

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Biologia reprodutiva do peixe borboleta  
*Chaetodon striatus* (Perciformes:  
Chaetodontidae) e manutenção em sistema  
de recirculação**

**Isabelle Leite Bayona Perez**

Jaboticabal, São Paulo  
2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Biologia reprodutiva do peixe borboleta**  
***Chaetodon striatus* (Perciformes:**  
**Chatodontidae) e manutenção em sistema**  
**de recirculação**

**Isabelle Leite Bayona Perez**

**Orientador: Dr<sup>a</sup>. Irani Quagio-Grassiotto**

Tese apresentada ao Programa  
de Pós-graduação em  
Aquicultura do Centro de  
Aquicultura da UNESP -  
CAUNESP, como parte dos  
requisitos para obtenção do  
título de Doutor

Jaboticabal, São Paulo  
2019

D155a Perez, Isabelle Leite Bayona  
Biologia reprodutiva do peixe borboleta *Chaetodon striatus*  
(Perciformes: Chaetodontidae) e manutenção em sistema de  
recirculação. -- Jaboticabal, 2019  
ix, 116p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de  
Aquicultura, 2019.

Orientadora: Irani Quagio-Grassiotto

Banca examinadora: Eduardo Antônio Sanches, George  
Shigueki Yasui, Rodrigo Egydio Barreto, Virgínia Sanches Uieda.  
Bibliografia

1. Peixe Ornamental Marinho. 2. Ambiente costeiro. 3.  
Aquaríofilia. 4. Morfologia de Gônadas. I. Título. II. Jaboticabal-  
Centro de Aquicultura.

CDU 636.3.043

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


Título: *Biologia Reprodutiva do peixe borboleta Chaetodon striatus (Perciformes: Chaetodontidae) e manutenção em sistema de Recirculação.*

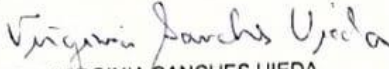
AUTORA: ISABELLE LEITE BAYONA PEREZ  
ORIENTADORA: IRANI QUAGIO GRASSIOTTO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AQUICULTURA, pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dra. IRANI QUAGIO GRASSIOTTO  
Departamento de Morfologia / Instituto de Biociências da UNESP, Câmpus de Botucatu, Botucatu-SP

  
Prof. Dr. RODRIGO EGYDIO BARRETO  
Departamento de Fisiologia / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP

  
Prof. Dr. EDUARDO ANTÔNIO SANCHES  
Engenharia de Pesca / Câmpus Experimental de Registro - Unesp

  
Profa. Dra. VIRGINIA SANCHES UIEDA  
Departamento de Zoologia / Unesp/ Câmpus de Botucatu

  
Prof. Dr. GEORGE SHIGUEKI YASUI  
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos / USP - Pirassununga/SP

Jaboticabal, 22 de fevereiro de 2019.

# SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| RESUMO .....   | 11        |
| ABSTRACT .....   | 12        |
| INTRODUÇÃO GERAL.....  | 13        |
| OBJETIVOS .....  | 25        |
| REFERÊNCIAS .....  | 26        |
| ARTIGO 1 .....   | 39        |
| <b>AVALIAÇÃO DA ECOLOGIA REPRODUTIVA DO PEIXE BORBOLETA <i>CHAETODON STRIATUS</i><br/>(PERCIFORMES: CHAETODONTIDAE) EM UBATUBA, SÃO PAULO, BRASIL.....</b> | <b>39</b> |
| RESUMO .....   | 39        |
| ABSTRACT .....   | 40        |
| INTRODUÇÃO .....   | 41        |
| MATERIAL E MÉTODOS.....  | 42        |
| RESULTADOS.....  | 45        |
| DISCUSSÃO .....  | 46        |
| AGRADECIMENTOS.....  | 51        |
| REFERÊNCIAS .....  | 51        |
| LEGENDAS DAS FIGURAS E TABELAS .....   | 57        |
| FIGURAS E TABELAS.....   | 59        |
| ARTIGO 2 .....   | 65        |
| <b>DESENVOLVIMENTO CELULAR DO EPITÉLIO GERMINATIVO DURANTE A GAMETOGÊNESE<br/>FEMININA E MASCULINA DE <i>CHAETODON STRIATUS</i>.....</b>                   | <b>65</b> |
| RESUMO .....   | 65        |
| ABSTRACT .....   | 66        |
| INTRODUÇÃO .....   | 67        |
| MATERIAL E MÉTODOS.....  | 68        |
| RESULTADOS.....  | 70        |
| DISCUSSÃO .....  | 78        |
| CONCLUSÃO .....  | 81        |
| AGRADECIMENTOS.....  | 81        |
| REFERÊNCIAS .....  | 81        |
| LEGENDAS DAS FIGURAS .....   | 85        |
| LISTA DE FIGURAS.....  | 90        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>ARTIGO 3 .....</b>  | <b>97</b>  |
| <b>MANUTENÇÃO DO PEIXE BORBOLETA <i>CHAETODON STRIATUS</i> (PERCIFOMES:CHAETODONTIDAE)<br/>EM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO.....</b> | <b>97</b>  |
| RESUMO .....   | 97         |
| ABSTRACT .....   | 98         |
| INTRODUÇÃO .....   | 98         |
| MATERIAL E MÉTODOS.....  | 101        |
| RESULTADOS.....  | 102        |
| DISCUSSÃO .....  | 103        |
| CONCLUSÃO .....  | 105        |
| AGRADECIMENTOS.....  | 106        |
| REFERÊNCIAS .....  | 107        |
| LEGENDAS DAS FIGURAS .....   | 112        |
| LISTA DE FIGURAS.....  | 113        |
| <b>ANEXO 1 .....</b>   | <b>115</b> |

*“O que a vida quer da gente é  
coragem.”*

Guimarães Rosa

*“Foge por um instante do homem irado, mas foge sempre do hipócrita.”*

Confúcio

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” (CAUNESP) pela oportunidade de realizar o meu doutorado;

Agradeço ao Departamento de Morfologia do Instituto de Biociências da Unesp de Botucatu;

Agradeço à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL);

Agradeço à prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Irani Quagio-Grassiotto pela orientação, pelos grandes ensinamentos, pela paciência, pelos conselhos imprescindíveis e por ter me adotado no doutorado;

Agradeço à Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Talita Sarah Mazzoni pela enorme disposição em ajudar, pelo apoio nas dificuldades e por todos valorosos ensinamentos sobre as técnicas histológicas;

Agradeço à técnica Keila Emílio;

Agradeço a todos os funcionários do Instituto de Pesca – Base de Ubatuba.

Agradeço aos amigos que tanto me apoiaram em Ubatuba – Davi, Venâncio, Valéria, Vitor, Francisco, e um agradecimento especial para minhas amigas-irmãs Veronica Takatsuka e Ana Paula dos Santos. O apoio de vocês foi fundamental nas grandes dificuldades enfrentadas. Nossas longas conversas sobre trabalho também foram muito agregadoras.

Agradeço ao médico veterinário da Clínica Veterinária Ubavet, Dr. Renan e ao estagiário Iago pelo auxílio e pela disponibilidade das instalações para algumas análises;

Agradeço ao mergulhador Adílson pelo auxílio fundamental com as coletas dos exemplares;

Agradeço ao saudoso Prof<sup>o</sup> Dr. Edmir Daniel Carvalho, pelos infindáveis ensinamentos que carregarei por toda minha vida;

Agradeço ao André Nobile pela disposição que sempre me concedeu e pelo auxílio em algumas análises;

Agradeço à Bárbara Martins por todo o apoio e carinho incondicionais.

Agradeço aos amigos de Botucatu – Paulinha, Thalita, Rafael, Ana, Alexandre (Pagode), Daniele, Maria Rita, Dael, Marley e Mara;



Agradeço aos amigos de Matão – Andréa, Dani e Mariana;  
Agradeço à minha família por todo o apoio e valores passados;  
Agradeço a Deus e aos meus guias espirituais pela fundamental proteção,  
presença e auxílio em minha vida.

## **APOIO FINANCEIRO**

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

## RESUMO

Considerando o extrativismo exacerbado de peixes marinhos para suprir a demanda da aquariorfilia e a carência de estudos referentes aos aspectos da reprodução do peixe borboleta *Chaetodon striatus*, o presente estudo teve por objetivo realizar um levantamento pioneiro sobre a biologia reprodutiva desta espécie do Atlântico Sul, bem como obter informações sobre sua criação em cativeiro. Os espécimes foram coletados em duas regiões de Ubatuba-SP: em costões rochosos na praia do Itaguá e na ilha da Rapada. A captura foi realizada através de armadilha do tipo covo e puçás, mensalmente, de março de 2015 a junho de 2017. O período reprodutivo, o comprimento mínimo da atividade reprodutiva de machos e fêmeas, a proporção entre os sexos, a relação peso-comprimento e o fator de condição foram estimados. O desenvolvimento oocitário e testicular, bem como a evolução do tecido gonadal feminino e masculino, foram analisados histologicamente. Exemplares da espécie foram mantidos em tanques de diferentes volumes em um sistema de recirculação de água, sendo ofertados organismos vivos para a alimentação. Também foi realizada a observação dos comportamentos. Os maiores valores de IGS na praia do Itaguá ocorreram em setembro de 2015 e em setembro de 2016, enquanto que na Ilha da Rapada ocorreram em maio e novembro de 2016 e junho de 2017, o comprimento mínimo da atividade reprodutiva para machos foi de 11,1 cm e de fêmeas 13,1 cm. Os valores de  $b$  da relação peso-comprimento variaram de 2,96 a 3,33 e estão dentro do intervalo esperado. As médias do fator de condição foram superiores para fêmeas, na praia do Itaguá e na primavera. Em *C. striatus*, o desenvolvimento oocitário e espermático seguem o padrão de Teleostei. Houve atresia folicular e degeneração de grande parte do epitélio germinativo feminino. Já nos machos, os gametas permanecem morfológicamente viáveis. Para manutenção, recomenda-se tanques a partir de 300 L e os pequenos invertebrados e mexilhões frescos foram bem aceitos na alimentação. Os comportamentos observados “macho toca no abdômen da fêmea” e “natação paralela” estão relacionados ao cortejo de chaetodontídeos. Esses estudos são importantes para uma adequada gestão pesqueira, além de serem dados primordiais para um futuro pacote tecnológico desta espécie.

