muitas praias arenosas e costões rochosos. A região encontra-se em uma zona de transição entre a província zoogeográfica Argentina (temperado-subtropical) e a Brasileira (tropical) (sensu BRIGGS, 1974), sob a influência das águas quentes e oligotróficas da Corrente do Brasil, águas frias e ricas em nutrientes da Corrente das Malvinas, e também por intrusões de águas frias e ricas em nutrientes das Águas Centrais do Atlântico Sul sobre a plataforma, além de ressurgências sazonais (verão) (MATSUURA, 1986; CASTRO-FILHO e MIRANDA, 1998; GIBRAN e MOURA, 2012).

#### **BAÍAS:**

**Baía de Sepetiba (SB):** A leste da Ilha Grande está situada a baía de Sepetiba (23°03' – 23°01'S e 043°01' – 043°36'O), uma baía semifechada com aproximadamente 450 km<sup>2</sup>. Dividida em duas zonas principais: uma zona mais interna que sofre influência do rio

Guandu e uma zona mais externa com maior influência de águas marinhas vindas da baía da Ilha Grande e do mar (pelo canal que se forma entre a Ilha Grande e a porção oeste da restinga da Marambaia). Possui média de salinidade em torno de 30, sendo aproximadamente 33 na zona mais externa e 28 na zona mais interna (PESSANHA e ARAÚJO, 2003). A bacia hidrográfica contribuinte à baía possui uma superfície de 2.654 km<sup>2</sup> (SEMADS, 2001). Apresenta grande influência antrópica composta de um pólo industrial no entorno da baía e um porto onde são transportados minério de ferro e carvão principalmente.

**Ilha Grande (IG):** Possui 800 km<sup>2</sup> e localizando-se na extremidade sul do estado do Rio de Janeiro, entre o extremo oeste da restinga da Marambaia (23°04'36"S; 44°01'18"O) e a ponta da Joatinga (23°17'36"S; 044°30'06"O) (TEIXEIRA, 2009). Apresenta um complexo de ilhas e consiste de dois corpos d'água separados por uma constricção formada entre o continente e a Ilha Grande (SIGNORINI, 1980). A circulação da água tem sentido horário e é quase estacionária e independente de ventos e marés, com as águas das plataformas mais frias e salgadas penetrando a oeste da ilha fluindo para leste (SIGNORINI, 1980; IKEDA et al., 1989). A salinidade é bem homogênea ao longo da baía por possuir pouco aporte de águas continentais (composta apenas de pequenos rios e riachos), com média de aproximadamente 35.

**Baía de Guanabara (BG/IT):** A Baía de Guanabara está situada na região mais central da costa do estado do Rio de Janeiro (22°41' - 22°03'S; 43°16' - 43°01'O) possui 384 km<sup>2</sup> (destes, 56 km<sup>2</sup> são ilhas). A salinidade varia de 21 na parte mais interna a 34 no canal principal (KJERFVE, 1997). Devido às diversas atividades antrópicas que ocorrem dentro e no entorno o sistema é considerado impactado e eutrofizado, porém

ainda funciona como área de berçário para muitas espécies de peixes. Ao fundo da baía existe uma área de proteção ambiental onde se encontra a maior extensão de mangues da costa do Estado. A bacia de drenagem tem uma área de 4080 km<sup>2</sup>, constituída por 32 sub-bacias hidrográficas separadas com 91 rios e canais (KJERFVE et al., 1997).

## **LAGUNAS:**

**Sistema Lagunar de Maricá (MD/MF):** O Sistema Lagunar de Maricá-Guarapina (22°56'S e 042°50'O) cobre uma área total de 34,7 km<sup>2</sup>. Possui uma média de salinidade próxima a zero (BONFIM et al, 2010). As células lagunares que compõem esse sistema são as lagunas de Maricá, Barra, Guaratiba, Padre e Guarapina. Estas células são interconectadas por pequenos canais e todo o sistema é conectado ao mar por dois canais, um presente na laguna Guarapina, o canal de Ponta Negra, e o segundo na lagoa de Maricá, por um canal na extremidade da célula mais oeste (Guarapina) da Costa. Os rios tributários que deságuam na laguna de Maricá são Ubatiba, Madruga, Imbassai, Buriche, Retiro e Camburí (CRUZ et al, 1996; PERRIN, 1999). Segundo CRUZ et al. (2006), na região ocorre clima quente e úmido sem inverno pronunciado, com chuvas no verão e estiagem no inverno e a umidade relativa do ar varia de 80 a 90 % devido à influência da maritimidade. KNOPPERS et al.(1999), calculou o tempo de renovação de 50% da água da Zona Interna (Maricá) e Zona Externa (Guarapina) em 27 e 7 dias respectivamente.

**Laguna de Saquarema (SD/SF):** O complexo lagunar de Saquarema está localizado na porção norte-fluminense do estado do Rio de Janeiro (22°54' - 22°55'S e 42°35' - 42°28'O) possui uma área de 21,2 km<sup>2</sup> e uma profundidade média de 1,15 m. A laguna é

formada por quatro compartimentos interligados e apresenta uma salinidade média de 35, próxima a salinidade do mar (AZEVEDO, 2005), podendo variar de 22 na porção mais interna e 40 na porção mais externa (FRANCO, 2011). KNOPPERS et al. (1991), calculou o tempo de renovação de 50% da água da Zona Interna (Mombaça) e Zona Externa (Fora) em 23 e 6 dias respectivamente. A bacia hidrográfica contribuinte à baía possui uma superfície de 215 km<sup>2</sup> (SEMADS, 2001).

Esta tese está dividida em 02 capítulos: no primeiro capítulo testamos a existência de diferentes estoques populacionais de tainhas ao longo da costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Partindo da premissa de que os diferentes morfotipos e/ou variações na forma dos otólitos podem representar diferentes populações/estoques, testamos a hipótese de que exista mais de um estoque/população de *Mugil liza* ao longo da área de estudo. Para isso utilizamos descritores elípticos de Fourier e índices de morfométricos para identificar variações na forma dos otólitos.

No segundo capítulo são apresentados padrões de movimentos e de uso dos sistemas semifechados e da zona costeira aberta. Partindo da premissa de que as tainhas utilizam sistemas estuarinos durante a fase inicial do seu ciclo de vida e migram para a plataforma quando adultos, compondo o estoque migrador/desovante da espécie. Testamos a hipótese de que exista uma diferenciação individual de uso, onde alguns indivíduos retornam para o ambiente estuarino após a desova e alguns indivíduos não precisam sair sistemas estuarinos para completar seu ciclo de vida. Para isso são avaliados os perfis elementares de estrôncio e bário das tainhas capturadas no interior dos principais sistemas estuarinos e respectivos locais da zona costeira.

### 3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBIERI, R.J., ARAÚJO, F.G., 2010. Reproductive biology of the mullet *Mugil liza* (Teleostei: mugilidae) in a tropical Brazilian bay. Zool (Curitiba, Impr.) 27, 331–340.  
[http://dx. doi.org/10.1590/S1984-46702010000300003](http://dx.doi.org/10.1590/S1984-46702010000300003)

ALBUQUERQUE, C.Q., MIEKELEY, N., MUELBERT, J.H., WALTHER, B.D., JAUREGUIZAR, A.J. 2012. Estuarine dependency in a marine fish evaluated with otolith chemistry. Marine Biology, 159(10): 2229-2239.

ANDRELLO, M., MOUILLOT, D., BEUVIER, J., ALBOUY, C., THUILLER, W., MANEL, S., 2014. Lowconnectivity between Mediterranean Marine Protected Areas: A Biophysical Modeling Approach forthe Dusky Grouper *Epinephelusmarginatus*. PlosOne 8:1-15.

AZEVEDO, F.B.B., 2005. Modelagem da capacidade de suporte da laguna de Saquarema - RJ após uma abertura de conexão permanente com o mar. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 117 p.

BEGG, G.A., OVERHOLTZ, W.J., MUNROE, N.J., 2000.The use of internal otolith morphometrics for identification of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) stocks on Georges Bank. Fishery Bulletin 99, 1-14.

BONFIM, C. S., VITELA, C. G. & GUEDES, D. C. 2010. Foraminíferos Bentônicos em Sedimentos de Fundo da Lagoa de Maricá, Estado do Rio de Janeiro. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, 33: 9-19

BRIGGS, J.C., 1974. Marine Zoogeography. McGraw-Hill, New York.

CADRIN, S.X., 2000. Advances in morphometric identification of fishery stock. Reviews in Fish Biology and Fisheries 10, 91-112.

CAMPANA, S.E., NEILSON, J.D., 1985. Microstructure of fish otolith. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42, 1014-1032.

CAMPANA, S.E., 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. Marine Ecology Progress Series 188, 263-297.

CAMPANA, S.E., NEILSON, J.D., 1985. Microstructure of fish otolith. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42, 1014-1032.

CARDINALE, M., KASTOWSKY, M., MOSEGAARD, H. (2004). Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 61, 158–167.  
doi:10.1139/F03-151

CASTONGUAY, M., SIMARD, P., GAGNON, P., 1991. Usefulness of Fourier analysis of otolith shape for atlantic mackerel (*Scomberscombrus*) stock discrimination. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 48, 296-302.

CASTRO-FILHO, B.M., MIRANDA, L.B., 1998. Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf between 4N and 34S. In: Brink, K.H., Robinson, A.R. (Eds.), The Global Coastal Oceans: Processes and Methods. John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 209-251.

CHAO, L. H., PEREIRA, L. E., VIEIRA, J. P. 1985. Estuarine fish community of the dos Patos Lagoon, Brazil: a baseline study. In YANEZ-ARANCIBIA, A. (ed). Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration, pp. 429-450. Mexico City: UNAM Press.

CORREIA, A.T., HAMER, P., CAROCINHO, B., SILVA, A. 2014. Evidence for meta-population structure of *Sardinapilchardus* in the Atlantic Iberian waters from otolith elemental signatures of a strong cohort. Fisheries Research, 149: 76-85.

CRUZ, C.B.M., CARVALHO JÚNIOR, W., BARROS, R.S., ARGENTO, M.S.F., MAYR, L.M. 1996. Impactos ambientais no sistema lagunar de Maricá. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. INPE, 137-141

CRUZ, A.; SILVA JÚNIOR, G. C., ALMEIDA, G.M., 2006. Modelagem hidrogeoquímica do aquífero freático da restinga de Piratininga, Niterói-RJ. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Curitiba. Anais, 1:1-19.

DE VRIES, D.A., GRIMES, C.B., PRAGER, M.H., 2002. Using otolith shape analysis to distinguish eastern Gulf of Mexico and Atlantic Ocean stocks of king mackerel. *Fisheries Research* 57, 51-62.

DEEGAN, LA., 1993. Nutrient and energy transport between estuaries and coastal marine ecosystems by fish migration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50:74–79.

DI FRANCO, A., DE BENEDETTO, G., DE RINALDIS, G., RAVENTOS, N., SAHYOUN, R., GUIDETTI, P. 2011. Large scale-variability in otolith microstructure and microchemistry: The case study of *Diplodus sargus sargus* (Pisces: Sparidae) in the Mediterranean Sea. *Italian Journal of Zoology* 78(2): 182-192.

ELSDON, T.S., GILLANDERS, B.M., 2005. Consistency of patterns between laboratory experiments and field collected fish in otolith chemistry: an example and applications for salinity reconstructions. *Marine and Freshwater Research* 56, 609-617.

FONTELES-FILHO, A.A. 1989. Recursos pesqueiros: biologia e dinâmica populacional. Imprensa Oficial do Ceará, Fortaleza. 296 p.

FOWLER, A.F., S.E. CAMPANA, C.M. JONES, S.R. THORROLD. 1995. Experimental assessment of the effect of temperature and salinity on elemental composition of otoliths using solution-based ICPMS. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 52, 1421-1430.

FÚLFARO, V.J., PONÇANO, W.L., 1976. Sedimentação atual do estuário e baía de Santos: um modelo geológico aplicado a projetos de expansão da zona portuária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1., Rio de Janeiro, 1976. Anais. Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.v.2, p.67-90.

FURTADO, V.V., 1995. Sedimentação quaternária no Canal de São Sebastião, vol. 11. - Publicação Especial do Instituto Oceanográfico, São Paulo, pp. 27 - e35.

GAEMERS, P.A.M., 1984. Taxonomic position of the Cichlidae (Pisces: Perciformes) as demonstrated by the morphology of their otoliths. Netherland Journal of Zoology 34, 566-595.

GARBIN, T., CASTELLO, J.P., KINAS, P.G., 2014. Age, growth and mortality of the mullet *Mugil liza* in Brazil's southern and southeastern coastal regions. Fish. Res. 49, 61-68.

GIBRAN, F.Z., MOURA, R.L., 2012. Structure and composition of rocky shore fishes across a nearshore to open ocean gradient in Southeastern Brazil. Neotrop. Ichthyol. 10 (2), 369-382

GILLANDERS, B.M, ABLE, K.W, BROWN, J.A., EGGLESTON, D.B., SHERIDAN, P.F., 2003. Evidence of connectivity between juvenile and adult habitats for mobile

marine fauna: an important component of nurseries. *Marine Ecology Progress Series* 247:281–295.

GILLANDERS, B.M., 2005. Using elemental chemistry of fish otoliths to determine connectivity between estuarine and coastal habitats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64:47-57.

GONZALEZ-CASTRO, M., ABACHIAN, V., PERROTTA, R.G., 2009. Age and growth of the striped mullet *Mugil platanus* (Actinopterygii, Mugilidae), in a Southwestern Atlantic coastal lagoon (37°32'S 57°19'W): a proposal for a life-history model. *J. Appl. Ichthyol.* 25, 61-66.

GREEN, B. S., MAPSTONE, B. D., CARLOS, G., BEGG, G. A., 2009. *Tropical fish otoliths: information for assessment, management and ecology.* Springer, Dordrecht. 313p.

HAMER, P.A., ACEVEDO, S., JENKINS, G.P., NEWMAN, A. 2011. Connectivity of a large embayment and coastal fishery: spawning aggregations in one bay source local and broad-scale fishery replenishment. *Journal of Fish Biology* 78: 1090–1109.

HEGG, J.C., GIARRIZZO, T., KENNEDY, B.P., 2015. Diverse Early Life-History Strategies in Migratory Amazonian Catfish: Implications for Conservation and Management. *PLoS One* 10(7):e0129697.

HERBST, D.F., HANAZAKI, N., 2014. Local ecological knowledge of fishers about the life cycle and temporal patterns in the migration of mullet (*Mugil liza*) in Southern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 12(4): 879–890. <http://doi.org/10.1590/1982-0224-20130156>

HIGGINS, R., ISIDRO, E., MENEZES, G., CORREIA, A.T. 2013. Otolith elemental signatures indicate population separation in deep-sea rockfish, *Helicolenus dactylopterus* and *Pontinus kuhlii*, from the Azores. *Journal of Sea Research* 83: 202–208.

IBAMA/ICMBIO/CEPSUL 2007. Relatório de reunião técnica para o ordenamento da pesca da tainha *Mugilplatanus*, *M. liza* na região sudeste/sul do Brasil. [http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/biblioteca/download/relatorio\\_de\\_ordenamento/tainha/rel\\_2007\\_abr\\_tainha.pdf](http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/biblioteca/download/relatorio_de_ordenamento/tainha/rel_2007_abr_tainha.pdf) accessed 20 January 2014.

IKEDA, Y., FURTADO, V.V., TESSLER, M.G., CACCIARI, P.L., GODOI, S.S., PAVIGLIONE, A.M., MAHIQUES, M.M., SOUZA, C.R.G., 1989. “Cruzeiro oceanográfico realizado na Baía da Ilha Grande (RJ), região oceânica adjacente e plataforma continental dos estados de São Paulo e Paraná (set-out 1984)”. Bolm. Instituto Oceanográfico, São Paulo, (7) pp. 1-27.

KJERFVE B., RIBEIRO C.H.A., DIAS G.T.M., FILIPPO A.M., QUARESMA V.S. 1997. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. *Continental Shelf Research*, 17, 1-13.

KJERFVE, B., SCHETTINI, C.A.F., KNOPPERS, B., LESSA, G. & FERREIRA, H.O. 1996. Hydrology and Salt Balance in a Large, Hypersaline Coastal Lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 42, 701-725.

KNOPPERS, B.; KJERFVE, B., CARMOUZE, J.P. 1991. Trophic state and water turnover time in six choked coastal lagoons in Brazil. *Biogeochemistry* 14:149-166.

LECOMTE-FINIGER, R., 1999. L'otolithe: l'abôitedesTéléostéens. *Année de Biologie* 38, 107-122.

LEMOS, V.M, VARELA-JR, A.S., SCHWINGEL P.R., MUELBERT J.H., VIEIRA J.P., 2014. Migrationand reproductive biology of *Mugil liza* Teleostei: Mugilidae in south Brazil. *JournalofFish Biology*,85, 671-687

MATSUURA, Y., 1986. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta Grande (SC). *Cienc. Cult.* 38, 1439-1450.

MIRANDA, L.B., CASTRO FILHO, B.M., 1995. Variabilidade da circulação e do transporte de volume no Canal de São Sebastião (SP), vol. 11. *Publicação Especial do Instituto Oceanográfico, Saeo Paulo*, pp. 1-9.

MMA, Ministério do Meio Ambiente, 2007. Estatística da pesca 2007 Brasil: grandes regiões e unidades da federação. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis e IBAMA, Ministério do Meio Ambiente e MMA, Brasília.

MONTEIRO, L. R.; REIS, S.F. *Princípios de morfometria geométrica*. Ribeirão Preto: Editora Holos, 198p, 1999.

MONTEIRO, L. R.; DI BENEDITTO, A. P. M.; GUILHERMO, L. H.; RIVERA, L. A. Allometric changes and shape differentiation of sagitta otolithis in sciaenid fishes. *Fisheries Research*, v. 74, p. 288-299, 2005.

MORALES-NIN, B., 1992. Determination of growth in bony fishes from otolith microstructure. *FAO Fisheries Technical Paper* 322.

MORALES-NIN, B., 2000. Review of the growth regulation processes of otolith daily increment formation. *Fishery Research* 46, 53-67.

MPA, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE 2009. Boletim Estatístico da pesca e Aqüicultura - ano 2008. Brasília, p. 83.

MPA, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011. Boletim estatístico da pesca e aqüicultura. MPA, Brasília, p. 60.

MPA, 2012. Boletim Estatístico da pesca e Aqüicultura - ano 2010. Brasília: Ministério da pesca e aqüicultura, Ministério do Meio Ambiente.

NAIMAN, R.J., BILBY, R.E., SCHINDLER, D.E., HELFIELD, J.M., 2002. Pacific salmon, nutrients, and the dynamics of freshwater and riparian ecosystems. *Ecosystems* 5:399-417.

NOZAKI, Y., YAMAMOTO, Y., MANAKA, T., AMAKAWA, H., SNIDVONGS, A., 2001. Dissolved barium and radium isotopes in the Chao Phraya River estuarine mixing zone in Thailand. *Continental Shelf Research* 21, 1435-1448.

PAIVA FILHO, A. M., TOSCANO, A. P., 1987. Estudo comparativo e variação sazonal da ictiofauna na zona entremarés do Mar Casado-Guarujá e Mar Pequeno-São Vicente, SP. *Boletim do Instituto oceanográfico*, 35(2), 153-165.

PALUMBI, S.R., 2003. Population genetics, demographic connectivity, and the design of marine reserves *Ecological Applications* 13:146–158.

PERRIN, P., 1999. Physiography and surface formations of the east Fluminense coast, state of Rio de Janeiro, Brazil. *In: KNOPPERS, B; BIDONE, E. & ABRÃO, J.J. (eds) Environmental Geochemistry of Coast Lagoon Systems, Rio de Janeiro, Brazil, 11-23.*

PESSANHA A.L.M., ARAÚJO F.G., 2003. Spatial, temporal and diel variations of fish assemblages at two sandy beaches in the Sepetiba Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 57, 817-828.

POTTER, I.C., TWEEDLEY, J.R., ELLIOTT, M., WHITFIELD, A.K., 2013. The ways in which fish use estuaries: a refinement and expansion of the guild approach. *Fish Fish*. <http://dx.doi.org/10.1111/faf.12050>.

REIS-SANTOS, P., GILLANDERS, B.M., TANNER, S.E., VASCONCELOS, R.P., ELSDON, T.S., CABRAL, H.N. 2012. Temporal variability in estuarine fish otolith elemental fingerprints: implications for connectivity assessments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 112: 216-224.

SECOR, D.H., ROOKER, J.R., 2000. Is otolith strontium a useful scalar of life cycles in estuarine fishes? *Fisheries Research* 46, 359-371.

SEMADS, 2001. Ambiente das Águas no Estado do Rio de Janeiro. Cooperação Técnica Brasil-Alemanha, Projeto PLANÁGUA-SEMADS/GTZ, Rio de Janeiro.

SIGNORINI, S. R., 1980. A study of the circulation in Bay of Ilha Grande and bay of Sepetiba. Parte I. A survey of the circulation based on experimental field data. *Boletim do instituto oceanográfico, São Paulo*, 29(1), 41:55.

SONDOTÉCNICA ENGENHARIA DE SOLOS S.A 1977. Comportamento hidráulico e sedimentológico do estuário santista (relatório final). M.T., Portobrás, I.N.P.H. 180p.

SOUZA, C. R. G. 1997. As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar). Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. São Paulo.

TEIXEIRA, T. P., 2009. Avaliação do impacto do sistema de resfriamento da Usina Nuclear de Angra dos Reis na comunidade de peixes de costões rochosos e na estrutura do habitat. INSTITUTO DE BIOLOGIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL DISSERTAÇÃO 73p.

TOMMASI, L.R. 1979. Considerações ecológicas sobre o sistema estuarino de Santos (SP). Tese de livre-docência. Universidade de São Paulo, Instituto. Oceanográfico.2v.

TRACEY, S. R., LYLE, J. M., DUHAMEL, G., 2006. Application of elliptical Fourier analysis of otolith form as a tool for stock identification. *Fisheries Research*, v. 77, p. 138–147.

VIEIRA, J.P., SCALABRIN, C., 1991. Migração reprodutiva da “Tainha” (*Mugilplatanus*, Günther, 1880) no sul do Brasil. *Atlantica* 13 (1), 131-141.

VIEIRA, J. P., GARCIA, A. M. & GRIMM, A. M. 2008. Evidences of El Niño effects on the mullet fishery of the Patos Lagoon Estuary. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 51, 433–440.

