



## **UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA - UFBA**

Programa de Pós-Graduação em Ecologia: Teoria, Aplicação e Valores  
Doutorado em Ecologia

**PERIMAR ESPÍRITO SANTO DE MOURA**

**ASPECTOS DO CICLO DE VIDA DE LUTJANÍDEOS EM AMBIENTES  
ESTUARINOS TROPICAIS: USO DO HABITAT E PADRÃO DE MOVIMENTO**

**Salvador, julho de 2019**

**PERIMAR ESPÍRITO SANTO DE MOURA****ASPECTOS DO CICLO DE VIDA DE LUTJANÍDEOS EM AMBIENTES  
ESTUARINOS TROPICAIS: USO DO HABITAT E PADRÃO DE MOVIMENTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
em Ecologia: Teoria, Aplicação e Valores, como  
parte dos requisitos exigidos para obtenção do  
título de Doutor em Ecologia.

Orientador: Dr. Alexandre Clistenes de Alcântara Santos  
Coorientador: Dr. Cristiano Albuquerque

**Salvador, julho de 2019**

**“A alegria não chega apenas no encontro do achado, mas faz parte do processo da busca. E ensinar e aprender não pode dar-se fora da procura, fora da boniteza e da alegria.”**

**(Paulo Freire)**

*Homenagem in memorian*

*A meu pai, Valdiki Cardoso de Moura Sobrinho, o grande incentivador da minha vida, que hoje não está aqui para presenciar este momento, mas deixou um legado intelectual e emocional que estão acima de qualquer riqueza ou presença.*

## Agradecimentos

Um trabalho como este não tem como ser realizado com apenas duas mãos. Ao longo desse processo, contei com inúmeros(as) e inestimáveis colaboradores(as). Inicio aqui agradecendo ao meu orientador e grande amigo, Alexandre Clistenes de Alcântara Santos, que mais uma vez aceitou o desafio de encarar comigo esse importante passo em minha carreira acadêmica. A Leonardo Evangelista, amigo e idealizador do projeto maior ao qual tive a honra de participar e assumir a parte que coube para meu doutorado. Aos meus coorientadores, Cristiano Albuquerque e Vinícius Condini pelo amplo conhecimento nessa área específica do conhecimento e pela amizade, aos colegas e amigos do Laboratório de Ictiologia da UEFS Priscila Leal, Edjane Pereira, Daniel Assis, Daniel Vinícius, Jonas, Charlene, Aline França, Amom, Bruno, Carol, Elaine, Fabiane, Felipe Bucheni, Ilver, Levi, Marcelo, Marciany, Marcone, Midian, Rafael e demais, pelas ajudas em campo e laboratório. A Maria das Graças, (Gal) e Isa do Instituto de Química pela ajuda nas análises de água. A Manuel, Lilian e Ana do Centro de Tecnologia Mineral da UFRJ pelo acolhimento e auxílio nas análises dos otólitos. A todos os pescadores que não apenas me auxiliaram em campo, como também trouxeram conhecimento para minha vida, em particular a Marcinho, Marquinhos e Chico. A Iara Colina, parceira que iniciou essa jornada comigo e muito me incentivou em todo processo. A UEFS pela logística e apoio geral. A UFBA pela oportunidade de ampliar meus conhecimentos ao longo do curso. A FAPESB pelo apoio financeiro ao projeto. A Maria D'Ajuda Costa Passos, companheira de uma travessia inesquecível em tantos momentos até aqui, por todo apoio e amor. A Climene Maria, minha mãe, o alicerce maior de minha vida e referência para tudo de bom que eu sou.

**Muito obrigado!**

## Sumário

Texto de divulgação .....	8
Resumo geral.....	9
General Abstract .....	11
Estrutura da Tese .....	13
Introdução Geral .....	15
Justificativa Geral .....	21
Objetivos .....	23
Objetivo Geral .....	23
Objetivos específicos.....	23
Metodologia Geral .....	24
Áreas de estudo.....	24
Desenho amostral .....	30
Processamento do material biológico.....	30
Triagem do material biológico e preparação dos otólitos .....	30
Análise Química.....	31
Referências Bibliográficas .....	32
Capítulo I - Uso da microquímica de otólito para investigar a variação espacial entre ambientes estuarinos tropicais do ariacó <i>Lutjanus synagris</i> .....	37
Abstract .....	38
Resumo.....	38
INTRODUÇÃO .....	39
MATERIAL E MÉTODOS .....	41
Preparação e análises microquímicas dos otólitos .....	41
Análises estatísticas.....	41
RESULTADOS .....	42
DISCUSSÃO .....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45
Capítulo II – Determinação do Uso de Hábitat entre três espécies de vermelhos simpátricas, <i>Lutjanus synagris</i> , <i>L. analis</i> e <i>L. jocu</i> (Perciformes: Lutjanidae) .....	50
ABSTRACT .....	50
RESUMO .....	51
INTRODUÇÃO .....	52

MATERIAL E MÉTODOS .....	53
Área de estudo e coleta dos peixes.....	53
Preparação e análises microquímicas dos otólitos .....	53
Análises estatísticas.....	54
RESULTADOS .....	54
DISCUSSÃO .....	54
CONCLUSÃO .....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57
Apêndice.....	60
CONCLUSÃO GERAL.....	68

## **Texto de divulgação**

### **ASPECTOS DO CICLO DE VIDA DE LUTJANÍDEOS EM AMBIENTES ESTUARINOS TROPICAIS: USO DO HÁBITAT PADRÃO DE MOVIMENTO**

#### **Perimar Espírito Santo de Moura**

Este trabalho se dedicou a procurar entender como peixes da família *Lutjanidae* (os vermelhos) utilizam as regiões estuarinas tropicais durante seu ciclo de vida, usando os otólitos (que são “pedras” do seu ouvido interno) e as pistas deixadas pelos ambientes por onde passou, através da análise de seu registro químico nos otólitos para auxiliar a ecologia. Conhecer esse comportamento é ferramenta para entendermos esses ambientes e essas espécies, no intuito de criarmos ferramentas para a preservação destes peixes e consequentemente os seus habitats.

O primeiro artigo da tese trata das mudanças na composição química nos otólitos do ariocó em relação aos ambientes percorridos em sua história de vida, ao longo de três estuários da Bahia.

Já o segundo, avalia o uso de ambiente e a possível sobreposição espacial entre espécies que convivem em três estuários tropicais com diferentes níveis de impactos ambientais.

Os resultados mostraram que a mesma espécie pode percorrer ambientes de tipos diferentes, mas que também, espécies diferentes de vermelho podem compartilhar o mesmo ambiente. Estas informações ampliam os conhecimentos sobre o ciclo de vida de espécies de alto interesse comercial, principalmente na pesca artesanal, e de grande importância ecológica, permitindo também investigar como os ecossistemas costeiros da Bahia estão conectados.

## Resumo geral

A família Lutjanidae é representada por peixes de importância ecológica e econômica em ambientes costeiros (vermelhos), que utilizam esses habitats como berçários. Conhecer os padrões de uso e compartilhamento dessas áreas é fundamental para a gestão para conservação de áreas prioritárias. A análise química de otólitos tem sido utilizada para estudos sobre peixes, incluindo deslocamento e uso de habitat. Os objetivos do presente estudo foram utilizar esta ferramenta para verificar variações espaciais na composição química de otólitos de *Lutjanus synagris* em regiões estuarinas da Bahia, e, através da leitura química do padrão de deposição de Sr e Ba na borda dos otólitos de *L. jocu*, *L. analis* e *L. synagris*, discriminar o uso de habitat pelos lutjanídeos. O estudo foi realizado na Baía de Todos os Santos (BTS), Baía de Camamu (CAM) e no Complexo Estuarino de Caravelas (CAR). Foram realizadas sete expedições a cada região entre julho/2015 e setembro/2017. Os peixes foram dissecados e tiveram seus otólitos retirados, processados e enviados para análise. Em laboratório realizaram-se as análises das leituras das bordas dos otólitos de *L. synagris*, através de um sistema de ablação a laser acoplado a um espectrômetro de massa com indução por plasma. Posteriormente, foi utilizada a análise química do padrão de deposição de isótopos de Sr e Ba da borda dos otólitos de *L. jocu*, *L. analis* e *L. synagris* das três regiões. Para verificar sobreposição de habitat, as médias da concentração da razão Ba e Sr foram comparadas entre as espécies em cada localidade, utilizando teste de Mann-Whitney para BTS, e Kruskal-Wallis para CAM e CAR. Ao todo, 29 juvenis de *L. synagris* foram capturados nos estuários enquanto 41 adultos foram capturados fora dos estuários. Além destes, foram analisados 220 otólitos, sendo 61 de *L. analis*, 126 de *L. jocu* e 33 de *L. synagris*. Diferenças significativas foram encontradas na composição dos otólitos de *L. synagris* entre regiões estuarinas e marinhas para Ba, Sr e Mg, nas três regiões mostrando que a mesma espécie apresenta assinaturas químicas distintas. Em CAM houve maiores valores para Ba e Mn, e valores mais baixos de Sr, indicando maior aporte de água doce nessa região. A BTS mostrou-se sempre intermediária nos valores de Ba, Sr e Mn, indicando moderada mistura de águas doce e salgada em relação às demais áreas. Já em CAR, que não possui formação de baía, os valores de Sr foram os mais altos, enquanto os de

Ba foram os mais baixos, possivelmente devido à maior influência do ambiente marinho. Os otólitos dos três vermelhos não evidenciaram diferenças significativas entre as áreas, exceto para o Sr em CAR. Esse resultado mostra que há sobreposição espacial para todas as espécies estudadas. Não é possível afirmar com isso que há sobreposição de nicho, e a literatura mostra que a dieta com itens alimentares preferencialmente diferentes pode ser um fator que permita a coexistência dessas espécies. No entanto, mais trabalhos são requeridos para investigar melhor essa hipótese nas áreas estudadas.

**Palavras-chave:** processos migratórios, conectividade de estuários, assinatura química, espécies congêneres, sobreposição espacial.

## General Abstract

The Lutjanidae family is represented by fish of ecological and economic importance in coastal environments (snappers) that use these areas as nurseries. Knowing the patterns of use and sharing of these areas is fundamental for the management and conservation of priority areas. Chemical analysis of otoliths has been used for studies on fish, including shifting and habitat use. The objectives of the present study were to use this tool to verify spatial variations in the chemical composition of *Lutjanus synagris* otoliths in estuarine regions of Bahia and, through the chemical reading of the Sr and Ba deposition pattern of the edge of the *L. jocu* otoliths, *L. analis* and *L. synagris*, to discriminate the use of the habitat by the lutjanids. The study was carried out in Baía de Todos os Santos (BTS), Baía de Camamu (CAM) and Caravelas Estuarine Complex (CAR). Seven expeditions were carried out in each region between July/2015 and September/2017. The fish were dissected and their otoliths removed, processed and sent for analysis. In the laboratory the analyzes of the edges of the *L. synagris* otoliths were carried out by means of a laser ablation system coupled to a plasma induction mass spectrometer. Subsequently, the chemical analysis of the isotope deposition pattern of Sr and Ba of the edge of the otoliths of *L. jocu*, *L. analis* and *L. synagris* of the three regions was used. In order to verify habitat overlap, the Ba and Sr ratio concentration averages were compared between the species in each locality, using Mann-Whitney test for BTS, and Kruskal-Wallis for CAM and CAR. Altogether, 29 juveniles of *L. synagris* were caught in the estuaries while 41 adults were caught outside the estuaries. In addition, 220 otoliths were analyzed, 61 of *L. analis*, 126 of *L. jocu* and 33 of *L. synagris*. Significant differences were found in the composition of the *L. synagris* otoliths between estuarine and marine regions for Ba, Sr and Mg in the three regions showing that the same species shows different chemical signatures. In CAM there were higher values for Ba and Mn, and lower values of Sr, indicating a higher fresh water intake in this region. BTS was always intermediate in the values of Ba, Sr and Mn, indicating a moderate mixture of fresh and salt water in comparison to the other areas. In CAR, which does not have a bay formation, the values of Sr were the highest, while those of Ba were the lowest, possibly due to the greater influence of the marine environment. The otoliths of the three snappers did not

show significant differences between the areas except for the SR in CAR. This result shows that there is spatial overlap for all species studied. It is not possible to affirm with this that there is niche overlap, and the literature shows that the diet with preferentially different food items may be a factor that allows the coexistence of these species. However, more work is required to better investigate this hypothesis in the areas studied.

**Keywords:** migratory processes, estuarine connectivity, chemical signatures, congeners species, spatial overlap.

## Estrutura da Tese

A presente tese está estruturada em Introdução Geral, Metodologia Geral e Objetivos seguida de dois capítulos e finalizada por uma Conclusão Geral, como visto a seguir:

### **Introdução geral**

Introdução abordando os aspectos teóricos e uma revisão bibliográfica abrangendo a temática geral da tese, englobando todos os capítulos.

### **Objetivos**

Apresentação do Objetivo geral e Objetivos específicos.

### **Metodologia Geral**

Descrição metodológica de todos os capítulos.

### **Capítulo I – *Uso da microquímica de otólito para investigar a variação espacial entre ambientes estuarinos tropicais do ariacó *Lutjanus synagris****

O primeiro artigo do capítulo trata da análise das variações da composição química nos otólitos de *L. synagris* em relação aos ambientes percorridos em sua história de vida em escala espacial, ao longo de três complexos estuarinos tropicais.

### **Capítulo II – *Determinação do Uso de Hábitat entre três espécies de vermelhos simpátricas, *Lutjanus synagris*, *L. analis* e *L. jocu* (Perciformes: Lutjanidae)***

O segundo capítulo avalia o uso de habitat e sua possível sobreposição espacial entre espécies congêneres simpátricas em três complexos estuarinos tropicais com diferentes níveis de impactos, sendo de grande importância para

o preenchimento de lacunas nas informações da história de vida dessas espécies, bem como para ampliar o conhecimento sobre o uso de ambientes estuarinos de grande relevância como áreas de berçário e refúgio para espécies marinhas.

---

## Introdução Geral

Áreas litorâneas formam conjuntos de ecossistemas costeiros muito distintos entre si, entre os quais estão inclusos as praias arenosas e dunas, manguezais, restingas, barreiras de recifes, lagunas, enseadas e baías, costões rochosos, deltas e os estuários (Mann 2000; Pinto-Coelho & Havens 2015). De acordo com estes autores, embora propensas a sofrer grandes oscilações e flutuações advindas dos ciclos de marés, e estarem continuamente expostas a tormentas provenientes dos oceanos, estas áreas são importantes ecossistemas provedores de serviços ambientais, exercendo importantes funções reguladoras no ambiente. De acordo com estes autores, destacando-se dentre os demais ecossistemas litorâneos, os estuários apresentam características funcionais únicas que os distinguem, sobretudo, pela alta produção biológica, grande riqueza e diversidade de espécies. Segundo os autores, estes ecossistemas atuam ainda como “sistemas tampão”, impedindo que os efeitos das tormentas e outros eventos climáticos provenientes dos oceanos se propaguem pelos continentes adentro.

Do ponto de vista físico, a definição de um estuário e a delimitação da sua respectiva área tem sido abordada por diversos autores. De acordo com Silva (2000) e Mikhailov e Gorin (2012), devido a grande generalidade, dentre as várias definições a mais frequentemente adotada é a de Cameron e Pritchard (1963), que assume esses sistemas como corpos de água costeiros semifechados que possuem ligação livre com o mar, nos quais a água marinha se dilui com a água doce proveniente da drenagem continental. No entanto, Mikhailov e Gorin (2012), em um novo enfoque sobre a definição de estuários, pontuam que é necessário excluir a palavra litoral das abordagens que inclui este conceito, indicando estas áreas como pertencentes à área da boca do rio (River Mouth Area).

A problemática na definição de estuário é bem traduzida pelo quanto complicado é dar-lhe um significado “básico”, expressado pela existência de mais de 40 definições diferentes deste conceito (Perillo 1995). Assim, de acordo Mikhailov e Gorin (2012), a partir do século XX, a hidrologia mundial deparou-se com o

desenvolvimento da ciência das áreas de interação entre as águas do rio e do mar. Mikhailov e Gorin (2012) avaliam que esta tendência foi formada na fronteira de importantes setores da hidrologia dentre 14 das ciências relacionadas aos ciclos hidrológicos, como a hidrologia de rios e a oceanologia. Formulada então na Rússia como um conceito de áreas da boca do rio (River Mouth Areas-RMA) e nos demais países, como Estuários, de acordo com Mikhailov e Gorin (2012), estas duas abordagens se complementam. Entretanto, mudanças nas definições dos termos devem ser levadas em consideração.

A despeito das considerações técnicas, o fato é que em todo o mundo os ecossistemas costeiros, incluindo-se os estuários, encontram-se altamente vulneráveis às pressões antrópicas geradas, principalmente, pela sobrepesca das espécies e distúrbios dos habitats (Dulvy *et al.* 2003, Costello *et al.* 2010). Estes distúrbios, especialmente a perda e a degradação de habitats, são responsáveis pela extinção e forte redução na abundância de populações de diversas espécies que utilizam os habitats costeiros em fases essenciais do ciclo de vida (e.g. recrutamento biológico e reprodução) (Dulvy *et al.* 2003, Costello *et al.* 2010). Mais da metade da população humana mundial se concentra no litoral ou em regiões circunvizinhas a menos de 100 km da costa, o que gera intensos conflitos entre as atividades humanas e a qualidade dos ecossistemas costeiros. Por exemplo, a ocupação desordenada de áreas costeiras em função das expansões urbana, industrial e portuária é um importante fator promotor de alterações físicas e biológicas do funcionamento destas áreas, podendo ainda resultar em sua perda total em casos extremos (Vitousek *et al.* 1997, Diegues 2002, Dulvy *et al.* 2003).