**Palavras chaves:** peixe ornamental marinho, ambiente costeiro, aquariofilia, morfologia de gônadas.

## ABSTRACT

Considering the exacerbated extractivism of marine fish to supply the demand for aquarium fish and the lack of studies regarding the reproduction aspects of the Butterfly fish, *Chaetodon striatus*, the present study aimed to carry out a pioneering survey on reproductive ecology and the basic aspects of reproductive biology of the species in the South Atlantic. The specimens were collected in two regions of Ubatuba-SP: in rocky shores on the “Itaguá” beach and in the “Ilha da Rapada” island. The capture, through a covo type trap or hand net, was carried out monthly, from March 2015 to June 2017. The reproductive period, the minimum length of the reproductive activity of males and females and the proportion between the sexes were estimated. The oocyte and testicular development, as well as the evolution of female and male gonadal tissue, were analyzed histologically. Specimens were kept in tanks of different volumes in a water recirculation system, with live organisms being offered for feeding. Observation of behaviors was also performed. The highest values of IGS in Itaguá beach occurred in September of 2015 and in September of 2016, while in Rapada island occurred in May and November of 2016 and June of 2017, the sexual ratio was 1:1, the minimum length of males reproductive activity was 11.1 cm and 13.1 cm for females. The values of b of the weight-length relationship ranged from 2.96 to 3.33 and are within the expected range. The averages of the condition factor were higher for females and Itaguá beach, with a difference between all the seasons of the years. In *C. striatus*, oocyte and spermatid development follow the pattern of Teleostei. Due to the management of the animals, the basement membrane of the follicles is segmented, causing follicular atresia and degeneration of a large part of the female germinal epithelium. In males, gametes remain viable. In captivity, some behaviors related to courtship were observed.

These studies are important so that certain species can be kept in captivity, in order to adapt specific conditions for their cultivation.

**Keywords:** marine ornamental fish, coastal environment, aquarium, morphology of gonads.

## INTRODUÇÃO GERAL

### 1. A Temática de Interesse

As estratégias reprodutivas dos peixes são bastante diversas (Wotton, 1990; Vazzoler, 1996; Wooton e Smith, 2014) e os estudos sobre seus aspectos reprodutivos têm servido de parâmetro para o entendimento dos mecanismos que envolvem a perpetuação das espécies, fornecendo subsídios para a gestão pesqueira (Murua *et al.*, 2003).

A realização de estudos básicos sobre a ecologia reprodutiva de determinada espécie precedendo investigações mais complexas é imprescindível, uma vez que permite a obtenção de dados básicos iniciais, como informações sobre o tamanho da primeira maturação sexual, a determinação da época reprodutiva e o tipo de desova, permitindo o entendimento e compreensão da capacidade reprodutiva da espécie (Murua e Saborido-Rey, 2003).

Com o intuito de avaliar a condição dos peixes nos ciclos sazonais em estudos populacionais, os índices viscerossomático (IVS), hepatossomático (IHS) e gonadassomático (IGS) são amplamente empregados. Durante o ciclo de vida de um peixe, a energia total disponível pode ser alocada para manutenção, crescimento somático, armazenamento e reprodução (Jørgensen *et al.*, 2006) e é verificado uma flexibilidade em relação à aquisição e alocação de energia, de modo a maximizar a desova (McBride *et al.*, 2012).

O estudo do IVS e IHS são importantes para a verificação do estado da energia armazenada no peixe. Nos peixes os lipídeos são armazenados em vários locais, como mesentério, fígado e músculos, exercendo diversas funções biológicas como, na composição de membranas celulares e dos oócitos, como

isolantes térmicos, reservas energéticas, bem como na produção de hormônios (Sheridan, 1994).

O IGS é o índice mais objetivo acerca do desenvolvimento gonadal (Wootton e Smith, 2014). Conforme decorre o desenvolvimento e a maturação gonadal, há um aumento do volume e, conseqüentemente, do peso dos ovários e dos testículos. Sendo assim, ainda que o IGS não possibilite a averiguação das fases gonadais, ele permite verificar mudanças substanciais nas gônadas ao longo dos ciclos sazonais. Essas investigações são importantes para uma análise temporal e espacial e, conseqüentemente, para o manejo da pesca (McBride *et al.*, 2012).

Uma vez obtidas informações elementares sobre a história de vida da espécie, experimentos acerca da viabilidade em cativeiro, como a reprodução por indução hormonal, seguida pela manutenção dos ovos obtidos, sobrevivência e desenvolvimento larval, são passíveis de serem desenvolvidas posteriormente. Neste aspecto, estas informações tornam-se especialmente importantes no que se refere ao entendimento da biologia de vida de espécies marinhas, principalmente aquelas de interesse econômico, tão cobiçadas pelos aquarofilistas.

Considerando o extrativismo exacerbado de espécies marinhas ornamentais nos últimos anos, é imprescindível a reprodução destas espécies em cativeiro. Atualmente, em torno de 90% das espécies de peixes marinhos utilizadas na aquarofilia ornamental são capturadas do ambiente natural, sendo que apenas 10% são produzidas em cativeiro (Rubec *et al.*, 2001; Calado, 2006; Moorhead e Zeng, 2010; Olivotto *et al.*, 2011), visto que não há domínio sobre a produção desses peixes recifais e costeiros em cativeiro, sobretudo no Brasil.

Embora os estudos referentes à família Chaetodontidae tenham sido publicados desde a década de 1970, informações sobre os aspectos reprodutivos em muitas de suas espécies são escassas. Além disso, os estudos existentes estão concentrados nos oceanos Pacífico, Índico e Atlântico Norte, nos Estados Unidos, Austrália, China, Japão, França, Hawái e Índia (Motta, 2012).

Dentre os estudos abordando a ecologia reprodutiva do gênero *Chaetodon* pode-se citar o período reprodutivo em *Chaetodon multicinctus* (Tricas, 1986; Tricas e Hiramoto, 1989), *C. milaris* (Ralston, 1981) e em *C. austiacus*, *C. fasciatus* e *C. paucifasciatus* (Gharaibeh e Hulings 1990); a fecundidade e o tipo

de desova em *C. multincinctus* (Tricas, 1986); a proporção sexual em *C. milaris* (Ralston, 1981), *C. rainforde* e *C. plebius* (Fowler, 1991); o tamanho da primeira maturação de fêmeas e machos em *C. austiacus*, *C. fasciatus* e *C. paucifasciatus* (Gharaibeh e Hulings, 1990). O comportamento de desova (Colin e Clavijo, 1988), e período reprodutivo (Colin, 1989) descritos para *C. striatus* são os únicos trabalhos que se referem aos aspectos da reprodução desta espécie.

Poucos estudos abordaram o desenvolvimento dos gametas e a foliculogênese dos chaetodontídeos (Tricas e Hiramoto, 1989; Fowler, 1991). Ainda assim, esses estudos não abordam com profundidade aspectos básicos da biologia reprodutiva de *C. striatus*, como o desenvolvimento oocitário e testicular, e a evolução do tecido gonadal feminino e/ou masculino durante o período de coleta e aclimação em cativeiro, associados ao comportamento do animal.

Assim, diante da escassez de informações, o estudo que se segue pretende compreender alguns aspectos da biologia reprodutiva de *C. striatus* do Atlântico Sul, bem como obter informações acerca da manutenção desta espécie em sistema de recirculação.

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1. Os Teleostei e a Família Chaetodontidae**

Os peixes representam aproximadamente 50% dos vertebrados, ocupando os mais diversos ambientes aquáticos, sendo que, destes, 96% correspondem aos Teleostei (Vazzoler, 1996). Os Teleostei ocorrem em uma grande diversidade de habitat, estando submetidos às diferentes condições ambientais, constituindo, assim, um grupo extremamente heterogêneo em termos de anatomia, comportamento, estratégias reprodutivas e ecologia (Nakatani *et al.*, 2001). Dentre os Teleostei, destacam-se os Perciformes com a maior diversidade, sendo também a maior ordem de vertebrados (Nelson *et al.*, 2011). Nesta ordem, que inclui cerca de 40% de todos os peixes ósseos, estão classificadas em torno de 7000 espécies distribuídas em 160 famílias, que ocupam quase todos os ecossistemas aquáticos (Nelson *et al.*, 2011). Muitas destas espécies apresentam grande interesse comercial, como os representantes da família Chaetodontidae.

A família Chaetodontidae compreende os populares peixes borboleta, os quais possuem grande importância ornamental devido à atraente coloração e diferentes padrões morfológicos (Nagpure, 2006).

Atualmente, a família possui 133 espécies, distribuídas em 12 gêneros presentes nos oceanos tropicais e subtropicais, sendo que o maior número de espécies pertence ao gênero *Chaetodon* (Eschmeyer *et al.*, 2018). Possuem o corpo achatado lateralmente e muitas espécies apresentam uma faixa preta sobre os olhos e um ocelo na porção posterior do corpo, o qual está presente somente na fase juvenil. Ambas as características tem a função de despistar os predadores (Nelson *et al.*, 2011).

Os membros da família Chaetodontidae vivem intimamente associados ao substrato, visto que consomem uma grande variedade de presas bentônicas (Randall, 1967; Pratchett, 2005). No que diz respeito ao hábito e comportamento alimentar, podem ser coralívoras obrigatórios, coralívoras facultativos e generalistas (Sazima e Sazima, 2001). Esse comportamento alimentar pode ser atribuído à disposição dos dentes, na qual permite que os peixes borboleta consumam diferentes itens alimentares (Motta, 1989). De acordo com Liedke e colaboradores (2016), a espécie *Chaetodon striatus* é considerada zoobentívora generalista, plasticidade alimentar esta que lhe confere sucesso em sua distribuição latitudinal.

Em relação ao comportamento reprodutivo, os peixes borboleta geralmente vivem em pares monogâmicos por anos e cada casal habita uma determinada área no recife ou na costa, defendendo-se de outros pares da mesma espécie (Driscoll e Driscoll, 1988).

No Brasil encontram-se seis espécies de Chaetodontidae: *Prognathodes obliquus*, *P. brasiliensis* (endêmica do Brasil), *P. guyanensis*, *Chaetodon ocellatus*, *C. sedentarius* e *C. striatus*, sendo essa última mais amplamente distribuída ao longo da costa.

## **2.2. Aspectos da Biologia Reprodutiva de Teleostei**

A maioria dos Teleostei são predominantemente dioicos (Nagahama, 1983) e apresentam diversas estratégias reprodutivas (Vazzoler, 1996; Nakatani *et al.*, 2001). Dentre estas, incluem-se mecanismos como a liberação dos gametas no



ambiente aquático para a fertilização externa até estratégias mais complexas, como o desenvolvimento de órgãos especializados para a fertilização interna, seguida da liberação dos ovos fertilizados ou ainda gestação interna dos embriões (Le Gac e Loir, 1999).