VRIES, M.C., GILLANDERS, B.M., ELSDON, T., 2005. Facilitation of barium uptake into fish otoliths: influence of strontium concentration and salinity. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 69, 4061-4072.

WILSON, R.R., 1985. Depth related changes in sagitta morphology in six Macrourid fishes of the Pacific and Atlantic Oceans. *Copeia*, 1011-1017.

WORTHMAN, H.A., 1979. Relação entre o desenvolvimento do otólito e o crescimento do peixe auxílio na distinção de populações de pescada (*Plagioscion squamosissimus*). Acta Amazônica 9, 573-586.

## **Capítulo I**

**O uso da morfometria de otólitos como ferramenta para investigar a conectividade populacional de *Mugil liza* (Valenciennes, 1836) em diferentes sistemas ao longo da costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro.**

## RESUMO

Otólitos são estruturas que se desenvolvem na cápsula auditiva do ouvido interno dos peixes teleósteos, com função de equilíbrio e/ou audição. Apresentam características interespecíficas e intra-específicas, podendo variar quanto à forma em relação a fatores ambientais (disponibilidade de alimento, profundidade, temperatura da água e tipo de substrato) e genéticos. O objetivo do presente estudo foi analisar variações na forma dos otólitos de *Mugil liza* ao longo da costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro, para investigar a presença de diferentes grupos populacionais. Partindo da premissa de que os diferentes morfotipos e/ou variações na forma dos otólitos podem representar diferentes populações/estoques e de que as diferentes características ambientais da zona tropical e subtropical possam influenciar a forma, testamos a hipótese de que exista mais de um estoque/população de *Mugil liza* ao longo da área de estudo. Amostras foram coletadas nos seguintes pontos: Estuários (Guajurá-SP; Caraguatatuba/Ilha Bela-SP), Baías (Ilha Grande/Sepetiba-RJ; Magé/Itaipú-RJ) e Lagoas (Maricá-RJ e Saquarema-RJ). Os diferentes morfotipos e variações da forma dos otólitos foram caracterizados utilizando a análise Eliptica de Fourier e índices morfométricos, obtidos por meio dos *softwares* SHAPE e ImageJ respectivamente. As variações na forma dos otólitos foram avaliadas com base nos seguintes índices calculados: área, perímetro, fator de forma e roundness. A análise de componentes principais (PCA) foi aplicada aos descritores da análise Eliptica de Fourier. A análise de agrupamento das 20 primeiras harmônicas revelou a presença de três morfotipos. A análise de componentes principais revelou que os três morfotipos não apresentaram um padrão clinal de distribuição, sugerindo a área de estudos como uma área de transição para diferentes grupos populacionais de *M. liza*. Os índices morfométricos revelaram um padrão de separação

espacial, sugerindo a existência pelo menos dois grupos populacionais ao longo da área de estudos compreendendo um grupo de Guarujá até Ilha Grande e outro da Baía de Sepetiba até Saquarema.

**Palavras-chave:** Análise Elíptica Fourier, índices morfométricos, tainha, otólitos

## ABSTRACT

**The use of otolith morphometry as a tool to investigate *Mugil liza* (Valenciennes, 1836) population connectivity in different systems along the coast of the states of São Paulo and Rio de Janeiro.**

Otoliths are structures in the ear capsule of the inner ear of teleost fish, associated with the balance and/or hearing functions. They present interspecific and intraspecific characteristics, and may vary in form in relation to environmental factors (food availability, depth, water temperature and substrate type) and genetic factors. The aim of the present study was to analyze variations in the shape of *Mugil liza* otoliths along the coast of the states of São Paulo and Rio de Janeiro, to investigate the eventual presence of different stocks/populations. Assuming that different morphotypes and/or variations in the otoliths shape may represent different populations/stocks, and that different environmental characteristics of the tropical and subtropical zone may influence the shape, we tested the hypothesis that there are more than one *Mugil liza*'s stock/population throughout the study area. Samples were collected at the following localities: Estuaries (Guajurá-SP; and Caraguatatuba/Ilha Bela-SP), Bays (Ilha Grande/Sepetiba-RJ; and Magé/Itaipú-RJ) and Lagoons (Maricá-RJ and Saquarema-RJ). The different morphotypes and shape variations of the otoliths were characterized using Fourier elliptic analysis and morphometric indices, obtained by SHAPE and ImageJ software respectively. Variations in the shape of otoliths were evaluated based on the following calculated indices: area, perimeter, form factor and roundness. Principal component analysis (PCA) was applied to the Fourier Elliptica analysis descriptors. The cluster analysis of the first 20 harmonics using the Ward's method revealed the presence

of three morphotypes. Principal component analysis revealed that the three morphotypes did not present a clinal distribution pattern, suggesting the study area as a transition area for different stocks/populations of *M. liza*. The morphometric indices revealed a pattern of spatial separation, suggesting the existence of at least two stocks/populations throughout the study area comprising one group from Guarujá to Ilha Grande and another from Sepetiba Bay to Saquarema.

**Keyword:** Eliptica Fourier Analysis, morphometric indices, mullet, otoliths.

## 1. INTRODUÇÃO:

Otólitos são estruturas policristalinas compostas por carbonato de cálcio e proteína que se desenvolvem na cápsula auditiva dos ouvidos internos de peixes teleósteos, com função de equilíbrio e/ou audição (POPPER e COOMBS, 1982; RAMCHARITAR et al., 2006; SCHULZ-MIRBACH et al., 2014). Estas estruturas crescem ao longo de todo ciclo de vida dos peixes, sendo metabolicamente inertes (CAMPANA e NEILSON, 1985). Características dos otólitos como o tamanho e a forma refletem diferentes padrões de crescimento, podendo variar em ambos os níveis interespecífico e intra-específico (MÉRIGOT et al., 2007; FARIAS et al., 2009; FERGUSON et al., 2011). Embora mantenha suas características taxonômicas específicas, a forma do otólito pode variar em relação a fatores ambientais (área geográfica, profundidade da água, disponibilidade de alimento, qualidade físico-química do ambiente) e genéticos (CARDINALE et al., 2004; VIGNON e MORAT, 2010), ou diferenças na condição corporal ou nas taxas de crescimento somático (RODGVELLER et al., 2017; MAPP et al., 2017). Enquanto as diferenças genéticas influenciam a forma do otólito em si, o ambiente altera suas taxas de crescimento, o que por sua vez pode modificar a forma do otólito (CARDINALE et al., 2004).

As análises da forma dos otólitos tem se mostrado uma ferramenta eficiente para discriminar grupos populacionais de peixes (STRANSKY et al., 2008; NEVES et al., 2011; VIEIRA et al., 2014). Diversos estudos têm utilizado técnicas de morfometria geométrica em otólitos para discriminação de estoques de várias espécies de peixes (CAMPANA e CASSELMAN, 1993; BEGG e BROWN, 2000; BEGG et al., 2005; MÉRIGOT et al., 2007; FERGUSSON et al., 2011; LEGUA et al., 2013; SANTOS et

al., 2017; DUNCAN et al., 2018; ADELIR-ALVES et al., 2019). Além disso, o desenvolvimento de técnicas de análise de imagem permite abordagens geométricas mais complexas das análises morfométricas com otólitos (STRANSKY, 2014). Neste contexto, a análise elíptica de Fourier é uma das técnicas amplamente utilizada na descrição da forma do otólito (STRANSKY et al., 2008; KEATING et al., 2014; BROPHY et al., 2016; MAHE et al., 2016; RODGVELLER et al., 2017). Os resultados podem ser posteriormente analisados usando métodos multivariados para detectar padrões de variação, discriminar grupos e classificar indivíduos em grupos (MÉRIGOTET et al., 2007; CLAUDE 2008; HUËSSY 2008; KEATING et al., 2014; MAHE et al., 2016).

A tainha *Mugil liza* (Valenciennes, 1836) é uma espécie marinha migradora de hábito estuarino dependente (MAI et al., 2014), com distribuição ao longo da costa sudoeste do Oceano Atlântico, do Caribe ao norte da Patagônia (GARBIN et al., 2014), habitando águas costeiras, podendo também passar parte ou todo o seu ciclo de vida em lagoas costeiras, baías e/ou estuários (GONZALEZ-CASTRO e MINOS, 2016; HARRISON, 2002; HERAS et al., 2009; THOMSON, 1997). A espécie é considerada um importante recurso explorado comercialmente entre o Brasil e Argentina, com as capturas atingindo 18.000 toneladas/ano (GONZALEZ-CASTRO et al., 2009; MPA, 2011). As capturas comerciais no Brasil ocorrem principalmente entre os meses de maio e agosto, durante a migração reprodutiva da espécie (MIRANDA e CARNEIRO, 2007; MMA, 2007; VIEIRA et al., 2008; LEMOS et al., 2014). Esse recurso, compartilhado com a Argentina e o Uruguai, foi declarado sobre explorado pelo Ministério do Meio Ambiente do Brasil há mais de uma década (MMA, 2004).

A taxonomia de *Mugil liza* foi objeto de um longo debate (COUSSEAU et al., 2005; GONZALEZ-CASTRO et al., 2008, 2009, 2011, 2012; MENEZES et al., 2010;

DURAND et al., 2012; SICCHA-RAMIREZ et al., 2014), onde a espécie foi previamente confundida com *Mugil platanus* (Günther, 1880) (HERAS et al., 2016; WHITFIELD et al., 2012). Acreditava-se que a faixa de distribuição de *Mugil liza* fosse até o sul do Rio de Janeiro (HERAS et al., 2009), e *M. platanus* apresentava distribuição do sul do Rio de Janeiro até a Argentina. Devido ao crescente acúmulo de evidências ecológicas, genéticas e morfológicas que sustentam a classificação de *M. liza* como uma única espécie (ALBIERI e ARAÚJO, 2010; MENEZES et al., 2010; SICCHA-RAMIREZ et al., 2014), *M. platanus* é considerada sinonímia de *M. liza* (MENEZES et al., 2010). No entanto, conforme proposto por GONZALEZ-CASTRO et al. (2012), diferentes populações de *M. liza* ocorreriam ao longo da faixa de distribuição das espécies (Caribe até Argentina). Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi utilizar descritores elípticos de Fourier e índices de morfométricos para: 1) investigar apartir de possíveis variações na forma dos otólitos, a existência de diferentes grupos populacionais de *Mugil liza* de ao longo da área de estudo; 2) analisar se os diferentes morfotipos apresentam um padrão clinal de distribuição espacial. A hipótese testada foi de que as diferentes características ambientais nas zonas tropical e subtropical possam influenciar a forma dos otólitos e assim revelar a existência de diferentes grupos populacionais ao longo da área de estudo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Programa de amostragem:

Foram coletados 149 peixes entre julho e setembro de 2016, junto aos desembarques da frota artesanal que opera nos pontos selecionados ao longo da área de

estudo (Tabela 1). Os indivíduos coletados foram conservados em gelo e transportados para o laboratório, onde foram identificados segundo MENEZES et. al., (2010) e MENEZES et. al., (2015), numerados, medidos no comprimento total (Lt) com precisão de centímetros (g), pesados no seu peso total (Wt) com precisão de gramas (g) e identificados quanto ao sexo com base na escala macroscópica de desenvolvimento gonadal proposta por BROWN-PETERSON et al., (2011). Apenas indivíduos classificados como spawning capable e com comprimento total acima do L<sub>50</sub> da espécie (35 cm) (ALBIERI e ARAÚJO 2010) foram considerados adultos e, portanto utilizados nas análises do presente estudo.

Os otólitos *sagitta* foram extraídos através da abertura da cápsula ótica na parte ventral do neurocrânio, lavados e armazenados a seco. A descrição morfológica foi realizada de acordo com a terminologia proposta por TUSET et al., (2003). Os otólitos foram orientados com o sulco para cima e fotografados sob luz refletida com câmera Sony Cyber Shot DSC W570 acoplada a uma lupa trinocular Quimis T3.15A, com ampliação de 4x no modo de macro fotografia (Fig. 01).

Tabela 1. Locais, área de coleta, número de indivíduos (N); média comprimentos (Lt), desvio padrão e amplitude dos comprimentos de *Mugil liza*. D = Dentro ; F = Fora

Local	D/F	N	Lt (cm)		
			Média	± SD	Amplitude
Estuários:					
Guarujá	D	21	49.88	± 2.76	46 - 60
Guarujá	F	14	54.10	± 3.01	46 - 61
Caraguátatuba	D	13	50.76	± 3.59	46 - 58
Ilhabela	F	20	52.95	± 3.18	47 - 58

Baías:

Ilha Grande	F	06	54.5	$\pm 4.71$	48 - 61
Sepetiba	D	13	48.30	$\pm 1.81$	46 - 51
Magé	D	10	57.1	$\pm 5.57$	49 - 69
Itaipú	F	24	52.65	$\pm 3.30$	48.5 - 61

Lagoas:

Maricá	D	24	52.20	$\pm 3.29$	47 - 60
Saquarema	F	04	51.37	$\pm 3.69$	46 - 55.5

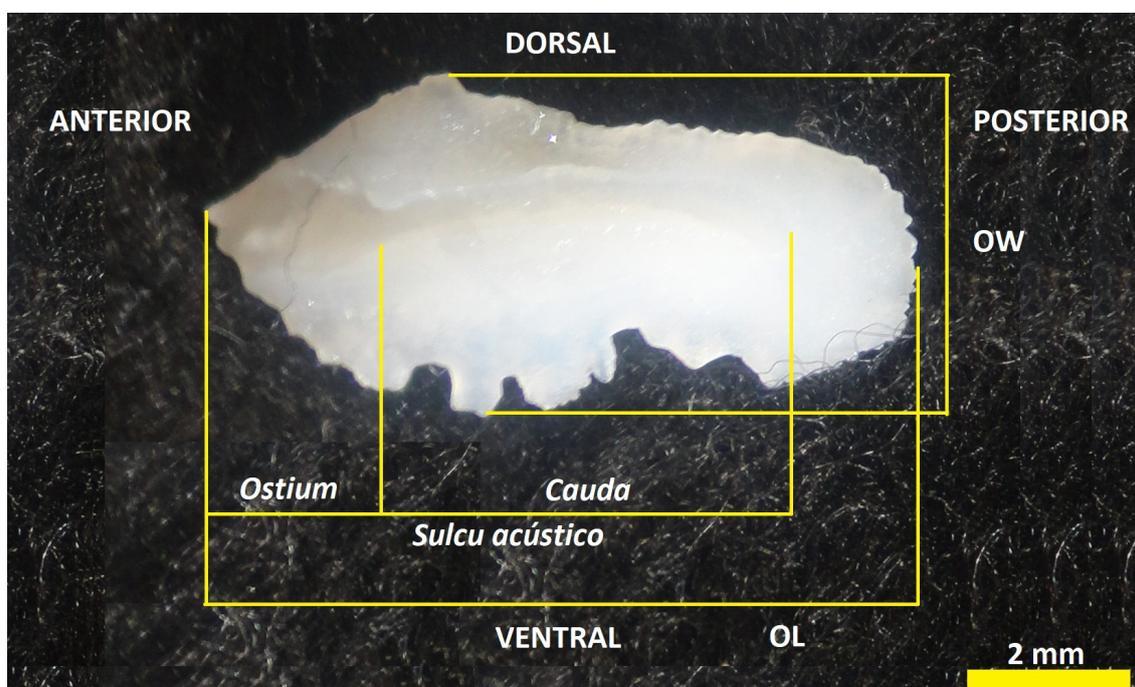


Figura 01.: Otólito direito de *M. liza*: OL: comprimento do otólito; OW: altura do otólito;

## 2.2 Índices morfométricos:

As imagens dos otólitos foram binarizadas para medir os seguintes parâmetros usando o programa ImageJ v. 1.50: comprimento otólito (OL, mm), largura do otólito (OW, mm), área do otólito (OA, mm<sup>2</sup>) e perímetro do otólito (OP, mm). Essas variáveis

permitiram o cálculo dos seguintes índices de morfométricos: fator de forma (FF), *roundness* (RO) e elipticidade (EL), conforme TUSET et al., (2003) (Tabela 2). O fator de forma é a razão inversa do quadrado do perímetro de um objeto ao quadrado do perímetro de um círculo da mesma superfície: quanto menor o fator de forma, mais irregular é o contorno do otólito. O *roundness* é a razão entre a área real e a área de um círculo com o mesmo diâmetro: quanto maior, mais a forma do otólito se aproxima a forma de um disco.

Tabela 2. Fórmulas usadas para calcular os índices morfométricos conforme TUSET et al., (2003):

<i>Índices morfométricos</i>	<i>Fórmula</i>
Elipticidade	$(OL-OH) / (OL+OH)$
Fator de forma	$(4\pi OA) / OP^2$
Roundness	$(4OA) / (\pi OL^2)$

OL - Comprimento otólito; OW - largura otólito; AO – Área otólito e OP – perímetro otólito;

### 2.3 Análise Fourier Eliptica:

A análise elíptica de Fourier permite delinear qualquer objeto com um contorno bidimensional fechado. Este método baseia-se nas decomposições ortogonais separadas de Fourier de uma curva em uma soma de elipses harmonicamente relacionadas (seno e cosseno) que podem ser combinadas para reconstruir um esboço fechado. Cada harmônica ou descritor é composto por quatro coeficientes elípticos de Fourier (a, b, c e d). Tais coeficientes foram obtidos usando o software Shape 1.3 (IWATA e UKAI, 2002). Segundo CRAMPTON (1995), o número de harmônicas necessárias para obter a melhor reconstrução do contorno do otólito foi estimado usando o espectro de potência

de Fourier. As 20 primeiras harmônicas alcançaram ~ 100% da explicação, de forma que, 80 coeficientes foram suficientes para descrever os esboços dos otólitos. Os coeficientes foram normalizados para serem invariáveis em relação ao tamanho, rotação e posição inicial do traço (FERSON et al., 1985). Esses processos utilizam parâmetros da primeira harmônica, resultando na degeneração dos primeiros três coeficientes ( $a, b$  e  $c \approx 0$ ) (CRAMPTON, 1995). Dessa forma, 77 coeficientes resumem o esboço dos otólitos usado neste estudo.

#### 2.4 Fator de Condição:

O fator de condição (K) foi calculado para relacionar as reservas energéticas corporais como *proxy* das condições ambientais locais (disponibilidade de alimento). Para tal utilizou-se a expressão:  $K = Wt/Lt^b$ . A relação peso-comprimento foi estimada através da equação potencial (LE CREN, 1951).  $Wt = a \times Lt^b$ , para os sexos grupados ( $Wt = 0.005 \times Lt^{3.104}$ ;  $r^2 = 0.93$ ), com o parâmetro  $b$  (slope) relacionado com a taxa de aumento do peso em função do comprimento, usado para calcular o fator de condição (K).

#### 2.5 Análise de dados:

O teste t-Student foi usado para testar possíveis diferenças entre os otólitos direito e esquerdo. Como nenhuma diferença significativa foi encontrada, foi adotado o otólito direito para todas as análises. Os índices morfométricos foram testados quanto à homogeneidade de variância através do teste de Levene, e normalidade pelo teste W de Shapiro-Wilk. Uma vez que a hipótese nula não foi rejeitada, a estatística paramétrica foi aplicada às análises.

Técnicas multivariadas foram usadas para determinar os padrões de forma do otólito a partir de uma matriz de dados dos componentes de Fourier. Para testar os grupos de morfotipos ao longo da área de estudo, foi empregada uma análise de agrupamento usando Distâncias Euclidianas. Em seguida, uma análise de componentes principais (PCA) foi usada nas primeiras 20 harmônicas da série Fourier para reduzir a dimensionalidade dos dados. Os scores dos componentes principais que responderam pela máxima variabilidade dos dados foram determinados.

A análise de variância (ANOVA – One-way) foi utilizada para explorar as diferenças individuais entre os locais em relação aos índices morfométricos. Quando encontradas diferenças significativas ( $p < 0.05$ ), o teste *post-hoc* Tukey foi aplicado.

O efeito do comprimento do peixe nos índices morfométricos, foi determinado pela Análise de Covariância (ANCOVA). As variáveis que apresentaram correlação significativa com o comprimento do peixe foram corrigidas pelo coeficiente angular ( $b$ ) entre os grupos conforme LLEONART et al., (2000):

$$Y_i^* = Y_i \left( X_0 / X_i \right)^b,$$

onde,  $Y_i$  é a  $i$  – ésima observação da variável morfométrica  $Y$ ;  $X_0$  é comprimento total médio;  $X_i$  é o comprimento total do indivíduo  $i$ ; e  $b$  é o coeficiente angular comum dentre os grupos.

A Análise de Função Discriminante Linear foi utilizada para visualizar diferenças espaciais e examinar o sucesso da precisão da reclassificação dos peixes para sua localização original.

Todas as análises estatísticas foram realizadas nos softwares STATISTICA 7 e PAST versão 3.03. Os resultados são apresentados como média  $\pm$  desvio padrão (sd). O nível de significância ( $\alpha$ ) de 0,05 foi utilizado para todos os procedimentos estatísticos.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Análise de contorno:

A análise de Fourier Elíptica considerou 15 componentes principais significativos, tendo 86,69% da variação explicada pelos primeiros 11 componentes principais (Fig. 2).

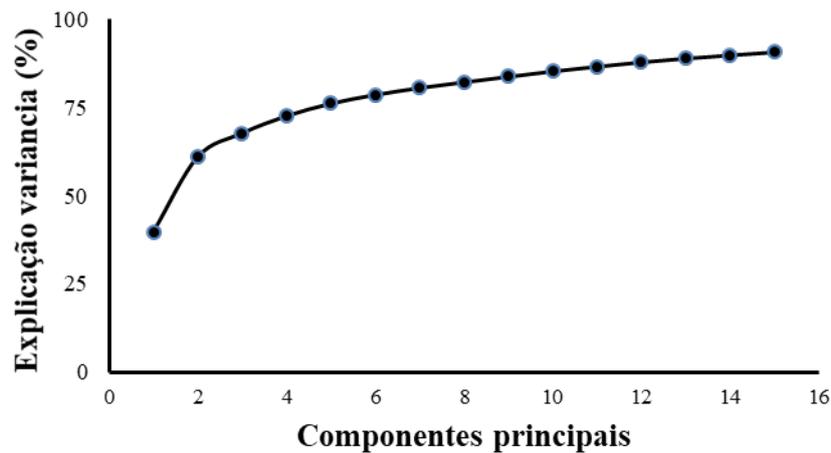


Fig. 2. Representação gráfica do percentual cumulativo da explicação da variação indicada pelos 11 primeiros componentes principais.