Apesar deste contexto de vulnerabilidades, os habitats costeiros são reconhecidamente importantes para o ciclo de vida de diversas espécies de origem marinha e estuarina, especialmente devido a grande oferta de alimento e proteção contra predadores que atraem os juvenis e pré-adultos, especialmente das espécies de peixe (Able 2005, Elliott *et al.* 2007, França *et al.* 2011). Em geral, os habitats estuarinos têm maior destaque neste papel de criadouro das espécies, mas outras áreas rasas do entorno de estuários também podem responder por parcelas significativas no recrutamento dos

indivíduos, sendo periodicamente utilizados por juvenis de espécies típicas deste habitat, bem como por espécies oportunistas (Sato *et al.* 2008). Estudos têm revelado que praias arenosas marinhas adjacentes a estuários representam extensões deste último, quando a pluma estuarina extravasa sobre a plataforma continental, ou serve como um habitat intermediário para os juvenis de peixe entre as áreas marinhas utilizadas pelos adultos e o berçário estuarino (Cowley *et al.* 2001, Able 2005, Strydom 2003, Strydom & dHotman 2005, Taylor *et al.* 2007, Able *et al.* 2011, Moraes *et al.* 2012).

A maioria dos peixes que ocorrem nos estuários é de origem marinha, sendo que o tipo de peixe e a relação do seu ciclo de vida com o estuário são muito similares na maioria dos estuários do mundo (Able 2003, Elliott *et al.* 2007). A ictiofauna dos estuários pode ser dividida basicamente em dois grandes grupos de espécies amplamente definidos. O primeiro grupo inclui as espécies que completam todo o ciclo de vida no estuário e que podem ser identificadas como estuarino-residente, sendo capturadas no ambiente límnico ou marinho de forma accidental, ou em baixa abundância. No segundo grupo, a presença das espécies nos estuários depende do sucesso reprodutivo em outros ambientes aquáticos adjacentes. Neste grupo estão incluídas, dentre outras, as espécies estuarino-dependentes (senso amplo) que são de origem marinha e que obrigatoriamente usam os estuários, principalmente como juvenis. Assim, as espécies estuarino-dependentes realizam importantes migrações ontogenéticas entre habitats marinhos e estuarinos ao longo do seu ciclo de vida (Elliott *et al.* 2007).

Até recentemente, a elevada abundância de juvenis encontrada recorrentemente em estuários e região costeira adjacente, e as características ecológicas destes ambientes (e.g. oferta de alimento e proteção contra predadores) eram as principais evidências utilizadas pelos pesquisadores para apontar estes habitats costeiros como áreas de berçário (Blaber & Blaber 1980, Able 2005, Elliott *et al.* 2007, França *et al.* 2009). No entanto, novas evidências colocaram dúvidas sobre a universalidade desta premissa ecológica. De acordo com um dos artigos pioneiros nesta discussão (Beck *et al.* 2001), um ambiente só pode ser considerado como berçário quando os juvenis oriundos destas áreas contribuem efetivamente para a manutenção dos

estoques adultos. Diante deste contexto, diversos grupos de pesquisa no mundo buscaram investigar o papel dos estuários como berçários a partir da determinação de assinaturas químicas e/ou genéticas de juvenis encontrados em um determinado estuário e a consequente identificação da origem dos adultos encontrados em habitats marinhos (e.g. Thorrold *et al.*, 1997).

Nos últimos anos, o uso da composição química de otólitos permitiu a identificação de estoques, áreas de berçário e descrição de histórias de vida de diferentes espécies comerciais (Tanner *et al* 2015). Os Otólitos de peixes teleósteos são complexos corpos policristalinos compostos principalmente de carbonato de cálcio na forma de aragonita e vestígios e ultra-oligoelementos incorporados dentro de uma matriz orgânica (Campana, 1999) e alojados no aparelho vestibular (Figura 01 a e b).

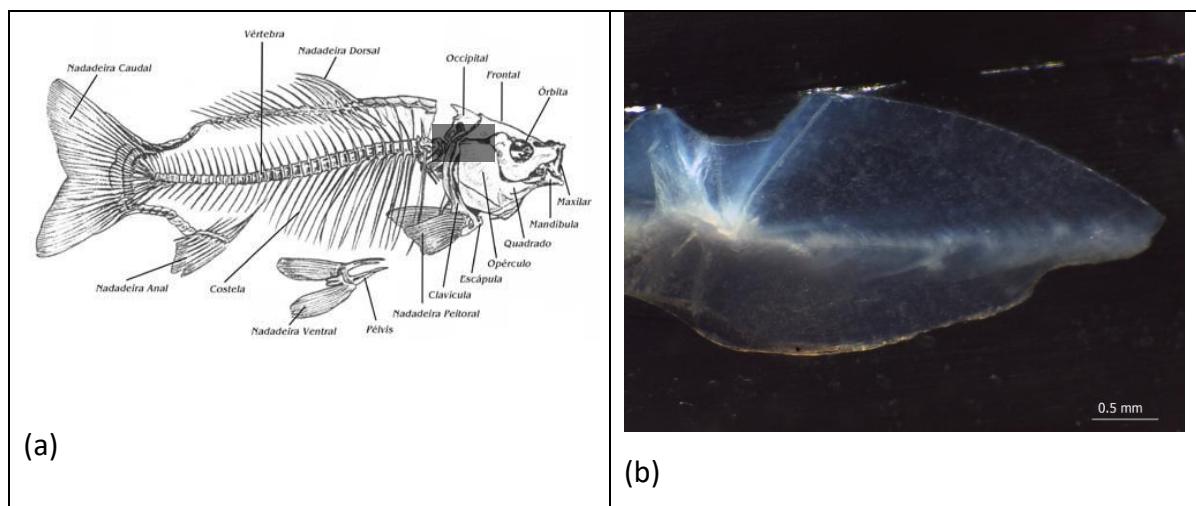


Figura 01 - (a) anatomia de um peixe teleósteo, (b) otólito sagittae.

A adição de cálcio é um processo extracelular que seria regulado hormonalmente e influenciado pelo meio ambiente, a partir de variações como a de temperatura (Morales-Nin, 1998, 2000). Além disso, a concentração dos elementos depositados em otólitos não é regulada pela atividade fisiológica do peixe, mas sim por fatores ambientais (Bouchard *et al.* 2015). A temperatura e a salinidade estão entre os mais relevantes fatores ambientais relacionados à incorporação de elementos no otólito (Campana 1999; Secor e Rooker 2000; Elsdon e Gillanders 2002; Martin *et al.* 2004; Sturrock *et al.* 2012; Bouchard *et al.* 2015). A fonte predominante da maioria dos elementos e isótopos para otólitos é a água circundante. Os elementos são incorporados da água ao

plasma sanguíneo do peixe através das brânquias ou intestinos, depois na endolinfa e, finalmente, na cristalização do otólico (Bouchard *et al.*, 2015). A dieta do peixe pode contribuir para a composição química do otólico; no entanto, a contribuição relativa varia para diferentes elementos (Bouchard *et al.*, 2015). Em resumo, a composição química dos otólitos é conservadora, porque o material, a partir da sua incorporação não é reabsorvido ou alterado (Elsdon *et al.*, 2008). Elementos traço, em combinação com o crescimento dos anéis formados, resultam em um arquivo importante que registra a informação do ambiente frequentado por peixes, assim como, alterações no meio ambiente e mudanças por exposição a poluentes, em toda a sua ontogenia (Halden e Friedrich, 2008).

Por estas razões, a microquímica de otólico tem sido amplamente utilizada para estudar o ambiente e a biologia do peixe, assim como, para identificar as unidades populacionais de peixes. A análise da microquímica pode fornecer dados sobre o meio ambiente e a história de cada peixe (Bouchard *et al.* 2015; Tanner *et al.* 2015). Em geral, os diferentes estudos com oligoelementos que podem ser realizados atualmente com os otólitos, nos permitem lidar com vários problemas (conectividade, migração, história de vida, áreas de berçário, estoques, estrutura de população, comportamento e localização) a um custo baixo ou moderado de análise, sem o uso de metodologias caras. Existem bons exemplos de como a microquímica de otólitos permitiu um estudo detalhado da biologia de peixes comerciais, melhorando assim a gestão de recursos pesqueiros, bem como das áreas de ocorrência dessas espécies.

As dificuldades em acessar a conectividade entre habitats vêm sendo superadas à medida que estudos de ecologia e biologia se apropriam dessa ferramenta. Por exemplo, a composição química de estruturas inertes dos indivíduos que utilizam diferentes habitats ao longo de sua vida serve como registro histórico dos locais por onde os animais passaram. Isto é possível, pois, à medida que estas estruturas inertes acompanham o crescimento do indivíduo, são acrescidas nelas os compostos químicos (e.g.: estrôncio Sr, bário Ba e Cálcio Ca) em quantidades relativas ao ambiente em que o animal se encontra (Campana, 1999). Como a remobilização biológica dos componentes químicos destas estruturas é nula ou insignificante, o registro

histórico dos ambientes químicos em que o animal frequentou é preservado (Campana, 1999). Aliados a estudos de biologia populacional, estes registros químicos podem informar os locais frequentados pelos animais em cada fase de sua vida. Assim, o estudo da composição química de estruturas inertes de animais marinhos permite ao pesquisador inferir sobre os padrões de ocupação de habitats, sobre a conectividade de habitats que compõem o mosaico de uma paisagem e sobre a dependência das espécies em relação a habitats essenciais para o seu ciclo de vida.

As zonas rasas marinhas e estuarinas constituem um importante componente fisiográfico da região costeira da Bahia devido à grande área ocupada por estes habitats, ao seu valor ecológico para a biota marinha e estuarina e ao interesse desses ambientes para a economia baiana, especialmente àquela movimentada pelo turismo (BAHIATURSA 1997, MMA 2002). Portanto, é imprescindível conhecer o funcionamento ecológico das zonas marinhas e estuarinas presentes no estado, bem como a importância deles como potenciais berçários para as espécies de origem marinha, as quais respondem pela maior biodiversidade nestes ambientes.

Nesse sentido, esse trabalho se propôs a investigar, através da leitura química dos otólitos de espécies da família Lutjanidae, os processos de migrações ontogenéticas entre áreas estuarinas e áreas marinhas adjacentes, elucidando questões que podem contribuir para a preservação dessas áreas através de uma melhor gestão de seus recursos.

---

## Justificativa Geral

Os estuários eram reconhecidos historicamente como as áreas de berçário de uma grande diversidade de espécies de peixes marinhos, devido à grande oferta de alimento e proteção contra predadores proporcionadas por esses ambientes. Contudo, novos argumentos começaram a contestar a condição imprescindível desta premissa ecológica, principalmente a partir da descoberta de que algumas regiões estuarinas poderiam funcionar como sumidouros de juvenis na medida em que, por alguma razão, impedissem o retorno dos recrutas para recompor a população adulta, levando tal população ao risco de extinção local ou mesmo global, no caso de espécies endêmicas. Neste contexto, diversificaram-se as linhas de pesquisa que buscam identificar qualitativamente a real contribuição dos estuários para a manutenção de populações de peixes marinhos e dulcícolas. Com o uso de ferramentas da Química, pesquisadores em todo mundo vêm conseguindo demonstrar o real papel ecológico dos diversos estuários para as suas espécies de peixe de origem marinha e dulcícola. Dentre estas ferramentas, utilizamos aqui a análise de assinaturas químicas de estruturas inertes, tais como os otólitos de peixes.

A costa da Bahia é rica em reentrâncias que abrigam muitos estuários que parecem servir de berçário para espécies marinhas, sendo que, muitas delas possuem alta importância comercial e estão sobre forte ameaça antrópica (e.g. vermelhos - Lutjanidae). Contudo, a importância destes ambientes para a manutenção das populações marinhas ainda é pouco conhecida pela Ciência, havendo importantes lacunas a serem preenchidas. É importante ressaltar que os estuários localizados ao longo da costa baiana estão sob forte pressão antrópica devido à histórica e destacada vocação destes ambientes para os mais diversos setores econômicos (e.g. pesca, turismo, infraestrutura e logística, dentre outros). Assim, o presente estudo avaliou a utilização espacial desses três estuários da Bahia (Baía de Todos os Santos, Baía de Camamu e o Complexo Estuarino de Caravelas) pela espécie *L. synagris*, peixe de alto valor comercial e que se encontra classificado como sobreexplotado pela Lista Vermelha do IBAMA de 2018. Utilizou-se também a leitura química do padrão

de deposição de estrôncio (Sr), bário (Ba), magnésio (Mg) e manganês (Mn) na borda dos otólitos de três espécies de vermelhos (*L. jocu*, *L. analis* e *L. synagris*) para discriminar o uso do hábitat nas três regiões estuarinas acima citadas.

## Objetivos

### Objetivo Geral

Ampliar o conhecimento sobre aspectos do ciclo de vida de três espécies de vermelho (Lutjanidae) em estuários tropicais, através da leitura da composição química dos otólitos em diferentes estágios de vida.

### Objetivos específicos

1. Avaliar as mudanças espaciais na composição química de otólitos de *L. synagris* na Baía de Todos os Santos, Baía de Camamu e no complexo estuarino de Caravelas.
2. Investigar a estuarino-dependência de *L. synagris* em regiões estuarinas tropicais.
3. Consolidar um banco de dados sobre a ocorrência das espécies de vermelhos nas regiões estuarinas estudadas;
4. Investigar o padrão de deposição de Sr, Ba, Mg e Mn na borda dos otólitos de três espécies de vermelhos (*Lutjanus jocu*, *L. analis* e *L. synagris*) para discriminar o uso do hábitat em três regiões estuarinas da costa da Bahia.

---

## Metodologia Geral

### Áreas de estudo

#### Baía de Todos os Santos

A Baía de Todos os Santos apresenta morfologia condicionada por movimentos tectônicos, e uma área demarcada principalmente por falhas geológicas (Lessa et al. 2009). Essa baía apresenta uma área de 1.233 km<sup>2</sup>, sendo a segunda maior do Brasil (Cirano e Lessa 2007). Recebe o aporte de três grandes bacias de drenagem, associadas ao rio Paraguaçu, Jaguaripe e Subaé, além de outras 91 bacias menores que geram efeitos de descarga durante os meses úmidos (Lessa et al. 2009). Seu maior tributário é notadamente a bacia do Rio Paraguaçu, contando com uma área de aproximadamente 56.300 km<sup>2</sup> que drena os rios do continente, atingindo valores máximos nos meses de dezembro e janeiro. Vale destacar que a descarga média do rio era em torno de 90,5 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, tendo sido alterada com o advento da construção da barragem de Pedra do Cavalo. A regulação do fluxo pela barragem resultou na redução das vazões e alterações no padrão de descarga na baía (Gens, 2006; Cirano e Lessa, 2007). As outras duas principais bacias hidrográficas, o Rio Jaguaripe (2200 km<sup>2</sup>) e Rio Subaé (600 km<sup>2</sup>) situam-se na região costeira, tendo sua contribuição máxima em torno de junho, com médias descargas mensais de 28 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> e 9 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, respectivamente (Cirano & Lessa 2007).

Apesar da contribuição dessas três bacias, o volume de descarga de água doce na BTS é pequeno, devido à ocorrência do clima semiárido próximo às cabeceiras (Lessa et al. 2009). Carvalho (2000) afirma que o transporte de sedimento pelo rio Paraguaçu é muito baixo, não sendo sequer suficiente para preencher a Baía de Iguape, onde deságua, tendo construído apenas um pequeno delta de cabeceira nesta baía.

A BTS é a única dentre as 24 baías costeiras do Brasil com mais de 50 km<sup>2</sup> de área que apresenta penetração da Água Tropical em seu interior, sendo também a única a possuir também uma significativa extensão de recifes de coral (Lessa et al. 2009). Concentrados na região interna e externa da baía, os

recifes de coral internos estão presentes mais próximos do complexo industrial e da cidade de Salvador, bordeando o lado sudeste da Ilha dos Frades e os lados leste a oeste da Ilha de Maré; os recifes externos estão localizados na entrada da baía ao longo da costa leste e sudeste da Ilha de Itaparica, estes, expostos a ação das águas oceânicas (Cruz *et al.* 2009).

### **Baía de Camamu**

Localizado na mesorregião do Baixo Sul da Bahia, o estuário do Sirinhaém ( $13^{\circ}45''S$ ;  $39^{\circ}09''W$ ) compõe a segunda maior baía do estado (Santos e Nolasco 2017), e terceira do país, a Baía de Camamu. Apresentando uma área interna de aproximadamente 85km<sup>2</sup> (Oliveira *et al.* 1998 apud Ourives *et al.* 2011), a baía foi recém-estabelecida como área de proteção ambiental (APA) pelo Decreto Estadual nº 8.175 de 27 de fevereiro de 2002, estando o estuário do Sirinhaém posicionado no seu trecho mais ao norte, já protegido por lei por estar inserido na APA Pratigi, criada a partir do Decreto Estadual nº 7.272 de 2 de abril de 1998.

Os principais rios dentro da APA Pratigi são os rios dos Patos, do Pati e o Sirinhaém, este tendo todo o seu curso preservado com a ampliação da APA para a bacia Juliana, a maior sub-bacia dentro dos limites da APA e que recebe como afluentes a maioria dos rios que desaguam no estuário do Sirinhaém, os rios: Juliana, Cachoeira Grande, Santarém, Rio das Piabas e o Rio Sirinhaém (Lessa 2007; Santana 2016).

Centrada na zona costeira marítima do estado da Bahia conhecida como Costa do Dendê, a Baía de Camamu segundo Ouvires *et al.* (2011), possui o potencial hídrico destacado dentre as características físicas da região, devido à confluência entre os rios Maraú, Conduru, Acaraí, Pinaré, Igrapiúna e Sirinhaém com o Oceano Atlântico, estes, dando a forma da área estuarina desta estrutura geográfica. De acordo com Diegues (2002) apud Lessa (2007), os rios com maiores contribuições para a Baía de Camamu são o Rio das Almas e o Rio Sirinhaém.

A plataforma continental contígua a Baía de Camamu possuí uma largura média em torno de 23 km em frente à desembocadura da baía e 12 km mais ao norte em frente à Ilha de Boipeba e ao Sul em frente à Península de Maraú (Google-Earth 2017). Na plataforma interna, a temperatura apresenta uma maior estratificação durante o período seco (diferença média de até 2,7°C), quando comparada ao período chuvoso que é praticamente homogênea, e a salinidade média é maior no período seco (Amorim, 2005).