Na maioria das espécies de peixes, a reprodução é cíclica e sazonal, determinando uma série de modificações morfo-fisiológicas em suas gônadas (Nagahama, 1983). Seu ciclo reprodutivo ocorre em função da variação das condições ambientais, sendo a temperatura e o fotoperíodo considerados os mais potentes moduladores da atividade reprodutiva (Billard, 1986). A cada ciclo reprodutivo, o epitélio germinativo do tecido gonadal dos peixes sofre alterações importantes para a produção contínua de gametas femininos e masculinos (Grier, 2000, 2002; Grier e Lo Nostro, 2000; Wildner *et al.*, 2013). Deste modo, o epitélio germinativo nos Teleostei é constituído por células somáticas e células germinativas, que revestem os lóbulos testiculares e as lamelas ovígeras nas gônadas masculina e feminina, respectivamente, delimitando o lúmen testicular e ovariano (Grier e Taylor, 1998; Parenti e Grier, 2004; Grier *et al.*, 2007; Grier e Uribe, 2009).

Nas fêmeas, frequentemente os ovários são órgãos pares e saculiformes, localizados no sentido longitudinal e dorsalmente à cavidade abdominal (Grier *et al.*, 2007). O epitélio germinativo feminino, que margeia as lamelas ovígeras, é composto por dois tipos celulares: as células somáticas epiteliais e as células germinativas, organizadas em ninhos germinativos. Nestes, parte das oogônias prolifera, aumentando seu número, enquanto outras que se comprometem com a foliculogênese entram em meiose dando origem aos primeiros oócitos que avançam para a prófase da primeira divisão meiótica (Grier, 2000; Le Menn *et al.*, 2007; Grier *et al.*, 2009; Lubzens *et al.*, 2010), formando um cisto de oócitos profásicos (Mazzoni *et al.*, 2010; Nakamura *et al.*, 2010; Quagio-Grassiotto *et al.*, 2011). Com a entrada e permanência em diplóteno, os oócitos podem agora se desenvolver. O desenvolvimento oocitário, que tem início ainda nos cistos, continua no interior dos folículos ovarianos. Na formação dos folículos ovarianos as células pré-foliculares progressivamente interpenetram nos cistos e envolvem cada oócito individualizando-os (Le Menn *et al.*, 2007; Grier *et al.*, 2009; Mazzoni *et al.*, 2010; Mazzoni e Quagio-Grassiotto, 2017). Estas células, agora diferenciadas em foliculares, sintetizam a membrana basal que progressivamente

envolve o folículo em formação, o qual permanece unido ao epitélio germinativo (Grier, 2000, 2002; Le Menn *et al.*, 2007; Grier *et al.*, 2009; França *et al.*, 2010; Lubzens *et al.*, 2010; Mazzoni *et al.*, 2010; Mazzoni e Quagio-Grassiotto, 2017). Uma vez que o folículo ovariano esteja formado, ou seja, que o processo de foliculogênese se complete, o oócito inicia efetivamente o crescimento primário (Patiño e Sullivan, 2002; Grier *et al.*, 2009; Lubzens *et al.*, 2010) e a partir disso, os oócitos estarão prontos para responderem aos estímulos que conduzem à incorporação de vitelo, maturação e posterior oocitação (Le Menn *et al.*, 2007; Grier *et al.*, 2009; Lubzens *et al.*, 2010).

Nos machos, os testículos são também, na maioria das vezes, órgãos pares e alongados, localizados longitudinal e dorsalmente à cavidade abdominal (Loir *et al.*, 1989). Nesses, o compartimento germinativo pode se organizar de forma tubular ou lobular (Grier, 1993; Parenti e Grier, 2004; Mazzoni *et al.*, 2014). No testículo tubular, o compartimento germinativo é formado por alças e túbulos que se interconectam, formando anastomoses, desde a periferia até a região do ducto testicular (Grier, 1993; Grier e Uribe, 2009). Já no testículo lobular, o compartimento germinativo, em formato digitiforme, termina em fundo cego na periferia testicular (Grier, 1993; Parenti e Grier, 2004; Grier e Uribe, 2009). Neste padrão é possível distinguir dois tipos de organização, de acordo com a distribuição das espermatogônias ao longo dos lóbulos: lobular irrestrito e lobular restrito (Grier, 1993; Parenti e Grier, 2004; Grier e Uribe, 2009). No testículo lobular irrestrito, as espermatogônias estão distribuídas ao longo de todo lóbulo, enquanto que no testículo lobular restrito, as espermatogônias estão confinadas somente na porção distal dos lóbulos.

Independente do tipo de organização testicular, o epitélio germinativo masculino é composto por dois tipos celulares: as células germinativas e as células de Sertoli (Grier, 2000). No epitélio germinativo, as espermatogônias associam-se às células de Sertoli, formando cistos, nos quais ocorrerá o processo de espermatogênese. Ao entrar em meiose, as espermatogônias dão origem aos espermatócitos, que por sua vez formam as espermátides, ao término da meiose. Através da espermiogênese, ainda no interior dos cistos, as espermátides haploides completam sua diferenciação, formando os espermatozoides (Grier e Uribe, 2009; Schulz *et al.*, 2010). Subsequentemente, os cistos rompem-se e os espermatozoides são liberados para o lúmen testicular (Schulz *et al.*, 2010).

### 2.3. A Aquariofilia Ornamental Marinha

O desenvolvimento de produtos e tecnologias na aquariofilia ornamental marinha, juntamente com a popularização da prática, alavancaram o setor nas últimas décadas, apesar do declínio no mercado em alguns anos devido à recessão global (Moorhead e Zeng, 2010; Rhyne e Tlusty, 2012). As várias marcas de sais presentes no mercado elaboradas exclusivamente para corais, a produção de alimento vivo, a diversidade de kits de monitoramento dos parâmetros químicos e físicos da água, os métodos modernos de filtração utilizando *skimmers* e filtros tipo *bag*, o sistema de recirculação de água (RAS) que promove o uso eficiente e sustentável da água, bem como a irradiação de raio ultravioleta e ozônio para esterilização e manutenção da qualidade da água, permitem o desenvolvimento de uma aquicultura de precisão, termo atual que engloba um conjunto de práticas aplicadas com exatidão e tem o objetivo de tornar a atividade sustentável e aumentar a produtividade e rentabilidade dos empreendimentos.

Outro ponto importante na produção de peixes ornamentais é a possibilidade da utilização de pequenas áreas para sua realização, o que representa menores custos com investimentos para instalações e também uma menor demanda de tempo de cada ciclo de produção, possibilitando maior rendimento anual e maior lucro na produção, ganhando assim cada vez mais relevância no cenário mundial (Zuanon, 2011).

Dessa forma, a produção de peixes ornamentais é considerada um agronegócio rentável (Araújo *et al.*, 2012) e mesmo as espécies de peixes marinhos representando apenas 10% do mercado de aquariofilia, tal atividade encontra-se em expansão (Sampaio e Nottingham, 2008). Os altos valores alcançados pelos peixes promovem o aquecimento do setor e certamente a denominação de *hobby* luxuoso se faz pertinente, uma vez que numa base de peso unitário, os peixes ornamentais constituem a mercadoria mais valiosa do mundo (Hardy, 2003). De acordo com a FAO (2010) os valores do comércio de peixe ornamental cresceram significativamente ao longo das últimas décadas, sendo que entre 2000 e 2011 as exportações globais de peixes ornamentais aumentaram de 181 milhões para 372 milhões de dólares. Se considerados os

valores de vendas no varejo, materiais associados, salários e produtos não exportados, os valores do setor podem chegar a 15 bilhões de dólares anuais (Bartley, 2000; Livengood e Chapman 2007; Prang, 2007; Whittington e Chong 2007; Moorhead e Zeng, 2010).

No Brasil, dados publicados pelo extinto Ministério da Pesca e Aquicultura revelaram que a exportação nacional de peixes ornamentais alcançou cerca de 7 milhões de dólares em 2009, e ultrapassou a exportação de moluscos e filés de peixes frescos (MPA, 2010).

A estimativa acerca dos principais organismos marinhos de interesse comercial é representada por 150 espécies de corais duros, centenas de espécies de invertebrados não-corais, e pelo menos 1472 espécies de peixe recifais pertencentes a 50 famílias (Monteiro-Neto *et al.*, 2003; Wabnitz *et al.*, 2003; Wood 2001; Bruckner, 2005). Deste modo, a indústria de peixes ornamentais é caracterizada pelo conjunto de numerosas espécies advindas de diversos países, o que se tornou evidente ao longo do ano 2000, quando aproximadamente um bilhão de peixes ornamentais foram exportados, oriundos de mais de 100 diferentes países localizados nas regiões tropicais como Brasil, Colômbia, Indonésia, Malásia, Nigéria, Peru, Sri Lanka e Tailândia. Estes países, por vezes ainda em desenvolvimento, encontram uma fonte de renda segura ao comercializar esses organismos a países desenvolvidos (Moravec *et al.*, 1999; Whittington e Chapman, 2007).

Apesar de todos benefícios econômicos gerados por esta atividade, existe uma outra questão emergente a qual tem despertado a preocupação dos pesquisadores – o extrativismo exacerbado. Em torno de 90% das espécies de peixes marinhos utilizadas para essa finalidade são capturadas do ambiente natural, sendo que apenas 10% são produzidas em cativeiro (Rubec *et al.*, 2001; Calado, 2006; Moorhead e Zeng, 2010; Olivotto *et al.*, 2011), pois não há domínio sobre a produção desses peixes recifais e costeiros em cativeiro, sobretudo no Brasil. A remoção de espécies de uma comunidade de recifes pode perturbar o equilíbrio ecológico daquela comunidade, podendo levar também a uma reestruturação da comunidade (Begon *et al.*, 2006).

Existem várias pressões negativas sobre recifes de corais e regiões costeiras além da pesca desenfreada que causa declínio nas populações de peixes. Inclui-se a mudança climática, a tendência crescente da temperatura que

pode causar o branqueamento de corais, o enriquecimento de nutrientes das águas costeiras em razão dos esgotos e o escoamento de produtos agrícolas (Olivotto *et al.*, 2011; Pan *et al.*, 2013). Ainda, é importante ressaltar os métodos destrutivos de coleta amplamente utilizados, que incluem explosivos, venenos (cianeto de sódio, por exemplo) e técnicas de captura que promovem o esmagamento de corais destruindo o ecossistema pontualmente, bem como as áreas adjacentes, causando a mortandade de diversos organismos (Calado, 2006).