A variação na forma dos otólitos ( $\text{media} \pm 2\text{s.d}$ ) apresentada pelos componentes principais identificou diferenças nas regiões ventral, dorsal, anterior e formato da cauda, possibilitando a definição de três morfotipos de otólitos, sendo um mais fusiforme, outro mais elíptico e por fim um mais largo (Fig. 3).

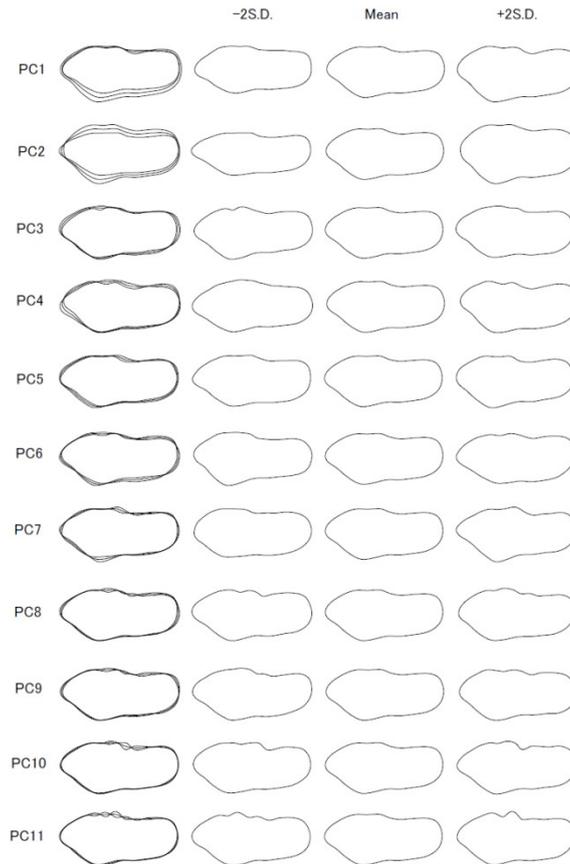


Fig.3. Variação na forma dos otólitos (média  $\pm$  s.d) de *M. liza* explicada por cada componente principal.

Os componentes principais produziram uma ampla variação individual na forma dos otólitos. Todavia, três morfotipos foram estabelecidos pela análise de agrupamento a partir da amplitude das 20 primeiras harmônicas quando analisadas até 50% da máxima distância euclidiana (Fig. 4). O morfotipo I apresentou formato ovalado, com a região anterior arredondada, cauda dentada e irregular. O morfotipo II apresentou formato fusiforme, com a região anterior pontiaguda, porção anterior da cauda pouco crenada e a porção posterior suavemente sinuosa. O morfotipo III apresentou formato elíptico, com a região anterior angulada, cauda pouco dentada, região posterior arredondada e levemente irregular (Fig.5).

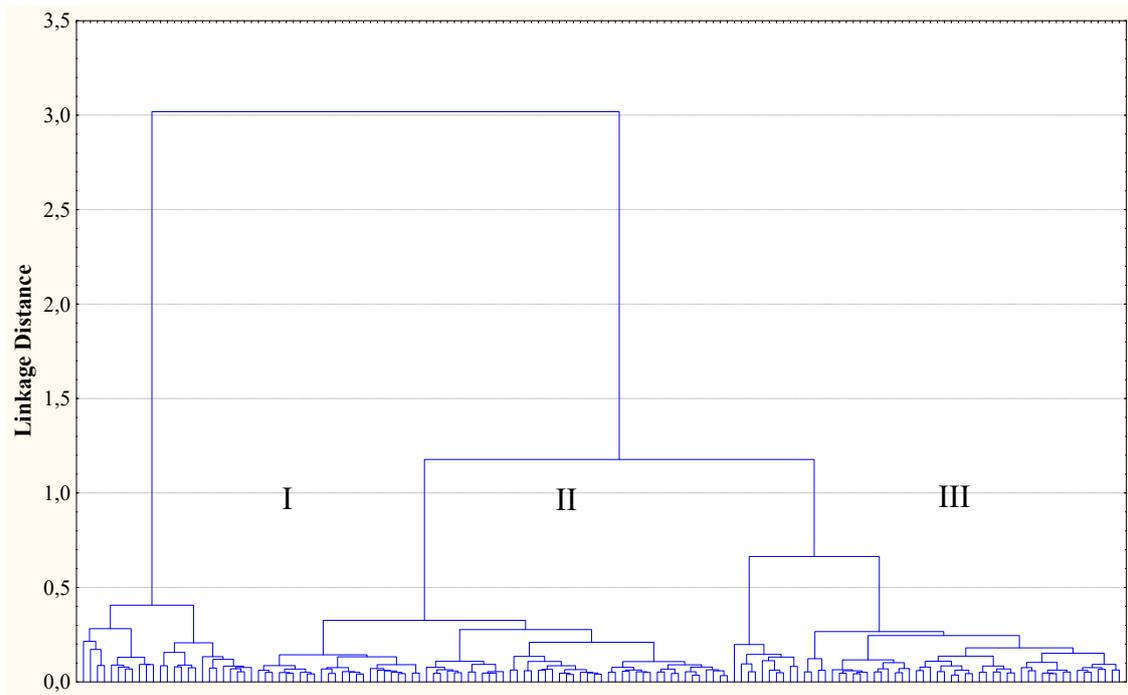


Fig.4. Dendograma baseado nas distancias euclidianas das amplitudes das 20 primeiras harmônicas.

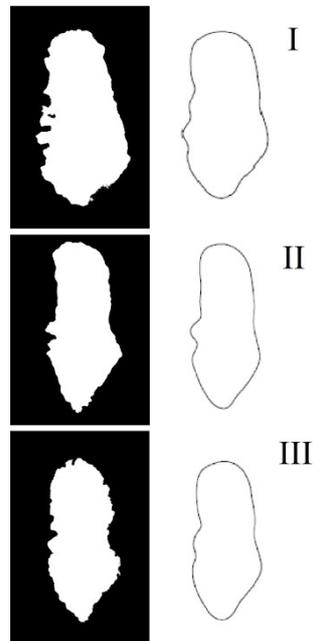


Fig. 5. Morfotipos de otólitos de *M. liza* estabelecidos pela análise de agrupamento a partir da amplitude das 20 primeiras harmônicas.

O gráfico dos componentes principais PC1 x PC2 apresentou claramente a separação dos 03 morfotipos obtidos pela análise de agrupamento. O primeiro eixo

(PC1) separou os morfotipos II e III do morfotipo I, e o segundo eixo (PC2) separou o morfotipo II do morfotipo III (Fig. 6-A). Por outro lado, quando ordenado por regiões, sexo e local de captura, nenhum padrão foi observado (Fig. 6-B;C;D). O fator de condição (K) não apresentou diferenças significativas ( $p < 0.05$ ) entre os morfotipos (Fig.7).

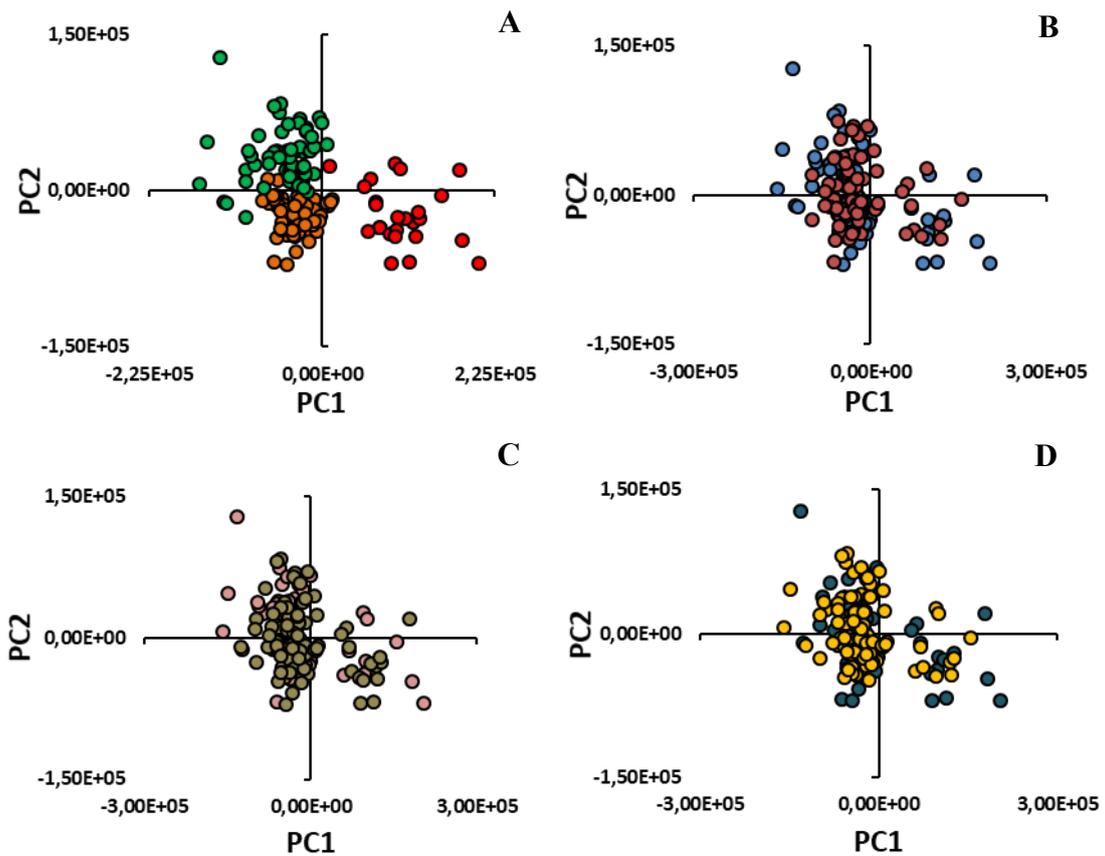


Fig.6. Gráfico de ordenação componentes principais PC1 x PC2 – A: Morfotipos: ● - I; ● - II; ● - III; B: Regiões: ● - 1 (Guarujá, Caraguatatuba, Ilhabela, Ilha Grande); ● 2 (Sepetiba, Magé, Itaipú, Maricá, Saquarema); C: Sexos: ● - Fêmeas; ● - Machos; D: Área de coleta: ● - Dentro; ● - Fora;

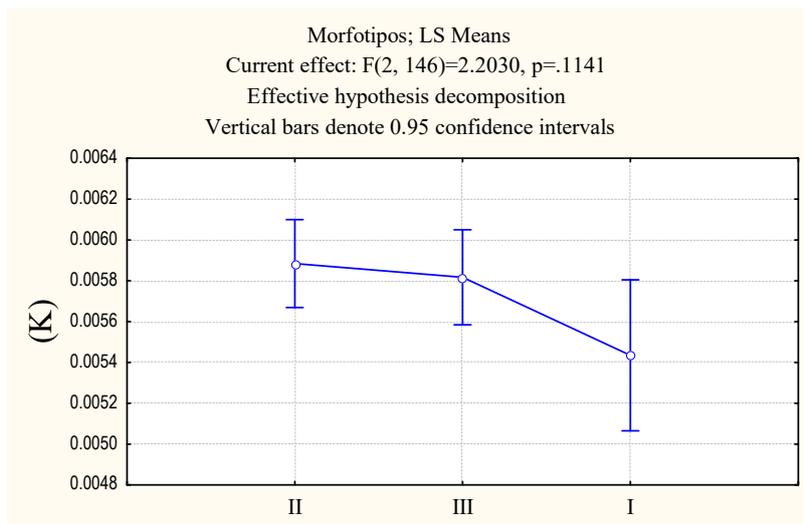


Figura 7: Variação do fator de condição entre morfotipos de *Mugil Liza*.

### 3.2 Índices morfométricos:

A análise de covariância (ANCOVA) indicou que os índices morfométricos de área, perímetro, *roundness* apresentaram correlação com o comprimento do peixe ( $p > 0.05$ ) e consequentemente foram corrigidos usando os respectivos coeficientes angulares (Tabela 3).

Tabela 3. Índices morfométricos do otólito e suas correlações com o comprimento total de *M. liza*. – n.s = não significativo.

<i>Índice</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>b</i>
Área	387,3	0.000	1,265
Elipticidade	0,983	n.s	-
Fator de forma	3,131	n.s	-
Perímetro	126,6	0.000	0,684
Roundness	108,6	0.000	1,449

Conforme a análise de componentes principais, os índices morfométricos área, elipticidade, fator de forma, perímetro e *roundness* não covariaram entre si ( $p>0.70$ ) (Fig.8).

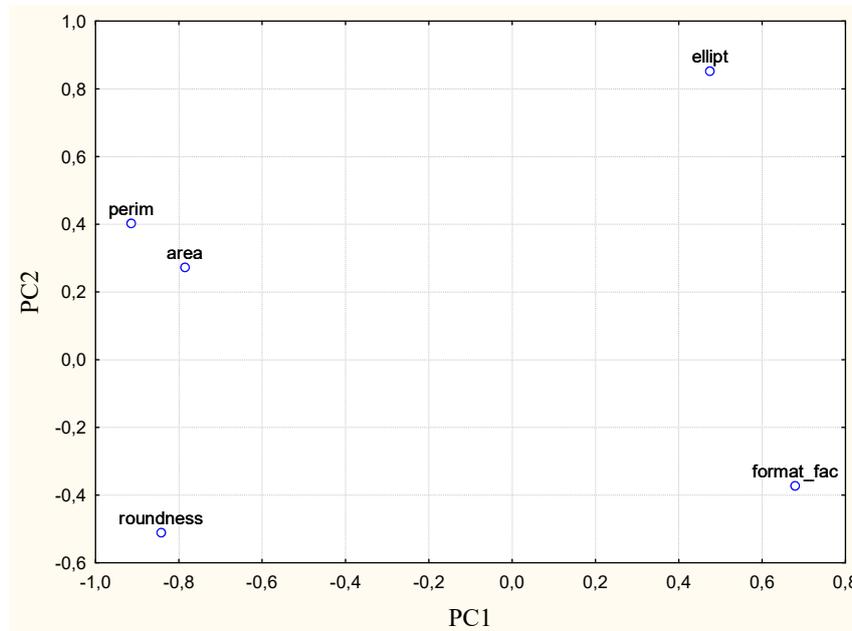


Figura.8. Diagrama de dispersão dos eixos PC1 x PC2 da análise componentes principais sobre os índices morfométricos.

A análise de agrupamento, quando analisadas até o nível 1 distância euclidiana, revelou uma ampla variação nos índices morfométricos, indicando a presença de sete grupos distintos (Fig. 9). As diferenças significativas nos índices (ANOVA) entre os grupos ( $p<0.05$ ) e o teste *post-hoc* são apresentados na tabela 4.

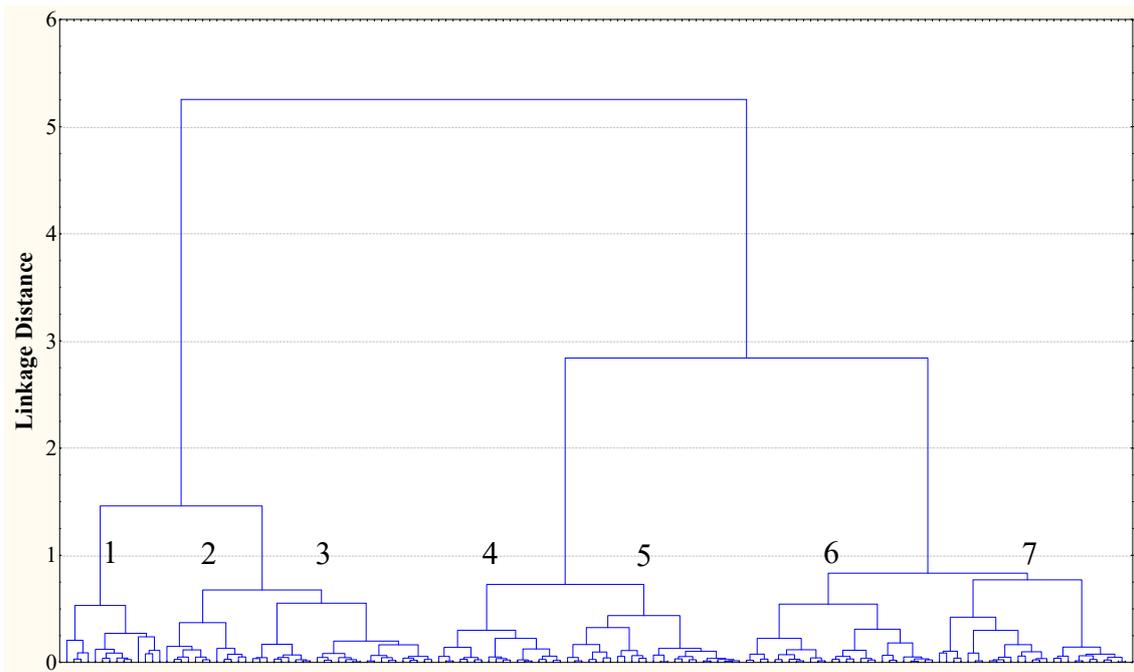


Fig.9. Grupos formados pela análise de agrupamento baseado nas variações dos índices morfométricos.

Tabela 4. Análise de variância (ANOVA) para comparação dos índices morfométricos dos otólitos de *M. liza*. entre os grupos formados pela análise de agrupamento e resultados do teste *post-hoc* para comparações entre os grupos

<i>Índice</i>	<i>F</i>	<i>Post hoc</i>
Área	33.826**	6;1;7 > 2;5;3;4
Perímetro	42.580**	6;1 > 5;2;7;4;3
Roundness	167.68**	1;2;6 > 7;3;5 > 4
Fator de forma	17.445**	3;7;4 > 2 > 5;6;1
Elipticidade	52.204**	6;4;7;5 > 3;2;1

\*\* -  $p < 0.001$

O gráfico de ordenação da análise de componentes principais indicou uma separação espacial, definindo duas regiões distintas: Região 1 (Guarujá, Caraguatatuba, Ilhabela e Ilha Grande) e a Região 2 (Sepetiba, Magé, Itaipu, Maricá e Saquarema) (Fig. 10-A). A distribuição dos indivíduos no gráfico de ordenação apresentou três zonas definidas sendo uma predominantemente composta por indivíduos da Região 1, caracterizada por maiores valores de roundness, perímetro e área, uma zona mista com a sobreposição entre indivíduos das duas regiões, e uma terceira, composta por indivíduos pertencentes à Região 2 e caracterizada por maiores valores de elipticidade e fator de forma (Fig. 10-B). A análise discriminante (LDA) classificou a separação entre as Regiões 1 e 2, conforme tabela de classificação (Tabela 5). O fator de condição (K) apresentou diferenças significativas entre as regiões ( $p < 0.05$ ), tendo a Região 1 apresentado maiores valores (Fig. 11).

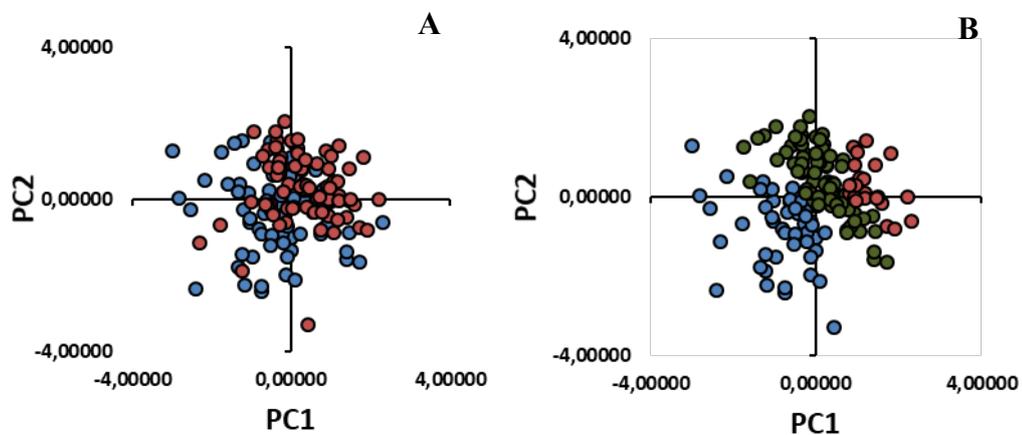


Fig.10. Gráfico de ordenação dos componentes principais PC1 x PC2 dos índices morfométricos. A: Regiões: ● - Região 1 (Guarujá, Caraguatatuba, Ilhabela, Ilha Grande); ● Região 2 (Sepetiba, Magé, Itaipú, Maricá, Saquarema); B: ● Região 1; ● Zona mista; ● Região 2.

Tabela 5. Tabela de classificação em regiões baseados nos índices morfométricos de *M. liza*.

Regiões	1	2	Total	Classificação %
1	48	26	74	0.6486
2	14	61	75	0.8133
Total	62	87	149	

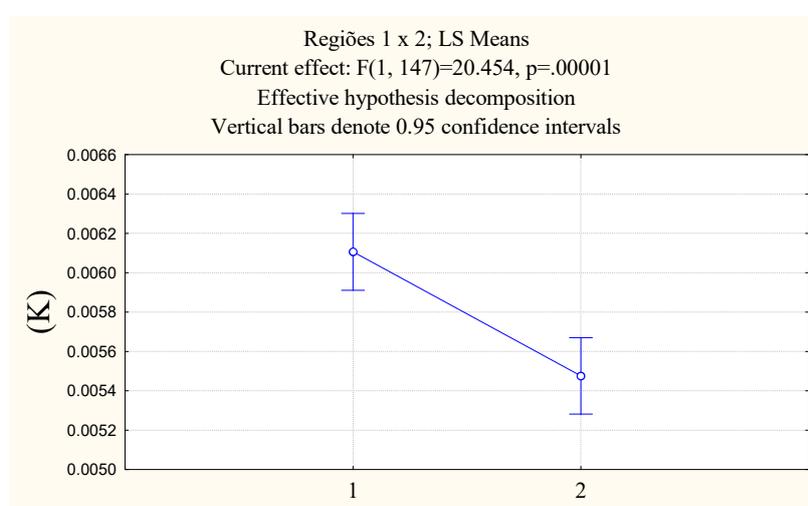


Fig. 11 – Variação do fator de condição (K) entre as Regiões 1 e 2 de *Mugil Liza*.