O complexo estuarino que deságua na Baía de Camamu possui situado ao leste na região marítima, uma extensa faixa de recifes de corais com dimensões bastante variadas, ocorrendo sob a forma de pequenos bancos, dispondendo-se em conjuntos alongados que seguem o alinhamento estrutural da bacia sedimentar (Kikuchi *et al.*, 2008). De acordo com Diegues (2000) apud Lessa (2007), isso faz com que a atuação de ondas nessa região seja mínima, havendo influência considerável, apenas da maré.

Os tipos de vegetação e ambientes que compõe o Baixo Sul da Bahia incluem a Mata Atlântica, Manguezal, Restinga e Brejos. No entorno da baía de Camamu existem extensas áreas de manguezais que ocupam uma área de aproximadamente 145,28 km<sup>2</sup>, concentrando-se principalmente ao longo do Canal do Sirinhaém (Ucha *et al.* 2011).

### **Complexo Estuarino de Caravelas**

Localizado na costa Sul do estado da Bahia (17°43'S; 39°15'W), o complexo estuarino de caravelas possui cerca de 66 km<sup>2</sup> de área e abriga um dos mais importantes sistemas de manguezais da Bahia (Herz 1991). Como ambiente de transição, a floresta de manguezal faz fronteira com áreas vestigiais da Mata Atlântica, característica da região (Schettini e Miranda 2010).

De acordo com Machado e Araújo (2014), os principais rios que deságuam no estuário de Caravelas são: Macaco, Massangano, Jaburuna, Cupido, do Poço, do Largo, Caribé e Peroba (Soares *et al.* 2008), no entanto, o estuário também está associado à foz do rio Peruípe através de pequenos canais sinuosos (Machado e Araújo 2014). Os principais rios que contribuem com a descarga

de água doce, segundo Schettini e Miranda (2010), são o Cupido/Caravelas e o Peruípe, estando à entrada de água doce no Rio Caravelas, sujeita ao escoamento superficial de vários afluentes, sendo o rio Cupido o principal.

Comportando-se como um típico canal de maré, o estuário é governado por águas costeiras (Soares *et al.* 2008). A amplitude das marés na área chega a cerca de 2m, sendo o fluxo do rio em Caravelas e mais adiante na costa, menor durante a estação seca (Leipe *et al.* 1999). Apresentando uma barra de entrada de aproximadamente 2km de comprimento (Machado e Araújo 2014), a desembocadura do rio é formada pelas regiões denominadas de Barra Velha e Canal do Tomba (Pereira *et al.* 2010).

A plataforma continental na região de Caravelas é marcada pela presença de ilhas vulcânicas, canais profundos e uma série de corais (Pereira *et al.* 2010). Para Campos *et al.* (1973), as intrusões vulcânicas constituíram o embasamento favorável para o desenvolvimento das estruturas biogênicas características da região, como as algas calcárias e os corais. Segundo Leão e Kikuchi (2008), o complexo recifal de Abrolhos, presente nesta região, corresponde ao maior e mais rico sistema de recife de coral do Brasil e Atlântico Sul com uma área de aproximadamente 6.000 km<sup>2</sup>.

O presente estudo foi realizado durante dois anos em cada um dos estuários, sendo cinco localidades da Baía de Todos os Santos (BTS): Paraguaçu (três pontos de amostragem), Salinas das Margaridas (dois pontos de amostragem), e Ponta da Ilha, Jeribatuba e Penha (um ponto cada) (Figura 2), e três localidades Na Baía de Camamu, (CAM) foram três localidades: Estreito, Reversa e Cria Menino (um ponto cada) (Figura 3). No Complexo estuarino de Caravelas, por sua vez, foram amostrados três pontos, sendo eles Quitongo, Hotel e Ponta da Baleia (Figura 4).

A BTS recebe a drenagem de diversos rios, dos quais se destaca o Rio Paraguaçu pelo seu maior volume de vazão e pela presença da Barragem Pedra do Cavalo que é responsável pela regularização na descarga do rio, além dos rios Jaguaribe, Subaé e diversos rios de menor porte em toda sua extensão. A Baía de Camamu recebe drenagem principalmente dos rios Sirinhaém, Maraú e diversos rios e riachos de menor porte. O complexo estuarino de Caravelas não forma baía, tendo como seu principal rio o Macaco,

além de inúmeros rios e riachos de menor porte. Ambas as baías formam também complexos estuarinos. A Baía de Camamu apresenta um grau de conservação maior em relação aos diversos impactos presentes na BTS e no litoral de Caravelas (Pereira *et al.* 2010).

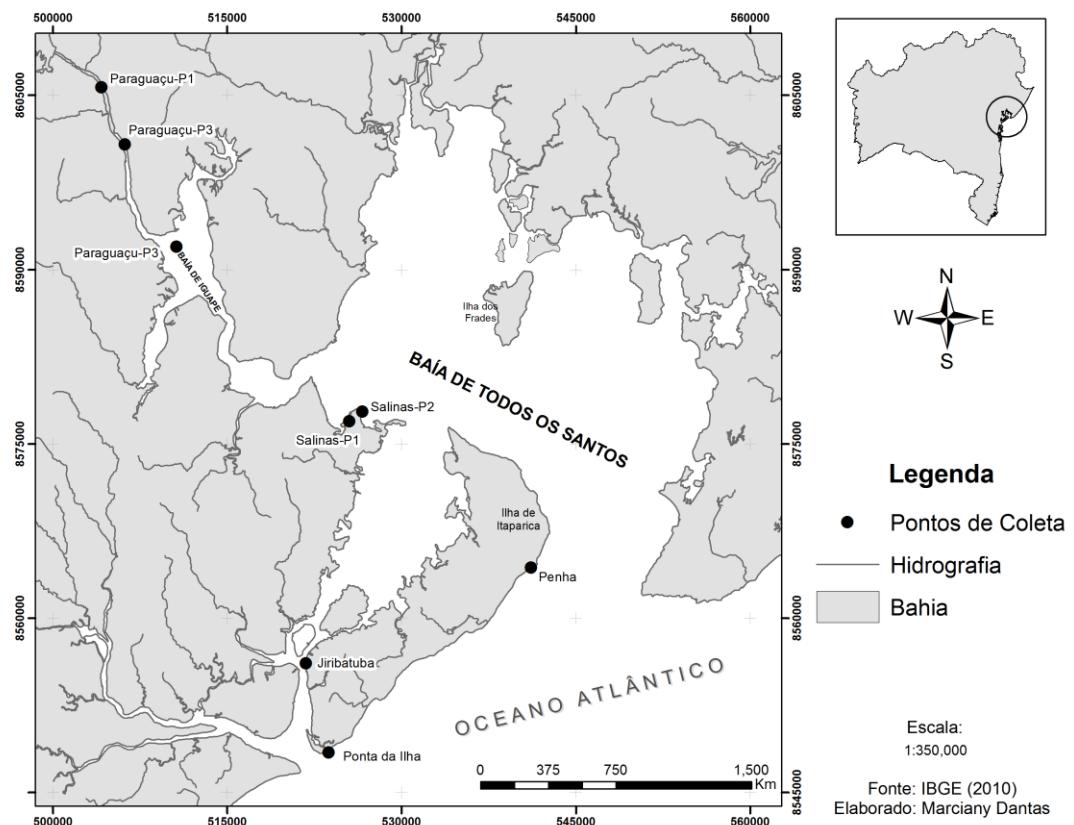


Figura 2 - Mapa das estações de coleta na Bahia de Todos os Santos.

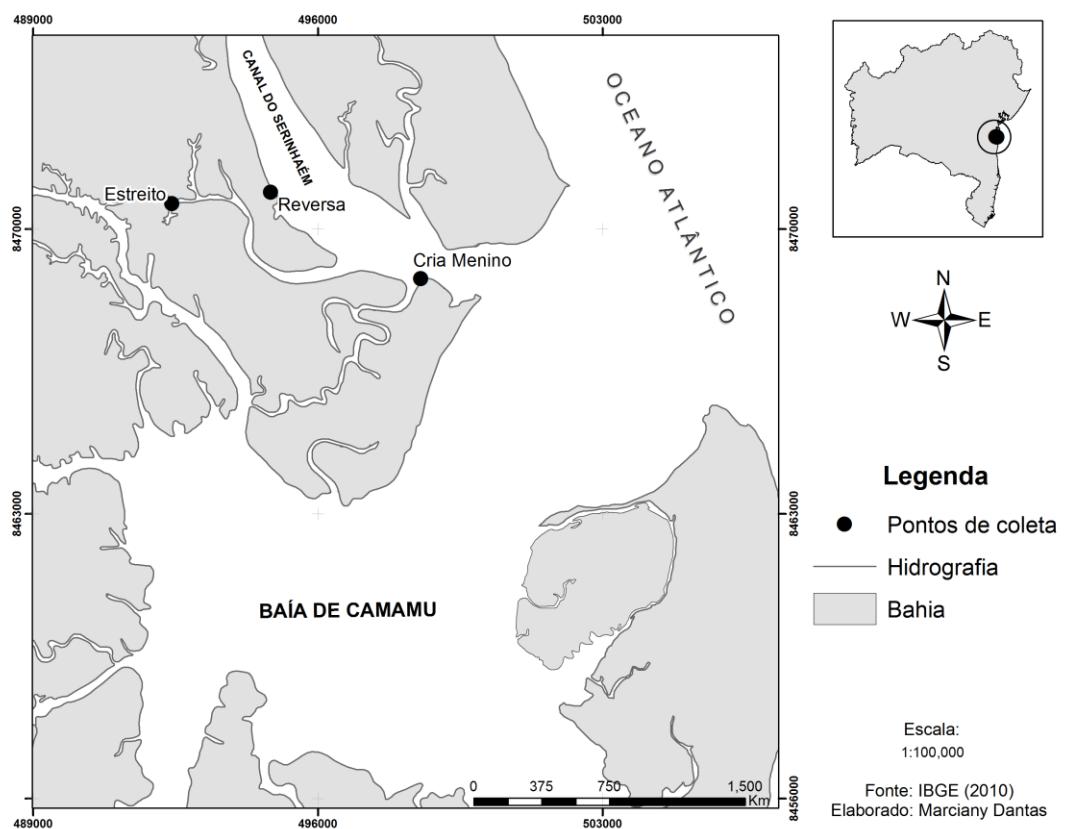


Figura 3 - Mapa das estações de coleta na Bahia de Camamu.

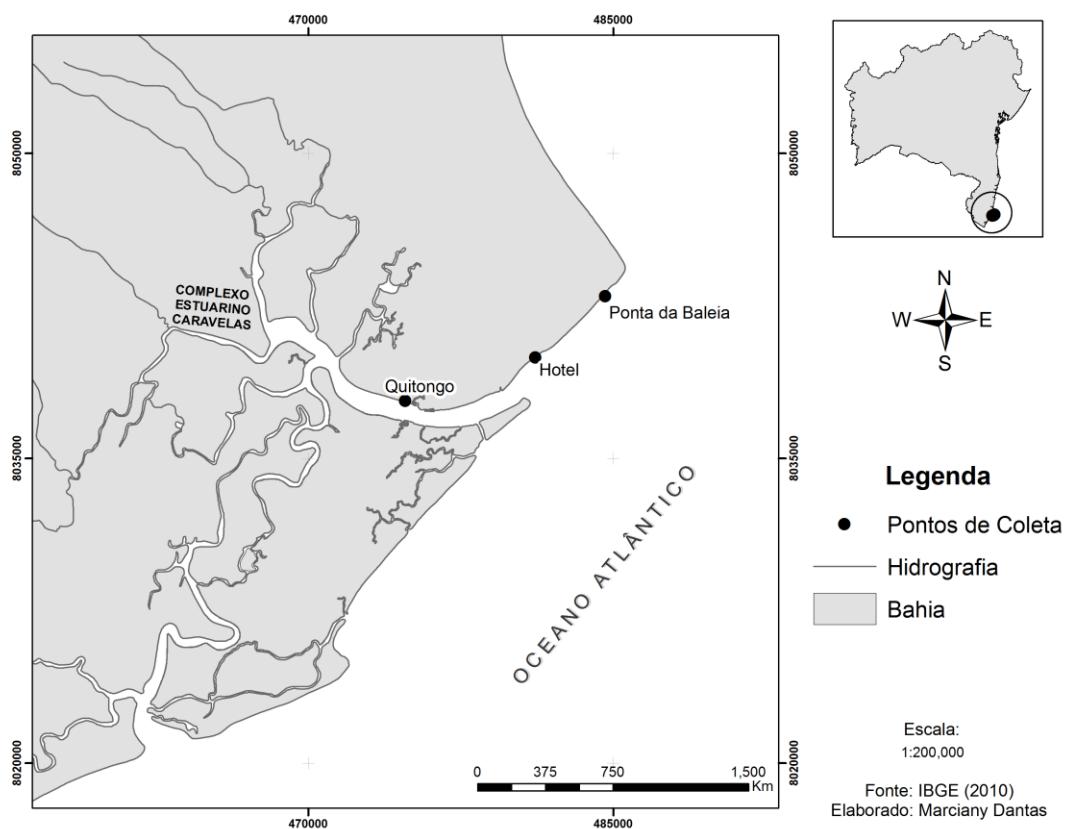


Figura 4 - Mapa das estações de coleta no complexo estuarino de Caravelas.

## Desenho amostral

Foram obtidos exemplares juvenis e adultos de três espécies de vermelhos (*Lutjanus jocu*, *L. analis* e *L. synagris*) para realização desse estudo. Amostragens nos desembarques pesqueiros de cada localidade foram realizadas para a obtenção dos exemplares adultos. Para obtenção dos juvenis, foram realizadas coletas em zonas rasas dos estuários e da região costeira adjacente utilizando redes de arrasto manual (picaré: 9 m de comprimento, malha de 10 mm entre nós nas assas e 5 mm no centro), sendo realizados três arrastos padronizados de 30 m ao longo da costa em cada ponto. As coletas foram realizadas durante as marés de sizígia entre a baixamar e o início da preamar. Foram tomadas medidas de temperatura, salinidade e transparência da água com auxílio de termômetro, refratômetro e disco e Secchi em cada ponto amostrado. Amostras de água foram feitas nos locais, sendo uma na estação seca e outra na estação chuvosa. A coleta de água se deu a partir de salinidade próxima a zero, no curso do Rio Paraguaçu, sendo tomada a cada concentração de 5ppt, até a maior salinidade possível na região estuarina. A partir das amostras, foram geradas curvas de mistura para Sr<sup>86</sup>, Ba, Mg, Mn, Zn e Pb em cada localidade.

Todo o material biológico coletado foi conservado em gelo e encaminhado para o Laboratório de Ictiologia da Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS, aonde foram devidamente identificados. Material testemunho do trabalho foi depositado na coleção científica da Divisão de Peixes do Museu de Zoologia da UEFS.

## Processamento do material biológico

### Triagem do material biológico e preparação dos otólitos

Devido às variações ontogenéticas na composição química dos otólitos, foi priorizada a obtenção de espécimes em diferentes classes de tamanho. Para cada animal coletado, o comprimento total e sexo (somente em adultos) foram registrados. Em seguida, os otólitos sagittae foram extraídos, lavados e acondicionados em envelopes de papel, no caso dos adultos, e em eppendorf

para os juvenis. Posteriormente foram emblocados em resina cristal e cortados em serra metalográfica do LABPESCA (UEFS) em secções com espessura de 0,4 mm. Cada secção foi fixada em lâmina histológica com cola de secagem rápida. As seções foram desbastadas com lixas de pequena granulometria, sendo então escovadas e lavadas com água deionizada e lavadas por 3 minutos.

### Análise Química

Parte das secções desinfetadas dos otólitos foram analisadas em um sistema Laser Ablation Inductively Plasma Mass Spectrometer (LA-ICPMS) composto por um laser modelo CETAC LSX 100 e um ICPMS modelo ELAN 6000, PerkinElmer SCIEX, no Centro de Tecnologia Mineral - CETEM da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. A medição das massas relativas e absolutas do estrôncio, bário, cálcio, magnésio, manganês e zinco foram realizadas. Os perfis de ablação foram feitos desde o centro até a borda de cada otolito, de forma que todo seu eixo principal de crescimento pudesse ser analisado. O material extraído foi carreado para o ICPMS através de argônio de alta pureza. Para a calibragem do LA-ICPMS foram utilizados como padrões discos de CaCO<sub>3</sub> contendo concentrações conhecidas dos elementos analisados. A utilização destes padrões aumenta a robustez da quantificação uma vez que eles apresentam uma matriz mista e semelhante àquela que constitui os otólitos. A análise da água foi realizada em ICPMS Optima 4300 DV, no Laboratório de Análises Químicas da Universidade Federal da Bahia - UFBA, calibrado com padrões de referência Titrisol (Merck KgaA, Darmstadt, Germany).

## Referências Bibliográficas

- Able KW (2005) A re-examination of fish estuarine dependence: evidence for connectivity between estuarine and ocean habitats. *Estuar Coast Shelf Sci* 64:5–17
- Amorim, FN (2005) Caracterização oceanográfica da Baía de Camamu e adjacencias e mapeamento das áreas de risco à derrame de óleo. Dissertação, Universidade Federal da Bahia.
- Avigliano, E., Volpedo, A.V., 2013. Use of otolith strontium:calcium ratio as indicator of seasonal displacements of the silverside (*Odontesthes bonariensis*) in a freshwater-marine environment. *Marine Freshwater Research*, 64 (8): 746-751.
- BAHIATURSA – Empresa de Turismo da Bahia S/A. Turismo receptivo de Ilhéus: janeiro de 1997.
- Belotto VR, Miekeley N (2007) Trace metals in mussel shells and corresponding soft tissue samples: a validation experiment for the use of *Perna perna* shells in pollution monitoring. *Bioanal Chem* 389:769–776.
- Blaber SJM, Blaber TG (1980) Factors affecting the distribution of juvenile estuarine and inshore fish. *J Fish Biol* 17:143–162 Bremec C, Gilberto D (2006) Polychaete assemblages in the Argentinean Biogeographical Province, between 34° and 38°S. *Sci Mar* 70:249–257.
- Bouchard, C., Thorrold, S.R., Fortier, L., 2015. Spatial segregation, dispersion and migration in early stages of polar cod *Boreogadussaïda* revealed by otolith chemistry. *Marine Biology*, 162(4): 855-868.
- Cameron WM, Pritchard DW (1963) Estuaries. In: Hill MN (Ed) *The sea - Ideas and Observations on Progress in the Study of the Seas- The Composition of Sea Water*, v.2, Interscience Publishers, John Wiley and Sons, New York.
- Campana SE (1999) Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar Ecol Prog Ser* 188:263–297.
- Campos CWM, Miura K, Reis L (1973) The East Brazilian Continental Margin and Petroleum Prospects. In: Nairn AEM, Stehli FG (Eds.) *The Ocean Basins and Margins*. Plenum Press, New York.