É importante enfatizar que os órgãos reguladores e pesquisadores orientam para a necessidade de estudos sobre a biologia das espécies e que, a partir disso, estabeleça-se um manejo efetivo e novas regulamentações (Bushnel, 2007). A carência de informações sobre a história natural impede a compreensão e dificulta a implantação de políticas corretas de conservação do recurso pesqueiro ornamental marinho no Brasil (Sampaio e Nottingham, 2008).

Além da utilidade referente aos regulamentos, esses estudos auxiliam no desenvolvimento da cadeia produtiva e novas leis e, conseqüentemente, promove o ordenamento da atividade (Chong *et al.*, 2000; Rodrigues e Fernandes, 2006; Moorhead e Zeng, 2010; Côrtes e Tsuzuki, 2012).

Embora os estudos de peixes marinhos recifais e costeiros sejam de grande relevância, o Brasil, incluindo suas ilhas oceânicas, permanece carente quanto ao conhecimento da biologia da sua ictiofauna, diferente do Atlântico Norte ocidental que tem sido objeto de estudos substanciais. No Atlântico Sul, pesquisas com peixes recifais são relativamente recentes (Floeter *et al.*, 2003; Gasparini *et al.*, 2005; Souza, 2006; Leite, 2013; Feitosa *et al.*, 2016; Liedke *et al.*, 2016) com um aumento significativo no esforço de amostragem nas águas brasileiras apenas após a década de 1990, quando o uso do mergulho autônomo (SCUBA) por ictiólogos levou ao conhecimento da extensão da faixa litorânea e à descrição de novas espécies (Floeter *et al.*, 2003).

A costa brasileira estende-se por cerca de 8.000 km, sendo os recifes biogênicos predominantes do norte até a região central, e os costões rochosos, da região central até o sul (Floeter *et al.*, 2006). Esses ecossistemas são reconhecidos como áreas importantes de endemismo marinho, sendo as regiões tropicais e subtropicais do oceano Atlântico Sul ocidental consideradas áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade marinha do oceano Atlântico

(McKenna e Allen, 2002). Nessas regiões também está inserida a Zona Econômica Exclusiva (ZEE) brasileira (Sampaio e Nottingham, 2008) e ainda a região costeira do sudeste, é uma das regiões consideradas como “Área Relevantes para Proteção” segundo o IBAMA e o Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP).

Diante do exposto, a aquicultura ornamental marinha representa parte dos planos de manejo eficaz, uma vez que as espécies produzidas em cativeiro podem suprir a demanda do mercado, diminuindo assim, o extrativismo para essa finalidade (Tlusty, 2002; Bellwood *et al.*, 2004). Infelizmente, essa atividade ainda está em fase inicial e apresenta um desenvolvimento lento (Moorhead e Zeng, 2010). Nesse contexto, é imprescindível que se realizem estudos abordando a ecologia reprodutiva de espécies-alvo utilizadas na aquariofilia (Olivotto *et al.*, 2006; Olivotto *et al.*, 2017).

#### **2.4. Região Geográfica de Ubatuba-SP**

A região de Ubatuba-SP (23°26'27"S e 45°03'18"W) possui clima tropical úmido, no entanto, como é cortada pela linha imaginária do Trópico de Capricórnio, o clima encontra-se na linha de transição entre a zona tropical e a zona temperada. A média histórica da temperatura do ar, na área, é de 21,2°C e de precipitação é 216,6 mm. A região tem influência dos ventos alísios do sudeste, sendo um importante elemento da climatologia do município. Estes ventos, carregados de umidade da evaporação marinha, ao encontrarem os contrafortes da Serra do Mar ocasionam chuvas, sendo um dos principais fatores, juntamente com a Mata Atlântica, pela alta precipitação do município (Camargo, 1994).

Esta região apresenta planícies costeiras reduzidas constituindo-se de pequenos maciços isolados e promontórios de esporões terminais da Serra do Mar (Ab'Saber, 1955). Isso possibilita a formação de grande número de praias e enseadas, onde se encontram ambientes com limites internos irregulares, favoráveis ao estabelecimento e desenvolvimento de uma maior variedade de organismos marinhos. A região encontra-se sob forte influência de três massas de água com modelos diferentes de distribuição no verão e inverno: Água Central do Atlântico Sul (ACAS), com baixa temperatura e salinidade ( $T < 20^{\circ}\text{C}$ ;  $S < 36$ ),

Água Tropical (AT), com temperatura e salinidade elevadas ( $T > 20^{\circ}\text{C}$ ;  $S > 36$ ), e Água Costeira (AC), com elevada temperatura e baixa salinidade ( $T > 20^{\circ}\text{C}$ ;  $S < 36$ ). A Água Costeira (AC) além de alterar a salinidade e a temperatura, também transporta uma quantidade significativa de nutrientes.

Durante o verão, a ACAS penetra a camada inferior da plataforma continental na região de Ubatuba, tornando a coluna d'água estratificada. Durante o outono, a ACAS retrai-se em direção à quebra da plataforma, e é substituída pela AC. Como resultado, a coluna d'água não se apresenta nos meses de inverno (Pires, 1992; Pires-Vanin e Matsuura, 1993).

Em razão do baixo hidrodinamismo dentro das enseadas e entre as enseadas e a plataforma continental adjacente, o sedimento da região de Ubatuba é predominantemente composto por areia fina e muito fina, silte mais argila (Mahiques *et al.*, 1998).

Dentre a região central do município de Ubatuba-SP, destaca-se a praia do Itaguá, a qual possui grande influência antrópica, sendo um grande núcleo de população urbana. Possui areias escuras ricas em monazita e está inserida na enseada denominada Enseada de Ubatuba, consistindo de uma região de planície (Camargo, 1994). A nove milhas náuticas distantes do ponto mais próximo do continente, integrando o arquipélago das Couves, e situada entre a Ponta da Cruz e a Ponta da Jamanta, em pleno mar aberto, localiza-se a Ilha da Rapada. Esta consiste de uma ilha oceânica localizada na região norte do município, com pouca influência antrópica e sem moradores. Sua encosta é bastante rochosa e acidentada, com porções submersas. Apresenta vegetação de grande porte, característica da Mata Atlântica, desde a superfície até a linha d'água (Sartorello, 2010). Suas águas abrigam intensa vida marinha, com muitas espécies recifais e também não recifais que utilizam os costões rochosos como esconderijo e abrigo temporários.

## **2.5. O Modelo Biológico**

Considerando o status atual de conhecimento da biologia reprodutiva na família Chaetodontidae frente à restrição de informações, especialmente em aspectos tangentes à manutenção da espécie em cativeiro, bem como seu grande

interesse econômico na aquariofilia, a utilização do peixe borboleta *Chaetodon striatus* como modelo biológico se mostra interessante.

A espécie *C. striatus* (Linnaeus, 1758), conhecida popularmente como peixe borboleta-listrado, é encontrada nos fundos consolidados (rochosos e de recifes de corais) em águas tropicais, no oceano Atlântico Ocidental, de Massachusetts (Estados Unidos) a Santa Catarina (Brasil) e, ainda, incluindo o Golfo do México e o Mar do Caribe (Allen, 1985; Carvalho-Filho, 1999; Zekeria *et al.*, 2006) (Figura 1). Devido à diversidade de coloração e ao pequeno porte, as espécies de peixe borboleta são amplamente coletadas para o comércio de peixes ornamentais (Monteiro-Neto *et al.*, 2003; Berumen e Pratchett, 2006). De acordo com Rhyne e colaboradores (2012), de 2004 a 2005, somente os Estados Unidos importaram 97 espécies de Chaetodontidae, ocupando o sexto lugar dentre as famílias de peixes mais comercializadas no mundo em 2003 (Wabnitz *et al.*, 2003).



Figura 1. Exemplar de *Chaetodon striatus*



## OBJETIVOS

Em razão da escassez de estudos referentes à biologia e ecologia reprodutiva e da ausência de informações sobre a criação de *Chaetodon striatus*, o objetivo do presente estudo foi:

- 1) Avaliar a ecologia reprodutiva da *C. striatus* em Ubatuba, São Paulo, Brasil;
- 2) Analisar as estruturas gonadais e as alterações do epitélio germinativo de *C. striatus* utilizando técnicas histológicas, durante o período de coleta e aclimatação em cativeiro;
- 4) Obter informações acerca da manutenção da espécie em sistema de recirculação, bem como verificar os comportamentos.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Contribuições à geomorfologia do litoral paulista. **RBG**. v. 17, n. 1, p. 3-37, 1955.

ACKMAN, R. G. Fish lipids, part 1, p. 86-103. In: J.J. CONNELL (Ed.). **Advances in fish science and technology**. England, Fishing News Books Ltd. 1980, 528 p.

ALLEN, G. R. **Butterfly and angelfishes of the world**. Mergus Publishers, Melle, Germany, v. 2, n. 3, 1985.

ARAÚJO, A. P., SANTOS, F. W. M., PINCINATO, S. & SILVA, J. G. Gestão participativa no comércio de animais aquáticos ornamentais (ensaio). **Rev. Educ. Cont. Vet. Med. Zootec.**, v. 10, n. 2/3, p. 6-15, 2012.

BARTLEY, D. **Responsible ornamental fisheries**. FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, 2000. 8 p.

BEGON, M., HARPER, J. L. & TOWHSEND, C. R. **Fundamentos em ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2006.

BELLWOOD, D. R., HUGHES, T. P., FOLKE, C. & NYSTRÖM, M. Confronting the coral reef crisis. **Nature**, v. 429, n. 6494, p. 827-833, 2004.

BILLARD, R. Spermatogenesis and spermatology of some teleost fish species. **Reprod. Nut. Dev.**, n. 26, p. 877-1024, 1986.

BRUCKNER, A. W. The importance of the marine ornamental reef fish trade in the wider Caribbean. **Rev. Biol. Trop.**, v. 53, p. 127-137, 2005.

BUSHNELL, M. **Reproduction of *Zebrasoma Flavescens***: Oocyte Maturation, Spawning Patterns, and an Estimate of Reproductive Potential for

Female Yellow Tang in Hawai'i. Tese (Doutorado) - University of Hawaii at Manoa. 2007, 73 p.

BERUMEN, M. L. & PRATCHETT, M. S. Effects of resource availability on the competitive behavior of butterfly fishes (Chaetodontidae). **In: Proceedings of Loth International Coral Reef Symposium**. 2006. p. 644-650.

