

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - BACHARELADO**

**RELAÇÃO PESO DO OTÓLITO E  
COMPRIMENTO DO CORPO COMO INDICADOR  
DE CRESCIMENTO SOMÁTICO DE PEIXES NOS  
ESTUÁRIOS DOS RIO DOCE E SÃO MATEUS,  
ESPÍRITO SANTO, BRASIL**

**BRENDA MEDEIROS**

**São Mateus/ES  
Novembro/2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – BACHARELADO**

**RELAÇÃO PESO DO OTÓLITO E  
COMPRIMENTO DO CORPO COMO INDICADOR  
DE CRESCIMENTO SOMÁTICO DE PEIXES NOS  
ESTUÁRIOS DOS RIO DOCE E SÃO MATEUS,  
ESPÍRITO SANTO, BRASIL**

**BRENDA MEDEIROS**

Monografia de conclusão de curso apresentada ao Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de BACHAREL EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS.

Orientador: Dr. Prof. Mauricio Hostim Silva

Coorientador: Dr. Marcelo Soeth

**São Mateus/ES**

**Novembro/2023**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO


## FOLHA DE APROVAÇÃO


Autor: **BRENDA MEDEIROS**

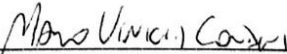
Título: **RELAÇÃO PESO DO OTÓLITO E COMPRIMENTO DO CORPO  
COMO INDICADOR DE CRESCIMENTO SOMÁTICO DE PEIXES NOS  
ESTUÁRIOS DOS RIOS DOCE E SÃO MATEUS, ESPÍRITO SANTO,  
BRASIL**

Monografia do Curso de Ciências Biológicas (Bacharelado)  
Defendida e aprovada em \_17\_/11/\_/23 \_

Com nota 9,5 (Nove e meio) pela comissão julgadora:

  
Prof. Dr. Maurício Hostim Silva - Orientador e presidente da Comissão Examinadora

  
Prof. Dr. Luiz Fernando Duboc da Silva

  
Prof. Dr. Mario Vinicius Condini

## AGRADECIMENTOS

Tentarei ser o mais breve que consigo, mas quando penso nas pessoas envolvidas que me apoiaram em toda a graduação e no processo do desenvolvimento desse trabalho, sinto necessidade de nomear uma a uma, pois só eu sei o tanto que precisei de vocês.

Agradeço ao meu primeiro apoio da vida, minha família. Dona Veralucia Medeiros e seu Luciano Medeiros, que sempre permitiram que eu pudesse colocar meus estudos na frente de tudo e sempre foram (e serão) minha inspiração para seguir. Isso tudo é por vocês (e para comprar ração super premium para minhas filhas, Luna e Moana).

Agradeço as minhas amizades amadas, que sempre se fizeram presentes e nunca falharam em me incentivar durante todo o processo, mesmo quando eu não acreditava em mim. Carolyne Pereira, Ester Barbosa, Guilherme Lanes, Camila Martins, Franciele Bernado, minhas amigas NakMuays Leticia Galvão e Jasmyn Tognere, vocês todos são muito especiais para mim. E agradeço em especial a Giulia Marchiori, minha irmã de alma, que esteve comigo me apoiando nos melhores e piores momentos, o que seria de mim sem você?

Agradeço ao meu Orientador, Dr. Mauricio Hostim, por todo o incentivo e pelas portas que o senhor abriu, que me permitiram continuar na universidade para viver experiências tão agregadoras e finalmente chegar aqui. Agradeço igualmente ao Coorientador Dr. Marcelo Soeth por toda a ajuda na idealização e realização do trabalho.

Agradeço a Rafael Oliveira, que sempre esteve disposto a tirar minhas dúvidas e me aconselhar quando estava ansiosa, você foi essencial nesse processo e não se esqueça “Você importa, não desista”. Agradeço a Ricardo Alves, por toda a ajuda (que foi muita mesmo), se não fosse você, por exemplo, eu teria quebrado todos os otólitos possíveis e sujado todas as paredes brancas do laboratório. O processo foi melhor com vocês.

Agradeço a todos do LEPMar que além de me acolherem, me ensinaram inúmeras coisas, me incentivando até mesmo quando meus desenhos estavam feios. Em especial, agradeço a minha equipe do BioAqua, Giulia Marchiori, Ricardo Alves, Franciele Andrade, Carolyne Pereira, Marcos Bomfim, Mariana Nascimento, Niumaique Gonçalves, Eduarda Ximenes e Rhayne Terra. Amigos queridos com quem dividi muitos aprendizados e risadas, e que sempre estiveram dispostos a me ajudar em tudo, tirei a sorte grande com vocês.

Agradeço também a equipe de pesquisa do Meros, Mario Vinicius Conдини, Lorena Lopes, Ester Barbosa, Rafael Oliveira, Juliette Clarindo e Giulia Marchiori (de novo...). Trabalhar com vocês foi uma experiência muito incrível e entre merinhos e risadas, aprendi coisas que vou guardar com muito carinho.

Por fim, não menos importante, agradeço a Universidade Federal do Espírito Santo e a todos os professores que foram essenciais no meu processo de formação profissional. E agradeço a Fundação Espírito-santense de Tecnologia - FEST pela concessão da bolsa de estudos.

Com toda a certeza existem muitos nomes que não caberiam aqui, mas que me ouviam falar copiosamente sobre “a pedrinha da cabeça do peixe” sem reclamar, agradeço de coração por isso.

*“E se eu fosse eu daria tudo que é meu, e confiaria o futuro ao futuro.”*

*A descoberta do mundo, Clarice Lispector.*

## RESUMO

A relação do peso do otólito e comprimento do peixe fornece informações a respeito de seu crescimento em diferentes ambientes. De modo geral, peixes com taxas de crescimento reduzido exibem otólitos maiores do que em peixes com taxas elevadas na mesma faixa de tamanho, o que pode ser uma característica útil na avaliação da qualidade dos ecossistemas aquáticos. Neste contexto, o rompimento da barragem de Fundão ocorrido em 2015, trouxe à tona a necessidade do monitoramento contínuo das áreas afetadas direta e indiretamente pelo rejeito. Assim, os pesos dos otólitos de *Centropomus parallelus* (n = 185), *Eugerres brasilianus* (n = 326) e *Genidens genidens* (n = 500) foram relacionados com os respectivos comprimentos totais, para testar a hipótese que os peixes crescem mais lentamente em um estuário diretamente afetado pelo desastre (Rio Doce), do que em um indiretamente afetado (rio São Mateus). Para isso, modelos lineares foram ajustados ao peso dos otólitos e comprimentos totais dos peixes, os quais mostram correlações significativas para as três espécies. Os resultados da ANCOVA e comparação das tendências de inclinação identificaram que o peso dos otólitos de *C. parallelus* e *E. brasilianus*, são similares em ambos os estuários, enquanto os otólitos de *G. genidens* são mais pesados no estuário do Rio Doce do que no estuário do rio São Mateus. Desta forma, é sugerido que o diferencial no crescimento somático de peixes entre os estuários é espécie dependente, o que pode ser resultado das características espécies-específica, incluindo o nível de residência estuarina, qualidade do habitat utilizado e composição da dieta. O indicador utilizado no presente estudo sugere que *G. genidens* exibe menores taxas de crescimento no estuário do Rio Doce quando comparado ao estuário do rio São Mateus, o que enfatiza a necessidade da continuidade de estudos. Neste contexto, estimativas de idade e crescimento relacionadas com variáveis ambientais e níveis de contaminantes podem auxiliar na identificação dos efeitos parciais desses componentes sobre o crescimento somático de peixes em áreas afetadas pelo rejeito de minério.

**Palavras-chave:** Biomonitoramento, Desastre de Mariana, Bioindicador, Variáveis ambientais, Rejeito de minério

## ABSTRACT

The relationship between the weight of the otolith and the length of the fish provides information about its growth in different environments. In general, fish with reduced growth rates exhibit larger otoliths than fish with high growth rates in the same size range, which can be a useful characteristic in assessing the quality of aquatic ecosystems. In this context, the collapse of the Fundão dam in 2015 brought to the surface the need for continuous monitoring of areas directly and indirectly affected by waste. Thus, the weights of the otoliths of *Centropomus parallelus* (n = 185), *Eugerres brasilianus* (n = 326) and *Genidens genidens* (n = 500) were related to their respective total lengths, to test the hypothesis that fish grow more slowly in a estuary directly affected by the disaster (Rio Doce), than in one indirectly affected (São Mateus River). For this, linear models were adjusted to the weight of the otoliths and total lengths of the fish, which show significant correlations for the three species. The ANCOVA results and comparison of slope trends identified that the weight of the otoliths of *C. parallelus* and *E. brasilianus* are similar in both estuaries, while the otoliths of *G. genidens* are heavier in the Rio Doce estuary than in the estuary of the São Mateus river. Therefore, it is suggested that the differential in somatic growth of fish between estuaries is species dependent, which may be the result of species-specific characteristics, including the level of estuarine residence, quality of habitat and diet composition. The indicator used in the present study suggests that *G. genidens* exhibits lower growth rates in the Rio Doce estuary when compared to the São Mateus River estuary, which emphasizes the need for continued studies. In this context, age and growth estimates related to environmental variables and contaminant levels can help identify the partial effects of these components on the somatic growth of fish in areas affected by ore waste.

**Keywords:** *Biomonitoring, Mariana Disaster, Bioindicator, Environmental variables, Ore waste*

## SUMÁRIO DE FIGURAS

Figura 1: Espécies estudadas A – <i>Centropomus parallelus</i> ; B – <i>Eugerres brasilianus</i> ; C – <i>Genidens genides</i> .....	2
Figura 2: Áreas de coleta localizadas ao norte do Espírito Santo. No município de Conceição da Barra se encontra o estuário do rio São Mateus, e no município de Linhares se encontra o estuário do Rio Doce. ....	7
Figura 3: Otólitos coletados de <i>Centropomus parallelus</i> (A), <i>Eugerres brasilianus</i> (B), e <i>Genidens genidens</i> (C). ....	8
Figura 4: Exemplo do processo de extração (A) e limpeza em água destilada (B) do otólito de um espécime de <i>Centropomus parallelus</i> . Otólitos de <i>Genidens genidens</i> dispostos para secagem após a limpeza (C). ....	9
Figura 5: Histograma de frequência dos comprimentos totais de <i>Centropomus parallelus</i> (CT 290 a 430 mm) capturados nos estuários do Rio Doce (RD) e rio São Mateus (CB). ....	11
Figura 6: Histograma de frequência dos comprimentos totais de <i>Eugerres brasilianus</i> (CT 180 a 340 mm) capturados nos estuários do Rio Doce (RD) e rio São Mateus (CB). ....	11
Figura 7: Histogramas de frequência dos comprimentos totais de <i>Genidens genidens</i> (CT 200 a 310 mm) capturados nos estuários do Rio Doce (RD) e rio São Mateus (CB). ....	12
Figura 8: A relação PO-CT log-transformada (PO, peso do otólito; CT, comprimento total) para <i>Centropomus parallelus</i> nos estuários do rio São Mateus e Rio Doce. Os pontos indicam os valores medidos, enquanto a linha sólida e o sombreado indicam o ajuste do modelo linear com intervalos de confiança de 95%. ....	13
Figura 9: Médias marginais estimadas das tendências lineares (emmeans) com o erro padrão para os estuários Rio Doce (RD) e rio São Mateus (CB) para <i>Centropomus parallelus</i> . ....	13
Figura 10: A relação PO-CT log-transformada (PO, peso do otólito; CT, comprimento total) para <i>Eugerres brasilianus</i> nos estuários do rio São Mateus e Rio Doce. Os pontos indicam os valores medidos, enquanto a linha sólida e o sombreado indicam o ajuste do modelo linear com intervalos de confiança de 95%. ....	14
Figura 11: Médias marginais estimadas das tendências lineares (emmeans) com o erro padrão para os estuários Rio Doce (RD) e rio São Mateus (CB) para <i>Eugerres brasilianus</i> .....	15
Figura 12: A relação PO-CT log-transformada (PO, peso do otólito; CT, comprimento total) para <i>Genidens genidens</i> dos estuários do rio São Mateus e Rio Doce. Os pontos indicam os valores medidos, enquanto a linha sólida e o sombreado indicam o ajuste do modelo linear com intervalos de confiança de 95%. ....	16

Figura 13: Médias marginais estimadas das tendências lineares (*emmeans*) com o erro padrão para os estuários Rio Doce (RD) e rio São Mateus (CB) para *Genidens genidens*. As quatro estrelas (\*\*\*) indicam que as diferenças são altamente significativas..... 16

## SUMÁRIO DE TABELAS

Tabela 1: Mínimo (min), máximo (máx), média e desvio padrão (DP) do comprimento total (mm) e peso do otólito de <i>Centropomus parallelus</i> (CENPAR), <i>Eugerres brasilianus</i> (EUGBRA) e <i>Genidens genidens</i> (GENGEN) capturados no rio São Mateus (CB) e no Rio Doce (RD). .....	10
Tabela 2: Resultados do modelo linear para <i>Centropomus parallelus</i> (CENPAR), <i>Eugerres brasilianus</i> (EUGBRA) e <i>Genidens genidens</i> (GENGEN) nos dois locais Rio Doce (RD) e São Mateus (CB), demonstrando os valores da Estimativa, Erro Padrão, Valor t e Valor p para os interceptos e logCT.....	17

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Ictiofauna .....	1
1.2. Otólitos .....	3
1.3. O rompimento da barragem de Fundão .....	4
<b>2. METODOLOGIA .....</b>	<b>5</b>
2.1. Área de estudo .....	5
2.2. Amostragem e processamento .....	7
2.3. Análises de dados .....	9
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>10</b>
<b>4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>20</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Ictiofauna

Os peixes, além de serem importantes componentes de cadeias tróficas, que auxiliam na manutenção dos ecossistemas aquáticos naturais, também são um recurso natural. A exploração desses indivíduos por meio da pesca caracteriza uma das atividades de subsistência mais importantes principalmente nas zonas costeiras, sendo fonte de alimento e emprego para populações humanas há milênios (Pinto *et al.*, 2013). Além disso, são animais que estão constantemente expostos a diferentes tipos de contaminação, devido ao ambiente que vivem, e assim são considerados importantes para a avaliação da saúde dos ecossistemas aquáticos (Köck *et al.*, 1996; Dane & Şişman, 2015; Paschoalini *et al.*, 2019).