- Capitoli R, Bemvenuti C (2004) Distribuição batimétrica e variações de diversidade dos macroinvertebrados bentônicos da plataforma continental e talude superior no extremo sul do Brasil. *Atlântica* 26:27–43.
- Carvalho JB (2000) Caracterização morfoestratigráfica do preenchimento sedimentar da Baía de Iguape, Bahia – Influência das variações eustáticas do nível do mar e atividades tectônicas recentes. Dissertação, Universidade Federal da Bahia.
- Cirano M, Lessa GC (2007) Oceanographic characteristics of Baía de Todos Santos, Brasil. *Rev Bras Geof* 25:363-387. <https://doi:10.1590/S0102-261X2007000400002>.
- Costello MJ, Coll M, Danovaro R, Halpin P, Ojaveer H, Miloslavich P (2010) A Census of Marine Biodiversity Knowledge, Resources, and Future Challenges. *PLoS ONE* 5(8): e12110. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012110>.
- De Villiers S (1999) Seawater strontium/Ca variability in the Atlantic and Pacific oceans. *Earth Planet Sci Lett* 171:623–634.
- Diegues ACS (2002) Povos e Águas. NUPAUB-USP, São Paulo.
- Dulvy NK, Sadovy Y, Reynolds JD (2003) Extinction vulnerability in marine populations. *Fish and Fisheries*. Volume 4 Issue 1 25-64 pp.
- Elliott M, Whitfield AK, Potter IC, Blaber SJM, Cyrus DP, Nordlie FG, Harrison TD (2007) The guild approach to categorizing estuarine fish assemblages: a global review. *Fish Fish* 8:241–268
- Elsdon TS, Gillanders BM (2006) Identifying migratory contingents of fish by combining otolith Sr:Ca with temporal collections of ambient Sr:Ca concentrations. *J Fish Biol* 69:643–657
- Elsdon TS, Wells BK, Campana SE, Gillanders B, Jones C, Limburg KE, Secor DH, Thorrold SR, Walther BD (2008) Otolith chemistry to describe movements and life-history parameters of fishes: hypotheses, assumptions, limitations and inferences. *Oceanogr Mar Biol Ann Rev* 46:297–330.
- França S, Vasconcelos R, Costa MJ, et al (2011) Padrões de variação nas associações de peixes de estuários da costa portuguesa. *Ecologí@* 1: 36-50.
- Fowler AJ, Campana SE, Jones CM, Thorrold SR (1995b) Experimental assessment of the effect of temperature and salinity on elemental

- composition of otoliths using laser ablation ICPMS. *Can J Fish Aquat Sci* 52:1431–1441 Haimovici M (1987) Estratégia de amostragem de comprimentos de teleósteos demersais nos desembarques da pesca de arrasto no litoral do sul do Brasil. *Atlântica* 9:65–82.
- Genz F (2006) Avaliação dos efeitos da barragem Pedra do Cavalo sobre a circulação estuarina do rio Paraguaçu e Baía de Iguape. Dissertação, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Haimovici M, Martins AS, Vieira PC (1996) Distribuição e abundância de peixes teleósteos demersais sobre a plataforma continental do Sul do Brasil. *Rev Bras Biol* 56:27–50.
- Halden, N.M., Friedrich, L.A., 2008. Trace-element distribution in fish otoliths: natural markers of life histories, environmental conditions and exposure to tailings effluence. *Mineralogical Magazine*, 73:593-605.
- Kikuchi RKP, Oliveira MDM, Leão ZMAN, et al (2008) Os recifes de Tinhareté-Boipeba-Camamu, Bahia. Rio Oil & Gas Expo and Conference 2008, Rio de Janeiro.
- Leipe T, Knoppers B, Marone E et al (1999) Suspended matter transport in coral reef waters of the Abrolhos Bank, Brazil. *Geo-Marine Letters* 19: 186-195. <https://doi: 10.1007/s003670050108>.
- Lessa CM (2007) Identificação de áreas prioritárias para a conservação da sociobiodiversidade na zona estuarina da Costa do Dendê, Bahia. Dissertação, Universidade de Brasília, Brasília.
- Lessa GC, Cirano M, Genz F et al (2009) A oceanografia física da Baía de Todos os Santos. In: Andrade J, Hatje V (eds) Baía de Todos os Santos: aspectos oceanográficos. EDUFBA, Salvador.
- Machado AJ, Araújo HAB (2014) Characterization of the Caravelas River Estuary (Bahia) from a Temporal Distributional Analysis of the Foraminifera Microfauna. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ* 37: 23-38. [https://doi: 10.11137/2014\\_2\\_23\\_38](https://doi: 10.11137/2014_2_23_38).
- Mikhailov VN, Gorin SL (2012) New Definitions, Regionalization, and Typification of River Mouth Areas and Estuaries as Their Parts. *Water Resourcrces* 39:247–260 . <https://doi: 10.1134/S0097807812030050>.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE 2002 Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade das zonas costeiras e marinhas. Brasília, Ministério do Meio Ambiente (MMA/SBF). Brasília. 72p.

- Morales-Nin B, Torres GJ, Lombarte A, Recasens L (1998) Otolith growth and age estimation in the European hake. *J Fish Biol* 53:1155–1168.
- Morales-Nin, B., Torres, G.J., Lombarte, A., Recasens, L., 1998. Otolith growth and age estimation in the European hake. *Journal of Fish Biology*, 53(6): 1155-1168.
- Oliveira OMC, Queiroz AFS, Damasceno RN et al (1998) Caracterização geoambiental de zonas de manguezais da baía de Camamu-BA: subsídios para um estudo ambiental sistemático. *Revista da Escola de Minas* 51: 42-46.
- Ourives TMS, Guerrazzi MC, Simone LR (2011) Gastropods from Camamu Bay, state of Bahia, Brazil. *Check list* 7: 328-336.
- Pereira MD, Siegle E, de Miranda LB, Schettini CAF (2010) Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por maré: Estuário de Caravelas (BA). *Rev Bras Geofis* 28:427–444. <https://doi: 10.1590/S0102-261X2010000300008>.
- Perillo GME (1995) Chapter 1 Geomorphology and Sedimentology of Estuaries: An Introduction. Elsevier, Volume 53:1-16.
- Pinto-Coelho RM, Havens K (2015) Crise nas Águas: Educação, ciência e governança juntos evitando conflitos gerados pela escassez e pela perda da qualidade das águas. Belo Horizonte
- Rooker JR, Kraus RT, Secor DH (2004) Dispersive behaviors of black drum and red drum: is otolith Sr:Ca a reliable indicator of salinity history? *Estuaries* 27:334–341.
- Santana RG (2016) Modelagem da salinidade do estuário do Serinhaém, Bahia – Brasil. Dissertação, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana.
- Santos IS, Nolasco MC (2017) Modeling of the bottom of Serinhaém's estuary, BA: Morphology and Granulometry. *Caderno de Geografia* 27: 247-263. <https://doi: 10.5752/p.2318-2962.2017v27n49p247>.
- Sato, M. and Jumars, P. A. (2008). Seasonal and vertical variations in emergence behaviour of *Neomysis americana*. *Limnology and Oceanography*, 53(4), 1665-1677.
- Schettini CAF, Miranda LB (2010) Circulation and suspended particulate matter transport in a tidally dominated estuary: Caravelas Estuary, Bahia, Brazil.

- Brazilian Journal of Oceanography 58: 1-11. <https://doi: 10.1590/S1679-87592010000100001>.
- Secor DH, Rooker JR, Zlokovitz E, Zdanowicz VS (2001) Identification of riverine, estuarine, and coastal contingents of Hudson River striped bass based upon otolith elemental fingerprints. *Mar Ecol Prog Ser* 211:245–253.
- Silva MC (2000) Estuários-Critérios para uma classificação ambiental. *Rev Bras Recur Hídricos* 5:25–35.
- Soares MLG, Chaves FO, Estrada GCD et al (2008) Caracterização das florestas de mangue do Complexo Estuarino de Caravelas (Bahia-Brasil). *Bol. Téc.-Cient. CEPENE* 16: 23-41.
- Tanner, S.E., Reis-Santos, P., Cabral, H.N. 2015. Otolith chemistry in stock delineation: A brief overview, current challenges and future prospects. *Fisheries Research*, (in press).
- Thorrold SR, Jones CM, Campana SE (1997) Response of otolith microchemistry to environmental variations experienced by larval and juvenile Atlantic croaker (*Micropogonias undulatus*). *Limnol Oceanog* 42:102–111.
- Ucha JM, Hadlich GM, Carvalho EGS (2011) Manguezais e carcinicultura no Baixo Sul do estado da Bahia, Brasil. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba.
- Vitousek, P. M.; Mooney, H. A.; Lubchenco, J.; Melillo, J. M. (1997) Human Domination of the Earth's Ecosystems. *Science*, v. 277, p. 494-499.

---

## Capítulo I

Artigo submetido ao periódico *Journal of Fish Biology*

### ***Uso da microquímica de otólito para investigar a variação espacial entre ambientes estuarinos tropicais do ariacó *Lutjanus synagris****

Moura, P. E. S.<sup>xPsi<sup>1,2</sup></sup>, Condini, M. V.<sup>3</sup>, Moraes, L. E.<sup>4</sup>, Albuquerque, C. Q.<sup>5</sup>, Santos, A. C. A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal da Bahia, Rua Barão de Jeremoabo, 147, Campus de Ondina. CEP: 40170-115 Salvador - Ba.

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano Campus Uruçuca, Rua Dr. João Nascimento, s/n - Centro, Uruçuca - BA, 45680-000, 2/4.

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana, CAU II - Avenida Transnordestina, s/n, Universidade Estadual de - Novo Horizonte, Feira de Santana - BA, 44036-900,

<sup>4</sup> Universidade Federal do Sul da Bahia, S/n Rodovia BR-367 Km 10 Zona Rural, Porto Seguro - BA, 45810-000,

<sup>5</sup> Universidade Federal do Semi Árido, R. Francisco Mota, 572 - Pres. Costa e Silva, Mossoró - RN, 59625-900.

<sup>1</sup>Autor para correspondência: Tel. +55 71 99981 4097; e-mail: perimarmoura@gmail.com

**Declaração de Significância.** Este trabalho se dedicou a procurar entender como peixes da espécie *Lutjanus synagris* utilizam as regiões estuarinas tropicais durante seu ciclo de vida, utilizando os otólitos, partes de seu próprio corpo, e as pistas deixadas pelos ambientes por onde passou, através da análise de seu registro químico, para auxiliar a compreensão da ecologia das espécies estudadas. Conhecer esse comportamento é parte da chave para entendermos esses ambientes e essa espécie, no intuito de criarmos ferramentas para a preservação da espécie da melhor maneira possível.

## Abstract

Chemical analysis of otoliths has been used for studies on fish migratory processes, identification of fish stocks, connectivity among habitats, determination of spawning areas and nursery, among other applications. The objective of the present study was to use this tool to verify if there are spatial variations in the chemical composition of otoliths of *Lutjanus synagris* in different estuarine regions of Bahia. The study was carried out in the Baía de Todos os Santos (BTS), Baía de Camamu (CAM) and Caravelas estuarine complex (CAR). Seven field trips were carried out for each point between July 2015 and September 2017, where 29 juveniles were obtained through beach seine and 41 adults in fishing landings. The otoliths were extracted, washed, coated in resin, cut with metallographic saw in sections of 0.4 mm and sanded. The chemical composition of the edge of the otoliths was analyzed through a laser ablation system coupled to a plasma induction mass spectrometer. The comparison between the otoliths showed significant differences between estuarine and marine regions for Ba:Ca ( $F = 64.74$ ,  $p < 0.01$ ), Sr:Ca ( $F = 4.64$ ,  $p < 0.05$ ) and Mg:Ca ( $F = 84.99$ ,  $p < 0.01$ ) for all sampled areas. When comparing the three regions studied, we also saw significant differences for Ba:Ca, ( $F = 52.88$ ,  $p < 0.01$ ), Sr:Ca ( $F = 6.31$ ,  $p < 0.01$ ), Mg:Ca ( $F = 52.88$ ,  $p < 0.01$ ), Mn:Ca ( $F = 35.082$ ,  $p < 0.01$ ) and Zn:Ca ( $F = 5.93$ ,  $p < 0.01$ ). In CAM, the highest values for Ba:Ca and Mn:Ca were presented, and lower values of Sr:Ca, indicating a higher fresh water intake in this area compared to the others. The BTS was always intermediate in the values of Ba:Ca, Sr:Ca and Mn:Ca, indicating that it has moderate mixture of fresh and salt water in relation to the other two areas. On the other hand, the values of Sr:Ca were highest, while those of Ba:Ca were the lowest, possibly due to the greater influence of the marine environment. The presence of distinct chemical signatures among fish from the three regions increases the knowledge about the life cycle of a species of high commercial interest, especially in the artisanal fishery, and ecological importance, as well as to investigate the connectivity between the coastal ecosystems of Bahia.

**Key words:** migratory processes, fish stocks, estuarine connectivity, chemical signature.

## Resumo

A análise química de otólitos tem sido utilizada para estudos sobre processos migratórios em peixes, identificação de estoques pesqueiros, conectividade entre habitats, determinação de áreas de desova e berçário, dentre outras aplicações. O objetivo do presente estudo foi utilizar esta ferramenta para verificar se existem variações espaciais na composição química de otólitos de *Lutjanus synagris* em diferentes regiões estuarinas da Bahia. O estudo foi realizado nas Baías de Todos os Santos (BTS), Baía de Camamu (CAM) e no Complexo Estuarino de Caravelas (CAR). Foram realizadas sete expedições de campo em cada região entre julho de 2015 e

setembro de 2017, onde foram obtidos 29 juvenis através de arrastos de praia e 41 adultos em desembarques pesqueiros. Os otólitos foram extraídos, lavados, emblocados em resina, cortados com serra metalográfica em secções de 0,4 mm e lixados. Foi analisada a composição química da borda dos otólitos através de um sistema de ablação a laser acoplado a espectrômetro de massa com indução por plasma. A comparação entre as bordas dos otólitos mostrou diferenças significativas entre regiões estuarinas e marinhas para Ba:Ca ( $F = 64,74$ ,  $p < 0,01$ ), Sr:Ca ( $F = 4,64$ ,  $p < 0,05$ ) e Mg:Ca ( $F = 84,99$ ,  $p < 0,01$ ) para todas as áreas amostradas. Ao compararmos as três regiões estudadas, vimos também diferenças significativas para Ba:Ca, ( $F = 52,88$ ,  $p < 0,01$ ), Sr:Ca ( $F = 6,31$ ,  $p < 0,01$ ), Mg:Ca ( $F = 52,88$ ,  $p < 0,01$ ), Mn:Ca ( $F = 35,082$   $p < 0,01$ ) e Zn:Ca ( $F = 5,93$ ,  $p < 0,01$ ). Em CAM foram apresentados maiores valores para Ba:Ca e Mn:Ca, e valores mais baixos de Sr:Ca, indicando maior aporte de água doce nessa área em comparação com as demais. A BTS mostrou-se sempre intermediária nos valores de Ba:Ca, Sr:Ca e Mn:Ca, indicando que tem moderada mistura de águas doce e salgada em relação às outras duas áreas. Já CAR, que não possui formação de baía, os valores de Sr:Ca foram os mais altos, enquanto que os de Ba:Ca foram os mais baixos, possivelmente devido à maior influência do ambiente marinho. A presença de assinaturas químicas distintas entre peixes das três regiões amplia os conhecimentos sobre o ciclo de vida de uma espécie de alto interesse comercial, principalmente na pesca artesanal, e importância ecológica, bem como permitirá investigar a conectividade entre ecossistemas costeiros da Bahia.

*Palavras-chave:* processos migratórios, estoques pesqueiros, conectividade de estuários, assinatura química.

## INTRODUÇÃO

Os otólitos são estruturas formadas basicamente de carbonato de cálcio, na forma de aragonita, e com pequena concentração de dezenas de outros minerais (e.g. estrôncio, bário, magnésio, manganês, dentre outros) imersos dentro de uma matriz orgânica não colagenosa (Campana 1999, Elsdon *et al.*, 2008). Otólitos tem sido amplamente utilizados como marcadores naturais nas últimas décadas, principalmente pelo fato de serem estruturas metabolicamente inertes e com crescimento contínuo ao longo da vida dos peixes, tendo ainda a capacidade de assimilar e armazenar informações químicas presentes no ambiente ao longo da história de vida do animal (Campana, 1999). Os elementos encontrados nos otólitos são incorporados a partir da sua disponibilidade inorgânica na água onde o peixe viveu, mas também podem ser influenciados pelos alimentos ingeridos pelo animal, envolvendo, portanto, um processo complexo de transporte de íons dissolvidos (Payan *et al.*, 2004; Sturrock *et al.*, 2015; Thomas *et al.*, 2017). Além da biodisponibilidade ambiental, a incorporação de elementos traço em otólitos pode também estar sob controle fisiológico e/ou genético (Labonne *et al.*, 2009; Hampton *et al.* 2018) Análises químicas de otólitos tem sido amplamente utilizadas para determinar estrutura e

conectividade populacional das espécies de peixes e também seus processos migratórios, padrões de movimento e uso hábitat (Gillanders, 2005, Condini *et al.* 2014, Aschenbrenner *et al.* 2016), além de sua utilização para determinação de estoques pesqueiros (Moreira *et al.* 2018). As análises da composição química dos otólitos podem também auxiliar na determinação de marcadores naturais de tempo e espaço (Stanley *et al.* 2015). O entendimento da variação espacial da concentração e composição de elementos nos otólitos auxilia na melhor compreensão dos padrões de conectividade e na identificação de estoques pesqueiros, a partir dos quais serão geradas informações para auxiliar na conservação e manejo desses estoques, espécies e/ou ecossistemas (Cook, 2011; Tanner *et al.*, 2016; Avigliano *et al.*, 2017).