CALADO, R. Marine ornamental species from European waters: A valuable overlooked resource or a future threat for the conservation of marine ecosystems? **Sci. Mar.**, v. 70, n. 3, p. 389–398, 2006.

CARVALHO-FILHO, A. **Peixes**: Costa Brasileira. Editora Melro, São Paulo, Brazil. 1999. 320 p.

CHONG, A., HASHIM, R. & ALI, A. Dietary protein requirements for discus (*Symphysodon spp.*). **Aquacult. Nutr.**, v. 6, n. 4, p. 275-278, 2000.

COLIN, P. L. Aspects of the spawning of western Atlantic butterfly fishes (Pisces: Chaetodontidae). **Environ. Biol. Fishes**, v. 25, n. 1-3, p. 131-141, 1989.

COLIN, P. L. & CLAVIJO, I. E. Spawning activity of fishes producing pelagic eggs on a shelf edge coral reef, southwestern Puerto Rico. **Bull. Mar. Sci.**, v. 43, p. 249–279, 1988.

CÔRTEZ, G. F. & TSUZUKI, M. Y. Efeito do tamanho do rotífero na sobrevivência e no crescimento de neon gobi *Elacatinus figaro* durante as fases iniciais de larvicultura. **Bol. Inst. Pesca Sao Paulo**. v. 36, n. 3, p. 205-212, 2010.

CAMARGO, O. A. F. **Ubatuba ou “Ubachuva”** – Uma questão de geografia. Editora Parma, Guarulhos, 1994. 62 p.

DRISCOLL, J. W. & DRISCOLL, J. L. Pair behavior and spacing in butterflyfishes (Chaetodontidae). **Environ. Biol. Fishes**, v. 22, n. 1, p. 29-37, 1988.

ESCHMEYER, W. N., FRICKE, F & VAN DER LAAN, R. (Ed.) **Catalog of fishes: genera, species, reference.** Disponível em “<http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>”. Acessado em 22 de julho 2018. [This version was edited by Bill Eschmeyer - Recalculated with each new version; based on current literature, this provides all available species names, valid species, and species described in the last 10 years by family/subfamily].

FEITOSA, C. V., MARQUES, S., DE ARAÚJO, M. E. & FERREIRA, B. P. Reproduction of French angelfish *Pomacanthus paru* (Teleostei:Pomacanthidae) and implications for management of the ornamental fish trade in Brazil. **Mar. Freshwat. Res.**, v. 67, n. 5, p. 586-593, 2016.

Food and Agriculture Organization (FAO) (2010). Fisheries and aquaculture topics: Food security and fisheries. Topics Fact Sheets. Text by Peter Manning, FAO Fisheries and Aquaculture Department, Rome.

FLOETER, S. R., HALPERN, BENJAMIN S. & FERREIRA, C. E. L. Effects of fishing and protection on Brazilian reef fishes. **Biol. Cons.**, v. 128, n. 3, p. 391-402, 2006.

FLOETER, S. R., GASPARINI, J. L., ROCHA, L. A., FERREIRA, C. E. L., RANGEL, C. A. & FEITOZA, B. M. Brazilian reef fish fauna: checklist and remarks. **BioBase Project: <http://www.biobase.org/BCF/Index.html>**. Cited, v. 18, 2003.

FRANÇA, G. F., GRIER, H. J. & QUAGIO-GRASSIOTTO I. A new vision of the origin and the oocyte development in the Ostariophysi applied to *Gymnotus sylvius* (Teleostei: Gymnotiformes). **Neotrop. Ichthyol.**, v. 8, n. 4, p. 787-804, 2010.

FOWLER, A. J. Reproductive biology of bisexual and all-female populations of chaetodontid fishes from the southern Great Barrier Reef. **Environ. Biol. Fishes.**, v. 31, n. 3, p. 261-274, 1991.

GASPARINI, J. L., FLOETER, S. R., FERREIRA, C. E. L. & SAZIMA, I. "Marine Ornamental Trade in Brazil." **Biodivers. Conserv.**, v. 14, p. 2883-2899, 2005.

GHARAIBEH, B. M. & HULINGS, N. C. The reproduction of *Chaetodon austriacus*, *C. fasciatus* and *C. paucifasciatus* (Chaetodontidae, Perciformes) in the Jordan Gulf of Aqaba. **Environ. Biol. Fishes.** v. 29 p. 67-72, 1990.

GRIER, H. J. & URIBE, M. C. The Testis and Spermatogenesis in Teleosts. In: Jamieson, B.J.M. (Ed): Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony Fishes) **Phylogeny Reproductive System Viviparity Spermatozoa.** 2009. p. 802.

GRIER, H. J., URIBE M. C. & PATIÑO, R. The ovary, folliculogenesis and oogenesis in teleosts. In: Jamieson, B.J.M. (Ed): Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony Fishes) **Phylogeny Reproductive System Viviparity Spermatozoa.** 2009. p. 25-84.

GRIER, H. J., URIBE-ARANZÁBAL, M. C. & PATINO, R. The ovary, folliculogenesis, and oogenesis in teleosts. **Reproductive biology and phylogeny of fishes (agnathans and bony fishes)**, v. 8, n. Part A, p. 25-84, 2009.

GRIER, H. J. & LO NOSTRO, F. L. The germinal epithelium in fish gonads: the unifying concept. In: Norberg, B.; Kjesbu, O.S.; Taranger, G.L.; Andersson, E.; Stefansson, S.O. editors. **Proceedings of the 6th International Symposium on the Reproductive Physiology of Fish.** Norway: University of Bergen, 2000. p. 233-236.

GRIER, H. J. & TAYLOR, R.G. Testicular maturation and regression in the common snook. **J. Fish Biol.**, v. 53, p. 521-542. 1998.

GRIER, H. J. Comparative organization of Sertoli cells including the Sertoli cell barrier. In: The Sertoli cell, (Russel L.D. & Griswold, M.D., eds.) **Clearwater, Cache River Press**. p. 704-730, 1993.

GRIER, H. J. Ovarian germinal epithelium and folliculogenesis in the Common Snook, *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae). **J. Morphol.**, v. 243, p. 265-281, 2000.

GRIER, H. J. The germinal epithelium: its dual role in establishing male reproductive classes and understanding the basis for indeterminate egg production in female fishes. In: **Proceedings of the fifty-third annual Gulf and Caribbean Fisheries Institute** (Creswell, R.L. ed.). November 2000. Fort Pierce: Mississippi/Alabama Sea Grant Consortium, 2002. p. 537-552.

GRIER, H. J., URIBE, M. C. & PARENTI, L. R. Germinal epithelium, folliculogenesis, and postovulatory follicles in ovaries of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum,1792) (Teleostei, Protacanthopterygii, Salmoniformes). **J. Morphol.**, v. 268, p. 293-310, 2007.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **“Atribuição do IBAMA”**. Disponível em: <http://ibama.gov.br/biodiversidade-aquatica/gestao-pesqueira/atribuicoes-do-ibama> (Acesso em: 13 de julho de 2017).

JØRGENSEN, C., ERNANDE, B., FIKSEN, Ø. & DIECKMANN, U. The logic of skipped spawning in fish. **Can. J. Fish Aquat. Sci.**, v. 63, n. 1, p. 200-211, 2006.

LE GAC, F. & LOIR, M. Male Reproductive System, Fish. In: Knobil, E. & Neill, J.D. editors. **Encyclopedia of Reproduction**. San Diego: Academic Press, v. 3, p. 20-30. 1999.

LEITE, J. R. **Biologia reprodutiva e etologia de *Gramma brasiliensis*** Sazima, Gasparini & Moura, 1998. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brazil. 2013. 102 p.

LIEDKE, A. M., BARNECHE, D. R., FERREIRA, C. E., SEGAL, B., NUNES, L. T., BURIGO, A. P., CARVALHO J. A., BUCK, S., BONALDO R. M. & FLOETER, S. R. Abundance, diet, foraging and nutritional condition of the banded butterflyfish (*Chaetodon striatus*) along the western Atlantic. **Mar. biol.**, v.163, n.1, p. 6, 2016.

LE MENN, F., CERDÀ, J. & BABIN, P. J. Ultrastructural aspects of the ontogeny and differentiation of ray-finned fish ovarian follicles. In *The Fish Oocyte* (pp. 1-37). **Springer: Dordrecht**. p. 1-70, 2007.

LIVENGOOD, E. J. & F. A, CHAPMAN. **The ornamental fish trade: An introduction with perspectives for responsible aquarium fish ownership.** Department of Fisheries and Aquatic Sciences, Institute of Food and Agricultural Sciences: University of Florida, IFAS Extension, FA124, 8 halaman. 2007.

LOIR, M., CAUTY, C., PLANQUETTE, P. & LE BAIL, P.Y. Comparative study of the male reproductive tract in seven families of South-American catfishes. **Aquat. Living Resour.** v. 2, n. 1, p. 45-56, 1989.

LUBZENS, E., YOUNG, G., BOBE, J. & CERDÀ, J. Oogenesis in teleosts: How fish eggs are formed. **Gen. Comp. Endocrinol.**, v. 165, n. 3, p. 367-389, 2010.

MAHIQUES, M. M., TESSLER, M. G., & FURTADO, V. V. Characterization of Energy Gradient in Enclosed Bays of Ubatuba Region, South-eastern Brazil. **Estuar. Coast. Shelf Sci.**, v. 47, n. 4, p. 431-446, 1998.

MAREM- Mapeamento ambiental para resposta à emergência no mar. Disponível em "<http://www.marem-br.com.br/webapp/app/app.html#>". Acessado em 16 de Julho de 2017.

MAZZONI, T. S. & QUAGIO-GRASSIOTTO, I. Ovary Differentiation and Activity in Teleostei Fish. Chapter 7. In: **Theriogenology** (R. P. Carreira, ed). InTech. p. 129-156, 2017.

MAZZONI, T. S., GRIER, H. J. & QUAGIO-GRASSIOTTO, I. Germline cysts and the formation of the germinal epithelium during the female gonadal morphogenesis in *Cyprinus carpio* (Teleostei: Ostariophys). **Anat. Rec.**, v. 293, n. 9, p.1581-1606, 2010.

MAZZONI, T. S., GRIER, H. J. & QUAGIO-GRASSIOTTO, I. Male gonadal differentiation and the paedomorphic evolution of the testis in Teleostei. **Anat. Rec.**, v. 297, p.1137–1162, n. 6, 2014.