Desta forma, diferentes espécies são procuradas nas atividades pesqueiras, seja para fins econômicos ou pela importância em estudos, como os de biomonitoramento dos sistemas aquáticos. A facilidade de captura e abundância no ambiente são fatores que influenciam na busca, como é o caso dos robalos, *Centropomus parallelus* (Poey, 1860), das carapebas, *Eugerres brasilianus* (Cuvier, 1830) e dos bagres, *Genidens genidens* (Cuvier, 1829) (Nelson, 1994; Silva Junior *et al.*, 2013; Engman *et al.*, 2019; Nunes *et al.*, 2021).

As espécies da família Centropomidae estão contidas em um único gênero, *Centropomus* Lacépède, 1802, com 12 representantes popularmente chamados de robalos (Orrell, 2003). O robalo-peva, *Centropomus parallelus* (Figura 1A), ocorre em águas tropicais e subtropicais na porção oeste do Oceano Atlântico, com registros dos Estados Unidos até o sul do Brasil (Rivas, 1986; Tsuzuki *et al.*, 2007). São indivíduos de hábito alimentar predominantemente carnívoro, que podem ultrapassar os 600 mm de comprimento e pesar mais de 3 kg (Orrell, 2003; Chaves & Nogueira, 2018). Assim como as demais espécies do gênero, *C. parallelus* possui uma alta adaptação às variações de salinidade, podendo habitar e migrar entre áreas marinhas e estuarinas (Daros *et al.*, 2022a).

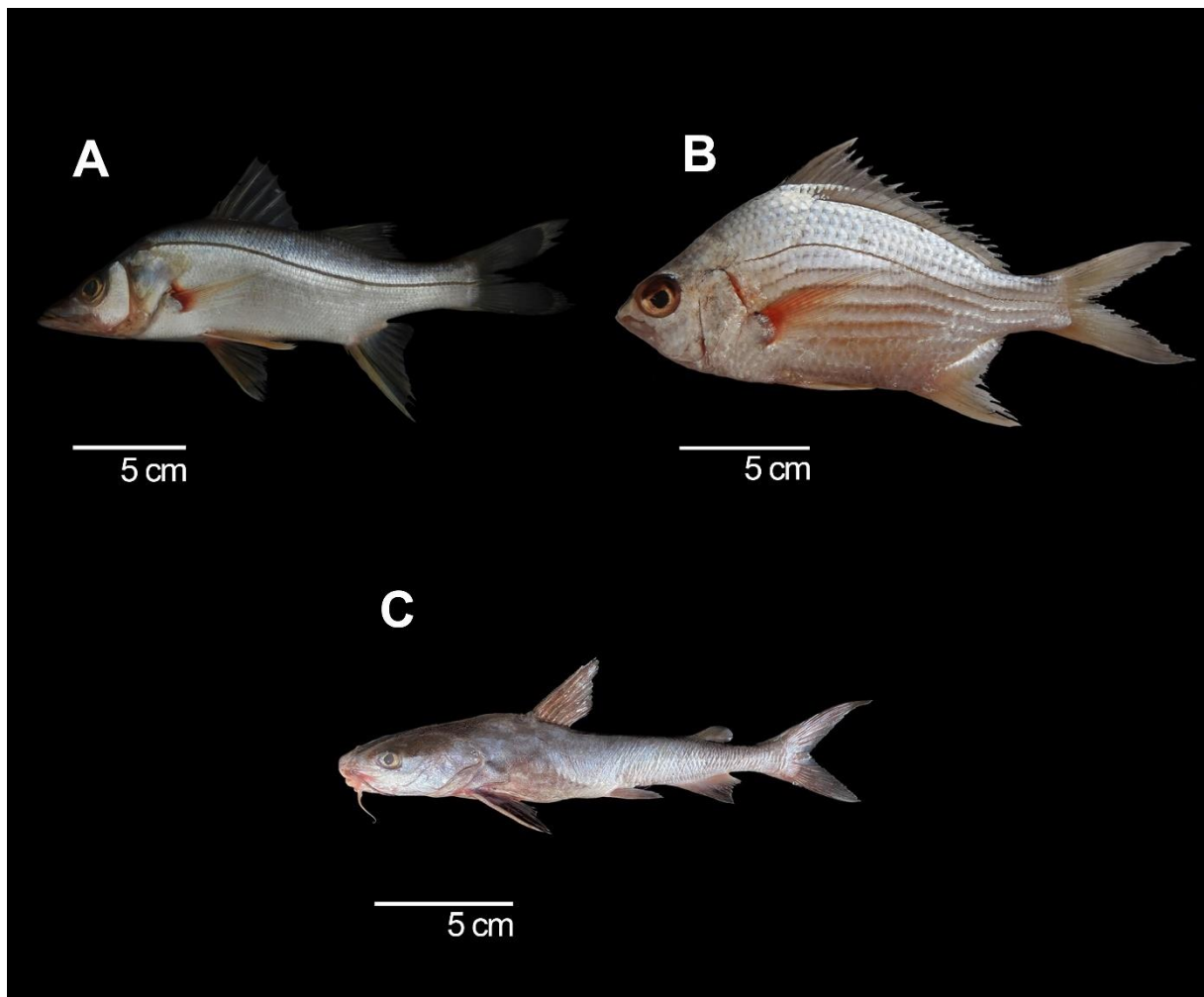


Figura 1: Espécies estudadas A – *Centropomus parallelus*; B – *Eugerres brasilianus*; C – *Genidens genidens*.

A família Gerreidae é conhecida pelas espécies popularmente chamadas de carapebas, caratingas ou carapicus, encontradas em águas tropicais e subtropicais, em estuários e rios (Nelson, 1994; Gilmore Jr, 2002; Barletta & Costa, 2009). As carapebas-listradas, *Eugerres brasilianus* (Figura 1B), distribuem-se por todo o Atlântico Ocidental, dos Estados Unidos até Santa Catarina no Brasil, migrando durante o período reprodutivo entre ambientes costeiros de água doce e marinhos (Lessa & Nóbrega, 2000; Gilmore Jr, 2002; Floeter *et al.*, 2003; Ramos *et al.*, 2016). São peixes que apresentam uma dieta constituída principalmente de organismos bentônicos e plantas de fundos arenosos ou lodosos, podendo alcançar cerca de 350mm (Menezes & Figueiredo, 1980; Gilmore Jr, 2002).

A família Ariidae, composta por espécies conhecidas popularmente como bagres, é o grupo com maior distribuição da ordem Siluriformes (Bruton, 1996; Betancur-R. *et al.*, 2007; Marceniuk *et al.*, 2012). O endemismo é uma característica típica de grande parte das espécies

da família, onde eles se encontram em áreas geográficas relativamente restritas, sendo muito comuns em águas costeiras tropicais e temperadas, em manguezais e estuários (Betancur-R & Armbruster, 2009; Marceniuk *et al.*, 2012). O bagre-guri, *Genidens genidens* (Cuvier, 1829) (Figura 1C) é uma espécie que se distribui entre o estado da Bahia no Brasil até Buenos Aires na Argentina (Fischer *et al.*, 2011). Sendo uma das espécies mais abundantes nos estuários brasileiros, podendo alcançar até 350 mm de comprimento total (Marceniuk, 2005; Marceniuk & Menezes, 2007), se alimentam de diversas espécies associadas ao substrato do estuário (Chaves & Vandel, 1996). O *G. genidens* completa seu ciclo de vida dentro do estuário, e suas características, como tolerância aos impactos antrópicos, às variações ambientais, e flexibilidade alimentar, corroboram para que ele seja considerado uma espécie sentinela do ambiente em que vive (Silva-Junior *et al.*, 2013; Maciel *et al.*, 2018).

## 1.2. Otólitos

Dentre as formas de estudo da ictiofauna, os otólitos demonstram ser de grande importância para a gestão e conservação dos recursos marinhos (Campana, 1999; Campana, 2005). Otólitos são estruturas calcificadas localizadas próximas à região ventral do cérebro, nos lados direito e esquerdo da cabeça dos peixes teleósteos, com funções de auxiliar no equilíbrio e balanço hidrostático do animal, bem como na percepção do som (Popper & Lu, 2000; Campana, 2004). Essas estruturas se formam no início do desenvolvimento do peixe, sendo compostos majoritariamente pela deposição de camadas sequenciais de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) em uma matriz orgânica na forma de otolina (Campana, 1999; Panfili *et al.*, 2002).

Os otólitos estão presentes em três pares denominados *sagitta*, *lapillus* e *asteriscus* (Popper & Lu, 2000). Os *sagittae* costumam ser mais utilizados para análises, por serem os maiores pares em grande parte das espécies de peixes, com exceção da ordem dos Siluriformes, onde os *lapilli* são maiores que os demais (Martínez & Monasterio de Gonzo, 1988; Santificetur *et al.*, 2017).

Além disso, os otólitos apresentam diferenças espécie-específicas em relação ao tamanho, morfologia e microestruturas que compõem (Secor *et al.*, 1992). A deposição dos compostos que formam os otólitos ocorre de formas variáveis ao longo do crescimento do organismo, assim, o formato do otólito varia como resultado de fatores como a mudança de temperatura (ciclos sazonais), disponibilidade de alimento, ciclos reprodutivos, diferenças metabólicas e outras variações ambientais, como a salinidade, por exemplo (Campana & Casselman, 1993; Fonteles-Filho, 1989; Morales-Nin, 2000; Green *et al.*, 2009; Vignon, 2012). Além disso, essas estruturas não passam por processos de reabsorção, mesmo em momentos de estresse, sendo assim metabolicamente inertes (Campana & Neilson, 1985).

Como uma ferramenta essencial para as ciências pesqueiras, os otólitos são considerados padrão para a determinação de idade em peixes (Campana, 2005a), bem como auxiliam na compreensão de padrões migratórios (Elsdon & Gillanders, 2003; McMahon *et al.*, 2011a); uso do habitat (McMahon *et al.*, 2011b, Hu *et al.*, 2022) e na identificação de estoques pesqueiros (Muniz *et al.*, 2021; Schroeder *et al.*, 2022; Soeth *et al.*, 2022). As dimensões dos otólitos como comprimento e peso são correlacionadas com o comprimento e idade dos peixes (Aliaume *et al.*, 2000 Newman, 2002; Bhakta *et al.*, 2020), sendo uma característica útil em estudos de ecologia trófica (Škeljo & Ferri, 2012; Santana *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2019) e do crescimento somático de peixes (Zorica *et al.*, 2010; Bhakta *et al.*, 2020; Aufy *et al.*, 2023).

A relação peso do otólito (PO) e comprimento (CT) do peixe (relação PO-CT) é uma ferramenta útil para comparar o crescimento de peixes habitando diferentes ambientes (Secor & Dean, 1989; Campana & Casselman, 1993). Os otólitos crescem de forma relativamente mais lento que o corpo do peixe quando o crescimento somático é acelerado, e relativamente mais rápido que o corpo quando o crescimento é reduzido (Casselman, 1990). Desta forma, a variação na atividade metabólica e crescimento dos peixes sob regimes ambientais distintos, pode acarretar diferenças no tamanho dos otólitos. De modo geral, peixes com crescimento lento exibem otólitos maiores do que peixes de crescimento rápido (Mosegaard *et al.*, 1988; Secor & Dean, 1989; Campana & Casselman, 1993). Já o crescimento dos peixes está relacionado com a disponibilidade de alimento, a variação dos fatores abióticos, como a temperatura e salinidade, níveis de contaminantes, entre outros (Campana & Casselman, 1993; Moyle & Cech Jr, 2000; Tsuzuki *et al.*, 2007; Bone & Moore, 2008). Portanto, a comparação da relação PO-CT entre unidades populacionais de peixes, é uma ferramenta que pode auxiliar na compreensão da qualidade ambiental de ecossistemas.

### 1.3. O rompimento da barragem de Fundão

No ano de 2015, o rompimento da barragem de Fundão em Mariana, Minas Gerais, resultou em um dos maiores desastres ambientais envolvendo rejeitos de minério no mundo, onde cerca de 60 milhões m<sup>3</sup> de rejeitos contaminaram aproximadamente 668 km do rio Doce, atingindo o Oceano Atlântico e gerando impactos ecológicos e socioeconômicos imensuráveis (Fernandes *et al.*, 2016; Cordeiro *et al.*, 2019). Ecossistemas fluviais, estuarinos e marinhos tiveram a qualidade de suas águas negativamente afetadas devido às quantidades significativas de rejeitos de metais depositados. Estudos realizados após o desastre encontraram nas matrizes bióticas e abióticas altas concentrações de cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), mercúrio (Hg), chumbo (Pb), zinco (Zn) e metaloides (Gomes *et al.*, 2017; Costa *et al.*, 2022).

Estudos foram conduzidos nas regiões atingidas para avaliar e monitorar os impactos em diferentes níveis de organização biológica. Nascimento *et al.* (2022), apontaram que após quatro anos do desastre, a macrofauna marinha reduziu drasticamente em abundância, riqueza e diversidade de espécies; Gabriel *et al.* (2020) dois anos após o acidente apontaram altas concentrações de metais traço potencialmente tóxicos nos tecidos hepáticos e musculares de *G. genidens* e *Cathorops spixii* (Agassiz, 1829); Daros *et al.* (2022b) também demonstraram através da microquímica de otólitos de *G. genidens* um acúmulo de elementos químicos (Fe, Ba, e Mn); entre outros que abordam os efeitos dos rejeitos nos organismos e no ambiente (Weber *et al.*, 2020; Bevitório *et al.*, 2022; Costa *et al.*, 2022).