Os peixes da família Lutjanidae são predadores que ocupam altos níveis tróficos, apresentando um importante papel ecológico nos ambientes onde ocorrem (Baum & Worm, 2009; Ferretti *et al.*, 2010), assim como são importantes recursos pesqueiros nas regiões tropicais e subtropicais das Américas (Claro & Lindeman, 2003; FAO, 2009; Moura *et al.*, 2011; Cavalcante *et al.*, 2012). As espécies da família apresentam migração ontogenética, onde os jovens encontram-se em áreas rasas de mangues ou estuários, e a medida que crescem, tendem a se deslocar para regiões mais profundas, entendendo-se desde a região costeira até a quebra do talude onde costumam reproduzir e desovar (Mceachran e Fechhelm, 2005; Garcia-Júnior *et al.*, 2010; Freitas *et al.*, 2014). O ariacó *Lutjanus synagris* (Linnaeus, 1758) distribui-se ao longo da costa leste do oceano Atlântico, da Carolina do Norte (EUA) ao sul do Brasil, além do Golfo do México e Mar do Caribe (Mceachran e Fechhelm, 2005). A espécie habita desde regiões estuarinas, manguezais, bancos de fanerógamias, recifes de coral e região costeira (Mceachran e Fechhelm, 2005; Garcia-Júnior *et al.*, 2010). É de grande importância ecológica, sendo um dos principais predadores dos ambientes no qual ocorre, sendo nos estuarino, manguezal e/ou recifal (Fonseca, 2009; Pimentel e Joyeux, 2010). A espécie é atualmente classificada pela IUCN Red List como Near Threatened (NT) (Lindeman *et al.* 2016). Esse status considerado preocupante para o futuro da conservação da espécie, sendo sobreexplotação e bycatch de juvenis apontados como principais causas para a diminuição de seus estoques (Lindeman *et al.* 2016). O *L. synagris* é uma espécie comercialmente importante ao longo de sua distribuição. De acordo com dados da NOAA, o desembarque comercial do ariacó diminuiu 72% ao longo de 30 anos na costa norte-americana. Na costa brasileira, a espécie é considerada sobreexplotada (Klipfel *et al.* 2005, Fredou *et al.* 2006, Francini-Filho 2008), principalmente na região Nordeste (Fredou *et al.* 2009).

Embora se conheçam algumas informações sobre a bioecologia do *L. synagris* no Atlântico sudeste (por exemplo, biologia reprodutiva, dieta e determinação de idade e crescimento - Freitas *et al.* 2014), e o padrão de conectividade e variabilidade espaço-temporal

de espécies congenéricas como *L. alexandrei* (Aschenbrenner *et al.* 2016), ainda há uma lacuna sobre a diferenciação de estoques pesqueiros e a ecologia dessa espécie. Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo *investigar se existe uma diferenciação de estoques perceptível em nível de composição química de otólitos*.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Área de estudo e coleta dos peixes*

Foram coletados 70 exemplares de *L. synagris* entre julho de 2015 e setembro de 2017 em três estuários tropicais ao longo da costa Nordeste do Brasil: Baía de Todos os Santos (BTS, n= 28 indivíduos), a Baía de Camamu (CAM, n= 20 indivíduos) e o complexo estuarino de Caravelas (CAR, n= 22 indivíduos) (Figura 5). As amostras foram obtidas através de coletas *in situ* e através da compra em frota pesqueira de cada local, em seguida foram armazenados em gelo e levados para laboratório para processamento.

### *Preparação e análises microquímicas dos otólitos*

Em laboratório, cada indivíduo teve comprimento total (CT, mm) registrado e posteriormente o par de otólio *sagittae* extraído, lavado, seco e acondicionado em envelope para futuro processamento. Posteriormente todos os otólitos foram emblocados em resina cristal e cortados em serra metalográfica do LABPESCA (UEFS) em secções com espessura em torno de 0,4 mm e fixadas em lâminas histológicas, sendo finalmente desbastadas com lixas de pequena granulometria, de acordo com Condini *et al.* (2014). Esses procedimentos foram realizados no LIUEFS. As análises químicas dos otólitos foram realizadas em um Laser Ablation Inductively Plasma Mass Spectrometer (LA-ICPMS) composto por um laser modelo CETAC LSX 100 e um ICPMS modelo ELAN 6000, PerkinElmer SCIEX, no Centro de Tecnologia Mineral - CETEM da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Foram realizados perfis do núcleo até a borda de cada otólio, de forma que todo seu eixo principal de crescimento pudesse ser analisado, sendo quantificadas as intensidades em CPS (counts per second) dos elementos, cálcio ( $^{43}\text{Ca}$ ), estrôncio ( $^{86}\text{Sr}$ ), bário ( $^{138}\text{Ba}$ ), magnésio ( $^{25}\text{Mg}$ ) e manganês ( $^{55}\text{Mn}$ ). Para a calibragem do LA-ICPMS foi utilizado o padrão MACS-3, com matriz de  $\text{CaCO}_3$  contendo concentrações conhecidas dos elementos a serem analisados.

### *Análises estatísticas*

No presente estudo, foram utilizadas apenas informações químicas extraídas na região da borda de cada otólio. Em cada análise química, foi realizada uma varredura de aproximadamente 30

$\mu\text{m}$  sobre a borda de cada otólito, para assegurar quantitativo de material suficiente para análise e que esse resultado realmente reflete as informações da borda do otólito. Análise de Variância (ANOVA) foi usada para explorar as diferenças das assinaturas químicas de cada elemento entre os três ambientes estuarinos tropicais, e quando havendo diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) foi realizado o test post hoc de Tukey HSD. Para determinar o padrão de variabilidade espacial entre os estuários amostrados foram determinadas as razões elemento:Ca (Ba:Ca, Sr:Ca, Mn:Ca e Mg:Ca), os quais tiveram seus pressupostos testados e aceitos para posterior Análise Multivariada de Variância (MANOVA), e havendo diferença foi realizado o test de Hotelling.

## RESULTADOS

As análises mostraram diferenças significativas entre os três ambientes estuarinos tropicais e a razão dos elementos encontradas nos otólitos para as razões Sr:Ca, Ba:Ca, Mg:Ca e Mn:Ca (Tabela 1). Quando realizadas comparações por pares, foi possível determinar que os valores médios da razão de Sr:Ca foram significativamente diferentes entre a região de CAR (0,536) e CAM (0,440) (Tukey test post hoc,  $P < 0,05$ ), sendo que BTS apresentou valores médios intermediários (0,494) não apresentando diferenças entre as outras duas regiões (Figura 6A). As razões de Ba:Ca e Mg:Ca apresentaram padrões opostos aos descritos para a razão Sr:Ca. A região de CAM apresentou maiores concentrações médias tanto para as razões de Ba:Ca e Mg:Ca (0,020 e 0,069, respectivamente), enquanto a região de CAR apresentou menores valores médios desses mesmos elementos (0,014 e 0,032, respectivamente), onde novamente a região da BTS apresentou valores médios intermediários (0,094 e 0,041, respectivamente), havendo diferença significativa (Tukey test post hoc,  $P < 0,05$ ) entre os três locais (Figura 6B-D). Por fim, a razão de Mn:Ca apresentou diferença (Tukey test post hoc,  $P < 0,05$ ) entre os locais amostrados, apresentando menores valores médios na BTS (0,078), intermediária em CAM (0,207) e mais elevada em CAR (0,266) (Fig. 6C).

A análise de MANOVA dos múltiplos elementos (Ba:Ca, Sr:Ca, Mn:Ca e Mg:Ca) apresentou diferenças significativas (Hotelling-Lawley = 0,79942; df = 2; F = 706;  $P < 0,001$ ) entre os três ambientes estuarinos tropicais (Figura 6). Esse teste corroborou com as diferenças encontradas nas ANOVA, apresentando valores de  $p$  abaixo de 0,01 e valores de F aceitáveis. Apesar de termos utilizado quatro elementos, o teste apresentou grau de liberdade 2, pois um foi utilizado para as médias individuais e outro para as comparações entre os elementos.

## DISCUSSÃO

Ao compararmos a composição da razão elemento:Ca entre os complexos estuarinos estudados, foram verificadas diferenças espaciais significativas para os quatro elementos analisados. Alguns estudos especulam sobre a influência da distância espacial entre os pontos de coleta. Neste trabalho, a menor distância é de aproximadamente 200 km entre BTS e CAM, e a maior em torno de 800 km entre BTS e CAR. Diversos trabalhos notaram similaridade na composição química dos otólitos de espécies coletadas a distâncias entre 200 e 1.200 km (Gillanders *et al.* 2001; Chittaro *et al.* 2005, 2006; Aschenbrenner *et al.* 2016), e 3.000 km (Proctor *et al.*, 1995; (Kalish *et al.*, 1996), enquanto outros verificaram diferenças significativas a distâncias de 1.200 km (Thorrold *et al.*, 1997; Secor e Zdanowicz, 2001). Assim, a leitura química de otólitos não é necessariamente um bom preditor para diferenças espaciais entre locais em áreas costeiras (Elsdon *et al.*, 2008). Tais diferenças parecem estar mais relacionadas a propriedades ambientais da água tais como, temperatura e salinidade, além de processos fisiográficos como a associação entre precipitação e escoamento. Assim sendo, a variação na química dos otólitos encontrada entre as áreas costeiras amostradas pode estar relacionada a condições ambientais referentes a questões fisiográficas dos estuários em questão. Em geral, as concentrações de Sr e Ba, assim como os demais elementos nos otólitos aumentam de acordo com sua disponibilidade na água (Bath *et al.*, 2000; Elsdon & Gillanders, 2006). Trabalhos demonstram que as concentrações de Sr na água aumentem em direção à água salgada e que as concentrações de Ba aumentem em direção à água doce (Surge & Lohmann, 2002; Jacquet *et al.*, 2005). Esses dois elementos têm sido largamente utilizados para investigar processos migratórios e conectividade de peixes entre ambientes estuarinos e áreas costeiras adjacentes (Elsdon & Gillanders, 2006; de Vries *et al.*, 2005; Walther & Thorrold, 2008). O Mg tem sido observado como marcador ambiental, principalmente em ambientes estuarinos (Gillanders & Kingsford, 2000, 2003; Reis-Santos *et al.*, 2013), contudo, é necessária cautela na interpretação da razão Mn:Ca em otólitos de peixes, pois seus mecanismos de incorporação e regulação ainda não foram completamente elucidados (Miller, 2011). O Mn mostrou concentrações com diferenças significativas para os três ambientes, porém, não mostra um padrão que possa ser relacionado com a salinidade, como nos anteriores. Esse elemento é descrito na literatura como tendo maior influência de fatores fisiológicos, podendo estar ligado à temperatura ou ontogenia (Martin & Thorrold, 2005; Sturrock *et al.*, 2012; Woodcock *et al.*, 2013, Aschenbrenner *et al.* 2016).

A BTS forma um grande complexo estuarino e, apesar da formação de uma baía, tem abertura muito maior, cerca de 29 km entre o Farol da Barra e a Penha, se comparada à CAM, por exemplo. Apesar de ter grandes descargas continentais como dos rios Paraguaçu, Jaguaribe, Subaé, dentre outros, essa formação também permite bastante troca de água com o ambiente marinho. Apresentou com valores intermediários das médias das leituras químicas dos otólitos para Ba, Sr e Mg, com exceção apenas do Mn, que apresentou os valores mais baixos que nas

demais áreas. Esses resultados podem estar associados a uma influência moderada entre os ambientes estuarino e marinho, refletido na composição química dos otólitos de *L. synagris*. A baía de Camamu apresenta áreas relativamente mais preservadas que as demais (Espinheira, 2010). Sua área interna apresenta-se bem protegida do ambiente marinho devido à sua formação geográfica, com a boca da baía mais estreita, abertura entre a Ponta do Mutá e a Ponta do Apaga-fogo com cerca de 6 km, o que pode causar maior represamento da água doce que chega de sua descarga continental, apontando para uma possível explicação para os maiores valores de Ba e Mg, bem como os menores valores de Sr. Já o complexo estuarino de Caravelas, não apresenta formação de baía, sendo que as descargas continentais deságuam diretamente no ambiente marinho adjacente, tendo assim, uma maior influência desse ambiente na composição química do estuário, possivelmente apontando para os valores mais elevados de Sr e os menores de Ba e Mg em relação às duas outras áreas. Os resultados corroboram com o esperado para estuários tropicais, apresentando valores de Ba mais altos onde há maior influência de água doce das descargas continentais e mais baixos nas áreas mais expostas ao ambiente marinho. Resultados semelhantes foram encontrados por Aschenbrenner e Ferreira (2015) em estuários do Nordeste mais ao norte das áreas estudadas, assim como Rooker (1995), Nagelkerken e colaboradores (2000) em outros estuários.

O presente estudo conclui que os resultados apontam diferenças significativas na concentração elemento:Ca em otólitos de *L. synagris*, separando as três regiões estuarinas estudadas entre si, tendo CAM como uma área de maior influência de água doce oriunda de descargas continentais, com as maiores concentrações de Ba:Ca e Mg:Ca em relação às outras áreas, BTS como uma região de influência moderada entre os ambientes estuarino e marinho por demonstrar maior equilíbrio nas concentrações de Sr:Ca, Ba:Ca, e Mg:Ca e CAR como uma região de maior influência do ambiente marinho, visto sua grande concentração de Sr:Ca, bem como valores mais baixos para Ba:Ca e Mg:Ca em relação às demais. A composição química dos otólitos é ferramenta útil, dentre outras coisas, para identificar a diferenciação geográfica de estoques de peixes que passam quantidades significativas de tempo em diferentes ambientes. Estas assinaturas químicas fornecem informações sobre a estrutura da população e para avaliar o movimento dos peixes, incluindo a dispersão de juvenis de seu local de origem (Thresher, 1999; Cook, 2011; Tanner *et al.*, 2016; Avigliano *et al.*, 2017; Hampton *et al.*, 2018). As diferenças espaciais encontradas na composição química dos otólitos de *L. synagris* encontradas neste trabalho podem ser um indício de separação de diferentes estoques dessa espécie nas áreas estudadas, se compararmos com recrutas capturados nos mesmos locais, bem como análise da composição química da água nos pontos amostrados, o que se configura como uma excelente ferramenta de gestão para manejo dessa espécie e das áreas estudadas. Recomenda-se, portanto, que outros estudos sejam realizados no sentido de preencher as lacunas ainda existentes sobre o

ciclo de vida dessa espécie, a possibilidade de diferentes estoques pesqueiros e o uso que faz dessas áreas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aschenbrenner A, Ferreira BP, Rooker JR (2016) Spatial and temporal variability in the otolith chemistry of the Brazilian snapper *Lutjanus alexandrei* from estuarine and coastal environments. *Journal of Fish Biology* (2016) 89, 753–769.
- Avigliano, E., Maichak de Carvalho, B.M., Leisen, M., Romero, R., Velasco, G., Vianna, M., Barra, F., Volpedo, A.V., 2017. Otolith edge fingerprints as approach for stock identification of *Genidens barbus*. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 194, 92–96.
- Bath, G.E., Thorrold, S.R., Jones, C.M., Campana, S.E., McLaren, J.W. & Lam, J.W.H. 2000. Strontium and barium uptake in aragonitic otoliths of marine fish. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64, 1705–1714.
- Baum, J. K. & B. Worm. 2009. Cascading top-down effects of changing oceanic predator abundances. *Journal of Animal Ecology*, 78: 699-714.
- Campana SE (1999) Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Mar Ecol Prog Ser* 188:263–297.
- Cavalcante, L.F.M.; Oliveira, M.R.; Chellappa, S. 2012 Aspectos reprodutivos do ariacó, *Lutjanus synagris* nas águas costeiras do Rio Grande do Norte. *Biota Amazônia*, 2(1): 45-50.
- Chittaro, P.M.; Usseglio, P.; Fryer, B.J.; Sale, P.F. Spatial variation in otolith chemistry of *Lutjanus apodus* at Turneffe Atoll, Belize. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 67 (2006) 673 e 680.
- Claro, R. & K. C. Lindeman. 2003. Spawning aggregations sites of snapper and grouper (Lutjanidae and Serranidae) species on the insular shelf of Cuba. *Gulf Caribbean Research*, 14: 91-106.
- Condini, M. V., Albuquerque, C. Q., & Garcia, A. M. (2014). Age and growth of dusky grouper (*Epinephelus marginatus*) (Perciformes: Epinephelidae) in the southwestern Atlantic, with a size comparison of offshore and littoral habitats. *Fishery Bulletin*, 112(4), 311–321. doi:10.7755/fb.112.4.7.
- Cook, G.S., 2011. Changes in otolith microchemistry over a protracted spawning season influences assignment of natal origin. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 423, 197–209.