MCBRIDE, R. S., SOMARAKIS, S., FITZHUGH, G. R., ALBERT, A., YARAGINA, N. A., WUENSCHER, M. J., ALONSO-FERNÁNDEZ, A. & BASILONE, G. Energy acquisition and allocation to egg production in relation to fish reproductive strategies. **Fish Fish. (Oxf)**, v. 16, n. 1, p. 23-57, 2015.

MCKENNA, S. A. & ALLEN, G.R. Coral reef biodiversity and conservation. In: **Implications for coral reef management and policy: Relevant Findings from the 9th International Coral Reef Symposium**. International Society for Reef Studies, World Resources Institute, Conservation International, U.S. Agency for International Development. Washington, D.C. 2002.

MONTEIRO-NETO, C., CUNHA F. E. A., NOTTINGHAM M. C., ARAÚJO M. E., ROSA I. L. & BARROS, G. M. L. Analysis of the marine ornamental fish trade at Ceará State, northeast Brazil. **Biodivers. Conserv.**, v. 12, n. 6, p. 1287-1295, 2003.

MOORHEAD, J. A. & ZENG, C. Development of Captive Breeding Techniques for Marine Ornamental Fish. **Res. Fish. Sci.**, v. 18, n. 4, p. 315-343, 2010.



MORAVEC, F., WOLTER, J. & KORTING, W. Some nematodes and acanthocephalans from exotic ornamental freshwater fishes imported into Germany. **Folia Parasitol.**, v. 46, p. 296-310, 1999.

MOTTA, P. J. (Ed.). **The butterflyfishes: success on the coral reef.** Springer Science & Business Media, 250 p, 2012.

MOTTA, P. J. Dentition patterns among Pacific and Western Atlantic butterflyfishes (Perciformes: Chaetodontidae): relationship to feeding ecology and evolutionary history. **Environ. Biol. Fishes.** v. 25, p. 159-170, 1989.

MPA - Ministério da Pesca e Aquicultura. "**Boletim Estatístico da Pesca e Aquicultura 2010**". Disponível em <<http://www.mpa.gov.br/index.php/topicos/300-boletimestatistico-da-pescaeaquicultura-2010>>. Acesso em: 06 maio 2015.

MURUA, H. & SABORIDO-REY, F. Female reproductive strategies of marine fish species of the North Atlantic. **J. Northwest Atl. Fish. Sci.** v. 33, p. 23-31, 2003.

MURUA, H., KRAUS, G., SABORIDO-REY, F., WITTHAMES, P. R. P. R., THORSEN, A. & JUNQUERA, S. Procedures to estimate fecundity of marine fish species from field samples in relation to reproductive strategy. **J. Northwest Atl. Fish. Sci.** v. 33, p. 33-54, 2003.

NAGAHAMA, Y. The functional morphology of teleost gonads. In: **Fish physiology.** (Hoar, W.S.; Randall, D.J.; Donaldson, E.M., eds.). New York, Academic Press. V. IX, v. 9, p. 223-275, 1983.

NAGPURE, N. S., KUMAR, R., SRIVASTAVA, S. K., KUSHWAHA, B., GOPALAKRISHNAN, A., & BASHEER, V. S. Cytogenetic characterization of two marine ornamental fishes, *Chaetodon collare* and *Stegastes insularis*. **J. Mar. Biol. Assoc. India**, v. 48, n. 2, p. 267–269, 2006.

NAKAMURA, S., KOBAYASHI, K., NISHIMURA, T., HIGASHIJIMA, S. & TANAKA, M. Identification of Germline Stem Cells in the Ovary of the Teleost Medaka. **Science**, v. 328, p. 1561-1563, 2010.

NAKATANI, K., AGOSTINHO, A. A., BAUMGARTNER, G., BIALETZKI A., SANCHES, P. V., MAKRAKIS, M. C & PAVANELLI, C. S. **Ovos e larvas de peixes de água doce: Desenvolvimento e manual de identificação**. Maringá: EDU, 2001. 378 p.

NELSON, J. S., GRANDE, T.C & WILSON, M. V. H. **Fishes of the World**, 5. ed. Wiley: New York, 2011. 752 p.

OLIVOTTO, I., CHEMELLO, G., VARGAS, A., RANDAZZO, B., PICCINETTI, C. C. & CARNEVALI, O. Marine ornamental species culture: From the past to "Finding Dory". **Gen. Comp. Endocrinol.**, v. 245, p. 116-121, 2017.

OLIVOTTO, I., HOLT, S. A., CARNEVALI, O. & HOLT, J. G. Spawning, early development and first feeding in the Lemonpeel angelfish *Centropyge flavissimus*. **Aquaculture**. v. 253, n. 1-4, p. 270–278, 2006.

OLIVOTTO, I., PLANAS, M., SIMÕES, N., HOLT, G. J. & CALADO, R. Advances in breeding and rearing marine ornamentals. **J. World Aquacult. Soc.** v. 42, n. 2, p. 135–166. 2011.

PAN, J., MARCOVAL, M. A., BAZZINI, S. M., VALLINA, M. V. & S. G. MARCO. Coastal marine biodiversity challenges and threats. In: **Marine Ecology in a Changing World** (A. H., Arias, & M. C. Menendez). Boca Raton: CRC Press, 2013. p. 43–67.

PARENTI, L. R. & GRIER, H.J. Evolution and phylogeny of gonad morphology in bony fishes. **Integr. Comp. Biol.**, v. 44, n. 5, p. 333-348, 2004.

PATIÑO, R. & SULLIVAN, C. V. Ovarian follicle growth, maturation, ad ovulation in teleost fish. **Fish Physiol. Biochem.**, v. 26, n. 1, p. 57-70, 2002.

PIRES, A. M. S. Structure and dynamics of benthic megafauna on the continental shelf offshore of Ubatuba, southeastern Brazil. **Mar. Ecol. Prog. Ser.** v. 86, n. 1, p. 63-76, 1992.

PIRES-VANIN, A. M. S. & MATSUURA, Y. Estrutura e função do ecossistema de plataforma continental da região de Ubatuba, Estado de São Paulo: uma Introdução. **Publicação Especial do Bolm. Inst. Oceanogr.**, v.10, p.1-8, 1993.

PRATCHETT, M. S. Dietary overlap among coral-feeding butterflyfishes (Chaetodontidae) at Lizard Island, northern Great Barrier Reef. **Mar. Biol.** v. 148, p. 373-382, 2005.

PRANG, G. An industry analysis of the freshwater ornamental fishery with particular reference to the supply of brazilian freshwater ornamentals to the UK market. **Uakari.** v. 3, p. 7-51, 2007.

QUAGIO-GRASSIOTTO, I., GRIER, H. J., MAZZONI, T. S., NÓBREGA, R. H. & AMORIM, J. P. A. Activity of the ovarian germinal epithelium on the follicle formation and the oocyte development in the freshwater catfish *Pimelodus maculatus* (Teleostei:Ostariophysii: Siluriformes). **J. Morphol.**, v. 272, p. 1290-1306, 2011.

RALSTON, S. Aspects of the reproductive biology and feeding ecology of *Chaetodon miliaris*, a Hawaiian endemic butterflyfish. **Environ. Biol. Fishes**, v. 6, n. 2, p. 167-176, 1981.

RHYNE, A. L. & M. TLUSTY. Trends in the Marine Aquarium Trade: The Influence of Global Economics and Technology. **Aquac. Aquar. Conserv. Legis.**, v. 5, p. 99-102, 2012.

RHYNE, A. L., TLUSTY, M. F., SCHOFIELD, P. J., KAUFMAN, L., MORRIS, J. A., ANDREW, J. R., & BRUCKNER, W. Revealing the Appetite of the

Marine Aquarium Fish Trade: The Volume and Biodiversity of Fish Imported into the United States. **PLoS ONE.**, v. 7, n. 5, e35808, 2012.

RODRIGUES, L. A. & FERNANDES, J. B. K. Influência do processamento da dieta no desempenho produtivo do acará bandeira (*Pterophyllum scalare*). **Acta Sci. Biol. Sci.**, v. 28, n. 1, p. 113-119, 2006.

RUBEC, P. J., V. PRATT. & CRUZ, F. Territorial use rights in fisheries to manage areas for farming coral reef fish and invertebrates for the aquarium trade. **Aquarium Sci. Conserv**, v. 3, n. 1-3, p. 119–134, 2001.

SAMPAIO, C. L. S., & NOTTINGHAM, M. C. Guia para identificação de peixes ornamentais brasileiros: espécies marinhas. **IBAMA**, 2008.

SAZIMA, C. & SAZIMA, I. Plankton-feeding aggregation and occasional cleaning by adult butterflyfish, *Chaetodon striatus* (Chaetodontidae), in southwestern Atlantic. **Cybium**, v. 25, n. 2, p. 145-151, 2001.

SARTORELLO, R. **Ilhas do litoral norte do estado de São Paulo: paisagem e conservação.** Dissertação (mestrado), Universidade de São Paulo (USP), 249 p. 2010.

SHERIDAN, M. A. Regulation of lipid metabolism in poikilothermic vertebrates. **Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry**, v. 107, n. 4, p. 495-508, 1994.

SOUZA, L. L. G. Ecologia reprodutiva do peixe-donzela, *Stegastes fuscus* Cuvier, 1830 (Osteichthyes: Pomacentridae) em arrecifes rochosos da praia de Búzios, Rio Grande do Norte, Brasil. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 91p. 2006.

SCHULZ, R. W., De França, L. R., Lareyre, J. J., LeGac, F., Chiarini-Garcia, H., Nobrega, R. H. & Miura, T. Spermatogenesis in fish. **Gen. Comp. Endocrinol.**, v. 165, n. 3, p. 390-411, 2010.

TLUSTY, M. The benefits and risks of aquaculture production for the aquarium trade. **Aquaculture**, v. 205, p. 203-219, 2002.

TRICAS, T. C. & J.T. HIRAMOTO. Sexual differentiation, oocyte development, and spawning seasonality of the butterflyfish, *Chaetodon multicoloratus*. **Environ. Biol. Fishes.** v. 25, n. 1, p. 111-124, 1989.

TRICAS, T. C. Life history, foraging ecology, and territorial behavior of the Hawaiian butterflyfish, *Chaetodon multicoloratus*. Tese (Doutorado). University of Hawaii, Honolulu, HI, USA, p. 248. 1986.

TRICAS, T. C. Prey selection by coral-feeding butterflyfishes: strategies to maximize the profit. **Environ. Biol. Fish.**, v. 25, 171–185. 1989.

VAZZOLER, A. E. A. M. Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática. **Maringá: Eduem**, 1996, p.169.