Devido a gravidade do desastre existe uma grande necessidade de que o monitoramento da área impactada continue sendo realizado, uma vez que a região permanece impactada pelo influxo e ressuspensão do rejeito depositado no ambiente fluvial e marinho (Nascimento *et al.*, 2022). O monitoramento a longo prazo pode ser realizado selecionando espécies, a partir do uso do habitat e hábitos alimentares, como bioindicadoras para avaliar resultados populacionais específicos de locais impactados em comparação com locais não impactados (Condini *et al.*, 2022).

Portanto, o presente estudo busca investigar diferenças regionais no crescimento de três espécies, *C. parallelus*, *E. brasilianus* e *G. genidens*, capturadas na região do estuário do Rio Doce, em Linhares, em comparação com o estuário do rio São Mateus, em Conceição da Barra, a partir da relação peso do otólito das espécies com os seus respectivos comprimentos totais. E desta forma, será testada a hipótese que os peixes crescem mais lentamente em uma região diretamente afetada pelo desastre de Fundão (Rio Doce), do que em uma região indiretamente afetada (rio São Mateus), uma vez que o crescimento dos peixes é um reflexo da qualidade do meio em que eles habitam, e desta maneira, buscamos contribuir com as análises dos impactos causados pelo desastre ocorrido em 2015 no desenvolvimento dos peixes.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1. Área de estudo**

Este estudo foi realizado em dois estuários distintos na região do norte do Espírito Santo (Figura 2). O primeiro estuário está incluso na Bacia Hidrográfica do Rio Doce, que possui uma área de drenagem de 86 mil km<sup>2</sup>. A nascente está localizada no estado de Minas Gerais e a foz no

Espírito Santo, mais precisamente no distrito de Regência em Linhares (19°23'30.8"S 40°04'19.9"W) (Coelho, 2006), onde as coletas foram realizadas. A região estuarina do Rio Doce, também conhecida como Baixo Rio Doce, é caracterizada pelo clima tropical úmido, de estação chuvosa bem definida durante o verão e uma estação seca no inverno, segundo a classificação de Köppen & Geiger (1936), e o regime fluvial do rio, no geral, é considerado perene, acompanhando a pluviosidade (Coelho, 2006).

As características fisiográficas dessa área são distintas de outras bacias da região, apresentando uma declividade pouco acentuada, que favorece os processos de sedimentação e faz com que o substrato seja constituído majoritariamente por areia e sedimento orgânico (lama) (IGAM, 2010), bem como a salinidade anual do estuário ser baixa durante todo o ano (Condini *et al.*, 2022). Desde o final do Século 18, com a descoberta e a exploração do ouro em Ouro Preto/MG, a bacia sofre com diversos processos de degradação como a supressão da vegetação ciliar, poluição proveniente de atividades industriais e esgotos domésticos, e construção de barramentos, todavia, o rompimento da barragem de rejeitos de minérios ocorrido em Mariana/MG agravou severamente o nível de poluição do rio, trazendo à tona a necessidade do monitoramento contínuo da qualidade do ambiente (Schwarcz & Starling, 2015; Drummond *et al.*, 2021).

O segundo estuário está incluso no rio São Mateus, que possui área aproximada de 13 mil km<sup>2</sup>, cuja nascente se localiza no estado de Minas Gerais e desagua no Oceano Atlântico pelo município de Conceição da Barra, ao norte do Espírito Santo (18°35'32.3"S 39°43'54.5"W). A região também está inserida no domínio climático tropical úmido, pela classificação de Köppen & Geiger, 1936 (IEMA, 2014), e o estuário do rio São Mateus possui regime micromareal, com marés semidiurnas, se caracterizando pela deposição de sedimentos originados por processos fluviais e marinhos (Silva *et al.*, 2005). O estuário do rio São Mateus é considerado indiretamente afetado pelo rejeito de Fundão, uma vez que estudos indicam a presença de poluição relacionada com o desastre até a região de Abrolhos, localizados ao sul do estado da Bahia e norte do Espírito Santo, demonstrando a alta dispersão do material pela região da costa brasileira (Francini-Filho *et al.*, 2019; Coimbra *et al.*, 2020)

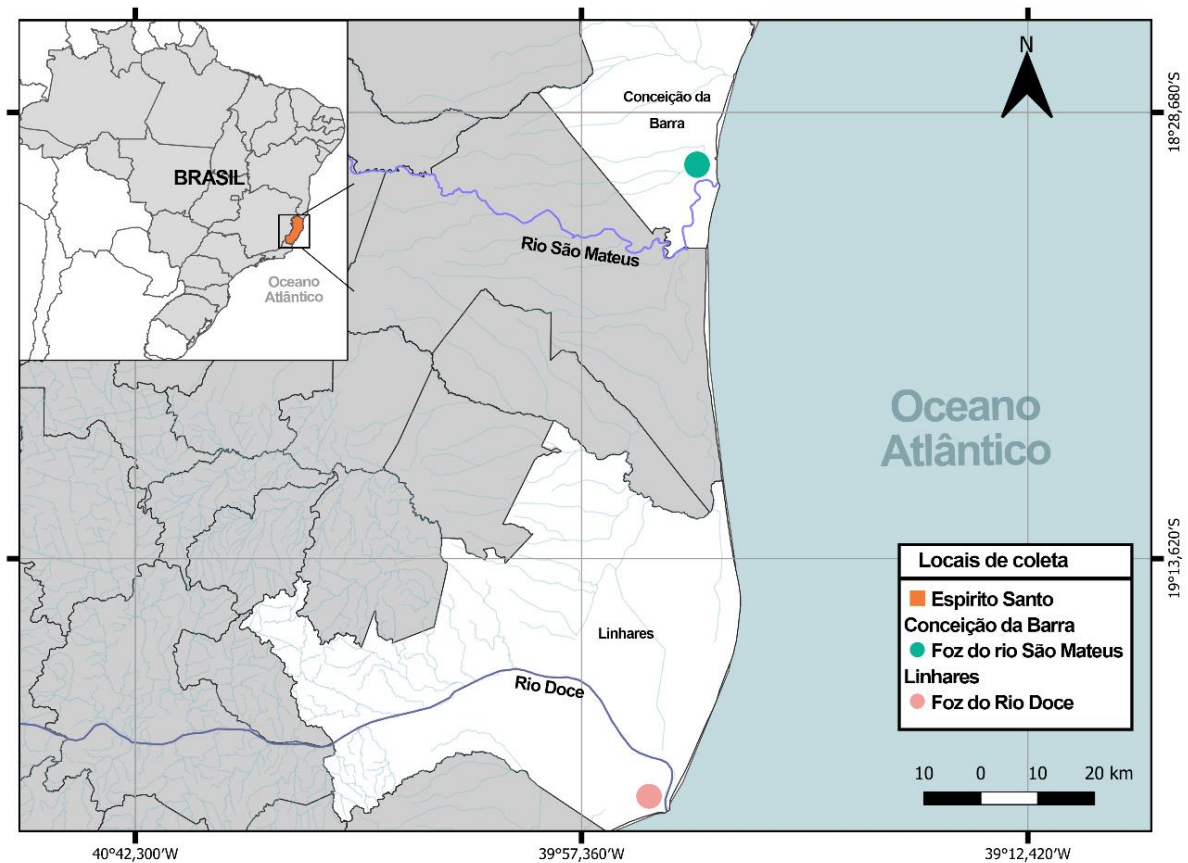


Figura 2: Áreas de coleta localizadas ao norte do Espírito Santo. No município de Conceição da Barra se encontra o estuário do rio São Mateus, e no município de Linhares se encontra o estuário do Rio Doce.

## 2.2. Amostragem e processamento

As coletas ocorreram mensalmente do período de outubro de 2022 até agosto de 2023 nas duas regiões. Os peixes foram capturados a partir de diferentes métodos para estudos desenvolvidos no Projeto de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA) da Rede Rio Doce Mar. Os espécimes de *C. parallelus* e *E. brasilianus* foram capturados com o auxílio de pescadores de ambas regiões, que utilizam de redes de emalhe de diferentes malhas, linhas de mãos, entre outros métodos. Enquanto a coleta do *G. genidens* foi realizada através de arrastos de fundo com portas (tipo “balão” ou “wing trawl”).

Após a captura e obtenção dos indivíduos, os peixes foram acondicionados e conservados em gelo, sendo encaminhado para o Laboratório de Ecologia de Peixes Marinhos (LEPMar) localizado no campus da Universidade Federal do Espírito Santo em São Mateus, onde posteriormente foram processados. Durante o processamento, os indivíduos tiveram seu comprimento total (CT, mm) mensurados. Posteriormente, os otólitos *sagittae* de *C. parallelus*

e *E. brasiliensis* e *lapilli* de *G. genidens* (Figura 3) foram retirados, limpos em água destilada com o auxílio de um pincel, e armazenados para secagem (Figura 4). Finalmente, após secos, apenas um otólito de cada indivíduo amostrado foi pesado em uma balança analítica (Marte AUX 320,  $\pm 0,0001$  g) e os dados foram planilhados de acordo com a identificação individual do peixe.

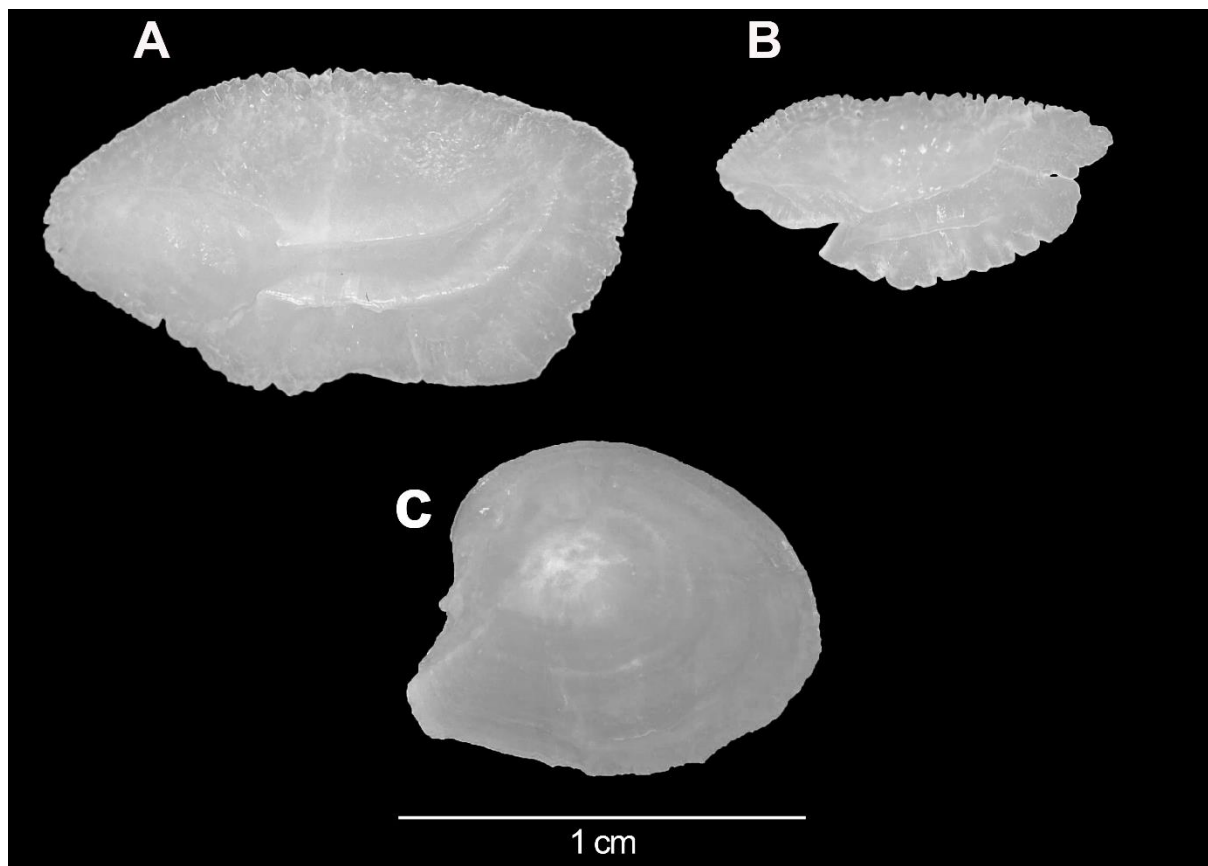


Figura 3: Otólitos *sagittae* de *Centropomus parallelus* (A), *sagittae* de *Eugerres brasiliensis* (B) e *lapillus* de *Genidens genidens* (C).