- de Vries, M.C., Gillanders, B.M. & Elsdon, T.S. 2005. Facilitation of barium uptake into fish otoliths: influence of strontium concentration and salinity. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **69**, 4061–4072.
- Elsdon TS, Gillanders BM (2006) Identifying migratory contingents of fish by combining otolith Sr:Ca with temporal collections of ambient Sr:Ca concentrations. *J Fish Biol* 69:643–657.
- Elsdon TS, Wells BK, Campana SE, Gillanders B, Jones C, Limburg KE, Secor DH, Thorrold SR, Walther BD (2008) Otolith chemistry to describe movements and life-history parameters of fishes: hypotheses, assumptions, limitations and inferences. *Oceannog Mar Biol Ann Rev* 46:297–330.
- Espinheira, C. C.(2010). Baía De Camamu: Uma Provável Área De Referência?. Monografia Do Curso De Graduação Em Oceanografia-Universidade Federal Da Bahia.
- FAO. 2009. The State of World Fisheries and Aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Department. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 187p.
- Ferretti, F., B. Worm, G. L. Britten, M. R. Heithaus & H. K. Lotze. 2010. Patterns and ecosystem consequences of shark declines in the ocean. *Ecology Letters*, 13: 1055-1071.
- Fonseca, J.F. 2009 Estudo da dieta do *Lutjanus synagris* (Linnaeus, 1758) e *Ocyurus chrysurus* (Bloch, 1791), Teleostei: Perciformes: Lutjanidae, no Banco dos Abrolhos, Bahia, Brasil e pesca das principais espécies de lutjanídeos e serranídeos na região. Rio Claro. 145p. (MSc dissertation. Universidade Estadual Paulista). Available at: [http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/brc/33004137003P3/2009/fonseca\\_jf\\_me\\_rcla.pdf](http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/brc/33004137003P3/2009/fonseca_jf_me_rcla.pdf)> Access on: 15 Jun. 2013.
- Francini-Filho, R.B. and R.L. Moura. – 2008a. Dynamics of fish assemblages on coral reefs subjected to different management regimes in the Abrolhos Bank, eastern Brazil. *Aquat. Conserv.*, 18: 1166-1179.
- Frédou, T.; Ferreira, B.P. , Letourneur, Y. 2006. A univariate and multivariate study of reef fisheries off northeastern Brazil. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 883 e 896.
- Frédou, T.; Ferreira, B.P. , Letourneur, Y. 2009. Assessing the stocks of the primary snappers caught in Northeastern Brazilian reef systems. 1: Traditional modelling approaches. *Fisheries Research* 99 (2009) 90–96.
- Freitas, M.O.; Rocha, G.R.A.; Chaves, P.T.C.; Moura, R.L. 2014 Reproductive biology of the ariacó, *Lutjanus synagris*, and recommendations for its management on the Abrolhos Shelf, Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, FirstView: 1-10.

- Garcia-Júnior, J.; Mendes, L.F.; Sampaio, G.L.S.; Lins, J.E. 2010 Biodiversidade marinha da Bacia Potiguar: ictiofauna. Rio de Janeiro: Museu Nacional. 195p.
- Gillanders, B.M.; Sanchez-Jerez, P.; Bayle-Sempere, J.; Ramos-Espal, A. 2001. Trace elements in otoliths of the two-banded bream from a coastal region in the south-west Mediterranean: are there differences among locations? *Journal of Fish Biology.* 59, 350–363.
- Gillanders, B.M., Kingsford, M.J., 2003. Spatial variation in elemental composition of otoliths of three species of fish (Family Sparidae). *Estuarine.*
- Gillanders BM. Otolith chemistry to determine movements of diadromous and freshwater fish. *Aquat Living Resour.* 2005; 18(3):291-300. Available from: <http://dx.doi.org/10.1051/alr:2005033> *Coastal and Shelf Science* 57, 1049e1064.
- Hampton, S. L.: Moloney, C. L.; van der Lingen, C. D.; Labonne, M., 2018: Spatial and temporal variability in otolith elemental signatures of juvenile sardine off South Africa. *Journal of Marine Systems,* 188 (2018) 109–116.
- Jacquet S.H.M., Dehairs F., Cardinal D., Navez J., Delille B. Barium distribution across the Southern Ocean frontal system in the Crozet–Kerguelen Basin. 2005. *Marine Chemistry* Volume 95, Issues 3–4, 149-162 pp.
- Klippel, S., G. Olavo, P.A.S. Costa, A.S. Martins, M.B. Peres. – 2005. Avaliação dos estoques de lutjanídeos da costa central do Brasil: Análise de coortes e modelo preditivo de Thompson e Bell para comprimentos. In: P.A.S Costa, A.S. Martins and G. Olavo (eds.), *Pesca e potenciais de exploração de recursos vivos na região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira*, pp. 83-98. Museu Nacional, Rio de Janeiro.
- Kalish, J.M., Livingston, M.E. & Schofield, K.A. 1996. Trace elements in the otoliths of New Zealand blue grenadier *Macruronus novaezelandiae* as an aid to stock discrimination. *Marine and Freshwater Research* 47, 537–542 pp.
- Labonne, M., Morize, E., Scolan, P., Lae, R., Dabad, E., Bohn, M., 2009. Impact of salinity on early life history traits of three estuarine fish species in Senegal. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 82, 673–681.
- Lindeman, K., Anderson, W., Carpenter, K.E., Claro, R., Cowan, J., Padovani-Ferreira, B., Rocha, L.A., Sedberry, G. & Zapp-Sluis, M. 2016. The IUCN Red List of Threatened Species. ISSN 2307-8235.

- Martin, G.B. & Thorrold, S.R. 2005. Temperature and salinity effect on magnesium, manganese, and barium incorporation in otoliths of larval and early juvenile spot *Leiostomus xanthurus*. *Marine Ecology Progress Series* 293, 223–232.
- Mceachran, J.D. and Fechhelm, J.D. 2005 Fishes of the Gulf of Mexico. Austin: University of Texas Press, v.2. 1004p.
- Miller, J. A., 2011: Effects of water temperature and barium concentration on otolith composition along a salinity gradient: implications for migratory reconstructions. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 40, 42–52.
- Moreira C., Froufe E., Sial A.N., Caeiro A., Vaz-Pires P., Correia A.T.
- Moura, R.L.; Francini-Filho, R.B.; Chaves, E.M.; Minte-Vera, C.V.; Lindeman, K.C. 2011 Use of riverine through reef habitat systems by dog snapper (*Lutjanus jocu*) in eastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95: 274-278 (2018). Population structure of the blue jack mackerel (*Trachurus picturatus*) in the NE Atlantic inferred from otolith microchemistry. *Fisheries Research* 197 (2018) 113–122 pp.
- van der Velde, G., Gorissen, M. W., Meijer, G. J., Van't Hof, T. & den Hartog, C. (2000a). Importance of mangroves, seagrass beds and the shallow coral reef as a nursery for important coral reef fishes, using a visual census technique. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 51, 31–44.
- Payan, P., de Pontual H., Boeuf G., Mayer-Gostan N., 2004. Endolymph chemistry and otolith growth in fish. *Comptes Rendus Palevol.* 3, 535–547.
- Pimentel C.R. and Joyeux J.C. 2010 Diet and food partitioning between juveniles of mutton *Lutjanus analis*, dog *L. jocu* and lane *L. synagris* snappers (Perciformes: Lutjanidae) in a mangrove-fringed estuarine environment. *Journal of Fish Biology*, 76: 2299-2317.
- Proctor, C.H., Thresher, R.E., Gunn, J.S., Mills, D.J., Harrowfield, I.R. & Sie, S.H. 1995. Stock structure of the southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii*: an investigation based on probe microanalysis of otolith composition. *Marine Biology* 122, 511–526.
- Reis-Santos, P., Tanner, S.E., Elsdon, T.S., Cabral, H.N. & Gillanders, B.M. (2013) Effects of temperature, salinity and water composition on otolith elemental incorporation of *Dicentrarchus labrax*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 446, 245–252.
- Rooker, J.R., 1995. Feeding ecology of the schoolmaster snapper, *Lutjanus apodus* (Walbaum), from southwestern Puerto Rico. *Bulletin of Marine Science* 56, 881e894.

- Secor DH, Rooker JR, Zlokovitz E, Zdanowicz VS (2001) Identification of riverine, estuarine, and coastal contingents of Hudson River striped bass based upon otolith elemental fingerprints. *Mar Ecol Prog Ser* 211:245–253.
- Stanley, R. R. E., Bradbury, I. R., DiBacco, C., Snelgrove, P. V. R., Thorrold, S. R., & Killen, S. S. (2015). Environmentally mediated trends in otolith composition of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*). *ICES Journal of Marine Science: Journal Du Conseil*, 72(8), 2350–2363. doi:10.1093/icesjms/fsv070.
- Sturrock, A.M., Hunter, E., Milton, J.A., Johnson, R.C., Waring, C.P., Trueman, C.N., 2015. Quantifying physiological influences on otolith microchemistry. *Methods Ecol. Evol.* 6, 806–816.
- Surge D.M. & Lohmann, K.C. 2002. Temporal and spatial differences in salinity and water chemistry in SW Florida estuaries: effects of human-impacted watersheds. *Estuaries* 25, 393–408.
- Tanner, S.E., Reis-Santos, P., Cabral, H.N., 2016. Otolith chemistry in stock delineation: a brief overview, current challenges and future prospects. *Fish. Res.* 173, 206–213.
- Thorrold SR, Jones CM, Campana SE (1997) Response of otolith microchemistry to environmental variations experienced by larval and juvenile Atlantic croaker (*Micropogonias undulatus*). *Limnol Oceanog* 42:102–111.
- Thomas, O.R.B., Ganio, K., Roberts, B.R., Swearer, S.E., 2017. Trace element–protein interactions in endolymph from the inner ear of fish: implications for environmental reconstructions using fish otolith chemistry. *Metalomics* 9, 239–249.
- Thresher, R.E., 1999. Elemental composition of otoliths as a stock delineator in fishes. *Fish. Res.* 43, 165–204.
- Walther, B.D., Thorrold, S.R.&Olney, J.E. (2008) Geochemical signatures in otoliths record natal origins of American shad. *Transactions of the American Fisheries Society*, 137, 57–69.
- Woodcock, S.H., Grieshaber, C.A., Walther, B.D., MacLatchy, D., 2013. Dietary transfer of enriched stable isotopes to mark otoliths, fin rays, and scales. *Can. J.Fish. Aquat. Sci.* 70, 1–4.

---

## Capítulo II

Artigo a ser submetido ao periódico *Marine Biology*

***Determinação do Uso de Hábitat entre três espécies de vermelhos simpátricas,  
Lutjanus synagris, L. analis e L. jocu (Perciformes: Lutjanidae)***

Moura, P. E. S.<sup>1,2</sup>, Condini, M. V.<sup>3</sup>, Moraes, L. E.<sup>4</sup>, Albuquerque, C. Q.<sup>5</sup>, Santos, A. C. A.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal da Bahia, Rua Barão de Jeremoabo, 147, Campus de Ondina. CEP: 40170-115 Salvador - Ba.

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano Campus Uruçuca, Rua Dr. João Nascimento, s/n - Centro, Uruçuca - BA, 45680-000, 2/4.

<sup>3</sup> Universidade Estadual de Feira de Santana, CAU II - Avenida Transnordestina, s/n, - Novo Horizonte, Feira de Santana - BA, 44036-900,

<sup>4</sup> Universidade Federal do Sul da Bahia, S/n Rodovia BR-367 Km 10 Zona Rural, Porto Seguro - BA, 45810-000,

<sup>5</sup> Universidade Federal do Semi Árido, R. Francisco Mota, 572 - Pres. Costa e Silva, Mossoró - RN, 59625-900.

<sup>1</sup>Autor para correspondência: Tel. +55 71 99981 4097; e-mail:  
perimarmoura@gmail.com.

### **ABSTRACT**

Lutjanids are fish of high commercial and ecological interest in their places of occurrence. There are several mechanisms that can ensure the coexistence of sympatric congeners species, and may include spatial or temporal segregation, resulting in different uses of the resources for which they would be competing. In this study, the chemical analysis of the strontium and barium isotope deposition pattern of the otoliths of three species of snapper (*L. jocu*, *L. analis* and *L. synagris*) was used to verify the

habitat use in three estuarine regions the coast of Bahia, being the Baía de Todos os Santos (BTS), Baía de Camamu (CAM) and the estuarine complex of Caravelas (CAR). The specimens were collected between 2015 and 2017, obtaining an amount of 220 specimens that had their otoliths analyzed. The analyzes used the edges of the otoliths, being 61 *L. analis*, 126 of *L. jocu* and 33 of *L. synagris*. In order to verify if there is a habitat overlap, the barium/calcium ratio ( $^{138}\text{Ba}/^{43}\text{Ca}$ ) and strontium/calcium ( $^{86}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$ ) concentration averages were compared among the species in each locality using non-parametric Mann-Whitney test for BTS, with two species found, and Kruskal-Wallis for CAM and CAR, three species collected. The tests showed that there is no significant difference for the concentration of the elements in all areas except the ( $^{86}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$ ) in CAR. This result shows that there is spatial overlap for all species studied. It is not possible to affirm with this that there is niche overlap, and the literature shows that the diet with preferentially different food items may be a factor that allows the coexistence of these species. More studies are required to better investigate this hypothesis in these areas.

## **RESUMO**

Lutjanídeos são peixes de alto interesse comercial e ecológico nos seus locais de ocorrência. Há vários mecanismos que podem assegurar a coexistência de espécies congêneres simpátricas, podendo incluir segregação espacial ou temporal, que resultam em diferentes usos dos recursos para os quais seriam competidoras. Neste estudo, foi utilizada a análise química do padrão de deposição de isótopos de estrôncio e bário da borda dos otólitos de três espécies de vermelhos (*L. jocu*, *L. analis* e *L. synagris*) para verificar o uso do hábitat em três regiões estuarinas da costa da Bahia, sendo a Baía de Todos os Santos (BTS), Baía de Camamu (CAM) e o complexo estuarino de Caravelas (CAR). Os exemplares foram coletados entre 2015 e 2017, obtendo um montante de 220 espécimes que tiveram seus otólitos analisados. As análises utilizaram as bordas dos otólitos, sendo 61 *L. analis*, 126 de *L. jocu* e 33 de *L. synagris*. Para verificar se há sobreposição de habitat, as médias de concentração da razão bário/cálcio ( $^{138}\text{Ba}/^{43}\text{Ca}$ ) e estrôncio/cálcio ( $^{86}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$ ) foram comparadas entre as espécies em cada localidade, utilizando análises não paramétricas com teste de Mann-Whitney para BTS, no caso de duas espécies encontradas, e Kruskal-Wallis para CAM e CAR, para três espécies coletadas. Os testes mostraram que não há diferença significativa para a concentração dos elementos em todas as áreas, exceto o ( $^{86}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$ ) em CAR. Esse resultado mostra

que há sobreposição espacial para todas as espécies estudadas. Não é possível afirmar com isso que há sobreposição de nicho, e a literatura mostra que a dieta com itens alimentares preferencialmente diferentes pode ser um fator que permita a coexistência dessas espécies. Mais trabalhos são requeridos para investigar melhor essa hipótese nas áreas estudadas.

## INTRODUÇÃO

A família Lutjanidae é importante alvo da pesca costeira tropical, seja artesanal ou recreativa. No continente americano há importantes pontos de desembarque e também um relevante consumo peixes dessa família, destacando-se a costa da Flórida, o Caribe e o Nordeste brasileiro (Nelson, 1994). No Brasil, esses peixes são chamados de “Vermelhos” ou “Pargos”, enquanto na América do Norte são conhecidos por “snappers” e no Caribe e América Espanhola de “Pargos” (Begossi *et al.* 2011).

Representantes dessa família ocorrem nos mares tropicais e subtropicais, utilizando ambientes diversos, a depender da espécie, realizando migrações ontogenéticas, podendo habitar águas costeiras, próximo ao fundo; algumas espécies penetram nos estuários e mesmo em água doce; outras ocorrem em águas oceânicas, em profundidade de até 650 metros (Rezende *et al.*, 2003). São encontradas nove espécies congêneres de Lutjanidae na costa brasileira: *Lutjanus analis* (Cuvier, 1828), *L. apodus* (Walbaum, 1792), *L. bucanella* (Cuvier, 1828), *L. cyanopterus* (Cuvier, 1828), *L. griseus* (Linnaeus, 1758), *L. jocu* (Bloch & Schneider, 1801), *L. purpureus* (Poey, 1866), *L. synagris* (Linnaeus, 1758), *L. vivanus* (Cuvier, 1828) (Menezes & Figueiredo, 1980).

Os representantes dessa família são predadores que ocupam altos níveis tróficos, apresentando um importante papel ecológico nos ambientes de ocorrência (Ferretti *et al.*, 2010), assim como são importantes recursos pesqueiros nas regiões tropicais e subtropicais das Américas (Moura *et al.*, 2011; Cavalcante *et al.*, 2012).

*Lutjanus analis*, *L. jocu* e *L. synagris* são espécies que desovam em áreas oceânicas, nas margens da plataforma continental, sendo que as larvas migram para áreas rasas de recifes de corais ou estuários (Freitas *et al.*, 2011). Há vários mecanismos que podem assegurar a coexistência de espécies congêneres simpátricas, podendo incluir

segregação espacial ou temporal, que resultam em diferentes usos dos recursos para os quais seriam competidoras (Ibáñez-Aguirre, 1993; Albieri *et al.*, 2010).

Neste estudo, foi utilizada a leitura química do padrão de deposição de estrôncio (Sr) e bário (Ba) da borda dos otólitos de três espécies de vermelhos (*L. jocu*, *L. analis* e *L. synagris*) para discriminar o uso do hábitat em três regiões estuarinas da costa da Bahia, sendo a Baía de Todos os Santos (BTS), Baía de Camamu (CAM) e o complexo estuarino de Caravelas (CAR).

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Área de estudo e coleta dos peixes*

Foram analisados 220 otólitos, sendo 61 *L. analis*, 126 de *L. jocu* e 33 de *L. synagris* (Tabela 2), de espécimes coletados entre julho de 2015 e setembro de 2017 em três estuários tropicais ao longo da costa Nordeste do Brasil: Baía de Todos os Santos, a Baía de Camamu e o complexo estuarino de Caravelas (Figura 1). As amostras foram obtidas através de coletas *in situ*, com uso de picaré (arrasto manual), ocorrendo as coletas na baixa-mar das marés de sizígia. Em seguida foram armazenados em gelo e levados para laboratório para processamento.