WABNITZ, C., TAYLOR, M., GREEN, E. & RAZAK T. From Ocean to Aquarium. Cambridge, UK: **UNEP-WCMC**, 2003, p. 64.

WILDNER, D. D., GRIER, H. & QUAGIO-GRASSIOTTO, I. Female germ cell renewal during the annual reproductive cycle in Ostariophysians fish. **Theriogenology**. v. 79, n. 4. p. 709-724, 2013.

WITTINGTON, R. J. & R. CHONG. Global trade in ornamental fish from an Australian perspective: The case for revised import risk analysis and management strategies. **Prev. Vet. Med.**, v. 81, p. 92-116, 2007.

WOOD, E. Global advances in conservation and management of marine ornamental resources. **Aquar. Sci. Conserv.**, v.3, p. 65-77. 2001.

WOOTTON, R. J. & SMITH, C. **Reproductive biology of teleost fishes**. John Wiley & Sons, 2014. 496 p.

ZEKERIA, Z. A., WEERTMAN, S., SAMUEL B.; KALE-AB, T. & VIDELER, J. J. Growth of *Chaetodon larvatus* (Chaetodontidae: Pisces) in the southern Red Sea. **Mar. Biol.** v. 148, n. 5, p. 1113-1122, 2006.

ZUANON, J. A. S., SALARO, A.L. & FURUYA, W. M. Produção e nutrição de peixes ornamentais. **Revista Bras. Zootec.**, v. 40, p.165-174, 2011.

## ARTIGO 1

As citações e referências foram formatadas de acordo com as normas do periódico *Marine and Freshwater Research*.

### **Avaliação da ecologia reprodutiva do peixe borboleta *Chaetodon striatus* (Perciformes: Chaetodontidae) em Ubatuba, São Paulo, Brasil.**

#### RESUMO

Considerando a importância ornamental e a falta de estudos sobre os aspectos reprodutivos do peixe borboleta *Chaetodon striatus*, o presente estudo teve como objetivo realizar um levantamento pioneiro sobre a ecologia reprodutiva da espécie do Atlântico Sul. Os espécimes foram coletados em duas regiões de Ubatuba/SP: em costões rochosos na praia do Itaguá e na ilha da Rapada. A captura, por meio de armadilha do tipo covo ou rede de mão, foi realizada mensalmente, no período de março de 2015 a junho de 2017. A temperatura da água e do ar e a precipitação apresentaram diferença entre as estações do ano. O período reprodutivo, a estrutura de tamanho, o comprimento mínimo da atividade reprodutiva de machos e fêmeas, a proporção entre os sexos, a relação peso-comprimento e o fator de condição foram estimados utilizando procedimentos histológicos. Os maiores valores de IGS na praia do Itaguá ocorreram em setembro de 2015 e em setembro de 2016, enquanto que na Ilha da Rapada ocorreram em maio e novembro de 2016 e junho de 2017, a proporção sexual foi de 1:1, o comprimento mínimo de atividade reprodutiva de machos foi de 11,1 cm e 13,1 cm para fêmeas. Os valores de  $b$  da relação peso-comprimento variaram de 2,96 e 3,33 e estão dentro do intervalo esperado. As médias do fator de condição foram maiores para as fêmeas, praia do Itaguá e na primavera. Estes resultados obtidos são relevantes para um adequado manejo pesqueiro da

espécie, além de serem informações primordiais para uma futura produção em cativeiro.

**Palavras-chaves:** peixe ornamental, ambiente costeiro, aquariofilia, manejo.

### ABSTRACT

Considering the ornamental importance and the lack of studies regarding the reproduction aspects of the Butterfly fish *Chaetodon striatus*, the present study aimed to carry out a pioneering survey on reproductive ecology of the species in the South Atlantic. The specimens were collected in two regions of Ubatuba-SP: in rocky shores on the “Itaguá” beach and in the “Rapada” island. The capture, through a covo type trap or hand net, was carried out monthly, from March 2015 to June 2017. The air and water temperature and the rainfall presented difference between the seasons of the year. The reproductive period, the structure size, the minimum length of the reproductive activity of males and females, the proportion between the sexes, the length-weight relationship and the condition factor were estimated, using histological procedures. The highest values of IGS in Itaguá beach occurred in September of 2015 and in September of 2016, while in Rapada island occurred in May and November of 2016 and June of 2017, the sexual ratio was 1:1, the minimum length of males reproductive activity was 11.1 cm and 13.1 cm for females. The values of b of the weight-length relationship ranged from 2.96 to 3.33 and are within the expected range. The averages of the condition factor were higher for females and Itaguá beach, with a difference between all the seasons of the years. These results are relevant for an adequate fishing management of the species as well as being the primordial information for a future production in captivity.

**Key-words:** ornamental fish, coastal environment, aquarium, management.



## INTRODUÇÃO

A família Chaetodontidae compreende os populares peixes borboleta, os quais possuem grande importância ornamental devido à atraente coloração e diferentes padrões morfológicos (Nagpure, 2006). Configurando uma das famílias mais requisitas do mercado de aquarofilia marinha, de 2004 a 2005, somente o EUA importaram 97 espécies de chaetodontídeos (Rhyne *et al.*, 2012).

Atualmente, a família possui 133 espécies, distribuídas em 12 gêneros presentes nos oceanos tropicais e subtropicais (Carvalho-Filho, 1999; Zekeria *et al.*, 2006) sendo que o maior número de espécies pertence ao gênero *Chaetodon* (Eschmeyer *et al.*, 2018).

A espécie *Chaetodon striatus* (Linnaeus, 1758), conhecida popularmente como peixe borboleta-listrado, é encontrada nos fundos consolidados (rochosos e de recifes de corais) em águas tropicais, no oceano Atlântico Ocidental, de Massachusetts, Estados Unidos a Santa Catarina, Brasil e, ainda, incluindo o Golfo do México e o Mar do Caribe (Allen, 1985; Carvalho-Filho, 1999; Zekeria *et al.*, 2006).

As estratégias reprodutivas dos peixes são muito diversas e pesquisas sobre os aspectos reprodutivos de peixes têm servido de parâmetro para o conhecimento dos mecanismos que envolvem a perpetuação das espécies e também para fornecer subsídios para a gestão pesqueira (Smith e Wootton, 2014).

Embora os estudos referentes à família Chaetodontidae tenham sido publicados desde a década de 1970, informações sobre os aspectos reprodutivos em muitas de suas espécies são escassas. Além disso, os estudos existentes estão concentrados nos oceanos Pacífico, Índico e Atlântico Norte, nos Estados Unidos, Austrália, China, Japão, França, Hawaí e Índia (Motta, 2012).

Em relação ao comportamento reprodutivo, os peixes borboleta geralmente vivem em pares monogâmicos e cada casal habita uma determinada área no recife ou na costa, defendendo-se de outros pares da mesma espécie (Driscoll e Driscoll, 1988). O comportamento de desova (Colin e Clavijo, 1988), e o período

reprodutivo (Colin, 1989) reportados para *C. striatus* são os únicos trabalhos que se referem aos aspectos da reprodução dessa espécie.

O presente estudo é o primeiro a se concentrar na ecologia reprodutiva de *C. striatus* no Atlântico Sul, utilizando técnicas histológicas. O objetivo do trabalho foi estimar o período reprodutivo, o comprimento mínimo de atividade reprodutiva, analisar a estrutura de tamanho, a proporção sexual, determinar a relação peso-comprimento e o fator de condição e assim, fornecer dados que possam conferir subsídios para a gestão pesqueira desta espécie.

Outro ponto relevante é que essas informações são primordiais para o desenvolvimento da produção em cativeiro. A aquicultura ornamental marinha representa parte dos planos de manejo eficaz, uma vez que as espécies produzidas em cativeiro podem suprir a demanda do mercado, diminuindo assim o extrativismo para essa finalidade (Tlusty, 2002; Bellwood *et al.*, 2004).

## MATERIAL E MÉTODOS

### 1. Coleta dos espécimes

As coletas dos exemplares de *Chaetodon striatus* (Figura 1) foram realizadas em dois pontos distintos de Ubatuba/SP (Figura 2). Para a coleta foram utilizados dois métodos: 1) captura passiva através do uso de armadilhas do tipo covo (formato trapezoidal e quadrado), implantadas nos costões rochosos próximos à praia do Itaguá (23° 27' 05. 17" S 45° 02' 48. 49" O); 2) captura ativa através de mergulho com puçás, na Ilha da Rapada (23° 25' 33. 44" S 44° 54' 10. 90" O).

Os indivíduos foram coletados mensalmente, de março de 2015 a junho de 2017. As armadilhas foram confeccionadas com alumínio, tela plástica e linha de Nylon multifilamento 0,5 mm, permanecendo semi-fixas no mar através de cordas, âncoras e poitas. A profundidade de captura variou de 3 a 8 metros (conforme a variação entre as marés alta e baixa). Após a coleta, os espécimes foram transportados vivos em galões de 60 litros com água do mar para o Laboratório de Piscicultura Marinha do Instituto de Pesca, em Ubatuba/SP.

## 2. Dados biométricos

No laboratório, os peixes foram anestesiados com benzocaína (100 mg/L de água) e, em seguida, foram medidos em comprimento total (cm) e pesados (g) individualmente em balança eletrônica digital (precisão de 0,01 g). Após a analgesia profunda, os peixes foram sacrificados de acordo com as normas da Comissão de Ética em Experimentação Animal do Instituto de Biociências de Botucatu (protocolo nº 805 - CEEA-IBB/UNESP), dissecados através da incisão de um bisturi a partir da abertura urogenital até a base da nadadeira peitoral e as gônadas foram retiradas. Os ovários, testículos, fígado e as vísceras foram pesados com balança digital de 0,0001 g de precisão, para o cálculo dos índices. Posteriormente, as gônadas foram fixadas e mantidas em solução de Karnovsky (glutaraldeído 2% e paraformaldeído 4% em tampão Sorensen - 0,1 M a pH 7,2).

## 3. Dados abióticos

Os dados de temperatura da água e salinidade foram obtidos diariamente (não somente durante as coletas) com termômetro e salinômetro manual, respectivamente, na praia do Itaguá a 1,5 m de profundidade. Para verificação da transparência da água, foi utilizado o disco de Secchi. Estes parâmetros físicos foram mensurados em todos os meses de 2015 e 2016.

Os dados de precipitação e temperatura do ar foram obtidos online na plataforma Ciiagro (2018).