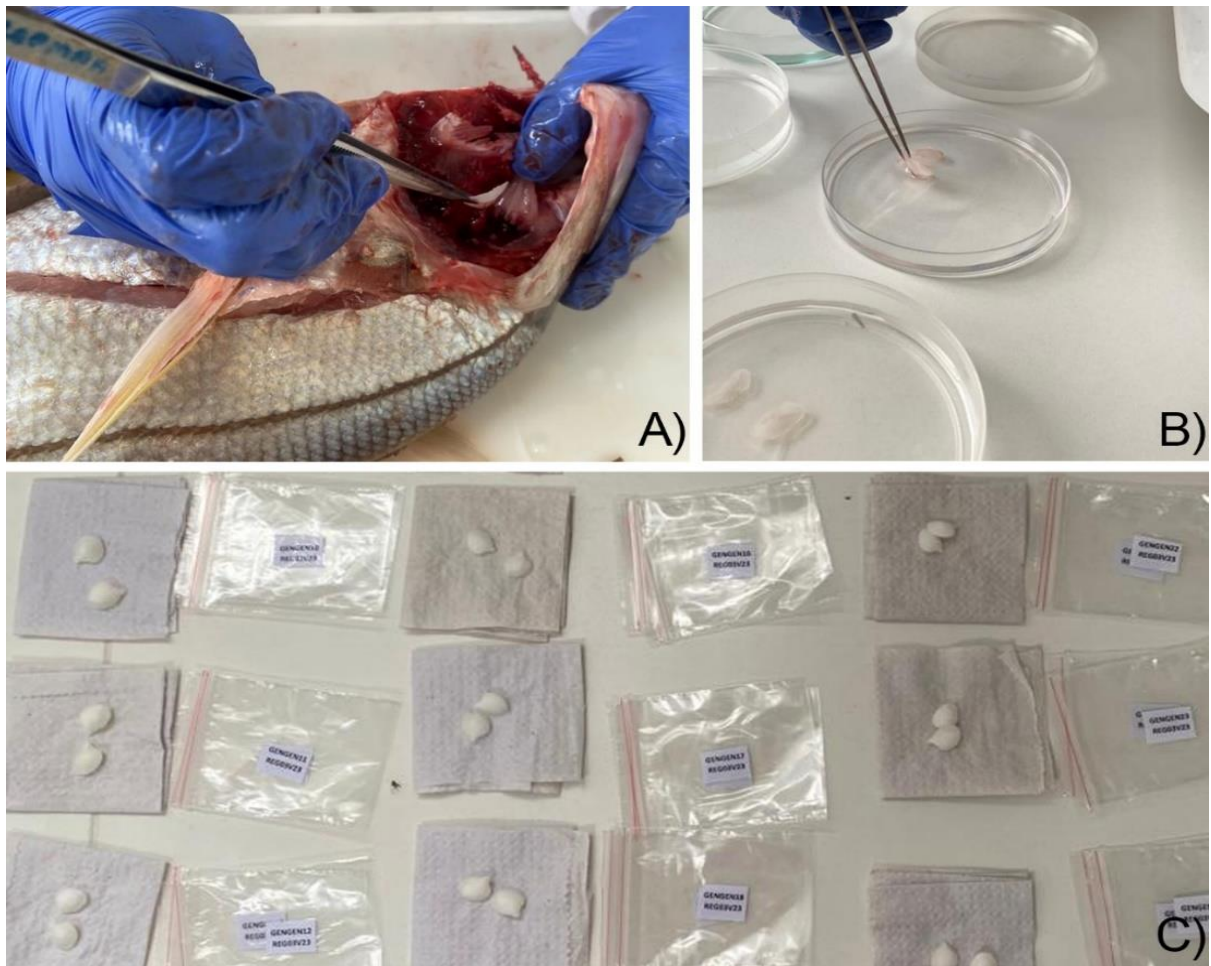


Figura 4: Exemplo do processo de extração (A) e limpeza em água destilada (B) do otólito de um espécime de *Centropomus parallelus*. Otólitos de *Genidens genidens* dispostos para secagem após a limpeza (C).

### 2.3. Análises de dados

A relação peso do otólito e comprimento do peixe (relação PO-CT) foi utilizada para comparar o crescimento das três espécies de peixes capturadas nos estuários do Rio Doce (RD) e São Mateus (CB). Para o teste de hipóteses, foi considerado a priori que, peixes com crescimento lento exibem otólitos mais pesados do que peixes de crescimento rápido do mesmo tamanho (Mosegaard *et al.*, 1988; Secor & Dean, 1989; Campana & Casselman, 1993).

Para comparar uma faixa de comprimento total (CT) similar entre os estuários para cada espécie, um histograma de frequência foi utilizado para determinar a amplitude dos grupos de tamanho dos indivíduos capturados. Valores diferentes da faixa definida foram excluídos.

Primeiramente, modelos lineares (LM) foram ajustados separadamente para cada estuário e espécie para avaliar o nível de significância (p-valor) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) das

relações de PO-CT. Para atingir a suposição de linearidade nos modelos lineares, os valores de PO e CT foram log-transformados ( $\log_{10}$ ).

Para testar a hipótese de que as espécies de peixes crescem mais rápido no estuário do São Mateus (CB) em comparação ao estuário do Rio Doce (RD) foram utilizadas análises de covariância (ANCOVA) onde os estuários foram definidos como grupo preditor, o peso do otólito (PO) como variável dependente, e o CT como covariável. Desta forma, no modelo da ANCOVA utilizado, o efeito da covariável (CT) sob a variável resposta (PO) foi removido para avaliação do efeito do grupo preditor. Por fim, para a estimativa e comparação das tendências de inclinação, calculou-se as médias marginais estimadas das tendências lineares (*emmeans*) (Lenth, 2016).

A análise da normalidade dos resíduos foi realizada pelo teste de Shapiro-Wilks, e o teste de Levene para avaliar a homogeneidade das variâncias. Sendo os testes de Shapiro-Wilks e Levene não significativos ( $p > 0,05$ ), é demonstrada a normalidade dos resíduos para todos os grupos e homogeneidade das variâncias, respectivamente. Todas as análises de dados foram realizadas utilizando os pacotes estatísticos do *software R* versão 4.3.0 (*R Development Core Team*, 2023).

### 3. RESULTADOS

Um total de 1011 peixes foram analisados para o presente estudo, sendo 185 *C. parallelus* (Figura 5) com indivíduos com amplitude de CT 290 a 430 mm, 326 *E. brasiliensis* (Figura 6) com indivíduos com amplitude de CT 200 a 340 mm, e 500 *G. genidens* (Figura 7) com indivíduos de amplitude de CT 200 a 310 mm (Tabela 1).

Tabela 1: Mínimo (min), máximo (máx), média e desvio padrão (DP) do comprimento total (mm) e peso do otólito de *Centropomus parallelus* (CENPAR), *Eugerres brasiliensis* (EUGBRA) e *Genidens genidens* (GENGEN) capturados no rio São Mateus (CB) e no Rio Doce (RD).

Espécie	Local	N	CT (mm)				PO (g)			
			Min	Máx	Média	DP	Min	Máx	Média	DP
CENPAR	CB	114	290	430	341,11	34,96	139	361,4	217,09	48,60
	RD	71	290	429	356,04	42,10	131,5	417,4	238,92	58,69
EUGBRA	CB	241	201	340	261,68	29,15	19,3	107,9	42,82	11,29
	RD	85	200	340	257,42	42,17	21,0	85,8	40,91	15,045
GENGEN	CB	251	200	310	258,19	28,78	210,8	799,90	399,87	100,47
	RD	249	200	310	255,25	22,64	228,80	798,30	473,51	89,42

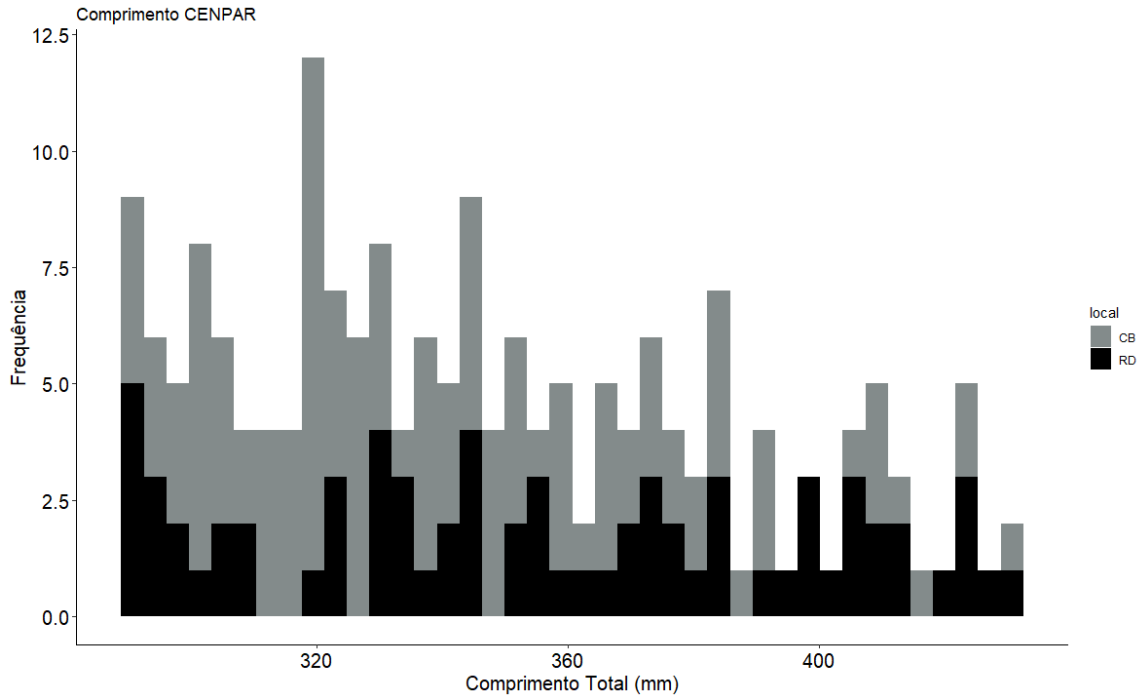


Figura 5: Histograma de frequência dos comprimentos totais de *Centropomus parallelus* (CT 290 a 430 mm) capturados nos estuários do Rio Doce (RD) e rio São Mateus (CB).

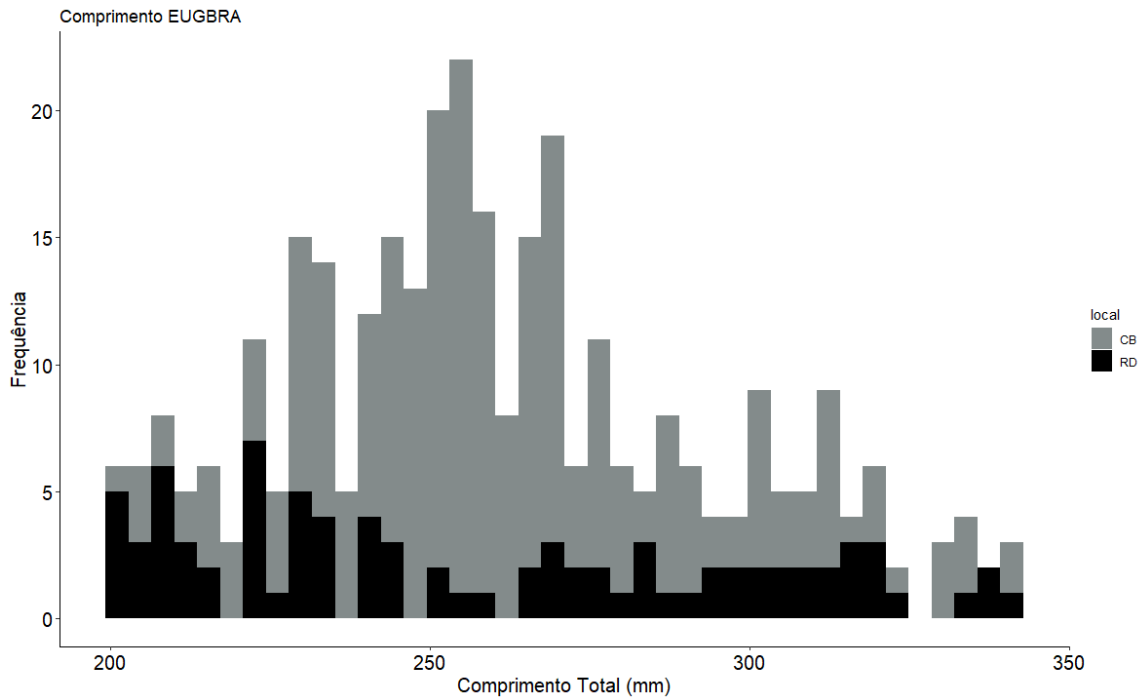


Figura 6: Histograma de frequência dos comprimentos totais de *Eugerres brasiliensis* (CT 180 a 340 mm) capturados nos estuários do Rio Doce (RD) e rio São Mateus (CB).

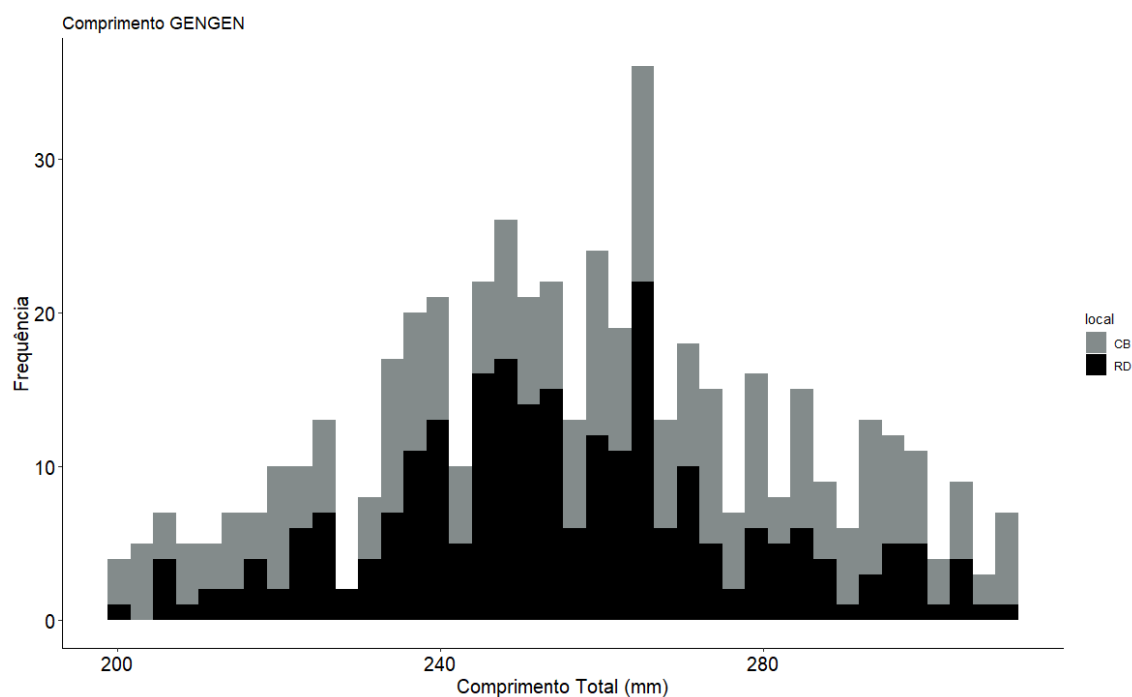


Figura 7: Histogramas de frequência dos comprimentos totais de *Genidens genidens* (CT 200 a 310 mm) capturados nos estuários do Rio Doce (RD) e rio São Mateus (CB).