### *Preparação e análises microquímicas dos otólitos*

No LIUEFS, cada indivíduo teve comprimento total (CT, mm) registrado e posteriormente o par de otólito *sagittae* extraído, lavado, seco e acondicionado em envelope para futuro processamento. Posteriormente todos os otólitos foram emblocados em resina cristal e cortados em serra metalográfica do LABPESCA (UEFS) em secções com espessura em torno de 0,4 mm e fixadas em lâminas histológicas, sendo finalmente desbastadas com lixas de pequena granulometria, de acordo com Condini *et al.* (2014). As análises químicas dos otólitos foram realizadas em um Laser Ablation Inductively Plasma Mass Spectrometer (LA-ICPMS) composto por um laser modelo CETAC LSX 100 e um ICPMS modelo ELAN 6000, PerkinElmer SCIEX, no Centro de Tecnologia Mineral - CETEM (UFRJ). Foram realizados perfis do núcleo até a borda de cada otólito, de forma que todo seu eixo principal de crescimento pudesse ser analisado, sendo quantificadas as intensidades em CPS (counts per second) dos elementos, cálcio ( $^{43}\text{Ca}$ ), estrôncio ( $^{86}\text{Sr}$ ), bário ( $^{138}\text{Ba}$ ), magnésio ( $^{25}\text{Mg}$ ) e manganês ( $^{55}\text{Mn}$ ). Para a calibragem do LA-ICPMS foi utilizado o padrão MACS-3, com matriz de  $\text{CaCO}_3$  contendo concentrações conhecidas dos elementos analisados.

### **Análises estatísticas**

No presente estudo, foram utilizadas apenas informações químicas extraídas na região da borda de cada otólito. Em cada análise química, foi realizada uma varredura de aproximadamente 30 µm sobre a borda de cada otólito, para assegurar quantitativo de material suficiente para análise e que esse resultado realmente reflete as informações da borda do otólito. Para verificar se há sobreposição de uso de habitat nos locais amostrados, as análises foram feitas para cada localidade, observando-se os valores de estrôncio/cálcio ( $^{86}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$ ) e bário/cálcio ( $^{138}\text{Ba}/^{43}\text{Ca}$ ). Os dados não atenderam os princípios de normalidade pra nenhum dos elementos em nenhuma das áreas estudadas. Foi então utilizado teste de Mann-Whitney quando apenas duas espécies foram encontradas na mesma área, e Kruskal-Wallis quando foram utilizadas três espécies.

## **RESULTADOS**

Foram encontrados os seguintes valores: na BTS foram coletadas *L. analis* e *L. synagris*, obtendo  $^{138}\text{Ba}/^{43}\text{Ca}$  (Shapiro Wilks = 0.89567,  $p < 0.05$ ), para testar as diferenças entre as médias foi utilizado o teste Mann-Whitney (Figura 8a), e  $^{86}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$  (Shapiro Wilks = 0.7165,  $p < 0.05$ ), para testar as diferenças entre as médias foi utilizado o teste Mann-Whitney (Figura 8b). Não houve diferença significativa para nenhum dos elementos. Em CAM, foram coletadas *L. analis*, *L. jocu* e *L. synagris*, tendo obtido  $^{138}\text{Ba}/^{43}\text{Ca}$  (Shapiro Wilks = 0.651,  $p < 0.05$ ), para testar as diferenças entre as médias foi utilizado o Kruskal-Wallis (chi quadrado), com significância  $\alpha = 0.05$ ,  $gl = 2$  (Figura 9a) e  $^{86}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$  (Shapiro Wilks = 0.3418,  $p < 0.05$ ), para testar as diferenças entre as médias foi utilizado o Kruskal-Wallis (chi quadrado), significância  $\alpha=0.05$ ,  $gl= 2$  (Figura 9b). Também não apresentou diferença significativa para nenhum dos elementos. Em CAR também foram coletadas as três espécies, e obteve  $^{138}\text{Ba}/^{43}\text{Ca}$  (Shapiro Wilks = 0.71917,  $p < 0.05$ ), para testar as diferenças entre as médias foi utilizado o Kruskal-Wallis (chi quadrado), com significância  $\alpha=0.05$ ,  $gl= 2$  (Figura 10a), e  $^{86}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$  (Shapiro Wilks = 0.79215,  $p<0.05$ ), para testar as diferenças entre as médias foi utilizado o Kruskal Wallis (chi quadrado), com significância  $\alpha=0.05$ ,  $gl= 2$  (Figura 10b). Nessa localidade, a relação Ba:Ca não demonstrou diferenças significativas, seguindo o padrão das anteriores, porém a relação Sr:Ca mostrou diferenças significativas para as três espécies.

## **DISCUSSÃO**

A comparação entre a relação  $^{138}\text{Ba}/^{43}\text{Ca}$  e  $^{86}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$  verificada para *L. analis* e *L. synagris* na Baía de Todos os Santos não apresentou diferenças significativas, indicando que essas espécies

podem apresentar a mesma ocupação espacial nessa área. O mesmo ocorreu na Baía de Camamu com as médias dos elementos analisados de *L. analis*, *L. jocu* e *L. synagris*, indicando também uma sobreposição espacial dessas espécies na área amostrada. Em Caravelas, os resultados para a relação  $^{138}\text{Ba}/^{43}\text{Ca}$  dos otólitos de *L. analis*, *L. jocu* e *L. synagris* mantiveram essa sobreposição, porém para  $^{86}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$  houve diferença significativa.

As duas primeiras áreas mantém formação de baías com diversos estuários menores, proporcionando maior concentração de água doce em relação à Caravelas, onde os estuários são abertos e não há formação de baía, portanto há maior influência de água salgada (Moura *et al.*, em revisão). As diferenças encontradas para a razão  $^{86}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$  em Caravelas pode indicar que haja influência da salinidade na estratificação de hábitat, podendo ser um fator de separação do uso de área por essas espécies.

Muitas espécies de peixes tropicais usam estuários como áreas de berçário, residindo nesses ambientes na fase juvenil, tendo acesso a uma maior disponibilidade de recursos alimentares e minimizando a incidência de predação (Laegdsgaard & Johnson, 2001; Nagelkerken *et al.*, 2001). Esse padrão de utilização desses ambientes é demonstrado por diversas espécies de vermelhos, tanto no Brasil (Andreata *et al.*, 1997; Chagas *et al.*, 2006) como em outros países (Cocheret de la Morinière *et al.*, 2003). É comum o uso de estuários por *L. analis*, *L. jocu* e *L. synagris* em sua fase juvenil, antecedendo seu provável retorno aos estoques adultos em ambientes marinhos abertos, como recifes, declive da plataforma continental, dentre outros (Frédou *et al.*, 2006). Apenas *L. jocu*, no entanto, é considerada uma espécie estuarino-dependente, enquanto as outras duas são consideradas espécies estuarinas ou independentes (Lindeman *et al.*, 2000; Martinez-Andrade, 2003).

Na costa central do Brasil, juvenis dessas três espécies de vermelhos são simpátricos em estuários e áreas com formação de baías (Chagas *et al.*, 2006; Araújo *et al.*, 2008). A observação da sobreposição encontrada para essas espécies nessas áreas levanta a preocupação com a preservação das mesmas, bem como o interesse em determinar como essas espécies compartilham os nichos disponíveis nesses espaços, considerando que elas podem ser levadas à competição por recursos. As respostas para essa questão são essenciais para o entendimento dos mecanismos que permitem a coexistência dessas espécies, o que auxilia na conservação tanto dessas espécies, quanto das áreas de ocorrência das mesmas (Pimentel & Joyeux, 2010).

Um dos fatores que podem auxiliar no entendimento do compartilhamento de áreas entre espécies congêneres simpátricas é o estudo de sua dieta. Há relatos de altos níveis de sobreposição alimentar entre espécies de peixes coexistentes (Sierra & Popova, 1997; Cocheret de la Morinière *et al.*, 2003), mas isso não assegura que haja competição por recursos alimentares (Pianka, 1974; Cocheret de la Morinière *et al.*, 2003). A diversidade e abundância do recursos, dentre outros fatores, podem ser suficientes para permitir uma partilha,

possibilitando a coexistência de espécies com uma dieta relativamente semelhante. Em trabalho com alimentação de *L. analis*, *L. jocu* e *L. synagris* na região central do litoral brasileiro, entre o Banco de Abrolhos e o Espírito Santo, Pimentel e Joyeux (2010) demonstraram que não há sobreposição de preferência alimentar entre essas espécies, apontando para o fato de que diferenças interespecíficas em tamanho, distribuição espacial e preferências de microhabitats provavelmente são os principais responsáveis pela ausência de competição, apesar da enorme semelhança ecológica entre essas três espécies. Mudanças ontogenéticas apontam presas maiores à medida que os peixes crescem (Platell *et al.*, 1997; Cocheret de la Morinière *et al.*, 2003) também desempenham um papel fundamental na redução da competição inter e intraespecífica.

Outros fatores provenientes de ações antrópicas parecem oferecer maior ameaça à existência dos juvenis dessas espécies em regiões estuarinas, como os vários tipos de pesca (artesanal, recreacional e profissional), mudanças na estrutura das comunidades causadas por poluição, destruição de habitat e competição de seus itens alimentares com a espécie humana (Barroso, 2004).

Estudos utilizando ferramentas complementares, como uso da leitura química dos otólitos, como visto neste trabalho, e o estudo da dieta de peixes, como verificado por Pimentel e Joyeux (2010), ajudam a identificar estoques e os processos de uso dessas áreas. Contudo, o manejo isolado desses estoques não é suficiente para manter sua produtividade, desde as características biológicas e comportamentais dos peixes, como taxa de crescimento lento, maturidade sexual tardia, longevidade de média a alta, baixas taxas de mortalidade natural e agregações previsíveis de desova, conduzindo a baixas taxas de regeneração e capacidade produtiva das populações dessas espécies. A criação e ampliação de grandes áreas marinhas protegidas que englobem os habitats essenciais, sugerido por aqueles autores, ainda parece ser a melhor estratégia de gestão e conservação para estas espécies de grande interesse econômico para a pesca local, além de serem de grande importância ecológica.

## CONCLUSÃO

Os resultados indicam que as três espécies de Lutjanidae estudadas (*L. analis*, *L. jocu* e *L. synagris*) apresentaram sobreposição no uso das áreas amostradas, havendo diferença apenas na concentração de Sr em CAR. Essa sobreposição pode levar à competição em casos de espécies congêneres de grande semelhança ecológica, sendo necessário entender que mecanismos permitem a coexistência dessas espécies. Em trabalho com a dieta desses vermelhos em área de interseção à deste estudo, verificou-se que há diferenciação nas preferências alimentares, mostrado-se como uma possibilidade para as demais áreas onde essas espécies ocorrem

concomitantemente. Diante disso, faz-se necessário um estudo mais amplo para investigar essa a natureza dessa sobreposição nos locais amostrados, ampliando ainda mais o conhecimento sobre essas espécies de importância ecológica e econômico-social, bem como auxiliar na gestão e preservação de áreas prioritárias para a sobrevivência de diversas espécies.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Albieri RJ, Araújo FG. Reproductive biology of the mullet *Mugil liza* (Teleostei: Mugilidae) in a tropical Brazilian bay. *Zoologia*. 2010; 27(3):331-40. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/>
- S1984-46702010000300003
- Andreata, J. V., Marca, A. G., Soares, C. L. & Santos, R. S. (1997). Distribuição mensal dos peixes mais representativos da lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 14, 121–134.
- Araújo, C. C. V., Rosa, D. M., Fernandes, J. M., Ripoli, L. V. & Krohling, W. (2008). Composição e estrutura da comunidade de peixes de uma praia arenosa da Ilha do Frade, Vitória, Espírito Santo. *Iheringia Série Zoologia* 98, 129–135.
- Barroso, G. F. (2004). Development of an evaluation framework for sustainable bivalve aquaculture: a strategic plan approach in Espírito Santo, Brazil. PhD Thesis, University of Victoria, BC, Canada.
- Begossi, A., Salivonchyk, S. V., Araujo, L. G., Andreoli, T. B., Clauzet, M., Martinelli, C. M., Ferreira, A. G. L., Oliveira, L. E. C., Silvano, R. A. M. 2011. Ethnobiology of Snappers (Lutjanidae): Target Species and Suggestions for Management. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 2011. URL: <http://www.ethnobiomed.com/content/7/1/1>.
- Cavalcante, L.F.M.; Oliveira, M.R.; Chellappa, S. 2012 Aspectos reprodutivos do ariacó, *Lutjanus synagris* nas águas costeiras do Rio Grande do Norte. *Biota Amazônia*, 2(1): 45-50.
- Chagas, L. P., Joyeux, J.-C. & Fonseca, F. R. (2006). Small-scale spatial changes in estuarine fish: sub-tidal assemblages in tropical Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 86, 861–875.

- Cocheret de la Morinière, E., Pollux, B. J. A., Nagelkerken, I. & Van der Velde, G. (2003). Diet shifts of Caribbean grunts (Haemulidae) and snappers (Lutjanidae) and the relation with nursery-to-coral reef migrations. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 57, 1079–1089.
- Condini, M.V.; Albuquerque, C.Q.; Garcia, A.M. 2014. Age and growth of dusky grouper (*Epinephelus marginatus*) (Perciformes: Epinephelidae) in the southwestern Atlantic, with a size comparison of offshore and littoral habitats. *Fishery Bulletin*, 2014, Vol 112, Issue 4, p311.
- Ferretti, F., B. Worm, G. L. Britten, M. R. Heithaus & H. K. Lotze. 2010. Patterns and ecosystem consequences of shark declines in the ocean. *Ecology Letters*, 13: 1055-1071.
- Frédou, T., Ferreira, B. P. & Letourneur, Y. (2006). A univariate and multivariate study of reef fisheries off northeastern Brazil. *Journal of Marine Science* 63, 883–896.
- Freitas, M.O., Moura, R.L., Francini-Filho, R.B., Minte-Vera, C.V. 2011. Spawning patterns of commercially important reef fish (Lutjanidae and Serranidae) in the tropical western South Atlantic. *Scientia Marina* 75(1).
- Ibáñez-Aguirre AL. Coexistence of *Mugil cephalus* and *M. curema* in a coastal lagoon in the Gulf of Mexico. *J Fish Biol.* 1993; 42(6):959-61. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.1993.tb00401.x>
- Laegdsgaard, P. & Johnson, C. (2001). Why do juvenile fish utilize mangrove habitats? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 257, 229–253.
- Lindeman, K. C., Pugliese, R., Waugh, G. T. & Ault, J. S. (2000). Developmental patterns within a multispecies reef fishery: management applications for essential fish habitats and protected areas. *Bulletin of Marine Science* 66, 929–956.
- Martinez-Andrade, J. (2003). A comparison of life histories and ecological aspects among snappers (Pisces: Lutjanidae). PhD Thesis, Department of Oceanography and Coastal Sciences, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, U.S.A.
- Menezes, N. A. & Figueiredo, J. L. 1980. Manual de Peixes Marinhos do Sudeste do Brasil. Teleostei (3). MZUSP/EDUSP, São Paulo.
- Moura, R.L.; Francini-Filho, R.B.; Chaves, E.M.; Minte-Vera, C.V.; Lindeman, K.C. 2011 Use of riverine through reef habitat systems by dog snapper (*Lutjanus jocu*) in eastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95: 274-278.

- Nagelkerken, I., Kleijnen, S., Klop, T., van der Brand, R. A. C. J., Cocheret de la Morini`ere, E. & van der Velde, G. (2001). Dependence of Caribbean reef fishes on mangroves and seagrass beds as nursery habitats: a comparison of fish faunas between bays with and without mangroves/seagrass beds. *Marine Ecology Progress Series* 214, 225–235.
- Nelson, J. Fishes of the world. JohnWiley & Sons, 523 p., New York, 1994.
- Pianka, E. R. (1974). Niche overlap and diffuse competition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 71, 2141–2145.
- Pimentel C.R. and Joyeux J.C. 2010 Diet and food partitioning between juveniles of mutton Lutjanus analis, dog *L. jocu* and lane *L. synagris* snappers (Perciformes: Lutjanidae) in a mangrove-fringed estuarine environment. *Journal of Fish Biology*, 76: 2299-2317.
- Platell, M. E., Sarre, G. A. & Potter, I. C. (1997). The diets of two co-occurring marine teleosts, *Parequula melbournensis* and *Pseudocaranx wrighti*, and their relationships to body size and mouth morphology, and the season and location of capture. *Environmental Biology of Fishes* 49, 361–376.
- Resende SM; Ferreira BP; Fredou T. 2003. A pesca de Lutjanídeos no Nordeste do Brasil: histórico das pescarias, características das espécies e relevância para o manejo. *Bol. Técn. Cient. CEPENE*, v. 11, n. 1, p. 257 - 270, 2003.
- Sierra, L. M. & Popova, O. A.. (1997). Relaciones tróficas de los juveniles de cinco especies de pargo (Pisces: Lutjanidae) en Cuba. *Revista de Biología Tropical* 44–45, 499–506.

## Apêndice

### Listas de Figuras e tabelas

Tabela 1 – Resultado da Análise Multivariada de Variância para diferenças espaciais entre médias das razões Mg:Ca, Mn:Ca, Sr:Ca e Ba:Ca das bordas dos otólitos de *Lutjanus synagris* nas três áreas de coleta.

Elemento	GL	Médias	Valor de F	Valor de p
Mg:Ca	2	0,0539	25,8230	3.355e-11 ***
Mn:Ca	2	0,9446	30,3680	6.612e-13 ***
Sr:Ca	2	0,4363	6,1134	0.002451 **
Ba:Ca	2	0,0054	89,1420	2.2e-16 ***

### Figuras

Figura 5 – Área de estudo ao longo da costa nordeste do Brasil: Baía de Todos os Santos (BTS, 1), Baía de Camamu (CAM, 2) e complexo estuarino de Caravelas (CAR, 3).