### 3.3 Análise de contorno Região 1:

Quando considerada apenas a Região 1, a análise de agrupamento revelou a presença dos 3 morfotipos nesta região (Fig. 12). O gráfico dos componentes principais PC1 x PC2 apresentou a separação dos 03 morfotipos onde o primeiro eixo (PC1) separou os morfotipos II e III e o segundo eixo (PC2) separou o morfotipo I (Fig. 13-A). Todavia, quando ordenada pelo local de captura, a distribuição dos morfotipos revelou uma sobreposição entre as áreas (Fig.13-B).

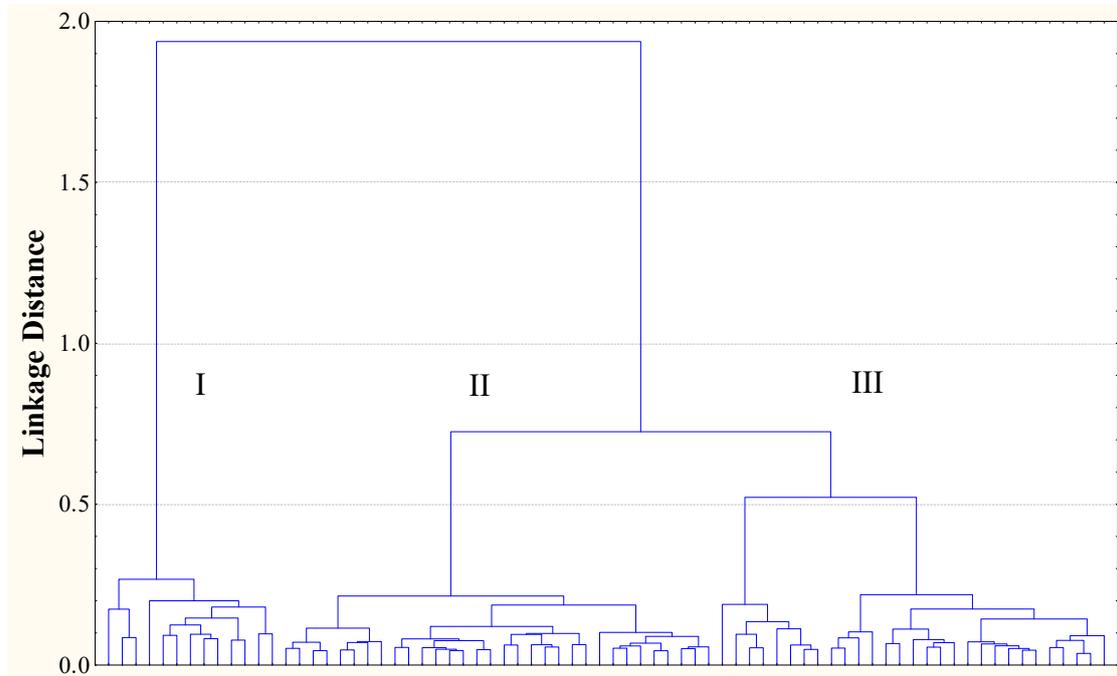


Fig.12. Dendrograma baseado nas distancias euclidianas das amplitudes das 20 primeiras harmônicas para Região 1.

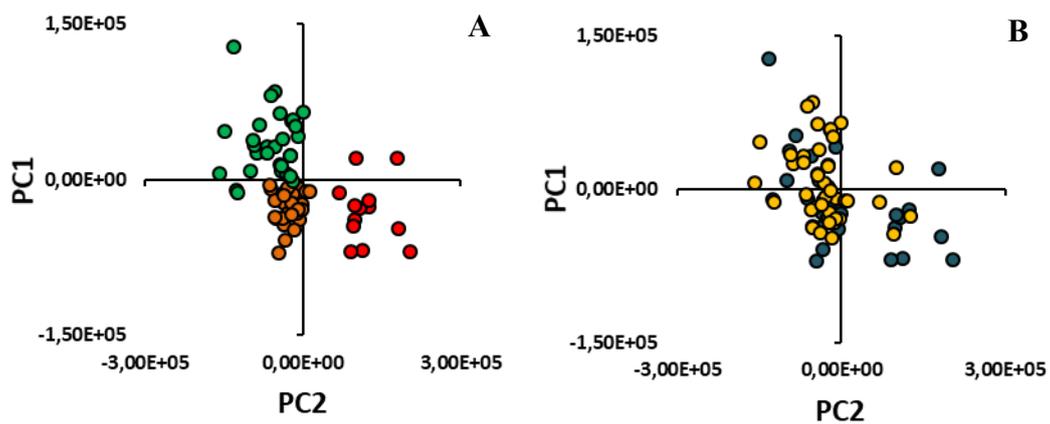


Fig.13. Gráfico de ordenação componentes principais PC1 x PC2 para Região 1– A: Morfotipos: ● - I; ● - II; ● - III; B: Área de coleta: ● - Dentro; ● - Fora;

### 3.4 Índices morfométricos Região 1:

Quando considerada a análise de componentes principais apenas da Região 1, os índices morfométricos área, elipticidade, fator de forma, perímetro e roundness não covariaram entre si ( $p>0.70$ ) (Fig. 14).

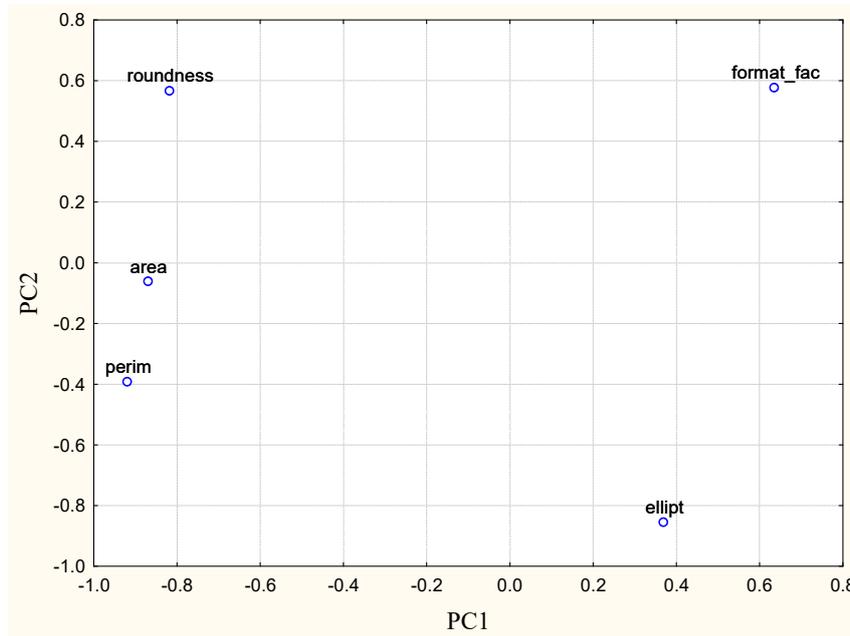


Figura. 14. Scatterplot PC1 x PC2 da análise componentes principais dos índices morfométricos na Região 1.

A análise de agrupamento revelou uma ampla variação nos índices morfométricos na Região 1, indicando a presença de seis grupos distintos (Fig. 15). As diferenças significativas nos índices (ANOVA) entre os grupos ( $p<0.05$ ) e o teste *post-hoc* são apresentados na tabela 6.

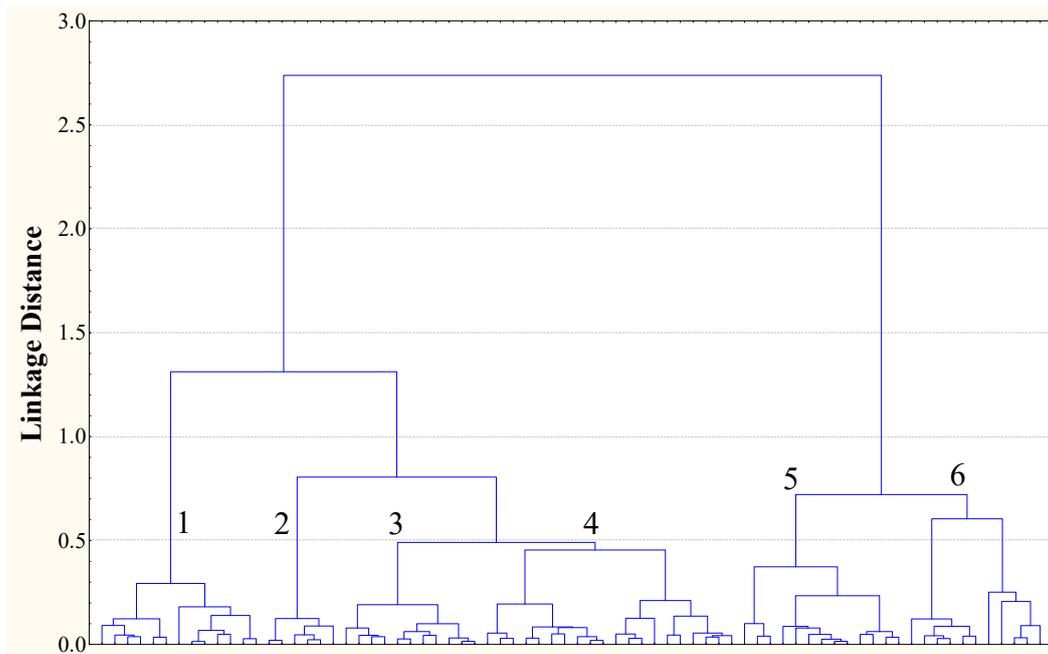


Fig.15. Dendrograma baseado nas variações dos índices morfométricos na Região 1.

Tabela 6. Análise de variância (ANOVA) e *post-hoc* dos índices morfométricos dos otólitos de *M. Liza* na Região 1.

<i>Índice</i>	<i>F</i>	<i>Post hoc</i>
Área	50.781**	4;2 > 3;6;5 > 1
Perímetro	52.169**	4 > 2;5;3;6 > 1
Roundness	70.987**	4;3 > 2;6 > 5;1
Fator de forma	9.5770**	1;3;6;2;5;4;
Elipticidade	16.358**	5;1;2;6;4;3;

\*\* -  $p < 0.001$

O gráfico de ordenação dos componentes principais por local de captura não apresentou um padrão de separação dos índices de morfométricos na distribuição dos indivíduos (Fig. 16).

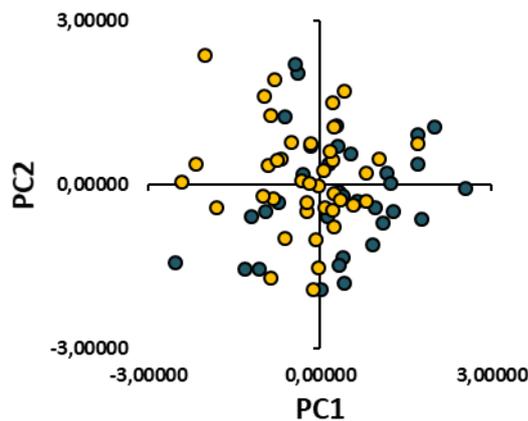


Fig.16. Gráfico de ordenação dos componentes principais PC1 x PC2 dos índices morfométricos da Região 1 por área de coleta: ● - Dentro; ●- Fora;

### 3.5 *Análise de contorno Região 2:*

Quando considerada apenas a Região 2, a análise de agrupamento revelou a presença dos 3 morfotipos nesta região (Fig. 17). O gráfico dos componentes principais PC1 x PC2 apresentou a separação dos 03 morfotipos onde o primeiro eixo (PC1) separou os morfotipos II e III e o segundo eixo (PC2) separou o morfotipo I (Fig. 18-A). Todavia, quando ordenada por local de captura, a distribuição dos morfotipos revelou uma sobreposição entre as áreas (Fig. 18-B).

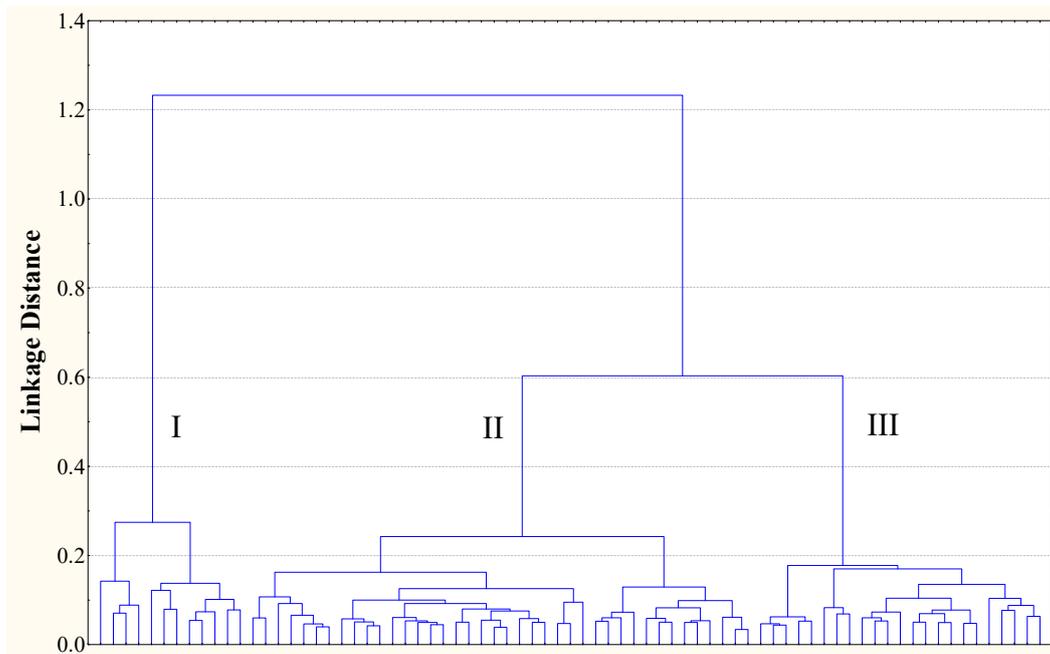


Fig.17. Dendrograma baseado nas distancias euclidianas das amplitudes das 20 primeiras harmônicas para Região 2.

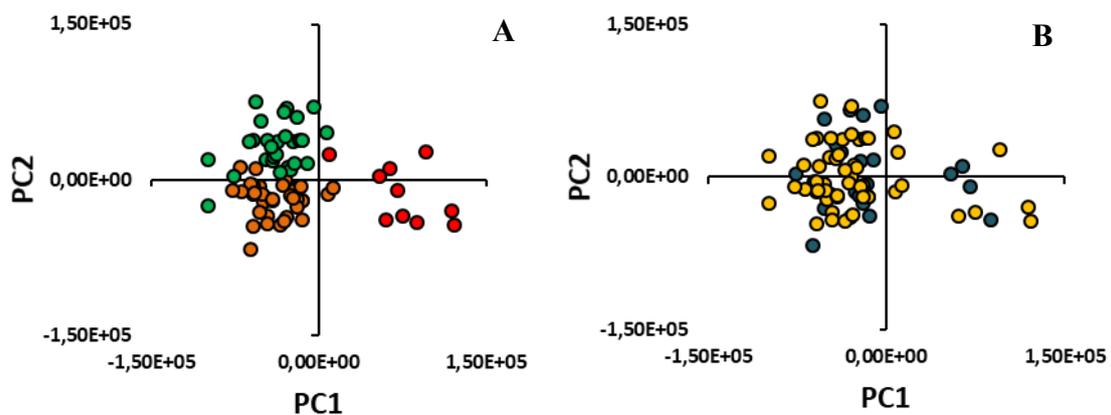


Fig.18. Gráfico de ordenação componentes principais PC1 x PC2 para Região 2– A: Morfotipos: ● - I; ● - II; ● - III; B: Área de coleta: ● - Dentro; ● - Fora;

### 3.6 Índices morfométricos Região 2:

Quando considerada a análise de componentes principais apenas da Região 2, os índices morfométricos área, elipticidade, fator de forma, perímetro e roundness não covariaram entre si ( $p > 0.70$ ) Fig.(19).

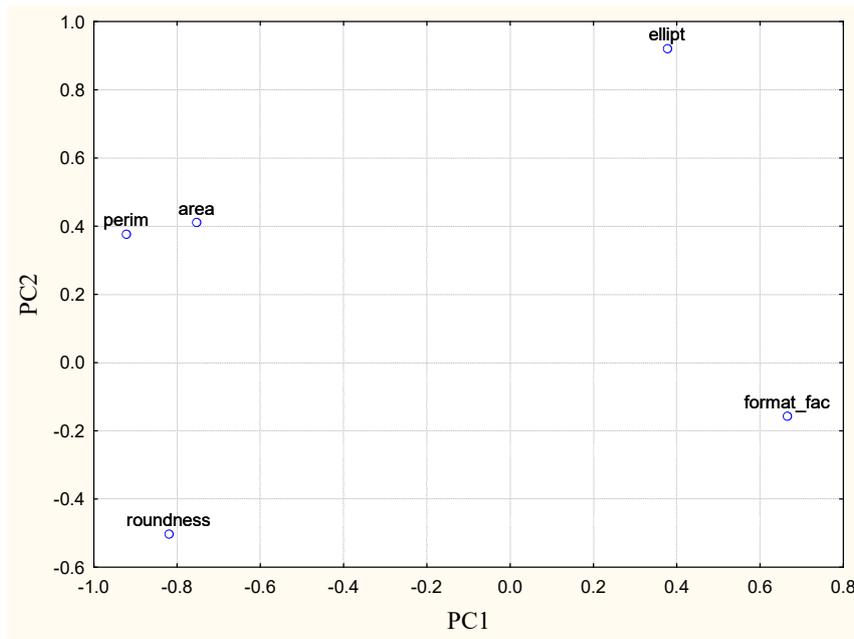


Figura.19. Scatterplot PC1 x PC2 da análise componentes principais dos índices morfométricos na Região 2.

A análise de agrupamento revelou uma ampla variação nos índices morfométricos na Região 2, indicando a presença de três grupos distintos Fig. (20). As diferenças significativas nos índices (ANOVA) entre os grupos ( $p < 0.05$ ) e o teste *post-hoc* são apresentados na tabela 7.

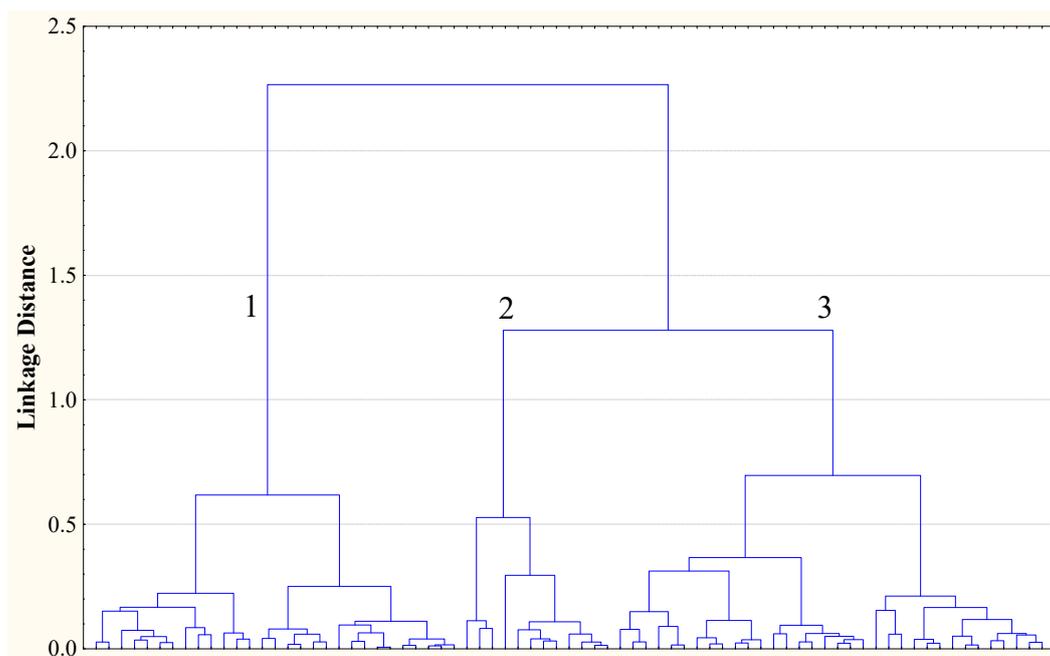


Fig.20. Dendrograma baseado nas variações dos índices morfométricos na Região 2.

Tabela 7. Análise de variância (ANOVA) e *post-hoc* dos índices morfométricos dos otólitos de *M. liza* na Região 2.

<i>Índice</i>	<i>F</i>	<i>Post hoc</i>
Área	31.259**	3;2 > 1
Perímetro	51.534**	3;2 > 1
Roundness	77.095**	2 > 3 > 1
Fator de forma	11.906**	1 > 3;2
Elipticidade	41.275**	3;1 > 2

\*\* -  $p < 0.001$

O gráfico de ordenação dos componentes principais por área de coleta não apresentou um padrão de separação dos índices morfométricos na distribuição dos indivíduos Fig. (21).