Foram analisados os otólitos de 114 *C. parallelus* coletados em CB, e 71 no RD. O modelo linear demonstrou que a relação entre PO-CT log-transformada para *C. parallelus* é significativa em ambos estuários ( $p < 0,0001$ ; Tabela 2). O modelo linear indicou que o CT dos indivíduos explicou a maior parte da variação de peso dos otólitos de *C. parallelus* capturados no RD ( $R^2 = 0,77$ ) e CB ( $R^2 = 0,79$ ) (Figura 8).

Os testes de Shapiro-Wilk ( $p = 0,335$ ) e de Levene ( $p = 0,151$ ) não foram significativos, indicando normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias para ambos os grupos (estuários). Após o ajuste do efeito da covariável (CT), a ANCOVA estimou que o peso do otólito de *C. parallelus* é estatisticamente similar entre os estuários do RD e CB (ANCOVA,  $F_{1, 182} = 0,523$   $p = 0,47$ ) (Figura 9).

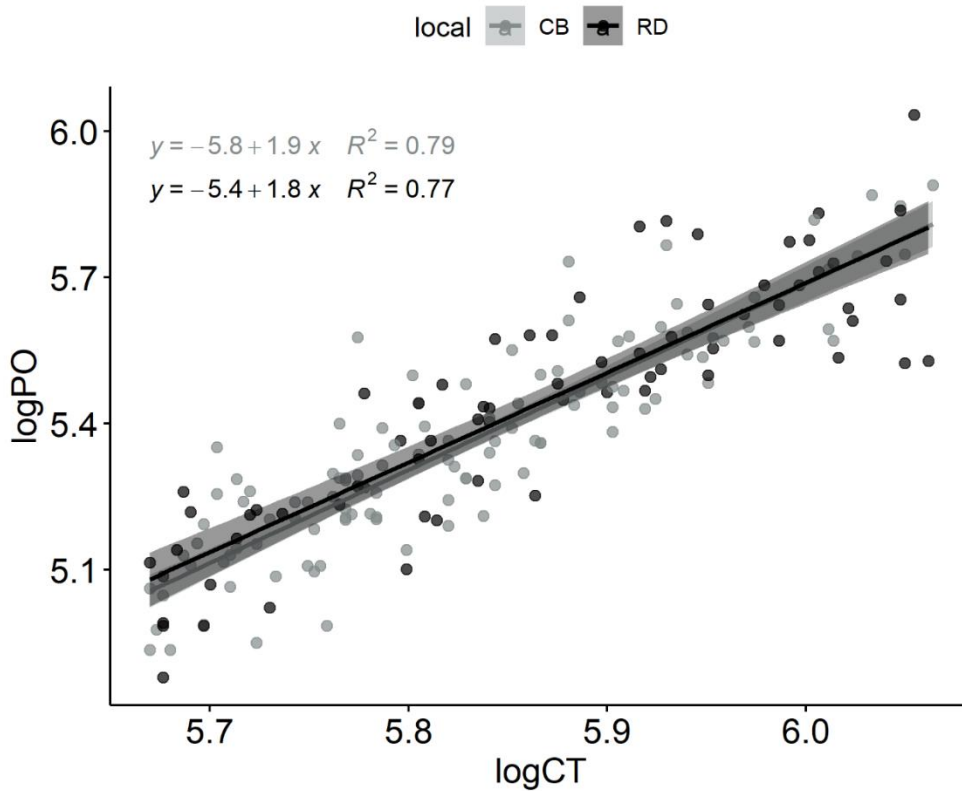


Figura 8: A relação PO-CT log-transformada (PO, peso do otólito; CT, comprimento total) para *Centropomus parallelus* nos estuários do rio São Mateus (pontos em cinza) e Rio Doce (pontos em preto). Os pontos indicam os valores transformados, enquanto a linha sólida e o sombreado indicam o ajuste do modelo linear com intervalos de confiança de 95%.

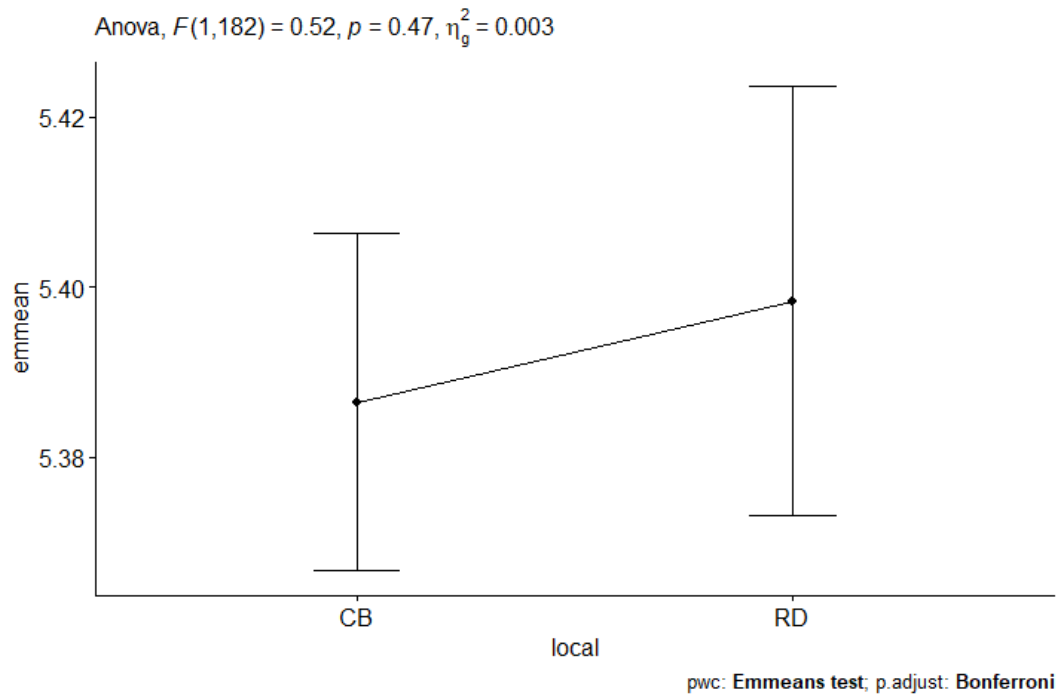


Figura 9: Médias marginais estimadas das tendências lineares (*emmeans*) com o erro padrão para os estuários Rio Doce (RD) e rio São Mateus (CB) para *Centropomus parallelus*.

Quanto ao *E. brasiliensis*, foram retirados 241 otólitos dos indivíduos capturados em CB, e 85 dos capturados no RD. O modelo linear demonstrou que a relação do PO-CT log-transformada para *E. brasiliensis* foi significativa em ambos estuários ( $p < 0,0001$ ; Tabela 2). O modelo indica que o CT dos indivíduos explicou a maior parte da variação de peso dos otólitos de *E. brasiliensis* capturados no RD ( $R^2 = 0.63$ ) e CB ( $R^2 = 0.79$ ) (Figura 10).

Embora o teste de normalidade de Shapiro-Wilk tenha sido significativo ( $p = 0,00447$ ), a inspeção visual dos resíduos mostrou distribuição normal. O teste de Levene foi não significativo ( $p = 0,518$ ) indicando a homogeneidade das variâncias para ambos os grupos. E após o ajuste do efeito da covariável (CT), a ANCOVA estimou que o peso do otólito de *E. brasiliensis* é estatisticamente similar entre os estuários do RD e CB (ANCOVA,  $F_{1,323} = 3,14$   $p = 0,077$ ) (Figura 11).

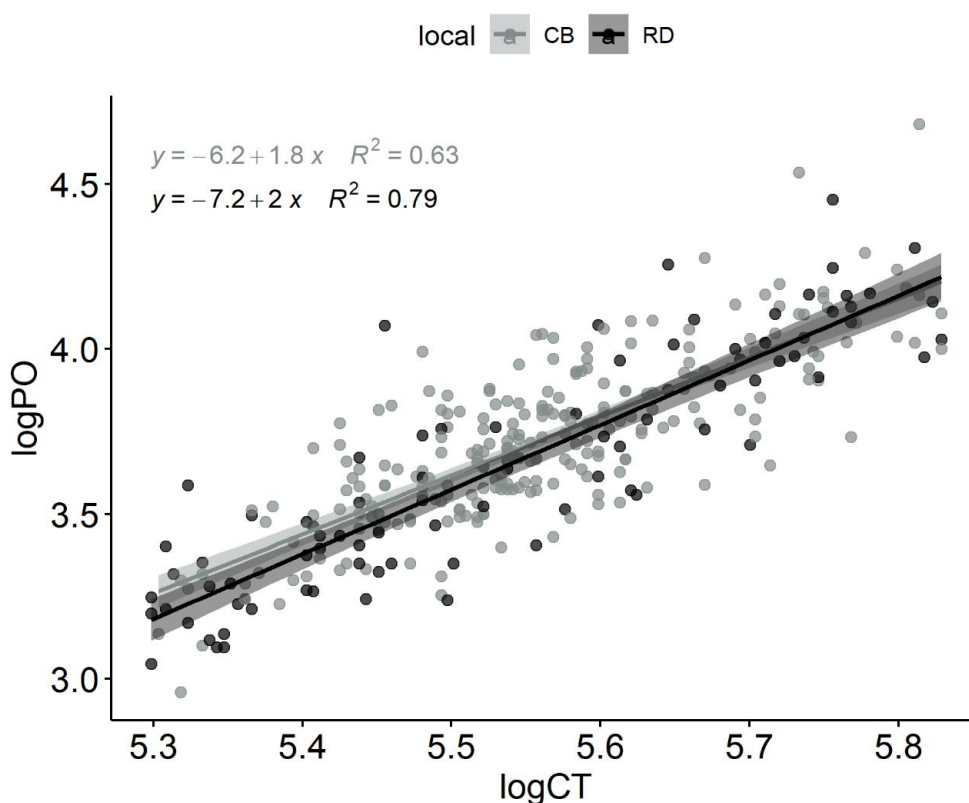


Figura 10: A relação PO-CT log-transformada (PO, peso do otólito; CT, comprimento total) para *Eugerres brasiliensis* nos estuários do rio São Mateus (pontos em cinza) e Rio Doce (pontos em preto). Os pontos indicam os valores transformados, enquanto a linha sólida e o sombreado indicam o ajuste do modelo linear com intervalos de confiança de 95%.

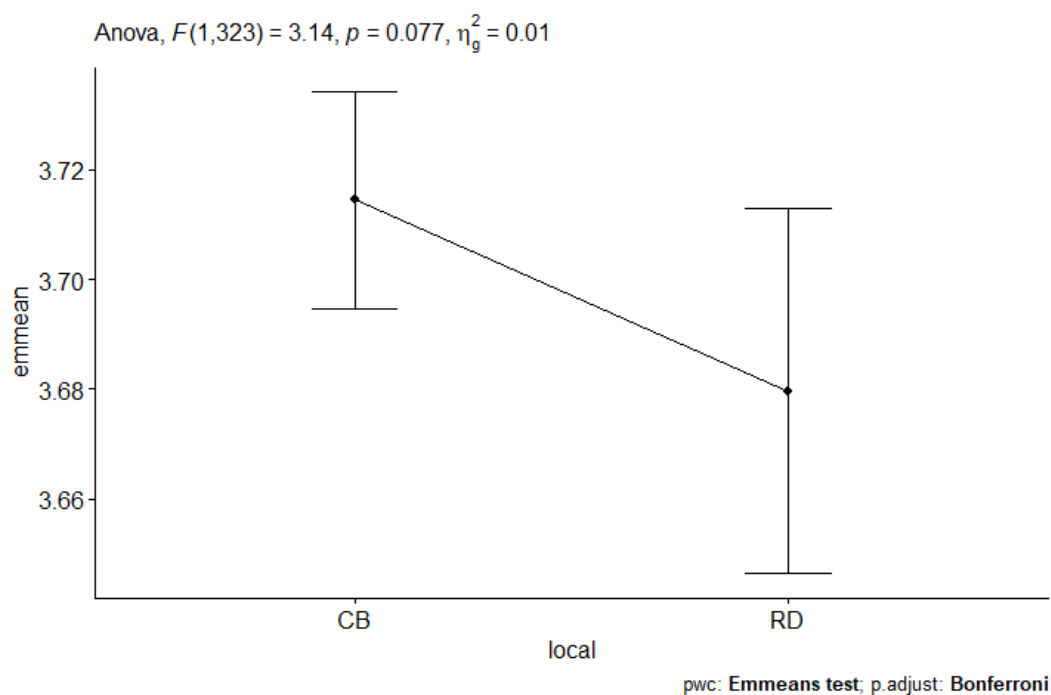


Figura 11: Médias marginais estimadas das tendências lineares (*emmeans*) com o erro padrão para os estuários Rio Doce (RD) e rio São Mateus (CB) para *Eugerres brasilianus*.

Por fim, foram analisados 251 otólitos de *G. genidens* capturados em CB e 249 no RD. O modelo linear demonstrou que a relação do PO-CT log-transformada para *G. genidens* também foi significativa em ambos os estuários ( $p < 0,0001$ ; Tabela 2). A variação do CT explicou a maior parte da variação do PO de *G. genidens* capturados no CB ( $R^2 = 0,77$ ), mas não no RD ( $R^2 = 0,49$ ) (Figura 12).