Figura 6 - Valores médios ( $\pm DP$ ) das concentrações das razões de Sr:Ca (A), Ba:Ca (B), Mn:Ca (C) e Mg:Ca (D) nas bordas dos otólitos de *Lutjanus synagris* coletados em regiões estuarinas tropicais na costa do estado da Bahia.

Tabela 2 – Quantidade de espécimes de *L. analis*, *L. jocu* e *L. synagris* coletados nos estuários da Baía de Todos os Santos, Baía de Camamu e Caravelas entre 2015 e 2017.

Figura 7 – Área de estudo ao longo da costa nordeste do Brasil: Baía de Todos os Santos (BTS, 1), Baía de Camamu (CAM, 2) e complexo estuarino de Caravelas (CAR, 3).

Figura 8 – Valores médios ( $\pm DP$ ) do teste de Mann-Whitney das concentrações das razões de  $^{138}\text{Ba}/^{43}\text{Ca}$  e  $^{86}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$  nas bordas dos otólitos de *Lutjanus analis* e *L. synagris*

coletados em regiões estuarinas tropicais da Baía de Todos os Santos, na costa do estado da Bahia.

Figura 9 – Valores médios ( $\pm DP$ ) do teste de Kruskal-Wallis das concentrações das razões de  $^{138}\text{Ba}/^{43}\text{Ca}$  e  $^{86}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$  nas bordas dos otólitos de *Lutjanus analis*, *L. jocu* e *L. synagris* coletados em regiões estuarinas tropicais da Baía de Camamu, na costa do estado da Bahia.

Figura 10 – Valores médios ( $\pm DP$ ) do teste de Kruskal-Wallis das concentrações das razões de  $^{138}\text{Ba}/^{43}\text{Ca}$  e  $^{86}\text{Sr}/^{43}\text{Ca}$  nas bordas dos otólitos de *Lutjanus analis*, *L. jocu* e *L. synagris* coletados em regiões estuarinas tropicais de Caravelas, na costa do estado da Bahia.

# MANOVA

Figura 5

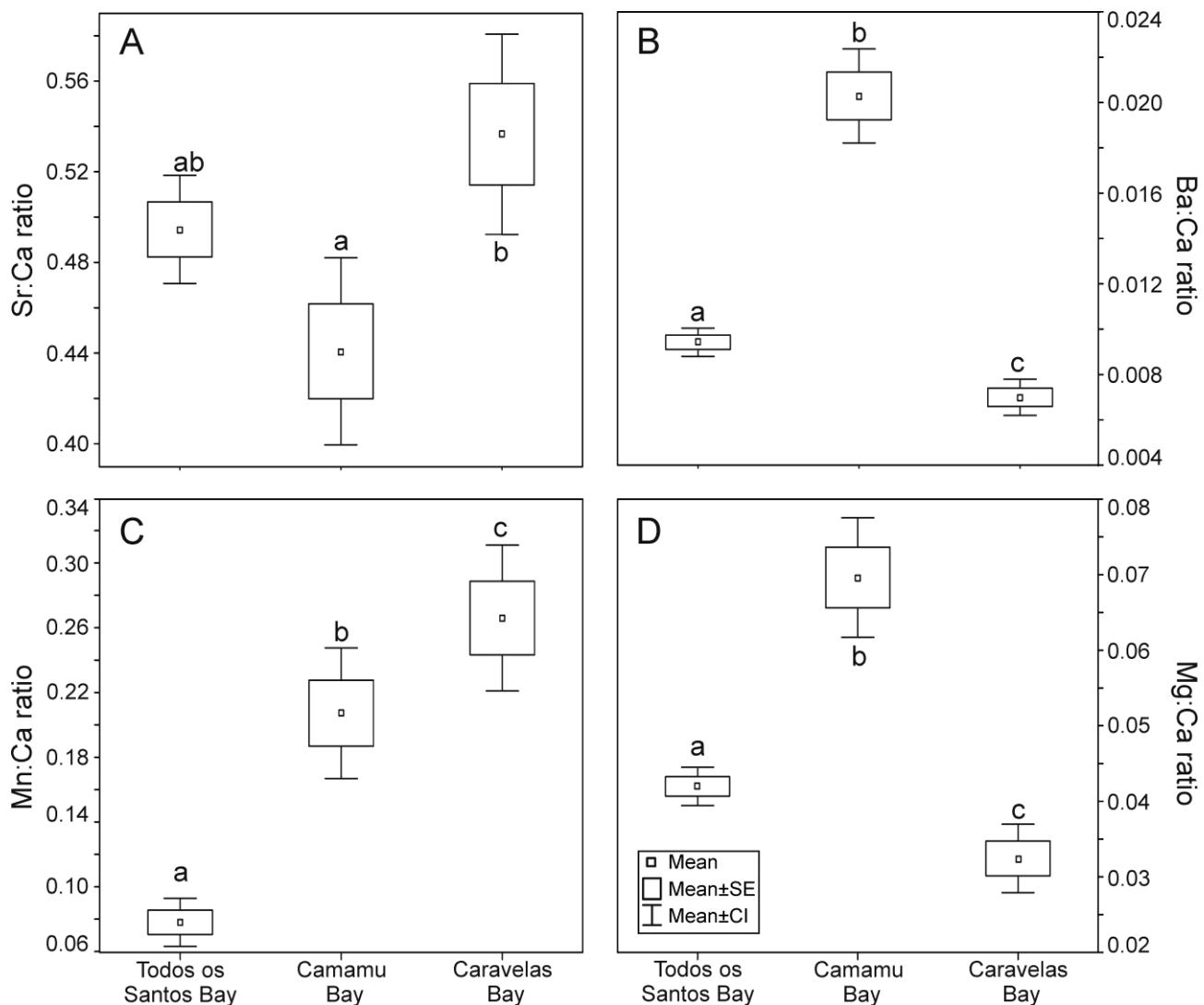


Figure 6

Tabela 2

Espécie	BTS	CAM	CAR	Total
L. analis	2	42	17	61
L. jocu	-	11	115	126
L. synagris	8	22	3	33

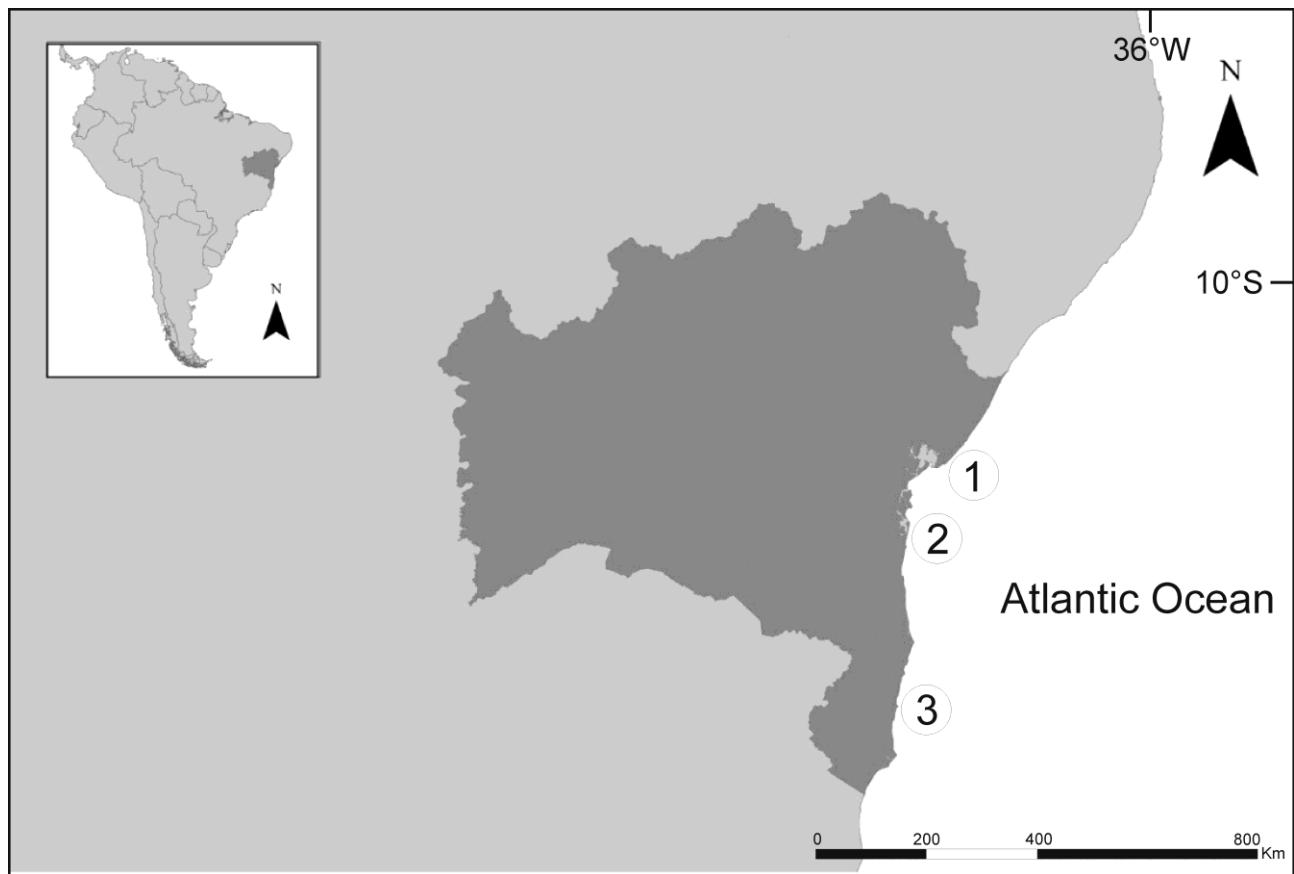


Figura 7

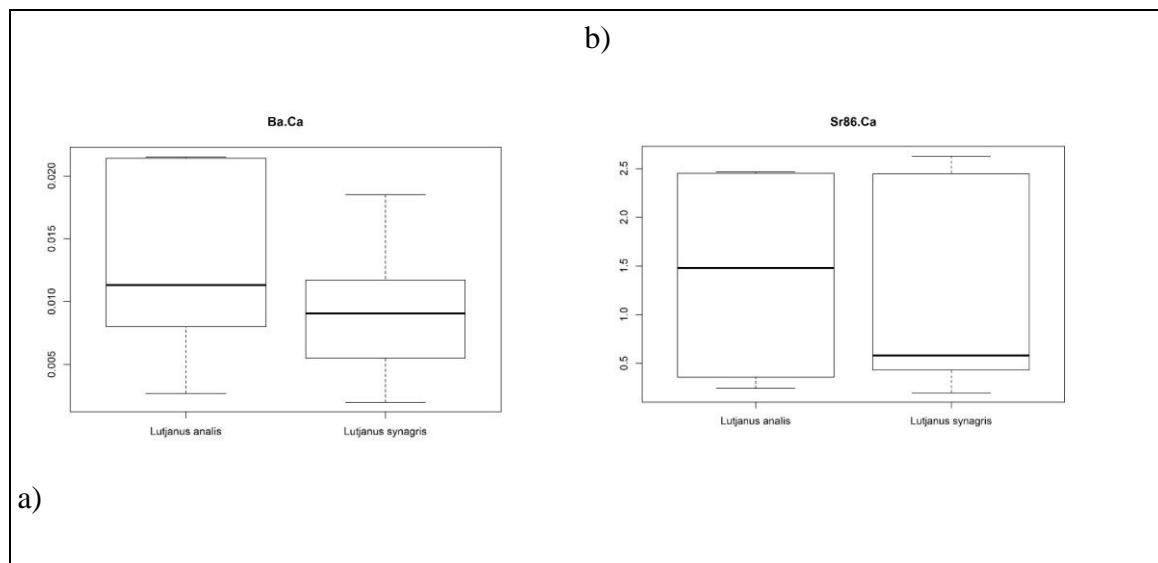


Figura 8

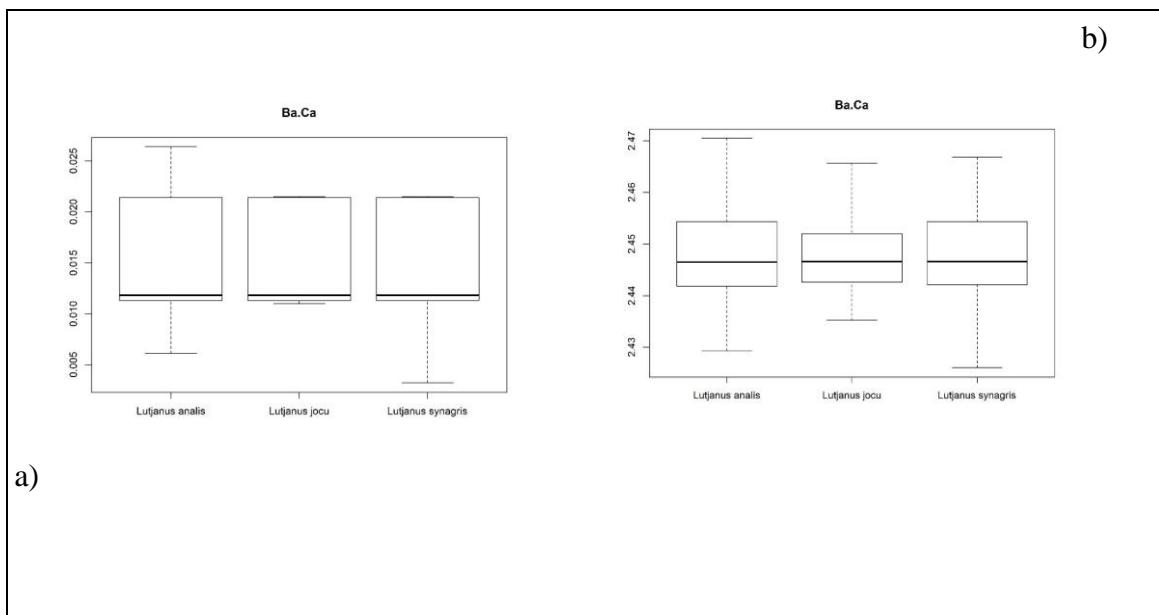


Figura 9

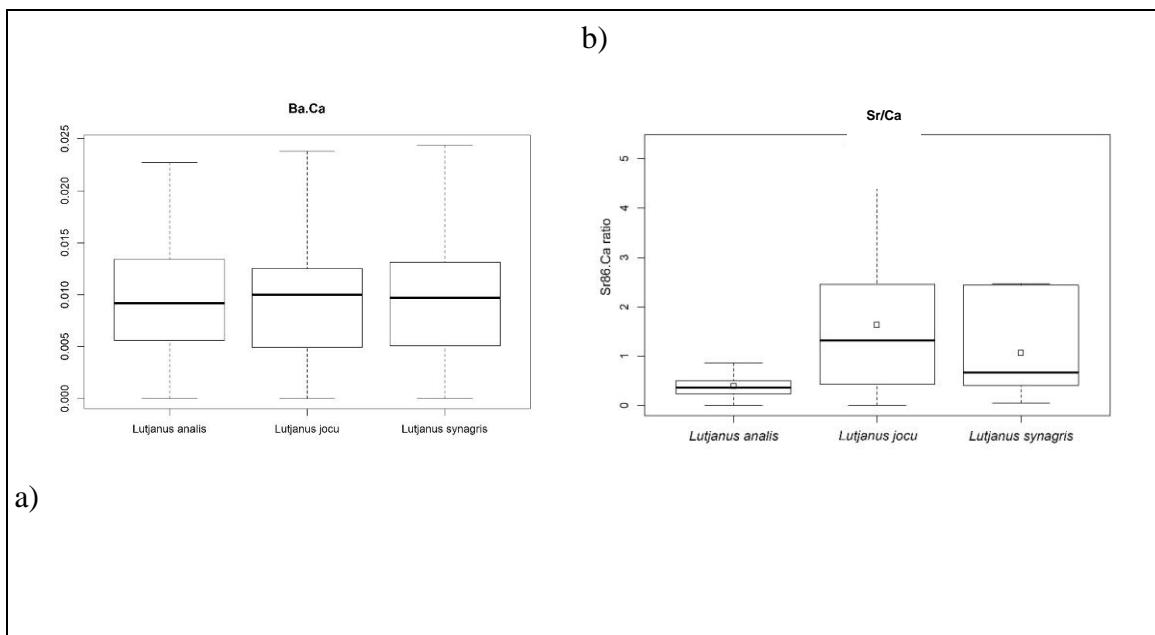


Figura 10

## CONCLUSÃO GERAL

Este trabalho visou preencher uma lacuna sobre informações referentes a ecologia dos vermelhos (Lutjanidae), através da microquímica de otólitos, uma ferramenta utilizada tradicionalmente por outras áreas do conhecimento, através da qual foi possível esclarecer aspectos importantes sobre o ciclo de vida dessas espécies.

Os resultados mostraram que a mesma espécie (*L. synagris*) apresenta assinaturas químicas distintas entre as três regiões onde foram registradas. No entanto, as análises efetuadas com espécies distintas de lutjanídeos mostraram que não há diferença significativa para a concentração dos elementos em todas as áreas estudadas, excetuando-se a relação (86Sr/43Ca) no Complexo Estuarino de Caravelas, indicando sobreposição espacial entre espécies diferentes.

Estas informações ampliam os conhecimentos sobre o ciclo de vida de espécies de grande importância ecológica e de alto interesse comercial, principalmente na pesca artesanal, permitindo também investigar como os ecossistemas costeiros da Bahia estão conectados.

Finalmente, os resultados mostraram que além dos otólitos serem importantes estruturas utilizadas para estimativas do tamanho corporal em paleontologia e em análises de dieta, determinação da idade para identificação de padrões de crescimento e estudos de dinâmica populacional, a análise microquímica destas estruturas se apresenta como uma ferramenta eficaz para estudos de uso de habitat e dos movimentos migratórios de espécies congêneres. Considerando esta capacidade de adaptação às características de cada localidade que habita, e o fato de ser uma espécie altamente explorada na Bahia e em outros estados do Brasil, torna-se fundamental a realização de trabalhos semelhantes, nos diferentes estuários da costa brasileira.