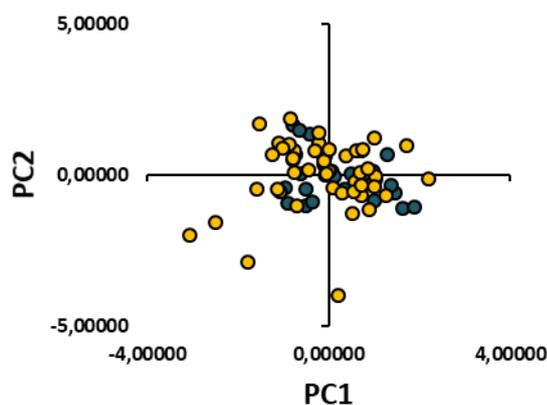


Fig.21. Gráfico de ordenação dos componentes principais PC1 x PC2 dos índices morfométricos da Região 2 por área de coleta: ● - Dentro; ● - Fora;

#### 4. DISCUSSÃO

A análise de Fourier Elíptica permitiu detectar três morfotipos para os otólitos *sagittae* de *M. liza*, distribuídos e sobrepostos ao longo de toda área de estudo entre Guarujá-SP e Saquarema-RJ. Variações na forma do otólito podem ser influenciadas por fatores genéticos (estoques) ou ambientais (ex.: temperatura e disponibilidade de alimentos) (CAMPANA e CASSELMAN, 1993; CADRIN e FRIEDLAND, 1999; CARDINALE et al., 2004; VIGNON e MORAT, 2010, SANTOS et al., 2017; DUNCAN et al. 2018; ADELIR-ALVES et al., 2019), que fornecem uma base fenotípica para separação de populações/estoques, uma vez que a forma pode variar geograficamente refletindo um efeito combinado de variação genética e fatores ambientais locais (TUDELA, 1999; CARDINALE et al., 2004; VIGNON e MORAT, 2010). No presente estudo, a variação nos morfotipos não apresentou um padrão de separação geográfico ou clinal na sua distribuição. Outros estudos identificaram diferentes morfotipos e não observaram padrões geográficos de separação, como é o caso de DUARTE-NETO et al. (2008) para *Coryphaena hippurus* Linnaeus 1758, na costa do nordeste do Brasil e SANTOS et al. (2017), para *Micropogonias furnieri* (Desmarest, 1823) na costa sudoeste do oceano Atlântico. Estes autores reportaram que a variação observada nos morfotipos pode ser atribuída à seleção de balanço temporal. Segundo GAULDIE e CRAMPTON (2002), neste tipo de seleção, um morfotipo é mantido em um ano, outro no próximo ano, e o primeiro novamente no ano seguinte, e assim por diante, seguindo este padrão. Conseqüentemente, em qualquer um dos períodos, se a seleção de um único morfotipo não for absoluta, ocorre um polimorfismo persistente, podendo ser encontrado ambos os morfotipos em uma amostra de um organismo. Portanto, o polimorfismo dos morfotipos de *Mugil liza* e a sobreposição na

sua distribuição sugerem a área de estudos como uma zona mista para ocorrência de diferentes populações/estoques. Todavia, estudos complementares utilizando outras abordagens (ex. genética, microquímica de otólitos) são necessários para elucidar se os diferentes morfotipos identificados refletem diferentes populações/estoques de *Mugil liza*.

MAI et al., (2014) utilizando microssatélites de DNA, identificaram 2 grupos populacionais de *M. liza* entre a costa sudeste do Brasil e Argentina, sendo um grupo formado por indivíduos de Niterói (RJ) e o outro grupo formado por indivíduos de Ubatuba (SP) até Lavalle (Argentina). Além disso, HERAS et al., (2016), através da análise de DNA mitocondrial reportaram 2 grupos populacionais para a espécie, sendo primeiro grupo formado por indivíduos de Cuba até o Rio de Janeiro e o segundo formado por indivíduos do Rio Grande do Sul até Viedma (Argentina). Todavia, apesar da ausência de padrões geográficos na sua distribuição, a presença dos três morfotipos reforça a hipótese da existência de um grupo geneticamente heterogêneo de indivíduos ao longo da área de estudo.

O uso de índices morfométricos associados a análise de Fourier Elíptica para descrever a forma dos otólitos têm sido considerados ferramentas importantes para discriminação de estoques de várias espécies (CAMPANA e CASSELMAN, 1993; BEGG e BROWN, 2000; BEGG et al., 2005; MÉRIGOT et al., 2007; FERGUSSON et al., 2011; LEGUA et al., 2013; SANTOS et al., 2017; DUNCAN et al., 2018; ADELIR-ALVES et al., 2019). No presente estudo, as análises dos índices morfométricos dos otólitos de *M. liza* permitiram identificar dois grupos, sendo o primeiro composto por indivíduos de Guarujá-SP até Ilha Grande-RJ (Região 1), e o segundo composto por indivíduos de Sepetiba-RJ até Saquarema-RJ (Região 2). Otólitos dos indivíduos capturados na Região 1 possuem maior perímetro e roundness, enquanto otólitos da

Região 2 apresentam maior elipticidade e fator de forma. Além disso, o fator de condição revelou diferenças significativas entre as regiões, com os maiores valores apresentados pela Região 1. Embora diferenças genéticas influenciem a forma do contorno do otólito, condições ambientais locais como disponibilidade de alimento, profundidade, temperatura da água e tipo de substrato influenciam na condição dos indivíduos (CARDINALE et al., 2004; MÉRIGOT et al., 2007; VIGNON e MORAT 2010), alterando as taxas de crescimento somático e conseqüentemente do otólito, afetando sua forma (CAMPANA e CASSELMAN, 1993; FERGUSON et al., 2011; LEE et al., 2018). Tais diferenças foram reportadas para *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758) (CARDINALE et al., 2004) no banco de Faroe e platô de Faroe, *Paralichthys olivaceus* (Temminick & Schlegel, 1846) (KATAYAMA e ISSHIKI, 2007) na baía de Sagami, *Solea solea* (Linnaeus, 1758) (MÉRIGOT et al., 2007) no noroeste do Mar Mediterrâneo, *Lutjanus kasmira* (Forsskal, 1775) (VIGNON e MORAT, 2010) na Polinésia Francesa, *Coryphaena hippurus* (DUARTE-NETO et al., 2008) na costa do nordeste do Brasil e para *Micropogonias furnieri* (SANTOS et al. 2017) na costa sudoeste do Oceano Atlântico. Portanto, as diferentes condições ambientais (ex.: disponibilidade de alimento e temperatura da água), expressas principalmente pela condição dos indivíduos, seriam os principais fatores responsáveis pelas diferenças reveladas pelos índices morfométricos na forma dos otólitos de *M. liza* entre as regiões. Todavia, não permitem corroborar a hipótese da existência de diferentes grupos populacionais ao longo da área de estudo, uma vez que segundo CARDILALE et al., (2004), indivíduos pertencentes a diferentes estoques que cresceram em ambientes com condições de temperatura e disponibilidade de alimento similares apresentaram características morfométricas similares, enquanto indivíduos de estoques similares que

cresceram em ambientes diferentes apresentaram diferenças significativas quanto aos índices morfométricos e descritores de Fourier.

A análise discriminante indicou uma clara distinção entre as regiões 1 e 2 a partir da correta classificação dos otólitos de *Mugil liza*, tendo o melhor percentual de classificação alcançado (81.33%) para região 2. FRIEDLAND e REDDIN, (1994) consideram aceitáveis percentuais de correta classificação maiores que 75%. O percentual de classificação obtido no presente estudo é comparável a outros estudos que utilizaram a mesma análise para outras espécies de peixes marinhos incluindo *Clupea harengus* (Linnaeus,1758) (BURKE et al., 2008), *Trachurus trachurus* (Linnaeus,1758) (STRANSKY et al., 2008), *Gadus morhua* (CAMPANA e CASSELMAN, 1993), *Serranus cabrilla* (Linnaeus,1758) (TUSET et al., 2003). Portanto, a variabilidade nos índices morfométricos dos otólitos de *Mugil liza* pode ser considerada uma boa ferramenta para separação de grupos populacionais da espécie. Todavia, algumas diferenças foram observadas entre as regiões como maiores valores de roundness, perímetro e área para a região 1 e maiores valores de elipticidade e fator de forma para região 2. Ademais, o percentual de classificação alcançado para região 1 (64.86%) reflete uma maior taxa de incorreta classificação para esta região. Os percentuais de incorreta classificação para cada região podem ser explicados pela proximidade ou distancia entre os locais (KHEMIRIET al., 2017) ou ainda podem ser relacionados a imprecisões metodológicas, variabilidade individual e migrações (CAMPANA e CASSELMAN, 1993). Dessa forma, a partir dos percentuais de classificação das regiões, é razoável hipotetizar uma tendência de maior deslocamento dos indivíduos da região 2 em direção a região 1, dada a proximidade entre as regiões, ausência de barreiras biogeográficas e influencia de condições oceanográficas como as Correntes do Brasil e Malvinas.

Embora o uso de índices morfométricos de otólitos seja considerado uma importante ferramenta para discriminação de estoques (CAMPANA e CASSELMAN, 1993; BEGG e BROWN, 2000; MÉRIGOT et al., 2007; LEGUA et al., 2013; SANTOS et al., 2017; DUNCAN et al. 2018; ADELIR-ALVES et al., 2019), alguns efeitos que podem gerar ruídos nas análises tem que ser considerados. Os índices morfométricos podem ser correlacionados com o crescimento do peixe que, mesmo em pequena numa escala, pode gerar impactos significantes na variabilidade individual da forma do otólito. Dessa forma é necessário remover o efeito do comprimento do peixe ajustando o coeficiente angular ( $b$ ). No presente estudo, os índices morfométricos de área, perímetro, roundness apresentaram correlação com o comprimento do peixe e foram ajustados quanto ao coeficiente angular ( $b$ ) comum. Além disso, para evitar a influencia dos efeitos ontogenéticos na forma no otólito, foram utilizados apenas indivíduos adultos uma vez que as últimas mudanças no contorno no otólito ocorrem quando o peixe alcança a maturação sexual (SANTOS et al., 2017; CAMPANA e CASSELMAN, 1993). Neste comprimento o metabolismo muda marcadamente, influenciando o crescimento do individuo e consequentemente a morfologia do otólito (TUSET et al., 2003b). Portanto, as variações na forma dos otólitos observadas no presente estudo são independentes dos efeitos do comprimento e variações ontogenéticas dos indivíduos.

Os fatores influenciando a forma do otólito não foram diretamente testados no presente estudo e de forma geral, não são totalmente compreendidos. Diversos estudos têm analisado a relativa importância dos efeitos genéticos e ambientais forma do otólito, principalmente no contexto da discriminação de estoques. Todavia, um número limitado de estudos tem diretamente investigado estas determinantes da forma. GAULDIE e NELSON (1990) reportaram que peixes que apresentaram crescimento mais acelerado produziram cristais de carbonato de cálcio mais longos e finos quando comparados aos

menores e compactos produzidos por peixes de crescimento mais lento, o que pode influenciar de forma geral o desenvolvimento da forma do otólito. GAGLIANO e MCCORMACK, (2004) relataram que a forma do otólito de peixes tropicais foi influenciada pela disponibilidade de alimento. Eles demonstraram que as diferenças na forma podem não ser atribuídas a diferenças do tamanho dos indivíduos e sugeriram que a forma pode refletir a condição dos mesmos. Outros estudos têm documentado a associação entre diferenças na forma do otólito e taxas de crescimento somático (CAMPANA e CASSELMAN, 1993; BEGG e BROWN, 2000; SIMONEAU et al., 2000; CARDILALE et al., 2004), destacando como fatores ambientais como temperatura e disponibilidade de alimentos podem produzir variações na forma do otólito, mesmo na ausência de diferenças genéticas. Porém, para algumas espécies, o percentual de correta classificação obtido aumenta com a inclusão de análises genéticas ou separação geográfica exibida pelos grupos de estudos (CASTONGUAY et al., 1991; FRIEDLAND e REDDIN, 1994), indicando que a variação na forma pode ser determinada geneticamente até certo ponto. TURAN, (2000) observou uma relação direta entre divergência fenotípica e separação geográfica de *Clupea harengus* no nordeste do Oceano Atlântico usando medidas merísticas e dos otólitos. Por fim, diferenças substanciais na forma dos otólitos também foram observadas entre grupos de peixes com distribuição geográfica próxima (GALLEY et al., 2006; POTHIN et al., 2006) e para estoques que não apresentaram separação genética (DEVRIES et al., 2002).

Em conclusão, a ausência de um padrão de separação nos morfotipos provavelmente está associada à sobreposição de indivíduos de diferentes populações/estoques ao longo da área de estudo. Os três diferentes morfotipos não parecem estar sujeitos a uma variação clinal, sugerindo a área de estudo como uma área

de transição. Portanto, é provável que exista uma mistura de diferentes populações/estoques ao longo da área de estudo devido à variabilidade presente no Atlântico Sudoeste, principalmente quanto a influências das Correntes do Brasil e das Malvinas e a Convergência Subtropical. Todavia, os índices morfométricos revelaram um padrão de separação geográfico em 2 regiões, provavelmente associado a diferenças ambientais locais (ex.: disponibilidade de alimento e temperatura da água). Dessa forma, a determinação da existência de diferentes populações/estoques de *Mugil liza* na costa sudoeste do Atlântico ainda não parece claramente explicada. Neste sentido, uma abordagem holística se mostra uma possível alternativa para definição de populações/estoques, uma vez que envolve a combinação de um amplo espectro de técnicas complementares (ex.: parâmetros de história de vida, marcação para captura e recaptura, perfil de ácidos graxos, parasitas como marcadores biológicos, análises genéticas e composição elementar de otólitos) (BEGG e WALDMAN, 1999) para investigar a identificação e delimitação de subunidades populacionais ou estoques (ELLIOTT et al., 1995; CADRIN et al., 2005; WALDMAN, 2005; WAPLES et al., 2008).

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

ALBIERI, R.J., ARAÚJO, F.G., 2010. Reproductive biology of the mullet *Mugil liza* (Teleostei: mugilidae) in a tropical Brazilian bay. *Zool* (Curitiba, Impr.) 27, 331–340.  
[http://dx. doi.org/10.1590/S1984-46702010000300003](http://dx.doi.org/10.1590/S1984-46702010000300003)

BARKER, D, ALLAN GL, ROWLAND SJ, PICKLES JM (2009) A Guide to acceptable procedures and practices for aquaculture and fisheries research, 3rd edn. Nelson Bay, Australia

BEGG, G.A., BROWN, R.W., 2000. Stock identification of haddock *Melanogrammus aeglefinus* on the Georges Bank based on otolith shape analysis. *Trans. Am. Fish. Soc.* 129, 935–945.

BROPHY, D., HAYNES, P., ARRIZABALAGA, H., FRAILE, I., FROMENTIN, J. M., GARIBALDI, F., KATAVIC, I., TINTI, F., SAADET KARAKULAK, F., MACÍAS, D., BUSAWON, D., HANKE, A., KIMOTO, A., SAKAI, O., DEGUARA, S., ABID, N., SANTOS, M. N. (2016). Otolith shape variation provides a marker of stock origin for north Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Marine and Freshwater Research* 67, 1023–1036. doi:10.1071/MF15086

BROWN-PETERSON, N. J., DAVID M. WYANSKI, FRAN SABORIDO-REY, BEVERLY J. MACEWICZ, SUSAN K. LOWERRE-BARBIERI. A Standardized Terminology for Describing Reproductive Development in Fishes. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 3(1):52-70. 2011.

CADRIN, S. X. & K. D. FRIEDLAND, 1999. The utility of image processing techniques for morphometric analysis and stock identification. *Fisheries Research* 43: 129–139.

CAMPANA, S. E. & J. M. CASSELMAN, 1993. Stock discrimination using otolith shape analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50: 1062–1083.

CAMPANA, S.E., NEILSON, J.D., 1985. Microstructures of fish otoliths. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42, 1014–1032.

CARDINALE, M., KASTOWSKY, M., MOSEGAARD, H. (2004). Effects of sex, stock, and environment on the shape of known-age Atlantic cod (*Gadus morhua*) otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **61**, 158–167. doi:10.1139/F03-151

CASTONGUAY, M., SIMARD, P., GAGNON, P., 1991. Usefulness of Fourier analysis of otolith shape for Atlantic mackerel (*Scomberscombrus*) stock discrimination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, 296–302.

CLAUDE, J. (2008). ‘Morphometrics with R.’ (Springer Science and Business Media, LLC: New York, NY, USA.). doi:10.1007/978-1-4419-7976-6

COUSSEAU, M.B., GONZALEZ CASTRO, M., FIGUEROA, D.E., GOSZTONYI, A.E., 2005. Does *Mugil liza* Valenciennes 1836 (Teleostei, Mugiliformes) occur in Argentinean waters? *Rev. Biol. Mar. Oceanogr.* 40 (2), 133e140.

CRAMPTON JS (1995) Elliptic Fourier shape analysis of fossil bivalves: some practical considerations. *Lethaia* 28:179–186. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.1995.tb01611.x>

DEVRIES, D.A., GRIMES, C.B., PRAGER, M.H., 2002. Using otolith shape analysis to distinguish eastern Gulf of Mexico and Atlantic Ocean stocks of king mackerel. *Fish. Res.* 57, 51–62.

DURAND, J.-D., SHEN, K.-N., CHEN, W.-J., JAMANDRE, B.W., BLEL, H., DIOP, K., NIRCHIO, M., GARCIA DE LEÓN, F.J., WHITFIELD, A.K., CHANG, C.-W., BORSA, P., 2012. Systematics of the grey mullets (Teleostei: Mugiliformes: Mugilidae): molecular phylogenetic evidence challenges two centuries of morphology-based taxonomy. *Mol. PhylogeneticsEvol.* 64, 73e92.

FARIAS I, VIEIRA AR, GORDO LS, FIGUEIREDO I. 2009. Otolith shape analysis as a tool for stock discrimination of the black scabbardfish, *Aphanopus carbo* Lowe, 1839 (Pisces: Trichiuridae), in Portuguese waters. *Scientia Marina.* 73 (S2):47–53. DOI:10.3989/scimar.2009.73s2047.

FERGUSON GJ, WARD TM, GILLANDERS BM. 2011. Otolith shape and elemental composition: complementary tools for stock discrimination of mullet (*Argyrosomus japonicus*) in southern Australia. *Fisheries* 110 (1), 75–83, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2011.03.014>.

FERSON S, ROHLF FJ, KOEHN RK (1985) Measuring Shape Variation of Two-Dimensional Outlines. *SystZool* 34:59–68. <https://doi.org/10.2307/2413345>

FRIEDLAND, K.D., REDDIN, D.G., 1994. Use of otolith morphology in stock discrimination of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51, 91–98.

GAGLIANO, M., MCCORMACK, M.I., 2004. Feeding history influences otolith shape in tropical fish. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 278, 291–296.

GALLEY, E.A., WRIGHT, P.J., GIBB, F.M., 2006. Combined methods of otolith shape analysis improve identification of spawning areas of Atlantic cod. *ICES J. Mar. Sci.* 63, 1710–1717.

GARBIN, T., CASTELLO, J.P., KINAS, P.G., 2014. Age, growth and mortality of the mullet *Mugil lizain* Brazil's southern and southeastern coastal regions. *Fish. Res.* 49, 61e68.

GAULDIE, R.W., NELSON, D.G.A., 1990. Otolith growth in fishes. *Comp. Biochem. Phys. A* 97A, 119–135.

GONZALEZ-CASTRO, M., ABACHIAN, V., PERROTTA, R.G., 2009. Age and growth of the stripped mullet *Mugil platanus* (Actinopterygii, Mugilidae), in a Southwestern Atlantic coastal lagoon (37°32'Se57°19'W): a proposal for a life-history model. *J. Appl. Ichthyol.* 25, 61e66.

GONZALEZ-CASTRO, M., HERAS, S., COUSSEAU, M.B., ROLDAN, M.I., 2008. Assessing species validity of *Mugil platanus* Günther, 1880 in relation to *Mugil cephalus* Linnaeus, 1758 (Actinopterygii). *Ital. J. Zool.* 75 (3), 319e325.

GONZALEZ-CASTRO, M., IB\_A~NEZ, A.L., HERAS, S., ROLD\_AN, M.I., COUSSEAU, M.B., 2012. Assesment of lineal versus landmarks-based morphometry for discriminating species of Mugilidae (Actinopterygii). *Zool. Stud.* 51 (8), 1515e1528.

GONZALEZ-CASTRO, M., MACCHI, G., COUSSEAU, M.B., 2011. Studies on reproduction of the mullet *Mugil platanus* Günther, 1880 (Actinopterygii, Mugilidae) from the Mar Chiquita coastal lagoon, Argentina: similarities and differences with related species. *Ital. J. Zool.* 78, 343e353.

GONZALEZ-CASTRO, M., MINOS, G., 2016. Sexuality and reproduction of Mugilidae. In: Crosetti, D., Blaber, S.J. (Eds.), *Biology, Ecology and Culture of Grey Mulletts (Mugilidae)*. CRC Press, pp. 227–263.

GOUDET, J., 2005. Hierfstat, a package for R to compute and test hierarchical F-statistics. *Mol. Ecol. Notes* 5, 184e186.

HARRISON, I.J., 2002. Mugilidae, in: Carpenter, K. (Ed.), *FAO Species Identification Guide for Fisheries Purposes. The Living Marine Resources of the Western Central Atlantic. Vol. 2. Bony Fishes part 1 (Acipenseridae to Grammatidae)*. Virginia, pp. 1071–1085.

HERAS, S., MALTAGLIATI, F., FERNÁNDEZ, M.V., ROLDÁN, M.I., 2016. Shaken not stirred: a molecular contribution to the systematics of genus *Mugil* (Teleostei, Mugilidae). *Integr. Zool.* 11 (4), 263–281.

HERAS, S., ROLDÁN, M.I., GONZÁLEZ-CASTRO, M., 2009. Molecular phylogeny of Mugilidae fishes revised. *Rev. Fish Biol. Fish.* 19, 217–231. <http://dx.doi.org/10.1007/s11160-008-9100-3>.

HUËSSY, K. (2008). Otolith shape in juvenile cod (*Gadus morhua*): ontogenetic and environmental effects. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* **364**, 35–41. doi:10.1016/J.JEMBE.2008.06.026

IWATA H, UKAI Y. 2002. SHAPE: A computer program package for quantitative evaluation of biological shapes based on elliptic Fourier descriptors. *Journal of Heredity*. 93:384–385. DOI:10.1093/jhered/93.5.384.

KEATING, J. P., BROPHY, D., OFFICER, R. A., AND MULLINS, E. (2014). Otolith shape analysis of blue whiting suggests a complex stock structure at their spawning grounds in the northeast Atlantic. *Fisheries Research* **157**, 1–6. doi:10.1016/J.FISHRES.2014.03.009

LE CREN ED. 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology*. 20:201–219. DOI: 10.2307/1540

LEE, BRENDON, BREWIN, P. E, BRICKLE, P., RANDHAWA, H. (2018). Use of otolith shape to inform stock structure in Patagonian toothfish (*Dissostichus leginoides*) in the south-western Atlantic. **Marine and Freshwater Research**, v. 69, n. 8, p. 1238-1247.

LEMOS, V.M., VARELA JR., A.S., SCHWINGEL, P.R., MUELBERT, J.H., VIEIRA, J.P., 2014. Migration and reproductive biology of *Mugil liza*(Teleostei: Mugilidae) in south Brazil. J. Fish Biol. <http://dx.doi.org/10.1111/jfb.12452>

LLEONART, J.; SALAT, J. & TORRES, G. J. (2000). Removing Allometric Effects of Body Size in Morphological Analysis. Journal of Theoretical Biology. 205: 85-93.