O teste de normalidade de Shapiro-Wilk também foi significativo ( $p = 0,0361$ ), mas a inspeção visual dos resíduos novamente demonstrou uma distribuição normal dos dados. A homogeneidade dos valores foi indicada pelo teste de Levene não significativo ( $p = 0,0947$ ). Após o ajuste do efeito da covariável (CT), a ANCOVA estimou que o peso do otólito de *G. genidens* difere estatisticamente entre os estuários do RD e CB (ANCOVA,  $F_{1,497} = 287,58$   $p < 0,0001$ ). A estimativa e comparação das tendências de inclinação confirmou que os otólitos de *G. genidens* são mais pesados no estuário do RD (Figura 13), o que também pode ser observado no modelo linear ajustado (Figura 12)

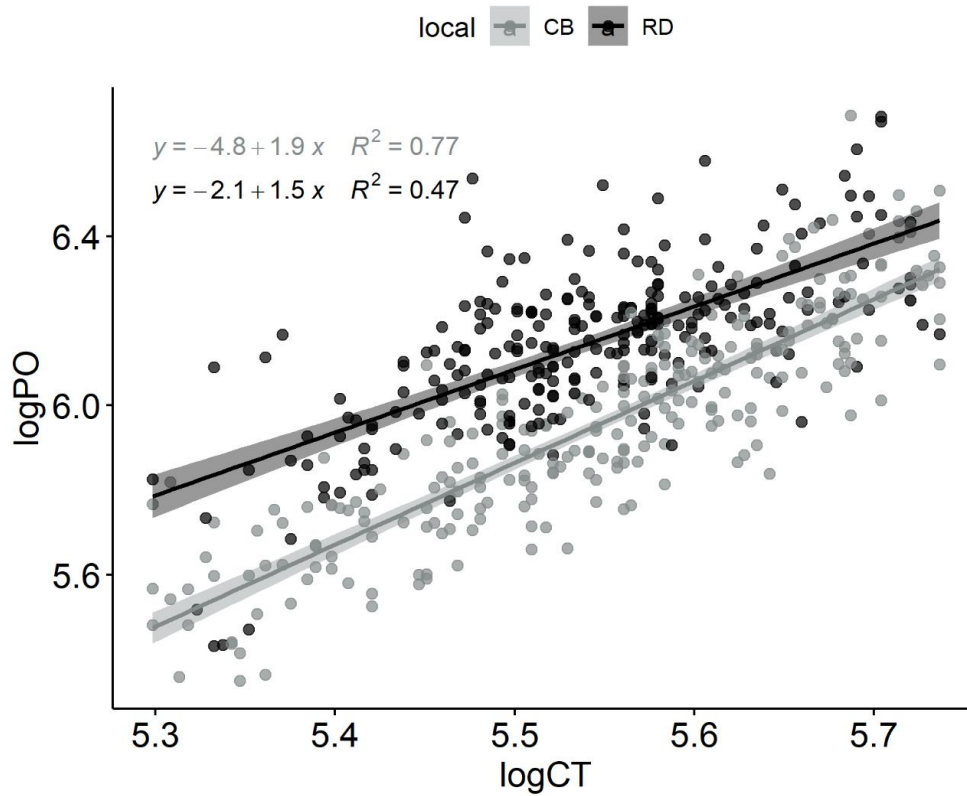


Figura 12: A relação PO-CT log-transformada (PO, peso do otólito; CT, comprimento total) para *Genidens genidens* nos estuários do rio São Mateus (pontos em cinza) e Rio Doce (pontos em preto). Os pontos indicam os valores transformados, enquanto a linha sólida e o sombreado indicam o ajuste do modelo linear com intervalos de confiança de 95%.

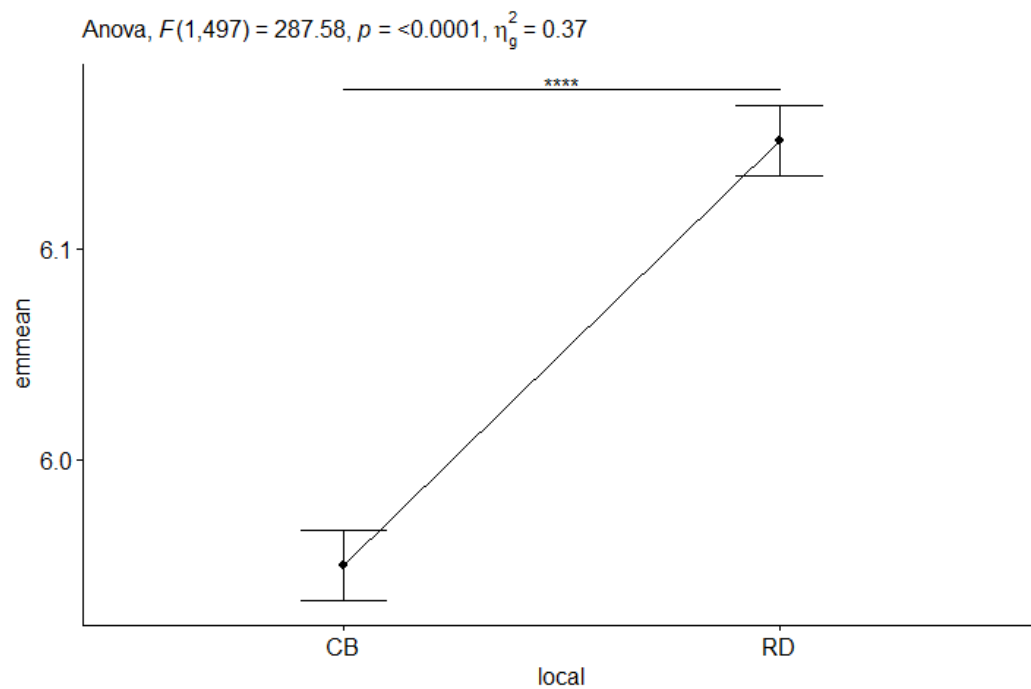


Figura 13: Médias marginais estimadas das tendências lineares (*emmeans*) com o erro padrão para os estuários Rio Doce (RD) e rio São Mateus (CB) para *Genidens genidens*. As quatro estrelas (\*\*\*\*) indicam que as diferenças são altamente significativas.

Tabela 2: Resultados do modelo linear para *Centropomus parallelus* (CENPAR), *Eugerres brasilianus* (EUGBRA) e *Genidens genidens* (GENGEN) nos dois locais Rio Doce (RD) e São Mateus (CB), demonstrando os valores da Estimativa, Erro Padrão, Valor t e Valor p para os interceptos e logCT.

Espécie	Local	Coeficientes	Estimativa	Erro padrão	Valor t	Valor p
CENPAR	RD	(Intercept)	-5,3893	0,7053	-7,642	9.04e-11
		logCT	1,8464	0,1202	15,366	< 2e-16
	CB	(Intercept)	-5,80025	0,53598	-10,82	< 2e-16
		logCT	1,91468	0,09197	20,82	< 2e-16
EUGBRA	RD	(Intercept)	-7,1984	0,614	-11,72	< 2e-16
		logCT	1,9585	0,1108	17,67	< 2e-16
	CB	(Intercept)	-6,21877	0,49583	-12,54	< 2e-16
		logCT	1,78824	0,08914	20,06	< 2e-16
GENGEN	RD	(Intercept)	-2,0904	0,5549	-3,767	0,000207
		logCT	1,4865	0,1002	14,838	< 2e-16
	CB	(Intercept)	-4,76537	0,37524	-12,7	< 2e-16
		logCT	1,93277	0,06761	28,59	< 2e-16

#### 4. DISCUSSÃO

O presente estudo traz informações primárias sobre o crescimento de três espécies de peixe de importância econômica e ecológica nas regiões diretamente e indiretamente afetadas pelo rejeito de minério de Fundão. Os modelos lineares aplicados neste estudo comprovam que o peso do otólito apresenta uma correlação positiva com os valores do comprimento total. Jawad *et al.* (2011), apontam que o peso do otólito, em comparação com as outras dimensões (comprimento e largura), é a melhor abordagem para estimar o comprimento total e parcial dos peixes, pois uma vez que o peixe atinge seu comprimento total máximo, o otólito continua aumentando principalmente em peso e espessura. Por sua vez, Zorica *et al.* (2010) sugere também que o peso dos otólitos tende a estar mais relacionados com o comprimento dos indivíduos do que os tamanhos dos otólitos devido a variabilidade do formato da estrutura.

Resultados similares aos encontrados no presente estudo foram encontrados por Bhakta *et al.* (2020) em *Otolithoides pama* de uma área de estuário na Índia; Aufy *et al.* (2023) em *Nemipterus japonicus* capturados nas águas marinhas no Iraque; e por Zorica *et al.* (2010), que também correlacionaram positivamente o peso do otólito com o comprimento total de 5 espécies (*Engraulis encrasicolus*, *Sardina pilchardus*, *Scomber scombrus*, *S. japonicus* e *Belone belone*) de águas pelágicas na Croácia.

Para estudos de crescimento dos peixes a relação PO-CT se demonstra uma ferramenta útil, uma vez que o peso do otólito também é fortemente relacionado com as mudanças no metabolismo dos peixes (Secor & Dean, 1989; Fletcher, 1991; Pawson, 1990). Worthmann (1979) utilizou o desenvolvimento do otólito e o crescimento para a distinção das populações de pescada branca (*Plagioscion squamosissimus*) em lagos e rios distintos da Amazônia, e apontou que o peso dos otólitos é dependente da deposição de carbonato de cálcio e material orgânico, que por sua vez são dependentes da disponibilidade alimentar e do ambiente em que o peixe vive.

Conforme Casselman, (1990) o otólito cresce mais em casos de crescimento somático reduzido, o que ocorre, segundo Templeman & Squires (1956), pois os peixes de crescimento mais lento possuem mais tempo para deposição dos materiais que compõem a estrutura. O resultado da ANCOVA para *C. parallelus* e *E. brasiliensis* demonstrou que a relação PO-CT é similar, indicando que ambas as espécies possuem crescimento similar nas duas regiões amostradas, uma vez que não há uma variação significativa dos pesos dos otólitos em indivíduos de mesmo comprimento total. Em contraste, os otólitos de *G. genidens* são mais pesados no estuário do Rio Doce do que no estuário do São Mateus em indivíduos de faixa similar de comprimento, o que pode indicar uma diferença no crescimento da espécie nas duas regiões, concordando com a hipótese de que os peixes do Rio Doce podem estar crescendo consideravelmente mais lentamente que peixes do São Mateus.

O crescimento é um processo de gasto energético, e nos peixes ele é controlado por fatores internos, como os neuroendócrinos, e por fatores externos determinantes, que estão relacionados com as condições ambientais, como é o caso da salinidade e temperatura (Boeuf & Paya, 2001), mas também pode ser influenciado pela poluição por metais pesados (Taslina *et al.* 2022). De modo geral, as diferenças morfométricas de uma espécie são resultados de efeitos interativos do ambiente, da seleção e da genética do desenvolvimento individual (Cadrin, 2000).

O Rio Doce, além de ter sido diretamente impactado pelos rejeitos de minérios, apresenta efeitos crônicos contínuos principalmente devido à ressuspensão contínua de metais pesados (Nascimento *et al.*, 2022). Os metais como Mn, Fe, Co, Cu, Cr e Zn desempenham funções fisiológicas essenciais nos peixes, influenciando no crescimento dos mesmos, mas conforme demonstrado por Taslima *et al.* 2022, o aumento da concentração desses metais no meio leva a diminuição nas taxas de crescimento nos indivíduos. Assim, organismos como *G. genidens* são mais suscetíveis a bioacumulação de metais, já que habitam e se alimentam em substratos contaminados (Concini *et al.*, 2022), em contraste com *E. brasiliensis* que apesar de também

apresentar alimentação zoobentívora, eles migram mais entre os ambientes, bem como *C. parallelus*, de alimentação carnívora (Daros *et al.*, 2016; Ramos *et al.*, 2016; Daros *et al.*, 2022a).

Somado a isso, o estuário do Rio Doce possui características distintas, como uma elevada descarga de água doce, que exerce maior influência do que as águas marinhas e mantém a salinidade do estuário mais próxima a zero (Vilar *et al.*, 2022; Conдини *et al.*, 2022). Diferente do que ocorre no São Mateus, que apresenta alta variação de salinidade ao longo do ano (Conдини *et al.*, 2022). Todavia, neste caso, apesar dos efeitos da salinidade serem espécie-específicos, maiores taxas de crescimento tendem a ser encontradas em águas mais salinas, dados a menores gastos com a osmorregulação (Tsuzuki *et al.*, 2007).

Não há estudos prévios ao acidente referente ao crescimento das três espécies nas regiões, desta forma, dificulta-se a interpretação da influência da poluição no metabolismo e crescimento dos peixes nessas áreas. Todavia, considerando as influências ambientais como fatores condicionantes, os resultados neste trabalho podem sugerir que o ambiente tenha maior influência no crescimento *G. genidens* do que em *C. parallelus* e *E. brasilianus*. Podendo levar em consideração que *C. parallelus* e *E. brasilianus* se deslocam mais entre as áreas (Daros *et al.*, 2016; Ramos *et al.*, 2016; Daros *et al.*, 2022a), quando em comparação com *G. genidens*, que completa todo seu ciclo de vida dentro do estuário (Maciel *et al.*, 2018; Silva-Junior *et al.*, 2013). Neste cenário, o uso de modelos lineares generalizados e a avaliação do efeito parcial de diferentes variáveis sobre o crescimento dos peixes, incluindo além da salinidade, a temperatura e a turbidez, juntamente com os contaminantes é sugerido para estudos futuros.