MAHE, K., EVANO, H., MILLE, T., BOURJEA, J. (2016). Otolith shape as a valuable tool to evaluate the stock structure of swordfish (*Xiphiasgadus*) in the Indian Ocean. *AfricanJournalof Marine Science* **2338**, 1–8. doi:10.1097/INF.0B013E318211581E

MAI, A. C. G., C. I. MIÑO, L. F. F. MARINS, C. MONTEIRO-NETO, L. MIRANDA, P. R. SCHWINGEL, V. M. LEMOS, M. GONZALEZ-CASTRO, J. P. CASTELLO, AND J. P. VIEIRA. 2014. Microsatellite variation and genetic structuring in *Mugil liza*(Teleostei: Mugilidae) populations from Argentina and Brazil. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 149:80–86.

MAPP, J., HUNTER, E., VAN DER KOOIJ, J., SONGER, S., AND FISHER, M. (2017). Otolith shape and size: the importance of age when determining indices for fish-stock separation. *FisheriesResearch***190**, 43–52. doi:10.1016/J.FISHRES.2017.01.017

MENEZES, N. A., NIRCHIO, M., OLIVEIRA, C. D., SICCHA-RAMIREZ, R. (2015). Taxonomic review of the species of *Mugil* (Teleostei: Perciformes: Mugilidae) from the

Atlantic South Caribbean and South America, with integration of morphological, cytogenetic and molecular data. *Zootaxa*, 3918(1), 1-38.

MENEZES, N. A., OLIVEIRA, C. D., & NIRCHIO, M. (2010). An old taxonomic dilemma: the identity of the western south Atlantic lebranche mullet (Teleostei: Perciformes: Mugilidae). *Zootaxa*, 2519(5)59-68.

MÉRIGOT B, LETOURNEUR Y, LECOMTE-FINIGER R. 2007. Characterization of local populations of the common sole *Solea solea*(Pisces, Soleidae) in the NW Mediterranean through otolith morphometrics and shape analysis. *Marine Biology*. 151(3):997–1008. DOI:10.1007/s00227-006-0549-0.

MIRANDA, L.V., CARNEIRO, M.H., 2007. A pesca da tainha *Mugilplatanus* (Perciformes: Mugilidae) desembarcada no Estado de São Paulo: Subsídio ao Ordenamento. Série Relatórios Técnicos do Instituto de Pesca 30, 1-13.

MMA, Ministério do Meio Ambiente, 2004. Instrução normativa IBAMA Nº 05, de 21 de maio de 2004. Reconhece como espécies ameaçadas de extinção e espécies sobreexploradas ou ameaçadas de sobreexploração, os invertebrados aquáticos e peixes, constantes dos Anexos a esta Instrução Normativa. Diário Oficial da União, Brasília. No. 102.

MMA, Ministério do Meio Ambiente, 2007. Estatística da pesca 2007 Brasil: grandes regiões e unidades da federação. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis e IBAMA, Ministério do Meio Ambiente e MMA, Brasília.

MPA, Ministério do Meio Ambiente, 2011. Boletim estatístico da pesca e aquicultura. MPA, Brasília, p. 60.

NEVES, A., SEQUEIRA, V., FARIAS, I., VIEIRA, A. R., PAIVA, R., AND GORDO, L. S. (2011). Discriminating bluemouth, *Helicolenus dactylopterus* (Pisces: Sebastidae), stocks in Portuguese waters by means of otolith shape analysis. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **91**, 1237–1242. doi:10.1017/S002531541000189X

POPPER, A.N., COOMBS, S., 1982. The morphology and evolution of the ear in Actinopterygian fishes. *Am. Zool.* 22, 311–328.

POTHIN, K., GONZALEZ-SALAS, C., CHABANET, P., LECOMTE-FINIGER, R., 2006. Distinction between *Mulloidichthys flavolineatus* juveniles from Reunion Island and Mauritius Island (south-west Indian Ocean) based on otolith morphometrics. *J. Fish. Biol.* 69, 38–53.

RAMCHARITAR, J.U., HIGGS, D.M., POPPER, A.N., 2006. Audition in sciaenid fishes with different swim bladder-inner ear configurations. *J. Acoust. Soc. Am.* 119, 439–443.

RODGVELLER, C. J., HUTCHINSON, C. E., HARRIS, J. P., VULSTEK, S. C., AND GUTHRIE, C. M. (2017). Otolith shape variability and associated body growth

differences in giant grenadier, *Albatrossia pectoralis*. *PLoS One* **12**, e180020.  
doi:10.1371/JOURNAL.PONE.0180020

SCHULZ-MIRBACH, T., LADICH, F., PLATH, M., METSCHER, B.D., HEß, M.,  
2014. Are accessory hearing structures linked to inner ear morphology? Insights from  
3D orientation patterns of ciliary bundles in three cichlid species. *Front. Zool.* **11**, 25.

SICCHA-RAMIREZ, R., MENEZES, N.A., NIRCHIO, M., FORESTIA, F.,  
OLIVEIRA, C., 2014. Molecular identification of mullet species of the Atlantic South  
Caribbean and South America and the phylogeographic analysis of *Mugil liza*. *Rev.*  
*Fish. Sci. Aquac.* **22** (1), 86e96.

SIMONEAU, M., CASSELMAN, J.M., FORTIN, R., 2000. Determining the effect of  
negative allometry (length/height relationship) on variation in otolith shape in lake trout  
(*Salvelinus namaycush*), using Fourier-series analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **78**,  
1597–1603.

STRANSKY, C. (2014). Morphometric outlines. In 'Stock Identification Methods:  
Applications in Fishery Science'. (Eds S. X. Cadrin, L. A. Kerr, and S. Mariani.) pp.  
129–140. (Academic Press: London, UK.)

STRANSKY, C., MURTA, A. G., SCHLICKEISEN, J., ZIMMERMANN, C. (2008).  
Otolith shape analysis as a tool for stock separation of horse mackerel  
(*Trachurus trachurus*) in the northeast Atlantic and Mediterranean. *Fisheries Research*  
**89**, 159–166. doi:10.1016/J.FISHRES.2007.09.017

THOMSON, J., (1997). The Mugilidae of the world. Mem. Queensl. Museum 41, 457–562.

TURAN, C., (2000). Otolith shape and meristic analysis of herring (*Clupea harengus*) in the North-East Atlantic. Arch. Fish. Mar. Res. 48, 213–225.

TUSET VM, LOMBARTE A, GONZALEZ JA, PERTUSA JF, LORENTES MJ  
2003b Comparative morphology of the sagittal otolith in Serranus spp. J Fish Biol  
63:1491–1504

TUSET, V.M., LOZANO, I.J., GONZÁLEZ, J.A., PERTUSA, J.F., GARCÍA-DÍAZ, M.M., 2003a. Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber, *Serranus cabrilla*(L., 1758). J. Appl. Ichthyol. 19, 88–93.

VIEIRA, A. R., NEVES, A., SEQUEIRA, V., PAIVA, R. B., AND GORDO, L. S.  
(2014). Otolith shape analysis as a tool for stock discrimination of forkbeard (*Phycisphycis*) in the northeast Atlantic. *Hydrobiologia*728, 103–110.  
doi:10.1007/S10750-014-1809-5

VIEIRA, J.P., GARCIA, A.M., GRIMM, A.M., 2008. Preliminary evidences of El Niño effects on the mullet fishery of Patos Lagoon estuary (Brazil). Braz. Archives Biol. Technol. 51, 433e440.

VIGNON, M. & F. MORAT, 2010. Environmental and genetic determinant of otolith shape revealed by a nonindigenous tropical fish. *Marine Ecology Progress Series* 411:231–241.

WHITFIELD, A.K., PANFILI, J., DURAND, J.-D., 2012. A global review of the cosmopolitan flathead mullet *Mugil cephalus* Linnaeus 1758 (Teleostei: Mugilidae), with emphasis on the biology, genetics, ecology and fisheries aspects of this apparent species complex. *Rev. Fish Biol. Fish.* 22 (3), 641–681.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s11160-012-9263-9>.

## **Capítulo II**

**O uso da microquímica de otólitos como ferramenta para investigar a conectividade populacional de *Mugil liza* (Valenciennes,1836) em diferentes sistemas ao longo da costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro.**

## RESUMO

O conhecimento acerca da conectividade populacional de peixes, seja em escala regional, investigando a contribuição de diferentes sistemas (baías; lagunas; estuários) aos estoques da plataforma costeira adjacente, seja em escala local, investigando os padrões de movimentação de peixes dentro dos estuários, é um aspecto fundamental para a conservação e uso sustentável desses recursos. As análises químicas dos otólitos têm sido usadas para demonstrar uso de habitat, migração e conectividade de muitas populações de peixes entre sistemas de água doce, estuarinos e marinhos. O objetivo do presente estudo foi determinar padrões de movimentos e uso de habitats por peixes em diferentes sistemas estuarinos (Guarujá; Caraguatatuba; Bacia de Sepetiba; Baía de Guanabara; Lagoa Maricá; Lagoa Saquarema) e sistemas costeiros adjacentes ao longo da costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. A hipótese testada foi de que existe uma diferenciação individual de uso dos sistemas estuarinos, onde alguns indivíduos retornam para o ambiente estuarino após a desova na plataforma continental adjacente, enquanto outros indivíduos não precisam sair dos sistemas estuarinos para completar seu ciclo de vida. Utilizou-se, para isto, a identificação de perfis delineados pelas concentrações elementares de Sr<sup>86</sup> e Ba<sup>138</sup> nos otólitos. Foram determinadas por meio de análises químicas as concentrações de estrôncio (<sup>86</sup>Sr) e bário (<sup>143</sup>Ba) no perfil núcleo-borda dos otólitos através de um espectrômetro de massas por plasma acoplado indutivamente com ablação a laser (LA-ICPMS). Foram analisados 233 indivíduos, 107 provenientes dos sistemas estuarinos e 126 da zona costeira. A análise das concentrações de Sr:Ca e Ba:Ca apresentou uma separação entre Magé e os demais locais de coleta, sugerindo a presença de diferentes grupos populacionais. As concentrações de Sr:Ca e Ba:Ca nos núcleos indicaram diferentes locais de nascimento,

variando entre os sistemas estuarinos e o marinho. Três perfis de movimentação foram identificados sendo mais comum Marinho Visitante (MV), representando conexões entre os ambientes estuarino e o marinho. O segundo perfil, Estuarino Residente (ER), compreendendo os indivíduos que permanecem no ambiente estuarino durante o seu ciclo de vida. Por fim, o terceiro perfil identificado como Marinho Migrador (MM), representado por indivíduos que permanecem em ambientes estuarinos durante as primeiras fases do ciclo de vida e migraram aparentemente de forma definitiva para o ambiente marinho. Os resultados do presente estudo sugerem que *Mugil liza* possui uma alta plasticidade comportamental, sendo hábil para utilizar diferentes ambientes compreendendo uma ampla variação de salinidade por juvenis e adultos, sendo capaz de adotar diferentes estratégias de vida e/ou táticas reprodutivas que permitam maximizar seu sucesso reprodutivo e/ou ciclo de vida.

**Palavras chave:** otólitos, estuários, zonas costeiras, conectividade

## ABSTRACT

Knowledge about fish population connectivity, either at regional scale, investigating the contribution of different systems (bays, lagoons, estuaries) to stocks in the continental shelf, or at local scale, investigating movement patterns within estuarine areas, is a key aspect for conservation and sustainable use of these resources. Chemical analyzes of otoliths have been used to demonstrate habitat use, migration and connectivity of many fish populations between freshwater, estuarine and marine systems. The tested hypothesis was that there is an individual differentiation in the use of estuarine systems, with some individuals returning to the estuarine environment after spawning in the adjacent platform, whereas other individuals do not have to leave estuarine systems to complete their life cycle. For this purpose, the identification of profiles delineated by the elementary concentrations of  $\text{Sr}^{86}$  and  $\text{Ba}^{138}$  in the otoliths was used. Strontium ( $^{86}\text{Sr}$ ) and Barium ( $^{143}\text{Ba}$ ) concentrations in the core-edge profile of the otoliths were determined using an inductively coupled laser ablation plasma mass spectrometer (LA-ICPMS). We analyzed 233 individuals, 107 from the estuarine systems and 126 from the coastal zone. The analysis of Sr: Ca and Ba: Ca concentrations showed a separation between Magé and the other collection sites, suggesting the presence of different population groups. Sr:Ca and Ba:Ca concentrations in the nuclei indicated different birth sites, varying between estuarine and marine systems. Three movement profiles were identified, the most common being named Marine Visitors (MV), representing connections between estuarine and marine environments. The second profile named Estuarine Resident (ER), comprising individuals who remained in the estuarine environment during their life cycle. Finally, the third identified profile named Marine Migrator (MM), represented by individuals

who remained in estuarine environments during the early stages of the life cycle and apparently migrated permanently to the marine environment. The results of the present study suggest that *Mugil liza* has a high behavioral plasticity, being able to use different environments comprising a wide range of salinity by juveniles and adults, being able to adopt different life strategies and / or reproductive tactics to maximize their success. reproductive and / or life cycle.

.

**Keywords:** otoliths, estuaries, coastal zones, connectivity.

## 1. INTRODUÇÃO

A conectividade populacional pode ser definida como a troca de indivíduos e/ou propágulos por meio de migração e/ou dispersão entre os habitats ocupados por uma espécie (GILLANDERS et al., 2003; ANDRELLO et al., 2013). As conexões intrapopulacionais entre ambientes podem ocorrer, por exemplo, através da transferência de habitats de indivíduos juvenis para adultos, resultando em uma substancial transferência de biomassa, nutrientes e energia entre habitats e/ou ecossistemas (DEEGAN 1993; NAIMAN et al., 2002; HEGG et al., 2015).

As análises químicas dos otólitos têm sido usadas para demonstrar uso de habitat, migração e conectividade de muitas populações de peixes entre sistemas de água doce, estuarinos e marinhos (CHANG et al., 2004; TULP et al., 2013; DAVOREN e HALDEN, 2014; CALLICÓ FORTUNATO et al., 2017; MAI et al., 2019). As variações nas relações estrôncio/cálcio (Sr:Ca) e bário/cálcio (Ba:Ca) ao longo do eixo de crescimento do otólito reflete diversos padrões de movimentação através de gradientes de salinidade em várias espécies de peixes (MORALES-NIN et al., 2012; AVIGLIANO et al., 2017).

A tainha *Mugil liza* (Valenciennes, 1836) é uma espécie pelágica amplamente distribuída na costa do Atlântico na América do Sul, ocorrendo desde o mar do Caribe até a Argentina (GARBIN et al., 2014). A espécie é considerada catádroma por realizar migrações entre ambientes de água doce, estuarinos e oceânicos apresentando hábito estuarino dependente (CHAO et al., 1985; VIEIRA et al., 2008; POTTER et al., 2013). A espécie entra no período reprodutivo nos meses de maio até agosto, quando inicia sua migração a partir dos estuários para se reproduzir no mar (VIEIRA et al., 2008; LEMOS et al., 2014). Uma vez no ambiente marinho, a tainha desloca-se em direção a menores

latitudes, até a área de desova (LEMOS et al., 2014). Após a desova em áreas oceânicas, as correntes de deriva carregam os juvenis para dentro dos estuários (VIEIRA, 1991) onde permanecem até serem recrutados para população adulta com 5 a 6 anos de idade (GARBIN et al., 2014).

O objetivo do presente estudo foi determinar padrões de movimentos e uso dos diferentes sistemas estuarinos e costeiros adjacentes por *M. liza*, ao longo da costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro através da identificação de perfis delineados pelas concentrações elementares de  $\text{Sr}^{86}:\text{Ca}^{43}$  e  $\text{Ba}^{138}:\text{Ca}^{43}$  nos otólitos. A hipótese de que existe uma diferenciação individual de uso dos sistemas estuarinos, onde alguns indivíduos retornam para o ambiente estuarino após a desova e alguns indivíduos não precisam sair dos sistemas estuarinos para completar seu ciclo de vida, foi testada. Neste sentido, as seguintes perguntas foram formuladas: Existe uma variação individual no padrão de movimentação de *Mugil liza*? Na fase adulta existem indivíduos com características elementares de ambientes estuarinos?

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Programa de amostragem:

As amostras foram coletadas em pontos estratégicos de pesca artesanal em cada estado, onde foram estabelecidos contatos com pescadores artesanais locais. De cada ponto, buscou-se obter cerca 30 peixes nas áreas estuarinas e 30 peixes nas áreas costeiras adjacentes (estoque migrador/desovante). As coletas foram realizadas durante a época reprodutiva da espécie ao longo da costa que vai de abril a agosto.

## 2.2. Análise de dados:

Os indivíduos utilizados neste estudo foram capturados ou adquiridos por meio da pesca artesanal no interior do que consideramos como sistemas estuarinos (Guarujá (Estuário de Santos), Caraguatatuba, Baía de Sepetiba, Baía de Guanabara, Laguna de Maricá e Laguna de Saquarema) e na zona costeira adjacente a cada sistema estuarino (Guarujá Fora, Ilhabela, Ilha Grande, Itaipú, Praia de Maricá e Praia de Saquarema). 233 otólitos foram analisados quimicamente, sendo 107 dos sistemas costeiros internos e 126 dos sistemas adjacentes.

Dados como peso, comprimento, sexo e fase de maturação gonadal dos espécimes foram tomados para compor um banco de dados mais completo sobre os mesmos. Os indivíduos foram identificados quanto ao sexo com base na escala macroscópica de desenvolvimento gonadal proposta por BROWN-PETERSON et al. (2011). Apenas indivíduos classificados como spawning capable e com comprimento total acima do  $L_{50}$  da espécie (35 cm) (ALBIERI e ARAÚJO 2010) foram considerados adultos e, portanto utilizados nas análises do presente estudo. Os otólitos *sagittae* foram removidos, lavados em água destilada e secos, emblocados em resina acrílica e cortado em secções transversais de 0,8 mm em serra metalográfica de baixa rotação (IsoMet-Buehler) até alcançar o núcleo. Os cortes foram colados em lâminas de vidro com cola de secagem rápida e lixados com lixas Micro Mesh abrasivas de granulometria 4000, 8000 e 12000.

Para medir as concentrações de estrôncio (Sr) e bário (Ba), foi utilizado um sistema de espectrometria de massas através de plasma indutivamente acoplado com amostras extraídas a ablação a laser NexIon 300x (PerkinElmer) (LA-ICP-MS), que

permite análise em áreas com diâmetros superiores a 5 mm (BELLOTO and MIEKELEY,2000).

A ablação foi realizada no eixo núcleo-borda de cada otólito. Os parâmetros operacionais foram potência de 1100W e taxas de fluxo de argônio de 1.2 mL min<sup>-1</sup> de gás de nebulização, 17 Lmin<sup>-1</sup> de gás de plasma e 1 Lmin<sup>-1</sup> de gás auxiliar. A velocidade da varredura foi de 25µm × s<sup>-1</sup>. A precisão da análise foi avaliada pela estimativa do padrão relativo desvio padrão (RSD) de dez medidas padrão consecutivas do material de referência padrão (SRM) NIST612 (Fusedsimulatedore). Foram realizadas leituras de branco durante 50 segundos a cada 10 leituras para checar contraste para as intensidades de fundo.

Os resultados das leituras de cada elemento foram divididos pelo Ca ao longo do perfil núcleo-borda de cada otólito e foi ajustada uma média móvel de nível 5 nos gráficos gerados para atenuar as flutuações de sinal características da técnica e permitindo assim uma melhor visualização dos padrões (adaptado de CONDINI *et al.*, 2016).

A definição das médias de núcleo e borda foi delimitada para cada otólito de acordo com tempo em segundos gasto para o laser realizar a leitura dos elementos a partir dos transectos previamente definidos (núcleo / eixo núcle-borda / borda), condiderando 4 ablações por segundo.

Assinaturas químicas para cada salinidade foram definidas em faixas para comparação das variações elementares encontradas e foram delimitadas conforme descrito para *M. liza* por FORTUNATO et al. (2017). Razões Sr:Ca até 3.5 ×10<sup>-3</sup> mmol/mol foram consideradas oligohalina, entre 3.5 e 7.0 ×10<sup>-3</sup> mmol/mol estuarinas e salina a partir de 7.0 ×10<sup>-3</sup> mmol/mol (Figura 2).

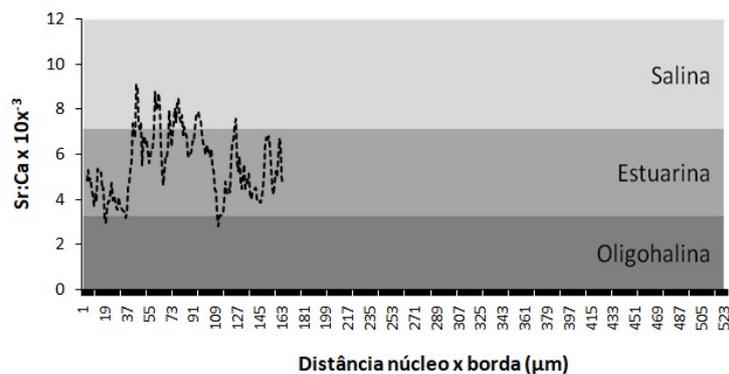


Figura 1. Faixas de razões de Sr:Ca por gradiente salino para *Mugil liza*. Indivíduo utilizado no exemplo capturado em Maricá (Lt = 47 cm).

### 2.3. Análises estatísticas

Após as análises químicas, as intensidades de sinais, subtraídas das médias de leituras dos brancos, obtidas pelo sistema foram transformadas em concentrações de mmol/mol para cada elemento em razão do cálcio. Para cada leitura foi calculado a média e o desvio padrão. Com esses dados foram realizados testes de normalidade, onde nem todas as concentrações elementares foram normais. As médias de concentração dos elementos-traço foram transformadas em  $\text{Log}_{10} x + 1$  para atender aos requisitos de normalidade. Para testar a diferenças entre as concentrações elementares entre os locais de coleta foram feitas análises de variância ANOVA seguida pelo teste *a posteriori* Tukey, considerando o eixo núcleo-borda, somente o núcleo e somente a borda do otólito. Por último, foi realizada uma análise discriminante linear, para avaliar o padrão de distribuição das amostras em função dos locais de coleta.

Gráficos de concentração de Sr:Ca e Ba:Ca foram realizados a partir do eixo núcleo-borda para cada indivíduo, onde serão definidos perfis migratórios de acordo com a variação ontogenética.

### 3. RESULTADOS

No total, 233 indivíduos de *Mugil liza* foram analisados com a técnica de *laser ablation*, 107 provenientes de sistemas estuarinos e 126 da zona costeira adjacente. A média de comprimento total foi de 49,5 cm, com os menores indivíduos ocorrendo na Lagoa de Saquarema (32,9 cm) e Lagoa de Maricá (35,1cm) (Tabela 1).

Tabela 1. Número de indivíduos (n), média e desvio padrão do comprimento total (cm) e concentrações em mmol/mol de Ba:Ca e Sr:Ca da região do núcleo, da borda e de todo eixo núcleo-borda de cada local.

Locais	n	Média±Desv Lt	Ba_nuc	Sr_nuc	Ba_bor	Sr_bor	Ba_ger	Sr_ger
Guarujá_Dentro	28	50,3±2,6	2,49E-05	0,003814	5,15E-05	0,004463	3,95E-05	0,004337
Guarujá_Fora	24	52,3±3,1	5,58E-06	0,00329	3,26E-05	0,003669	2,16E-05	0,00369
Caragua	15	51,2±3,3	9,83E-06	0,003989	4,5E-05	0,004853	2,91E-05	0,004563
Ilhabela	34	53,4±3,3	1,05E-05	0,004056	3,62E-05	0,005655	2,85E-05	0,004914
Sepetiba	16	47,5±2,3	1,43E-05	0,004128	5,48E-05	0,004882	3,91E-05	0,004731
Ilha Grande	10	55,5±4,1	1,08E-05	0,004597	3,78E-05	0,005032	2,46E-05	0,004931
Magé	16	51,2±10,5	7,4E-06	0,004543	4,61E-05	0,013513	3,13E-05	0,008816
Itaipu	34	52,1±3,2	1,27E-05	0,00361	3,09E-05	0,004965	2,53E-05	0,004495
Marica_Dentro	18	35,1±1,4	6,97E-05	0,003797	8,64E-05	0,00414	8,36E-05	0,004068
Marica_Fora	15	52,2±3,9	8,55E-06	0,004114	3,6E-05	0,005578	2,86E-05	0,00499
Saquarema_Dentro	11	32,9±2,2	4,04E-06	0,003873	1,19E-05	0,004705	1,02E-05	0,004547
Saquarema_Fora	9	53,0±4,1	1,14E-05	0,004128	4,21E-05	0,004785	3,1E-05	0,004767

De todo eixo núcleo-borda somente o Sr foi diferente entre locais, com Magé tendo maior concentração do que os demais locais. O mesmo ocorreu para a borda dos otólitos, mas para o núcleo o Sr:Ca foi maior na Ilha Grande, seguido por Magé, Baía de Sepetiba e Guarujá. Já o Ba:Ca não foi diferente no eixo núcleo-borda, nem na borda dos otólitos, porém, no núcleo houve uma diferença com maiores concentrações na Lagoa de Maricá do que em Itaipu, Guarujá Fora e Ilha Bela Fora (Tabela 2).

Tabela 2. ANOVA one-way das concentrações de Ba:Ca e Sr:Ca da região do núcleo, da borda e de todo o eixo núcleo borda dos otólitos de cada local (sistemas estuarinos e costeiros) seguido de teste a posteriori de Tukey.

<b>Elemento</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b>Tukey</b>
Ba:Ca Núcleo	1.86	0.04	Maricá > Itaipu, Guarujá fora, Ilhabela
Sr:Ca Núcleo	3.01	0.001	Ilha Grande > Magé > Sepetiba > Guarujá
Ba:Ca Borda	1.36	Ns	-
Sr:Ca Borda	6.29	0.000	Magé > todos
Ba:Ca Núcleo-Borda	1.66	Ns	-
Sr:Ca Núcleo-Borda	6.56	0.000	Magé > todos

A análise discriminante dos sistemas estuarinos indicou uma elevada classificação somente para Saquarema (81,8%), uma classificação mediana para Magé (53,8%), Maricá (54,5%), Guarujá (50%) e Caraguatatuba (56,3%) enquanto a Baía de Sepetiba ficou abaixo de 50% (Tabela 3). A classificação geral foi de 53,3%. O gráfico da análise discriminante das médias das concentrações de Sr:Ca e Ba:Ca apresentou uma separação dos locais de coleta, com o eixo 1 separando Magé dos outros locais (Figura 3).

Tabela 3. Resultado da análise linear discriminante das concentrações médias de núcleo e borda das tainhas dos sistemas estuarinos com as taxas de classificação.

<b>Local</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>Total</b>
<b>Saquarema (1)</b>	<b>9</b>	1	0	0	1	0	11
<b>Magé (2)</b>	2	<b>7</b>	2	0	0	2	13
<b>Sepetiba (3)</b>	3	0	<b>5</b>	1	4	2	15
<b>Maricá (4)</b>	4	0	1	<b>12</b>	4	1	22
<b>Guarujá (5)</b>	3	0	5	3	<b>15</b>	4	30
<b>Caraguá (6)</b>	0	0	1	1	5	<b>9</b>	15
<b>Saquarema</b>	<b>81,8%</b>						100
<b>Magé</b>		<b>53,8%</b>					100
<b>Sepetiba</b>			<b>33,3%</b>				100
<b>Maricá</b>				<b>54,5%</b>			100
<b>Guarujá</b>					<b>50%</b>		100
<b>Caraguá</b>						<b>56,3%</b>	100

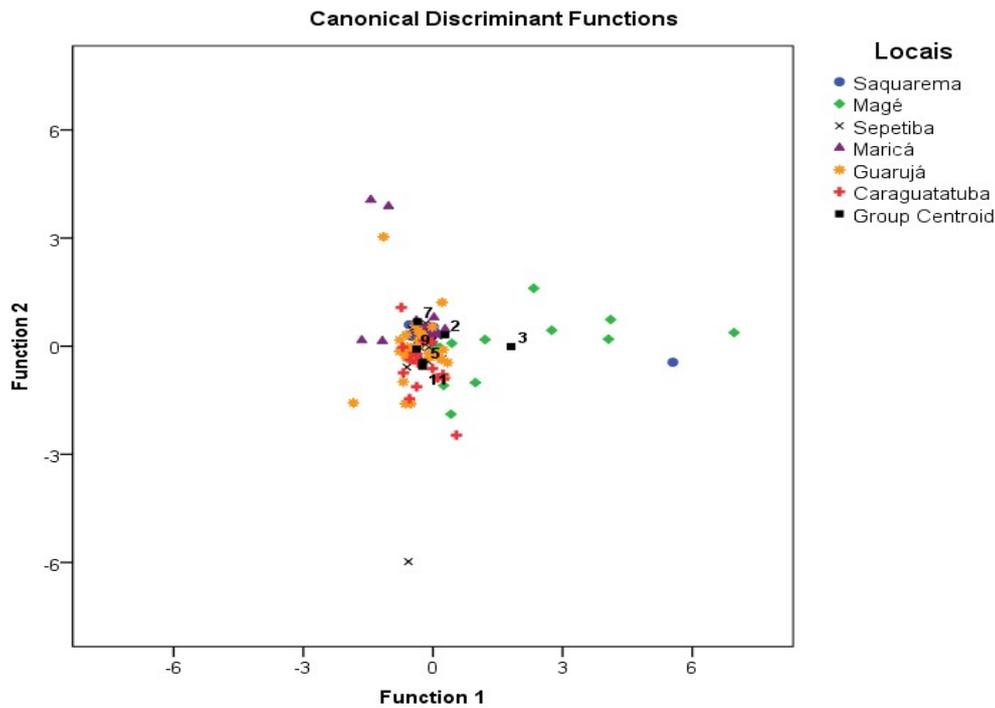


Figura 2. Diagrama dos dois primeiros eixos da função discriminante linear das razões elementares de Sr:Ca e Ba:Ca no núcleo dos otólitos dos indivíduos nos sistemas estuarinos.

As concentrações de Sr:Ca e Ba:Ca nos núcleos indicaram diferentes locais de nascimento, variando entre os sistemas estuarinos e o marinho. Indivíduos nascidos nos sistemas estuarinos foram predominantes e estiveram presentes em todos os locais de coleta (Tabela 4).

Tabela 4. Distribuição dos locais de nascimento nos pontos de coleta ao longo da área de estudo.

<b>Locais</b>	<b>Estuario</b>	<b>Mar</b>	<b>Total</b>
Guarujá_Dentro	25	3	28
Guarujá_Fora	23	1	24
Caragua	15	-	15
Ilhabela	31	3	34

Sepetiba	14	-	16
Ilha Grande	9	1	10
Magé	13	3	16
Itaipu	30	4	34
Marica_Dentro	18	-	18
Marica_Fora	13	2	15
Saquarema_Dentro	10	1	11
Saquarema_Fora	9	-	9

A análise discriminante das concentrações de Sr:Ca e Ba:Ca nos núcleos indicou uma moderada classificação para os diferentes locais de nascimento estuário (74,6%) e mar (77,8%) (Tabela 5). A classificação geral foi de 74,9%.

Tabela 5. Resultado da análise linear discriminante das concentrações de Sr:Ca e Ba:Ca do núcleo dos locais de nascimento com as taxas de classificação.

<b>Locais</b>	<b>Estuário</b>	<b>Mar</b>	<b>Total</b>
Estuário	<b>156</b>	53	209
Mar	4	<b>14</b>	18
Estuário	<b>74,6</b>		100
Mar		<b>77,8</b>	100

Analisando as razões de núcleo x borda de Sr:Ca e Ba:Ca em conjunto, três padrões foram identificados e representados nos gráficos a seguir (Figura 4). O perfil mais comum foi o chamado Marinho Visitante (MV), que apresentou padrões opostos de Sr:Ca e Ba:Ca com picos de Sr:Ca ao longo do perfil núcleo-borda dos indivíduos.

Cerca de 73% de todos os indivíduos capturados na costa apresentaram este padrão. O segundo perfil mais comum foi chamado de Estuarino Residente (ER), onde o Sr:Ca e o Ba:Ca tendem a manter-se na mesma faixa conforme o crescimento do peixe. Cerca de 23% dos indivíduos capturados apresentaram este padrão. Por fim, o terceiro perfil identificado foi chamado de Marinho Migrador (MM), onde o Sr:Ca tende a aumentar conforme o crescimento do peixe e com o Ba:Ca nem sempre apresentando um padrão oposto de variação. Este perfil foi observado em cerca de 4% dos indivíduos capturados. Os indivíduos classificados como Marinho Visitante ocorreram exclusivamente em Ilha Grande (100%) e Maricá\_fora (100%). Já os classificados como Estuarino Residente foram abundantes em Guarujá\_fora (62,5%) e Guarujá\_Dentro (35%), enquanto que os classificados como Marinho Migrador foram mais frequentes em Magé (35,5%) (Tabela 6).

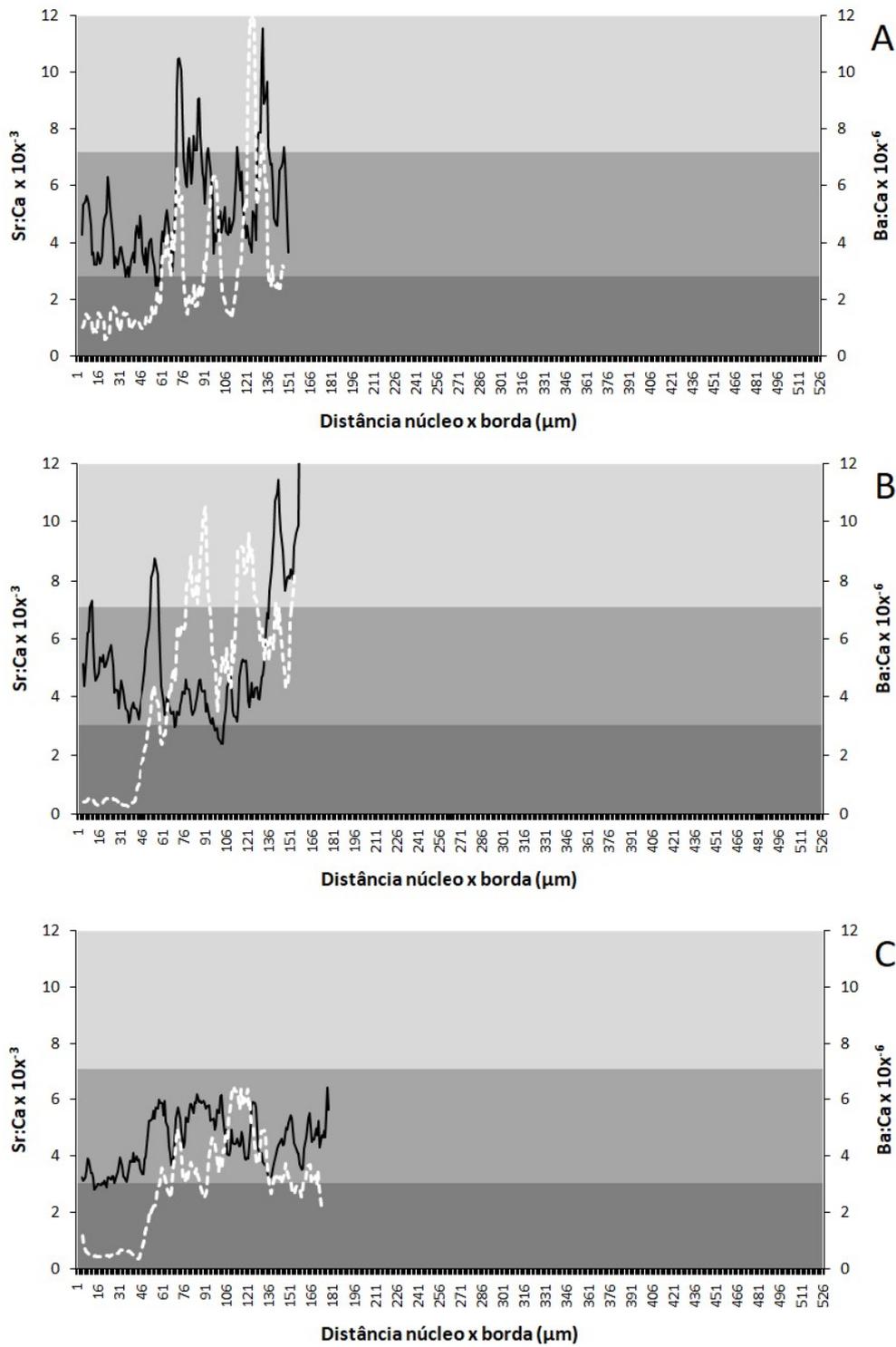


Figura 3. Padrões de perfil de movimentação de *M. liza* – A: Marinho Visitante (Ilha Grande – Lt = 54cm); B: Marinho Migrador (Magé – Lt = 53cm); C: Estuarino Residente (Sepetiba – Lt = 44cm) – Sr:Ca: linha contínua; Ba:Ca: linha tracejada.

Tabela 6. Distribuição perfis de Sr:Ca e Ba:Ca dos otólitos de *M. liza* nos locais de coleta.

<b>Locais</b>	<b>Total</b>	<b>ER</b>	<b>MM</b>	<b>MV</b>
Guarujá_Dentro	28	36% (10)	3.5% (1)	60,5% (17)
Guarujá_Fora	24	62,5% (15)	-	37,5% (9)
Caragua	15	13% (2)	-	87% (13)
Ilhabela	34	20,6% (7)	3% (1)	76,4% (26)
Sepetiba	14	14,3% (2)	-	85,7% (12)
Ilha Grande	10	-	-	100% (10)
Magé	16	-	37.5% (6)	62,5% (10)
Itaipu	34	20,6% (7)	5.9% (2)	73,5% (25)
Marica_Dentro	18	22,5% (4)	-	77,5% (14)
Marica_Fora	15	-	-	100% (15)
Squarema_Dentro	11	18% (2)	-	82% (9)
Squarema_Fora	9	33% (3)	-	77% (6)

*ER – Estuarino Residente; MM – Marinho Migrador; MV – Marinho Visitante*

A análise discriminante dos três perfis de movimentação indicou uma elevada taxa de acerto na classificação para os perfis Marinho Migrador (80%) e Estuarino Residente (71,2%), além de uma classificação mediana para o perfil Marinho Visitante (66,7%) (Tabela 7). A classificação geral foi de 68,3%. O gráfico da análise discriminante dos perfis de movimentação apresentou uma clara separação, com o eixo 1 separando o perfil Marinho Migrador dos demais (Figura 5).

Tabela 7. Resultado da análise linear discriminante dos perfis de movimentação com as taxas de classificação.

Perfil	1	2	3	Total
Estuárino Residente (1)	37	0	15	52
Marinho Migrador (2)	0	8	2	10
Marinho Visitante (3)	55	0	110	165
Estuárino Residente	71,2%			100
Marinho Migrador	80,0%			100
Marinho Visitante	66,7%			100

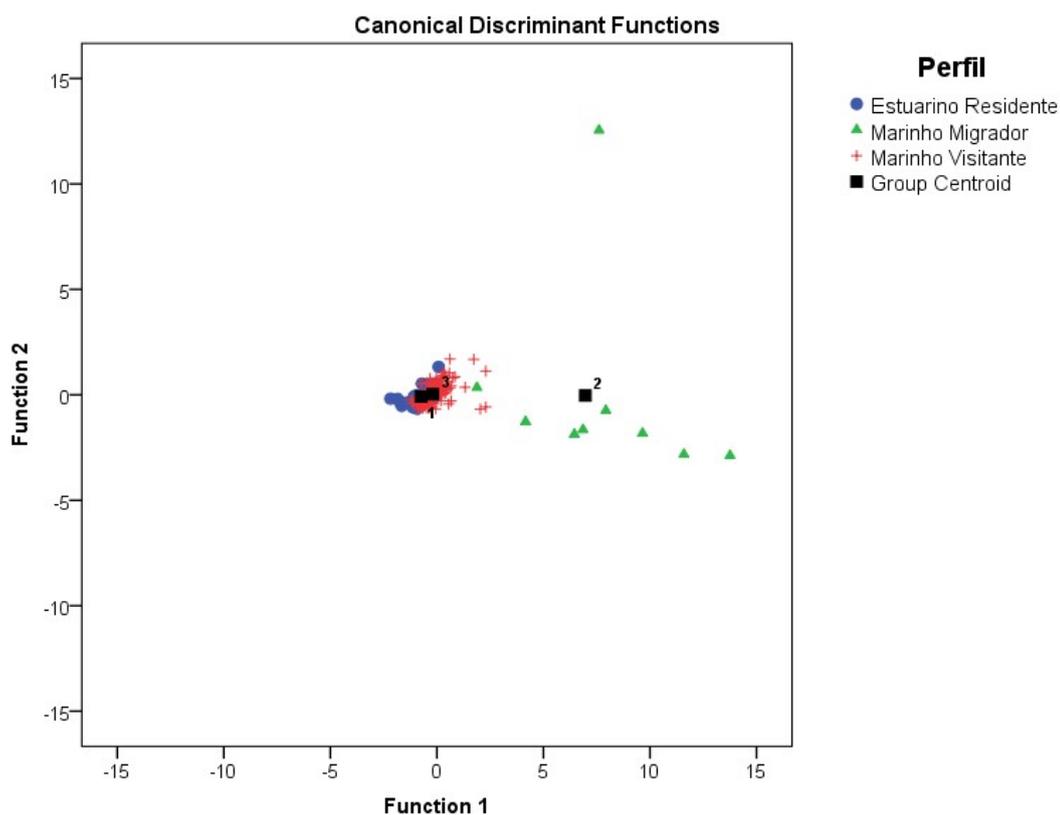


Figura 4. Diagrama dos dois primeiros eixos da função discriminante linear dos perfis de movimentação encontrados para *M. liza*.

#### 4. DISCUSSÃO

Três padrões principais de variação elementar de Sr:Ca e Ba:Ca foram encontrados em otólitos de *Mugil liza*. O primeiro e mais comum foi o Marinho Visitante, caracterizado por padrões opostos de Sr:Ca e Ba:Ca com picos de Sr:Ca ao longo do perfil núcleo-borda dos indivíduos, representando conexões entre os ambientes estuarino e o marinho durante o ciclo de vida dos indivíduos. Este padrão de comportamento também foi reportado por FORTUNATO et al, (2017) para a espécie ao longo do sudeste do Oceano Atlântico, principalmente no Mar de Chiquina e Baía de San Blas, Argentina e por IBÁÑEZ-AGUIRRE et al., (2012) para *Mugil cephalus* Linnaeus, 1758 no Golfo do México. Além disso, este padrão representa em parte o ciclo reprodutivo de *Mugil liza* já descrito por diversos autores e que envolve a migração dos estuários e desova na plataforma continental (LEMONS et al., 2014; GONZÁLEZ-CASTRO e MINOS, 2016; GONZÁLEZ-CASTRO et al., 2011; WHITFIELD et al., 2012). Porém, o comportamento de flutuação entre águas estuarinas e salinas sugere o retorno desses indivíduos para os estuários após a desova. MAI et al., (2019) reportaram a ocorrência de indivíduos com gônadas desovadas no interior da Lagoa dos Patos cuja assinaturas químicas registravam flutuações entre águas estuarinas e salinas, concluindo assim que ao menos parte da população de *M. liza*, retornava para o estuário após a desova. Da mesma forma, IBÁÑEZ-AGUIRRE et al., (2012) reportaram o retorno de parte dos indivíduos desovados de *Mugil cephalus* para regiões estuarinas (Tamiahua Lagoon) no Golfo do México. Portanto, é razoável hipotetizar que o comportamento de *Mugil liza* caracterizado por flutuações entre águas estuarinas e salinas represente a migração reprodutiva para desova na plataforma e o retorno aos estuários por ao menos parte da população ao longo da costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro.