## 5. CONCLUSÃO

Os otólitos são estruturas que refletem o metabolismo e as condições ambientais, e desta forma, os resultados encontrados no presente estudo para *G. genidens* atendem a hipótese de que indivíduos do estuário do rio São Mateus estão crescendo consideravelmente mais rápido que no Rio Doce, enquanto os encontrados em *C. parallelus* e *E. brasilianus* demonstram similaridade em ambas regiões. Os valores do  $R^2$  confirmam que a variação dos comprimentos totais explica maior parte da variação do peso dos otólitos para todas as espécies em ambas as áreas, com exceção dos *G. genidens* capturados no Rio Doce ( $R^2= 0,49$ ), onde esse valor também é um indicativo de uma maior variabilidade no crescimento dos indivíduos.

Apesar do método utilizado poder determinar as diferenças existentes no crescimento, ele não aborda os fatores condicionantes para o crescimento de uma espécie, o que implica na

necessidade de metodologias mais aprofundadas, utilizando de outras análises que correlacionem também a idade dos peixes, os dados abióticos (salinidade, temperatura e turbidez) e os níveis de contaminantes das regiões. A falta de estudos de crescimento de peixes na região do Rio Doce antes e após o acidente é um fator agravante para compreensão das alterações ambientais e de como os organismos respondem aos estressores, enfatizando a necessidade da continuação do monitoramento das áreas afetadas direta e indiretamente pelo rejeito de minério.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aliaume, C., Zerbi, A., Joyeux, J.-C., & Miller, J. M. (2000). Growth of Juvenile *Centropomus undecimalis* in a Tropical Island. **Environmental Biology of Fishes**, 59(3), 299–308. <https://doi.org/10.1023/A:1007662611839>

Aufy, L. A., Al-Jumaiee, S. A. J., Al-Atbee, I. A., & Al-Mansy, K. A. (2023). The Relationship between otolith dimensions and fish body size of *Nemipterus japonicus* (Bloch, 1791) in Iraqi marine water. **Journal of Survey in Fisheries Sciences**, 10(3).

Barletta, M., & Costa, M. F. (2009). Living and Non-living Resources Exploitation in a Tropical Semi-arid Estuary. **Journal of Coastal Research**, 1, 371–375.

Betancur-R., R., Acero P., A., Bermingham, E., & Cooke, R. (2007). Systematics and biogeography of New World sea catfishes (Siluriformes: Ariidae) as inferred from mitochondrial, nuclear, and morphological evidence. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, 45(1), 339–357. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2007.02.022>

Betancur-R., R., & Armbruster, J. W. (2009). Molecular clocks provide new insights into the evolutionary history of Galeichthyine sea catfishes. **Evolution**, 63(5), 1232–1243. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2009.00640.x>

Bevitório, L. Z., da Silva, N. G., Pirovani, J. C. M., Marques, J. A., Vieira, C. E. D., Zebral, Y. D., Damasceno, E. M., Lopes, L. L. R., de Sant’Ana, L. P., Marube, L. C., da Costa, S. R., Martins, C. D. M. G., Sandrini, J. Z., Souza, M. M., Bianchini, A., & do Vale-Oliveira, M. (2022). Impacts of tailings of Fundão dam (Brazil) rupture on marine fish: Metals bioaccumulation and physiological responses. **Marine Pollution Bulletin**, 177, 113511. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113511>

- Bhakta, D., Das, S., Das, B., Behera, S., & Talagunda, N. S. (2020). Relationship between otolith morphometry and fish size of *Otolithoides pama* (Hamilton, 1822) from Hooghly-Matlah estuary, India. **Indian Journal of Geo-Marine Sciences**, 49(10), 1636–1642.
- Bœuf, G., & Payan, P. (2001). How should salinity influence fish growth? **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, 130(4), 411–423. [https://doi.org/10.1016/s1532-0456\(01\)00268-x](https://doi.org/10.1016/s1532-0456(01)00268-x)
- Bone, Q., & Moore, R. (2008). *Biology of Fishes*. **Taylor & Francis**. <https://doi.org/10.1201/9781134186310>
- Bruton, M. N. (1996). Alternative life-history strategies of catfishes. **Aquatic Living Resources**, 9, 35–41. <https://doi.org/10.1051/alr:1996040>
- Campana, S. (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. **Marine Ecology Progress Series**, 188, 263–297. <https://doi.org/10.3354/meps188263>
- Campana, S. E. (2004). Photographic Atlas of Fish Otoliths of the Northwest Atlantic Ocean. **Canadian Science Publishing**, 133. <https://doi.org/10.1139/9780660191089>
- Campana, S. E. (2005). Otolith science entering the 21st century. **Marine and Freshwater Research**, 56(5), 485. <https://doi.org/10.1071/MF04147>
- Campana, S. E., & Casselman, J. M. (1993). Stock Discrimination Using Otolith Shape Analysis. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 50(5), 1062–1083. <https://doi.org/10.1139/f93-123>
- Campana, S. E., & Neilson, J. D. (1985). Microstructure of Fish Otoliths. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 42(5), 1014–1032. <https://doi.org/10.1139/f85-127>
- Casselman, J. M. (1990). Growth and Relative Size of Calcified Structures of Fish. **Transactions of the American Fisheries Society**, 119(4), 673–688. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1990\)119<0673:GARSOC>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1990)119<0673:GARSOC>2.3.CO;2)
- Chaves, P. T. C., & Nogueira, A. B. (2018). Biologia reprodutiva do robalo-peva, *Centropomus parallelus* (Teleostei), na Baía de Guaratuba (Brasil). **Acta Biológica Paranaense**, 47. <https://doi.org/10.5380/abpr.v47i0.62590>
- Chaves, P. T. C., & Vendei, A. L. (1996). Aspectos da alimentação de *Genidens genidens* (Valenciennes) (Siluriformes, Ariidae) na Baía de Guaratuba, Paraná. **Revista Brasileira de Zoologia**, 13(3), 669–675. <https://doi.org/10.1590/S0101-81751996000300016>

Coelho, A. L. N. (2006). Compartimentação geomorfológica da bacia do rio Doce: uma atualização. **Regional Conference On Geomorphology Vi Simpósio Nacional De Geomorfologia.**

Coimbra, K. T. O., Alcântara, E., & Souza Filho, C. R. (2020). Possible contamination of the Abrolhos reefs by Fundao dam tailings, Brazil – New constraints based on satellite data. **Science of The Total Environment**, 733, 138101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138101>

Condini, M. V., Pichler, H. A., de Oliveira-Filho, R. R., Cattani, A. P., Andrades, R., Vilar, C. C., Joyeux, J.-C., Soeth, M., De Biasi, J. B., Eggertsen, L., Dias, R., Hackradt, C. W., Félix-Hackradt, F. C., Chiquieri, J., Garcia, A. M., & Hostim-Silva, M. (2022). Marine fish assemblages of Eastern Brazil: An update after the world's largest mining disaster and suggestions of functional groups for biomonitoring long-lasting effects. **Science of The Total Environment**, 807, 150987. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150987>

Cordeiro, M. C., Garcia, G. D., Rocha, A. M., Tschoeke, D. A., Campeão, M. E., Appolinario, L. R., Soares, A. C., Leomil, L., Froes, A., Bahiense, L., Rezende, C. E., de Almeida, M. G., Rangel, T. P., De Oliveira, B. C. V., de Almeida, D. Q. R., Thompson, M. C., Thompson, C. C., & Thompson, F. L. (2019). Insights on the freshwater microbiomes metabolic changes associated with the world's largest mining disaster. **Science of The Total Environment**, 654, 1209–1217. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.112>

Costa, P. G., Marube, L. C., Artifon, V., Escarrone, A. L., Hernandez, J. C., Zebral, Y. D., & Bianchini, A. (2022). Temporal and spatial variations in metals and arsenic contamination in water, sediment and biota of freshwater, marine and coastal environments after the Fundão dam failure. **Science of The Total Environment**, 806, 151340. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151340>

Dane, H., & Şişman, T. (2015). Histopathological changes in gill and liver of Capoeta capoeta living in the Karasu River, Erzurum. **Environmental Toxicology**, 30(8), 904–917. <https://doi.org/10.1002/tox.21965>

Daros, F. A., Luz, S., Soeth, M., Condini, M., & Hostim-Silva, M. (2022a). Migratory Patterns of *Centropomus parallelus* across Estuaries of the Abrolhos Bank Shelf as Determined by Otolith Elemental Analysis. **Biology and Life Sciences Forum**, 13(1), 14. <https://doi.org/10.3390/blsf2022013014>

- Daros, F. A., Condini, M. V., Altafin, J. P., de Oliveira Ferreira, F., & Hostim-Silva, M. (2022b). Fish otolith microchemistry as a biomarker of the world's largest mining disaster. **Science of The Total Environment**, 807, 151780. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151780>
- Drummond, G. M., Subirá, R. J., & Martins, C. S. (Eds.). (2021). **Livro vermelho da biota aquática do Rio Doce ameaçada de extinção pós rompimento da barragem de Fundão: Mariana, Minas Gerais: crustáceos, efemerópteros, odonatos e peixes**. Fundação Biodiversitas.
- 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(3), 217–235. <https://doi.org/10.1023/B:RFBF.0000033071.73952.40>
- Engman, A. C., Kwak, T. J., Fischer, J. R., & Lilyestrom, C. G. (2019). Fish Assemblages and Fisheries Resources in Puerto Rico's Riverine Estuaries. **Marine and Coastal Fisheries**, 11(2), 189–201. <https://doi.org/10.1002/mcf2.10072>
- Fernandes, G. W., Goulart, F. F., Ranieri, B. D., Coelho, M. S., Dales, K., Boesche, N., Bustamante, M., Carvalho, F. A., Carvalho, D. C., Dirzo, R., Fernandes, S., Galetti, P. M., Millan, V. E. G., Mielke, C., Ramirez, J. L., Neves, A., Rogass, C., Ribeiro, S. P., Scariot, A., & Soares-Filho, B. (2016). Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, 14(2), 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2016.10.003>
- Fischer, L. G., Pereira, L. E. D., & Vieira, J. P. (2011). **Peixes Estuarinos e Costeiros (2nd ed.)**.
- Fletcher, W. J. (1991). A Test of the Relationship between Otolith Weight and Age for the Pilchard *Sardinops neopilchardus*. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 48(1), 35–38. <https://doi.org/10.1139/f91-005>
- Floeter, S. R., Gasparini, J. L., Rocha, L. A., Ferreira, C. E. L., Rangel, C. A., & Feitoza, B. M. (2003). Brazilian reef fish fauna: checklist and remarks. **Brazilian Reef Fish Project**.
- Fonteles-Filho, A. A. (1989). **Recursos pesqueiros: biologia e dinâmica populacional (1st ed.)**. Imprensa Oficial do Ceará.
- Francini-Filho, R. B., Cordeiro, M. C., Omachi, C. Y., Rocha, A. M., Bahiense, L., Garcia, G. D., Tschoeke, D., de Almeida, M. G., Rangel, T. P., De Oliveira, B. C. V., de Almeida, D. Q. R., Menezes, R., Mazzei, E. F., Joyeux, J.-C., Rezende, C. E., Thompson, C. C., & Thompson, F.

L. (2019). Remote sensing, isotopic composition and metagenomics analyses revealed Doce River ore plume reached the southern Abrolhos Bank Reefs. **Science of The Total Environment**, 697, 134038. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134038>

Gabriel, F. Â., Hauser-Davis, R. A., Soares, L., Mazzuco, A. C. A., Rocha, R. C. C., Saint Pierre, T. D., Saggiaro, E., Correia, F. V., Ferreira, T. O., & Bernardino, A. F. (2020). Contamination and oxidative stress biomarkers in estuarine fish following a mine tailing disaster. **PeerJ**, 8, e10266. <https://doi.org/10.7717/peerj.10266>

Gilmore Jr, R. G. (2002). Gerreidae. In K. E. Carpenter (Ed.), **The living marine resources of the Western Central Atlantic**. (Bony fishes part 2, Vol. 3, pp. 1375–2127). Food and Agriculture Organization of The United Nations.

Gomes, L. E. O., Correa, L. B., Sá, F., Neto, R. R., & Bernardino, A. F. (2017). The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, 120(1–2), 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.056>

Green, B. S., Mapstone, B. D., Carlos, G., & Begg, G. A. (2009). **Tropical Fish Otoliths: Information for Assessment, Management and Ecology** (B. S. Green, B. D. Mapstone, G. Carlos, & G. A. Begg, Eds.; Vol. 11). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5775-5>

Hu, Y., Jiang, T., Liu, H., Chen, X., & Yang, J. (2022). Otolith Microchemistry Reveals Life History and Habitat Use of *Coilia nasus* from the Dayang River of China. **Fishes**, 7(6), 306. <https://doi.org/10.3390/fishes7060306>

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. (2010). **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce - Volume II - Relatório Final**. Mineiro de Gestão das Águas.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. (2014). **Plano de Manejo da APA de Conceição da Barra – Resumo Executivo**. Governo do Estado do Espírito Santo.

Jawad, L. A., AmbualI, A., Al-Mamry, J. M., & Al-Busaidi, H. (2011). Relationships Between Fish Length and Otolith Length, Width and Weight of The Indian Mackerel *Rastrelliger kanagaruta* (Cuvier, 1817) Collected from the Sea of Omank. **Croatian Journal of Fisheries**, 69(2), 51–61.