O segundo padrão encontrado foi classificado como Estuarino Residente e compreende os indivíduos que permaneceram no ambiente estuarino durante o seu ciclo de vida. Neste perfil é possível observar que as razões de Sr:Ca e o Ba:Ca tendem a manter-se na mesma faixa conforme o crescimento do peixe. Segundo NORDLIE (2015), algumas espécies da família Mugilidae podem entrar em áreas estuarinas e não necessariamente realizar a migração para desovar na plataforma continental. ALBIERI e ARAÚJO (2010) investigaram a biologia reprodutiva de *M. liza* na Baía de Sepetiba-RJ, onde reportaram a presença de indivíduos maduros/desovantes no interior desta baía, evidenciando que ao menos parte da população pode usar este ambiente para desova. Além disso, o comportamento estuarino residente foi reportado para *Mugil liza*, (FORTUNATO et al, 2017) ao longo do sudeste do Oceano Atlântico entre Baía de Paranaguá-PR, Brasil e Baía de San Blas, Argentina e para *Mugil cephalus* (WANG et al., 2010; WANG 2014) em Taiwan e norte da Nova Zelândia (GÓRSKI et al., 2015). Todavia, este padrão não coincide com comportamento já descrito para a espécie, que envolve a migração dos estuários e desova na plataforma continental (LEMOS et al., 2014; GONZÁLEZ-CASTRO e MINOS, 2016; GONZÁLEZ-CASTRO et al., 2011; WHITFIELD et al., 2012). Portanto, este perfil Estuarino Residente sugere que *Mugil liza* pode adotar diferentes estratégias e comportamentos objetivando maximizar seu sucesso reprodutivo e/ou seu ciclo de vida.

O terceiro e último padrão identificado foi classificado como Marinho Migrador, representado por indivíduos que permaneceram em ambientes estuarinos durante as primeiras fases do ciclo de vida e migraram aparentemente de forma definitiva para o ambiente marinho. Neste perfil foi possível observar uma tendência do Sr:Ca a aumentar conforme o crescimento do peixe, com o Ba:Ca nem sempre apresentando um padrão oposto de variação. Embora possuam registro de migração para o ambiente

marinho, a maioria (70%) dos indivíduos pertencentes a este grupo foi capturada nas regiões estuarinas (Guarujá\_dentro e Magé). Apesar do fato de que as assinaturas químicas dos otólitos podem registrar movimentos rápidos entre ambientes (ELSDON E GILLANDERS, 2003, 2005), os indivíduos podem não permanecer nestes ambientes o tempo suficiente para que os elementos sejam incorporados pelos otólitos (FRANCO et al., 2018; FORTUNATO et al., 2017). FRANCO et al., (2018) atribuíram a este fato a captura de indivíduos de *Micropogonias furnieri* (Desmarest, 1823) identificados como costeiros residentes em áreas estuarinas. Da mesma forma, FORTUNATO et al., (2017) não registraram indivíduos com assinatura química elementar oligohalina, embora tenham coletado indivíduos em áreas com estas características (Mar de Chiquita-Argentina). Portanto, os indivíduos identificados como Marinho Migrador e capturados em grande parte na região estuarina podem não ter permanecido nesta região tempo suficiente para que seus otólitos incorporassem tais características químicas elementares.

As concentrações de Sr:Ca e Ba:Ca no núcleo dos otólitos indicaram diferentes locais de nascimento, variando entre os sistemas estuarino e marinho. A predominância de indivíduos nascidos nos estuários em todos os locais de coleta sugere uma alta conectividade entre os sistemas estuarinos e as áreas costeiras adjacentes. Tal fato nos permite hipotetizar que ao menos parte da população de *M. liza* possa utilizar regiões estuarinas como área de desova. Alguns estudos de química elementar de otólitos têm revelado que espécies pertencentes ao complexo taxonômico de *Mugil cephalus*, o qual *Mugil liza* está inserida, podem desovar na plataforma continental, zonas costeiras e mesmo em regiões estuarinas. É o caso de *Mugil cephalus* no norte da Nova Zelândia (GÓRSKI et al., 2015), em Taiwan (WANG et al., 2010; WANG 2014), no Golfo do México (IBÁÑEZ-AGUIRRE et al., 2012) e *Mugil liza* no sudeste do Oceano Atlântico

(FORTUNATO et al., 2017). Uma possível explicação para este fato seria o nascimento de indivíduos dentro dos estuários representar uma tática para maximizar o sucesso reprodutivo da população, uma vez que estes ambientes são conhecidos pelas condições favoráveis para crescimento, sobrevivência e alimentação dos juvenis (CASTELLINI et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2014; 2018; RODRIGUES et al., 2015; VIEIRA, 1991). Todavia, MAI et al., (2019) reportaram concentrações de Sr:Ca nos núcleos de otólitos da espécie que sugerem o nascimento desses indivíduos em regiões marinhas no sul do Brasil. Este padrão é coincidente com o descrito por VIEIRA (1991), onde após a desova em áreas oceânicas, as correntes de deriva carregam os juvenis da espécie para dentro dos estuários. Portanto, os diferentes locais de nascimento de indivíduos podem representar a plasticidade de táticas reprodutivas adotadas pela espécie. Todavia, mais estudos são necessários para elucidar tais comportamentos.

A análise das médias de concentrações de Sr:Ca no eixo núcleo-borda dos otólitos revelou uma diferença entre Magé e os demais locais de coleta. Tal fato sugere uma separação geográfica entre esses locais, o que poderia representar a existência de diferentes grupos populacionais. MAI et al. (2014), identificaram 2 grupos populacionais de *M. liza* entre a costa sudeste do Brasil e Argentina, sendo um grupo formado por indivíduos capturados dentro da Baía de Guanabara (RJ) e o outro grupo formado por indivíduos capturados de Ubatuba (SP) até Lavalle (Argentina). Além disso, HERAS et al. (2016), reportaram 2 grupos populacionais para a espécie, sendo primeiro grupo formado por indivíduos de Cuba até o Rio de Janeiro e o segundo formado por indivíduos do Rio Grande do Sul até Viedma (Argentina). Todavia, mais estudos envolvendo mais elementos químicos ou mesmo a associação com outras técnicas como marcadores genéticos (microssatélites) e/ou morfometria de otólitos são necessários

para investigar a existência de diferentes grupos populacionais ao longo da costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro.

De forma geral, os três perfis de variação elementar foram encontrados em todos os locais de coleta. O perfil Marinho Visitante foi o mais comum em todos os locais, além de ocorrer exclusivamente em Ilha Grande e Maricá\_Fora. Isso se deve provavelmente a característica deste perfil que envolve o comportamento de flutuação entre as regiões estuarinas e marinhas. O perfil Estuarino Residente foi mais comum nos sistemas costeiros adjacentes do que nos respectivos sistemas estuarinos. Este fato sugere uma intensa movimentação dos indivíduos entre os diferentes sistemas. Esta movimentação parece não sofrer influência das características morfológicas que regulam a conexão de cada sistema estuarino com as áreas costeiras adjacentes. Já o perfil Marinho Migrador, apesar de representado por um pequeno número de indivíduos, foi mais frequente em Magé e Itaipú, ambos sistemas que pertencentes a Baía de Guanabara-RJ. Uma provável explicação para este fato se deve a grande conexão com o mar existente neste sistema que facilita o trânsito de indivíduos entre o fundo da baía e as regiões costeiras adjacentes.

O presente estudo apresentou diferentes padrões de movimentação de *Mugil liza* ao longo da costa dos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Três padrões foram identificados, Marinho Visitante, Estuarino Residente e Marinho Migrador. Esta alta variabilidade intraespecífica de padrões migratórios já foi reportada para diversas espécies de mugilídeos (FORTUNATO et al., 2017; CHANG e IIZUKA, 2012; IBÁÑEZ-AGUIRRE et al., 2012; MAI et al., 2018; WANG, 2014) e reflete diferentes comportamentos e usos dos habitats. Nossos resultados demonstraram que ao menos parte da população de *M. liza* pode retornar aos estuários após a desova na plataforma continental. Por outro lado, alguns indivíduos fazem uso dos estuários durante todo o

ciclo de vida, o que sugere que ao menos parte da população pode utilizar regiões estuarinas para desova. Além disso, as concentrações químicas nos núcleos dos otólitos registraram o nascimento de indivíduos em estuários, reforçando esta hipótese. Portanto, os resultados do presente estudo sugerem que *Mugil liza* possui uma alta plasticidade comportamental, sendo hábil para utilizar diferentes ambientes compreendendo uma ampla variação de salinidade por juvenis e adultos, sendo capaz de adotar diferentes estratégias de vida e/ou táticas reprodutivas que permitam maximizar seu sucesso reprodutivo e/ou ciclo de vida.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBIERI, R. J., & ARAÚJO, F. G. (2010). Reproductive biology of the mullet *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) in a tropical Brazilian bay. *Zoologia*, 27(3). doi: 10.1590/S1984-46702010000300003

ANDRELLO M, D MOUILLOT, J BEUVIER, C ALBOUY, W THUILLER & S MANEL. 2014. Lowconnectivity between Mediterranean Marine Protected Areas: A Biophysical Modeling Approach for the Dusky Grouper *Epinephelus marginatus*. *PlosOne* 8:1-15.

AVIGLIANO, E., DOMANICO, A., SÁNCHEZ, S., VOLPEDO, A.V., 2017. Otolith elemental fingerprint and scale and otolith morphometry in *Prochilodus lineatus* provide identification of natal nurseries. *Fish. Res.* 186, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.07.026>.

BELLOTTO, V.R., N. MIEKELEY, 2000. Improvements in calibration procedures for the quantitative determination of trace elements in carbonate material (mussel shell) by laser ablation ICP-MS. *Fresenius's Journal of Analytical Chemistry* 367, 635-640.

BROWN-PETERSON, N. J., DAVID M. WYANSKI, FRAN SABORIDO-REY, BEVERLY J. MACEWICZ, SUSAN K. LOWERRE-BARBIERI. A Standardized Terminology for Describing Reproductive Development in Fishes. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 3(1):52-70. 2011.

CASTELLINI, D. L., BROWN, D., LAJUD, N. A., ASTARLOA, J. M. D., & GONZÁLEZ CASTRO, M. (2017). Juveniles recruitment and daily growth of the southern stock of *Mugil liza* (Actinopterygii; Fam. Mugilidae): New evidence for the current life-history model. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 99, 1–7. <https://doi.org/10.1017/S0025315417001904>.

CHANG, C.W., IIZUKA, Y., TZENG, W.N., 2004. Migratory environmental history of the grey mullet *Mugil cephalus* as revealed by otolith Sr:Ca ratios. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 269, 277–288.

CHAO, L. H., PEREIRA, L. E. & VIEIRA, J. P. 1985. Estuarine fish community of the dos Patos Lagoon, Brazil: a baseline study. In *Fish Community Ecology in Estuaries and Coastal Lagoons: Towards an Ecosystem Integration* (Yanez-Arancibia, A., ed), pp. 429–450. Mexico City: UNAM Press.

CONDINI, M., TANNER, S., REIS-SANTOS, P., ALBUQUERQUE, C., SAINT'PIERRE, T., VIEIRA, J., GARCIA, A. 2016. Prolonged estuarine habitat use by dusky grouper *Epinephelus marginatus* at subtropical latitudes revealed by otolith microchemistry. *Endangered Species Research*, 29(3), 271-277.

DAVOREN, G., HALDEN, N., 2014. Connectivity of capelin (*Mallotus villosus*) between regions and spawning habitats in Newfoundland inferred from otolith chemistry. *Fish. Res.* 159, 95–104.

DEEGAN LA. 1993. Nutrient and energy transport between estuaries and coastal marine ecosystems by fish migration. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50:74–79.

EGGINS, S.M., WOODHEAD, J.D., KINSLEY, L.P.J., MORTIMER, G.E., SYLVESTER, P., MCCULLOCH, M.T., HERGT, J.M., HANDLER, M.R., 1997. A simple method for the precise determination of > 40 elements in geological samples by ICPMS using enriched isotope. *Chemical Geology* 134, 311-326.

ELSDON, T. S., & GILLANDERS, B. M. (2003). Reconstructing migratory patterns of fish based on environmental influences on otolith chemistry. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 13, 219–235.  
<https://doi.org/10.1023/B:RFBF.0000033071.73952.40>.

ELSDON T.S., GILLANDERS, B.M., 2005. Consistency of patterns between laboratory experiments and field collected fish in otolith chemistry: an example and applications for salinity reconstructions. *Mar. Fresh. Res.* 56, 609-617.

FORTUNATO, R. C., GONZÁLEZ-CASTRO, M., GALÁN, A. R., ALONSO, I. G., KUNERT, C., DURÀ, V. B., & VOLPEDO, A. 2017. Identification of potential fish stocks and lifetime movement patterns of *Mugil liza* Valenciennes 1836 in the Southwestern Atlantic Ocean. *Fisheries Research*, 193, 164-172.

FRANCO, T. P., ALBUQUERQUE, C. Q., SANTOS, R. S., SAINT'PIERRE, T. D., & ARAÚJO, F. G. (2019). Leave forever or return home? The case of the whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* in coastal systems of southeastern Brazil indicated by otolith microchemistry. *Marine environmental research*, 144, 28-35.

GARBIN, T., CASTELLO, J.P., KINAS, P.G., 2014. Age, growth and mortality of the mullet *Mugil liza* in Brazil's southern and southeastern coastal regions. *Fisheries Research*. 49, 61-68.

GILLANDERS BM, KW ABLE, JA BROWN, DB EGGLESTON & PF SHERIDAN. 2003. Evidence of connectivity between juvenile and adult habitats for mobile marine fauna: an important component of nurseries. *Marine Ecology Progress Series* 247:281–295.

GONZÁLEZ-CASTRO, M., MINOS, G., 2016. Sexuality and reproduction of Mugilidae. In: Crosetti, D., Blaber, S.J. (Eds.), *Biology, Ecology and Culture of Grey Mulletts (Mugilidae)*. CRC Press, pp. 227–263.

GONZÁLEZ-CASTRO, M., MACCHI, G.J., COUSSEAU, M.B., 2011. Studies on reproduction of the mullet *Mugil platanus* Günther, 1880 (Actinopterygii Mugilidae) from the Mar Chiquita coastal lagoon, Argentina: Similarities and differences with related species. *Ital. J. Zool.* 78, 343–353. <http://dx.doi.org/10.1080/11250003.2010.549154>.

GÓRSKI, K., DE GRUIJTER, C., TANA, R., 2015. Variation in habitat use along the freshwatermarine continuum by grey mullet *Mugil cephalus* at the southern limits of its distribution. *J. Fish Biol.* 87, 1059–1071. <http://dx.doi.org/10.1111/jfb.12777>.

HEGG JC, T GIARRIZZO & BP KENNEDY. 2015. Diverse Early Life-History Strategies in Migratory Amazonian Catfish: Implications for Conservation and Management. *PLoS One* 10(7): e0129697.

HERAS, S., MALTAGLIATI, F., FERNÁNDEZ, M. V., & ROLDÁN, M. I. (2016). Shaken not stirred: A molecular contribution to the systematics of genus *Mugil* (Teleostei, Mugilidae). *Integrative Zoology*, 11, 263–281. <https://doi.org/10.1111/1749-877.12173>.

IBÁÑEZ, A. L., CHANG, C. W., HSU, C. C., WANG, C. H., IIZUKA, Y., & TZENG, W. N. (2012). Diversity of migratory environmental history of the mullets *Mugil*

*cephalus* and *M. curema* in Mexican coastal waters as indicated by otolith Sr: Ca ratios. *Ciencias Marinas*, 38(1A), 73-87.

LEMOS, VM, AS VARELA JR., PR SCHWINGEL, JH MUELBERT & JP VIEIRA. 2014. Migration and reproductive biology of *Mugil liza* Teleostei: Mugilidae in south Brazil. *Journal of Fish Biology*, 85, 671-687

MAI, A. C. G., MIÑO, C. I., MARINS, L. F. F., MONTEIRO-NETO, C., MIRANDA, L., SCHWINGEL, P. R., VIEIRA, J. P. (2014). Microsatellite variation and genetic structuring in *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) populations from Argentina and Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 149, 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.07.013>.

MAI, A. C., ALBUQUERQUE, C. Q., LEMOS, V. M., SCHWINGEL, P. R., CENI, G. F., SAINT'PIERRE, T. D., & VIEIRA, J. P. (2019). Coastal zone use and migratory behaviour of the southern population of *Mugil liza* in Brazil. *Journal of Fish Biology*. DOI: 10.1111/jfb.14120

MORALES-NIN, B., GEFFEN, A.J., PÉREZ-MAYOL, S., PALMER, M., GONZÁLEZ-QUIRÓS, R., GRAU, A., 2012. Seasonal and ontogenic migrations of meagre (*Argyrosomus regius*) determined by otolith geochemical signatures. *Fish. Res.* 127–128, 154–165. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2012.02.012>.

NAIMAN RJ, RE BILBY, DE SCHINDLER & JM HELFIELD. 2002. Pacific salmon, nutrients, and the dynamics of freshwater and riparian ecosystems. *Ecosystems* 5:399-417.

NORDLIE, F.G., 2015. Adaptation to salinity and osmoregulation in Mugilidae. In: CROSETTI, D., BLABER, S.J. (Eds.), *Biology, Ecology and Culture of Grey Mulletts (Mugilidae)*. CRC Press, pp. 293–323.

OLIVEIRA, M. C. L. M., BASTOS, R. F., CLAUDINO, M. C., ASSUMPÇÃO, C. M., & GARCIA, A. M. (2014). Transport of marine-derived nutrients to subtropical freshwater food webs by juvenile mullets: A case study in southern Brazil. *Aquatic Biology*, 20, 91–100. <https://doi.org/10.3354/ab00544>.

OLIVEIRA, M. C. L. M., CONDINI, M. V., ALBUQUERQUE, C. Q., VIEIRA, J. P., BASTOS, R. F., & GARCIA, A. M. (2018). Coastal streams constitute alternative habitats for juveniles of an overexploited mullet species. *Journal of Applied Ichthyology*, 34, 676–680. <https://doi.org/10.1111/jai.13621>.

POTTER, I.C., TWEEDLEY, J.R., ELLIOTT, M., WHITFIELD, A.K., 2013. The ways in which fish use estuaries: a refinement and expansion of the guild approach. *Fish Fish*. <http://dx.doi.org/10.1111/faf.12050>.

RODRIGUES, F. L., CABRAL, H. N., & VIEIRA, J. P. (2015). Assessing surf-zone fish assemblage variability in southern Brazil. *Marine and Freshwater Research*, 66, 106–119. <https://doi.org/10.1071/MF13210>.

TULP, I., KELLER, M., NAVEZ, J., WINTER, H.V., GRAAF, M., BAEYENS, W., 2013. Connectivity between migrating and landlocked population of a diadromous fish species investigated using otolith microchemistry. *PloS One* 8, e69796

VIEIRA, J. P., GARCIA, A. M. & GRIMM, A. M. 2008. Evidences of El Niño effects on the mullet fishery of the Patos Lagoon Estuary. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 51, 433–440.

VIEIRA, J.P., SCALABRIN, C., 1991. Migração reprodutiva da “Tainha” (*Mugilplatanus*, Günther, 1880) no sul do Brasil. *Atlantica* 13 (1), 131-141.

WANG, C. H. (2014). Otolith elemental ratios of flathead mullet *Mugil cephalus* in Taiwanese waters reveal variable patterns of habitat use. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 151, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.08.024>.

WANG, C., HSU, C., CHANG, C., YOU, C., & TZENG, W. (2010). The migratory environmental history of freshwater resident flathead mullet *Mugil cephalus* L. in the Tanshui River, northern Taiwan. *Zoological Studies*, 49, 504–514.

WHITFIELD, A.K., PANFILI, J., DURAND, J.-D., 2012. A global review of the cosmopolitan flathead mullet *Mugil cephalus* Linnaeus 1758 (Teleostei: Mugilidae), with emphasis on the biology, genetics, ecology and fisheries aspects of this apparent species complex. *Rev. Fish Biol. Fish.* 22 (3), 641–681. <http://dx.doi.org/10.1007/s11160-012-9263-9>.

YILBAS, B.S., MANSOOR, S.B., MANSOOR, R., 2008. Laser pulse heating: Cavity formation into steel, nickel and tantalum surfaces. *Optics and Laser Technology* 40, 723-734.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, utilizamos diferentes ferramentas metodológicas (morfometria e microquímica com otólitos) para responder perguntas referentes à estrutura populacional, ao uso e aos padrões de movimentação entre os diferentes ambiente estuarinos e a plataforma interna pela tainha *Mugil liza*, ao longo da zona de transição que compreende a costa dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo.

A composição dos estoques e a identificação de unidades populacionais distintas foram avaliadas através de análises morfométricas de contorno com otólitos e índices morfométricos. Apesar de três morfotipos distribuídos ao longo da área de estudo, os índices de morfométricos revelaram padrão de separação espacial, com os peixes da região com maior influencia tropical (Saquarema a Sepetiba) apresentando otólitos com maior elipticidade e fator de forma. Por outro lado, a região de maior influencia subtropical (Ilha Grande até Guarujá) apresentou otólitos com maior perímetro e roundness.

Também foi costatada a contribuição dos sistemas costeiros semifechados para o estoque que é pescado na plataforma adjacente, uma vez que através da microquímica foram detectados três perfis de movimentação, sendo mais comum o Marinho Visitante, representando conexões entre os ambientes estuarinos e o ambiente marinho. O segundo perfil, Estuarino Residente, compreende os indivíduos que permaneceram no ambiente estuarino durante o todo o ciclo de vida, e o terceiro (Marinho Migrador), representado por indivíduos que permaneceram em ambientes estuarinos durante as primeiras fases do ciclo de vida e migraram aparentemente de forma definitiva para o ambiente marinho. O estudo de padrões de movimentação nos auxilia na compreensão do uso que a espécie faz dos diferentes sistemas e da importância de preservá-los. A maior parte

dos indivíduos avaliados possui perfis de utilização de ambientes estuarinos pelo menos na fase inicial do ciclo de vida, o que torna a espécie altamente dependente desse tipo de habitat.

*Mugil liza* é uma espécie de grande plasticidade no uso dos ambientes estuarinos e costeiros adjacente, uma possível adaptação às condições euriralinhas que permitem a persistência de grupos populacionais em elevada abundância nesta região de transição entre as áreas temperadas e tropicais do sudeste do Brasil.

A classificação de *Mugi liza* como espécie sobre explorada pelas autoridades brasileiras desde 2004 evidencia a sobrepesca da espécie, principalmente durante a migração reprodutiva. Diversos instrumentos para o ordenamento da pesca (ex.: estabelecimento de cotas de captura) vêm sendo implementados com objetivo de garantir a manutenção dos estoques da espécie. Dessa forma, informações acerca da estrutura populacional, do uso, da conectividade e dos padrões de movimentação da espécie em diferentes habitats se mostram essenciais para a compreensão do ciclo de vida de *M. liza*. Além disso, tais informações contribuem para elaboração de medidas de manejo, uma vez que evidenciam, por exemplo, áreas as quais podem ser consideradas prioritárias para a preservação e ou diferentes estratégias a serem adotadas.