- Köck, G., Triendl, M., & Hofer, R. (1996). Seasonal patterns of metal accumulation in Arctic char (*Salvelinus alpinus*) from an oligotrophic Alpine lake related to temperature. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 53(4), 780–786. <https://doi.org/10.1139/f95-243>
- Cadrin, S.X. (2000). Advances in morphometric identification of fishery stocks. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, 10(1), 91–112. <https://doi.org/10.1023/a:1008939104413>.
- Kassambara, A. (2023). ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots. **R package version 0.6.0**. <https://CRAN.R-project.org/package=ggpubr>
- Kassambara, A. (2023). rstatix: Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests. **R package version 0.7.2**. <https://CRAN.R-project.org/package=rstatix>
- Köppen, W., & Geiger, R. (1936). Das geographische system der klimat. **Handbuch der Klimatologie**.
- Kritzer, J. P., & Sale, P. F. (2004). Metapopulation ecology in the sea: from Levins' model to marine ecology and fisheries science. **Fish and Fisheries**, 5(2), 131–140. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2004.00131.x>
- Lenth, R. V. (2016). Least-Squares Means: The R Package lsmeans. **Journal of Statistical Software**, 69(1). <https://doi.org/10.18637/jss.v069.i01>
- Lenth, R. (2023). emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. **R package version 1.8.8**. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Lessa, R., & Nóbrega, M. F. (2000). **Guia de Identificação de Peixes Marinhos da Região Nordeste**. REVIZEE / SCORE-NE.
- Lüdecke, D., Patil, I., Ben-Shachar, M., Wiernik, B., Waggoner, P., & Makowski, D. (2021). see: An R Package for Visualizing Statistical Models. **Journal of Open Source Software**, 6(64), 3393. <https://doi.org/10.21105/joss.03393>
- Maciel, T. R., Vaz-dos-Santos, A. M., Caramaschi, E. P., & Vianna, M. (2018). Management proposal based on the timing of oral incubation of eggs and juveniles in the sentinel species *Genidens genidens* (Siluriformes: Ariidae) in a tropical estuary. **Neotropical Ichthyology**, 16(4). <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20170119>
- Marceniuk, A. (2005). Chave de identificação das espécies de bagres marinhos (Siluriformes, Ariidae) da costa brasileira. **Boletim Do Instituto de Pesca São Paulo**, 31, 89–101.

- Marceniuk, A. P., Betancur-R., R., P., A. A., & Muriel-Cunha, J. (2012). Review of the Genus *Cathorops* (Siluriformes: Ariidae) from the Caribbean and Atlantic South America, with Description of a New Species. **Copeia**, 2012(1), 77–97. <https://doi.org/10.1643/CI-10-202>
- Marceniuk, A. P., & Menezes, N. A. (2007). Systematics of the family Ariidae (Ostariophysi, Siluriformes), with a redefinition of the genera. **Zootaxa**, 1416(1), 1–126. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1416.1.1>
- Martínez, V. H., & Monasterio de Gonzo, G. A. (1988). Morfologia de otolitos de *Heptapterus mustelinus* (Valenciennes 1840) (Pimelodidae). Su relacion con parametros dimensionales. **Revista de La Asociacion de Ciencias Naturales Del Litoral**, 19(1), 27–37.
- McMahon, K. W., Berumen, M. L., Mateo, I., Elsdon, T. S., & Thorrold, S. R. (2011). Carbon isotopes in otolith amino acids identify residency of juvenile snapper (Family: Lutjanidae) in coastal nurseries. **Coral Reefs**, 30(4), 1135–1145. <https://doi.org/10.1007/s00338-011-0816-5>
- McMahon, K. W., Fogel, M. L., Johnson, B. J., Houghton, L. A., & Thorrold, S. R. (2011). A new method to reconstruct fish diet and movement patterns from  $\delta^{13}\text{C}$  values in otolith amino acids. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 68(8), 1330–1340. <https://doi.org/10.1139/f2011-070>
- Menezes, N. A., & Figueiredo, J. L. (1980). **Manual de peixes marinhos do Sudeste do Brasil III. Teleostei (3)**. Museu de Zoologia, Universidade de São Paulo.
- Morales-Nin, B. (2000). Review of the growth regulation processes of otolith daily increment formation. **Fisheries Research**, 46(1–3), 53–67. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(00\)00133-8](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(00)00133-8)
- Mosegaard, H., Svedäng, H., & Taberman, K. (1988). Uncoupling of Somatic and Otolith Growth Rates in Arctic Char (*Salvelinus alpinus*) as an Effect of Differences in Temperature Response. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 45(9), 1514–1524. <https://doi.org/10.1139/f88-180>
- Moyle, P. B., & Cech Jr, J. J. (2000). **Fishes: An introduction to ichthyology** (4th ed.). Prentice Hall.
- Muniz, A. A., Moura, A., Triay-Portella, R., Moreira, C., Santos, P. T., & Correia, A. T. (2021). Population structure of the chub mackerel (*Scomber colias*) in the North-east Atlantic inferred from otolith shape and body morphometrics. **Marine and Freshwater Research**, 72(3), 341. <https://doi.org/10.1071/MF19389>

Nascimento, R. L., Alves, P. R., Di Domenico, M., Braga, A. A., de Paiva, P. C., D'Azeredo Orlando, M. T., Sant'Ana Cavichini, A., Longhini, C. M., Martins, C. C., Neto, R. R., Grilo, C. F., Oliveira, K. S. S., da Silva Quaresma, V., Costa, E. S., Cagnin, R. C., da Silva, C. A., Sá, F., & de Lourdes Longo, L. (2022). The Fundão dam failure: Iron ore tailing impact on marine benthic macrofauna. **Science of The Total Environment**, 838, 156205. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156205>

Nelson, J. S. (1994). **Fishes of the World** (Third). John Wiley & Sons, Inc.

Newman, S. J. (2002). Age, growth, mortality and population characteristics of the pearl perch, *Glaucosoma buergeri* Richardson 1845, from deeper continental shelf waters off the Pilbara coast of north-western Australia. **Journal of Applied Ichthyology**, 18(2), 95–101. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2002.00327.x>

Nunes, M. U. S., Cardoso, O. R., Soeth, M., Silvano, R. A. M., & Fávaro, L. F. (2021). Fishers' ecological knowledge on the reproduction of fish and shrimp in a subtropical coastal ecosystem. **Hydrobiologia**, 848(4), 929–942. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04503-8>

Oliveira, R. R. de S., Andrade, M. C., Machado, F. S., Cunha, É. J. S., Freitas, F. S. de Klautau, A. G. C. de M., Giarrizzo, T., & Saint-Paul, U. (2019). Biometric relationships between body size and otolith size in 15 demersal marine fish species from the northern Brazilian coast. **Acta Amazonica**, 49(4), 299–306. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201900571>

Orrell, T. M. (2003). Centropomidae. In K. E. Carpenter (Ed.), **The living marine resources of the Western Central Atlantic** (FAO, Vol. 2, pp. 1286–1293). Food and Agriculture Organization of The United Nations.

Panfili, J., Pontual, H., Troadec, H., & Wright, P. J. (2002). Manual of Fish Sclerochronology. **Ifremer-IRD coedition**.

Paschoalini, A. L., Savassi, L. A., Arantes, F. P., Rizzo, E., & Bazzoli, N. (2019). Heavy metals accumulation and endocrine disruption in *Prochilodus argenteus* from a polluted neotropical river. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 169, 539–550. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.047>

Pawson, M. G. (1990). Using otolith weight to age fish. **Journal of Fish Biology**, 36(4), 521–531. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1990.tb03554.x>

- Pinto, M. F., Mourão, J. da S., & Alves, R. R. N. (2013). Ethnotaxonomical considerations and usage of ichthyofauna in a fishing community in Ceará State, Northeast Brazil. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, 9(1), 17. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-9-17>
- Popper, A. N., & Lu, Z. (2000). Structure–function relationships in fish otolith organs. **Fisheries Research**, 46(1–3), 15–25. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(00\)00129-6](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(00)00129-6)
- R Development Core Team. (2023). **R: a language and environment for statistical computing**. R Foundation for statistical computing. Viena, Austria. <http://www.Rproject.org>
- Ramos, J. A. A., Barletta, M., Dantas, D. V., & Costa, M. F. (2016). Seasonal and spatial ontogenetic movements of Gerreidae in a Brazilian tropical estuarine ecocline and its application for nursery habitat conservation. **Journal of Fish Biology**, 89(1), 696–712. <https://doi.org/10.1111/jfb.12872>
- Rivas, L. R. (1986). Systematic Review of the Perciform Fishes of the Genus *Centropomus*. **Copeia**, 1986(3), 579–611. <https://doi.org/10.2307/1444940>
- Santana, H. S. de, Rodrigues, A. C., & Minte-Vera, C. V. (2018). Otolith morphometry provides length and weight predictions and insights about capture sites of *Prochilodus lineatus* (Characiformes: Prochilodontidae). *Neotropical Ichthyology*, 16(4). <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20180094>
- Santificetur, C., Giaretta, M. B., Conversani, V. R. M., Brenha-Nunes, M. R., Siliprandi, C. C., & Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B. (2017). Atlas of marine bony fish otoliths of Southeastern-Southern Brazil Part VIII: Siluriformes (Ariidae) and Pleuronectiformes (Achiridae, Paralichthyidae, Cynoglossidae). **Brazilian Journal of Oceanography**, 65(3), 448–494. <https://doi.org/10.1590/s1679-87592017143106503>
- Schroeder, R., Schwingel, P. R., Pinto, E., Almeida, A., & Correia, A. T. (2022). Stock structure of the Brazilian sardine *Sardinella brasiliensis* from Southwest Atlantic Ocean inferred from otolith elemental signatures. **Fisheries Research**, 248, 106192. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2021.106192>
- Schwarcz, L. M., & Starling, H. M. (2015). Brasil: uma biografia: Com novo pós-escrito. **Editora Companhia das Letras**.
- Secor, D. H., & Dean, J. M. (1989). Somatic Growth Effects on the Otolith–Fish Size Relationship in Young Pond-reared Striped Bass, *Morone saxatilis*. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 46(1), 113–121. <https://doi.org/10.1139/f89-015>

- Secor, D. H., Dean, J. M., & Laban, E. H. (1992). Otolith Removal and Preparation for Microstructural Examination. In D. K. Stevenson & S. E. Campana (Eds.), **Otolith microstructure examination and analysis** (pp. 19–57). Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences.
- Silva, M. A. B. Bernini, E., & Carmo, T. M. S. do. (2005). Características estruturais de bosques de mangue do estuário do rio São Mateus, ES, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 19(3), 465–471. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000300006>
- Silva Junior, D. R., Carvalho, D. M. T., & Vianna, M. (2013). The catfish *Genidens genidens* (Cuvier, 1829) as a potential sentinel species in Brazilian estuarine waters. **Journal of Applied Ichthyology**, 29(6), 1297–1303. <https://doi.org/10.1111/jai.12280>
- Škeljo, F., & Ferri, J. (2012). The use of otolith shape and morphometry for identification and size-estimation of five wrasse species in predator-prey studies. **Journal of Applied Ichthyology**, 28(4), 524–530. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01925.x>
- Soeth, M., Daros, F. A., Correia, A. T., Fabr e, N. N., Medeiros, R., Feitosa, C. V., de Sousa Duarte, O., Lenz, T. M., & Spach, H. L. (2022). Otolith phenotypic variation as an indicator of stock structure of *Scomberomorus brasiliensis* from the southwestern Atlantic Ocean. **Fisheries Research**, 252, 106357. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2022.106357>
- Taslina, K., Al-Emran, M., Rahman, M. S., Hasan, J., Ferdous, Z., Rohani, M. F., & Shahjahan, M. (2022). Impacts of heavy metals on early development, growth and reproduction of fish – A review. **Toxicology Reports**, 9, 858–868. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.04.013>
- Templeman, W., & Squires, H. J. (1956). Relationship of Otolith Lengths and Weights in the Haddock *Melanogrammus aeglefinus* (L.) to the Rate of Growth of the Fish. **Journal of the Fisheries Research Board of Canada**, 13(4), 467–487. <https://doi.org/10.1139/f56-029>
- Tsuzuki, M. Y., Sugai, J. K., Maciel, J. C., Francisco, C. J., & Cerqueira, V. R. (2007). Survival, growth and digestive enzyme activity of juveniles of the fat snook (*Centropomus parallelus*) reared at different salinities. **Aquaculture**, 271(1–4), 319–325. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.05.002>
- Vignon, M. (2012). Ontogenetic trajectories of otolith shape during shift in habitat use: Interaction between otolith growth and environment. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, 420–421, 26–32. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2012.03.021>

- Vilar, C. C., Andrades, R., Szablak, F. T., Guabiroba, H.C., Pichler, H. A., Bastos, K. V., Santana, R., Garcia, P., Martins, R. F., Amaral, L., Hostim-Silva, M. & Joyeux, J. C. (2022). Variability in nearshore fish biodiversity indicators after a mining disaster in eastern Brazil. **Marine Environmental Research**, 175, 105565–105565. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2022.105565>
- Weber, A. A., Sales, C. F., de Souza Faria, F., Melo, R. M. C., Bazzoli, N., & Rizzo, E. (2020). Effects of metal contamination on liver in two fish species from a highly impacted neotropical river: A case study of the Fundão dam, Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 190, 110165. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110165>
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. **Springer-Verlag** New York.
- Wickham, H., Averick, M., Bryan, J., Chang, W., McGowan, L., François, R., Golemund, G., Hayes, A., Henry, L., Hester, J., Kuhn, M., Pedersen, T., Miller, E., Bache, S., Müller, K., Ooms, J., Robinson, D., Seidel, D., Spinu, V., & Takahashi, K. (2019). Welcome to the Tidyverse. **Journal of Open Source Software**, 4(43), 1686. <https://doi.org/10.21105/joss.01686>
- Wickham, H., François, R., Henry, L., Müller, K., Vaughan, D. (2023). *dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. **R package version 1.1.2**. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>
- Worthmann, H. (1979). A relação entre o desenvolvimento do otólito e o crescimento do peixe como auxílio na distinção de populações de Pescada (*Plagioscion squamosissimus*). **Acta Amazonica**, 9(3), 573–586.
- Zorica, B., Sinovcic, G., & Cikes Kec, V. (2010). Preliminary data on the study of otolith morphology of five pelagic fish species from the Adriatic Sea (Croatia). **Acta Adriatica**, 51(1).