## 4. Análise de dados

Com os dados de peso, os seguintes índices foram calculados:

- Índice viscerossomático: (IVS, %) =  $P_v/(P_t)*100$ , onde  $P_v$  é o peso das vísceras e  $P_t$  é o peso total do peixe;

- Índice hepatossomático: (IHS, %) =  $P_f/(P_t)*100$ , onde  $P_f$  é o peso do fígado e  $P_t$  é o peso total do peixe;

- Índice Gonadossomático (IGS, %) =  $P_g/(P_t)*100$ , onde  $P_g$  é o peso da gônada e  $P_t$  é o peso total do peixe (g).

Utilizando-se a histologia, foi constatado o menor tamanho de indivíduos de machos e fêmeas ativos reprodutivamente, observando o desenvolvimento oocitário e espermático dos indivíduos.

Para determinar a proporção entre os sexos foram realizadas análises agrupando os indivíduos por sexo sendo aplicado o teste  $\chi^2$  visando avaliar as diferenças estatísticas das proporções entre fêmeas e machos. Para tanto, foi empregada a expressão:  $\chi^2 = 2 \cdot (O - E)^2 / E$ , no qual  $\chi^2$  = valor do qui-quadrado; O = frequência porcentual de fêmeas ou machos e E = proporção entre sexos esperada (Vazzoler, 1996)

Para análise da estrutura de tamanho, foram realizadas as distribuições de frequência das classes de comprimento, com diferença de 1 cm, para machos e fêmeas e para os 2 pontos amostrais.

Os parâmetros da relação peso-comprimento e o fator de condição foram determinados para a praia do Itaguá e ilha da Rapada, para machos e fêmeas e para as estações dos anos. Para isto, foi utilizada a regressão linear  $\log WT - \log a + b \log TL$  e os outliers foram removidos (Froese, 2006).

O fator de condição foi determinado utilizando a expressão  $K = Wt/Lt^b$ , onde Wt = peso total do indivíduo, Lt = comprimento total do indivíduo e b = coeficiente angular obtido da relação peso-comprimento (Le Cren, 1951).

Para o cálculo da relação peso-comprimento e do fator de condição, os dados foram agrupados sazonalmente, em verão (janeiro, fevereiro e março), outono (abril, maio e junho), inverno (julho, agosto e setembro) e primavera (outono, novembro e dezembro).

## 5. Análises estatísticas

Para testar a normalidade foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk e para análise de homocedasticidade empregou-se o teste F. No software Statistica 7.0 (Statistica, 2005) realizada a análise de variância One-Way ANOVA e utilizou-se o teste de Tuckey a *posteriori* com nível de significância de 5%. No software R (R, 2016) foi realizada uma análise de variância (ANOVA) e, aplicou-se o teste de Duncan com nível de significância de 5%.

## RESULTADOS

Em relação aos dados abióticos (Tabela 1), as médias da temperatura do ar e da água e a precipitação apresentaram-se elevadas no verão e na primavera, com decréscimo no outono e inverno nos anos estudados.

A salinidade apresentou valores das médias similares no verão, na primavera e no outono, com valores superiores no inverno em 2015. Em 2016, a salinidade foi maior no outono e na primavera. Quanto à transparência da água, em 2015 os valores das médias apresentaram-se similares no verão e na primavera, com decréscimo no outono e no inverno. Em 2016, a transparência foi superior no verão e no outono (Tabela 1).

A temperatura da água e do ar e a precipitação apresentaram diferença entre as estações do ano (Tukey  $p < 0,05$ ) (Tabela 2).

Foi coletado um total de 169 indivíduos, compreendendo 45 machos, 52 fêmeas e 72 indivíduos que não foram analisados histologicamente, porém foram utilizados para o cálculo da relação peso-comprimento e para o fator de condição. Não foi possível a verificação macroscópica do sexo.

As médias de comprimento e de peso foram superiores para machos (Tabela 3). Houve diferenças entre as médias de comprimento de machos e fêmeas ( $p < 0,05$ ).

Quanto às médias dos índices calculadas por local amostrado, o IGS da praia do Itaguá apresentou maiores valores em setembro de 2015, com pico em setembro de 2016 (Figura 3A). Já na ilha da Rapada, o IGS foi superior em maio e novembro de 2016, com um pico em junho de 2017 (Figura 3B). Para este índice, foram observadas diferenças significativas entre os meses do ano (Tukey  $p < 0,05$ ) apenas para a Ilha da Rapada. Para local, também não foram observadas diferenças significativas (Tukey  $p > 0,05$ ) (Figura 3A-B).

O IHS da praia do Itaguá apresentou maiores valores em julho de 2015 e junho de 2016 (Figura 3C). Na ilha da Rapada, o IHS foi maior em março 2016 e em junho de 2017 (Figura 3D). Apesar dos picos observados, assim como o IGS, este índice apresentou diferenças significativas apenas para os meses na Ilha da Rapada (Tukey  $p > 0,05$ ) (Figura 3D-C).

Em relação ao IVS, na praia do Itaguá os maiores valores foram encontrados em julho de 2015 e setembro de 2016 (Figura 3E), enquanto que na ilha da Rapada ocorreu em maio de 2016 e junho de 2017 (Figura 3F). Este índice apresentou diferenças significativas para meses na Ilha da Rapada e local (Tukey $<0,05$ ) (Figura 3E-F).

O comprimento mínimo de atividade reprodutiva constatado para machos foi de ou 11,1 cm e 13,1 cm para fêmeas. A proporção sexual não apresentou desvio da razão de 1:1 ( $\chi^2=0,01$ ;  $p> 0,05$ ).

De maneira geral, as análises das classes de comprimento (Figura 4) mostra que os machos se concentraram na faixa de 13,1 a 15 cm enquanto que a maioria das fêmeas se concentrou nas faixas de 13,1 a 14 cm. Nas demais classes a frequência de machos e fêmeas foi similar com exceção da ausência de machos na faixa de 10,1 a 11 cm.

Na praia do Itaguá a frequência de tamanho se concentrou na classe de 8,1 a 9,0 cm (Figura 5A) enquanto que na ilha da Rapada a maioria dos indivíduos se concentrou nas classes entre 13,1 a 15,0 cm (Figura 5B).

Os parâmetros da relação peso-comprimento e as médias do fator de condição referentes aos locais amostrados, aos sexos dos indivíduos e estações do ano são apresentados na tabela 4. Houve diferença no fator de condição entre os locais amostrados (ANOVA  $p<0,001$ ), entre os sexos ( $p<0,001$ ) e as estações do ano (ANOVA  $p<0,001$ ; Duncan  $p<0,05$ ).

## DISCUSSÃO

O presente estudo é o primeiro a se concentrar na ecologia reprodutiva de *Chaetodon striatus* no Atlântico Sul. Foram obtidos dados inéditos, como a condição energética dos peixes, o período reprodutivo, o comprimento mínimo da atividade reprodutiva de machos e fêmeas, a proporção entre os sexos, a estrutura de tamanho de machos e fêmeas, a relação peso-comprimento e o fator de condição, ao longo dos ciclos sazonais.

É imprescindível que se desenvolvam estudos que abordam a ecologia reprodutiva de espécies-alvo utilizadas no comércio de aquários (Olivotto *et al.*, 2006; 2017), em razão do extrativismo exacerbado para suprir o mercado. Em

torno de 90% das espécies de peixes marinhos utilizadas para essa finalidade são oriundas do ambiente natural, sendo que apenas 10% são produzidas em cativeiro (Calado, 2006; Moorhead e Zeng, 2010; Olivotto *et al.*, 2011).

Alguns estudos que trataram do período reprodutivo de chaetodontídeos apontam que a desova pode estar relacionada com uma certa faixa de temperatura da água, que varia entre 24-26°C (Ralston 1981, Neudecker e Lobel 1981, Fricke 1986, Colin 1989, Lobel 1989, Tricas e Hiramoto 1989, Fowler, 1991). No presente estudo, o cálculo do IGS referente à praia do Itaguá foi superior nos meses que correspondem à primavera, sendo que a faixa de temperatura da água na primavera nos anos estudados foi de 26,4-27,0°C. Já na Ilha da Rapada os maiores valores foram encontrados no outono, cujo a faixa de temperatura da água foi de 24,4-26,2°C. Porém, também houve um pico em novembro de 2016, que corresponde ao verão, no qual a faixa de temperatura da água foi de 28,4-30,0°C. Dessa forma, o aumento de IGS ocorre em diferentes períodos sazonais em cada local amostrado, possivelmente por serem ambientes distintos – uma praia com grande impacto antrópico e uma ilha oceânica com baixo impacto antrópico.

A região de Ubatuba sofre grande influência de diferentes massas de água que variam ao longo das estações do ano. Águas ricas em nutrientes são favoráveis ao aumento da produção de fitoplâncton que podem determinar a abundância de algumas espécies de zooplâncton (Longhurst e Pauly, 2007). Nesse sentido, a entrada da Água Costeira (AC) no outono, abundante em nutrientes (Pires, 1992; Pires-Vanin e Matsuura, 1993), pode representar um fator importante para o aumento do IGS de *C. striatus* nessa estação na ilha da Rapada. Lobel (1989) mostrou a importância das variações das correntes oceânicas para o período reprodutivo de *C. multincinctus* no Hawaí, uma vez que esta variação influencia diretamente a sobrevivência de larvas.

No período reprodutivo, cada espécie apresenta necessidades específicas, tais como a temperatura e a qualidade da água, correntes marinhas, disponibilidade de alimento adequado, fotoperíodo e os refúgios que garantam o crescimento e a sobrevivência dos indivíduos nas fases iniciais de desenvolvimento (Wootton, 1990; Wootton e Smith, 2015). Além disso, pode-se incluir a abundância de alimento, consumido pelas larvas, como fator

determinante para a desova de algumas espécies tropicais (Wootton, 1990; Wootton e Smith, 2015).

Quanto ao IHS calculado por local amostrado, na praia do Itaguá os maiores valores ocorreram em períodos antecedentes ao aumento do IGS. Entretanto, na ilha da Rapada os maiores valores deste índice ocorreram durante o aumento do IGS. Em relação ao IVS na praia do Itaguá, os valores superiores ocorrem antes e durante o aumento do IGS. Na ilha da Rapada, os valores do IVS aumentam concomitantemente ao aumento do IGS.

Sabe-se que as taxas de aquisição de energia geralmente flutuam com os ciclos sazonais (McBride *et al.*, 2012). Quanto aos maiores valores de IHS e IVS serem encontrados em períodos antecedentes e durante o aumento do IGS, isto pode ser atribuído à utilização dessas reservas energéticas para o desenvolvimento e maturação gonadal, considerando que o fígado armazena lipídeos (Ackman, 1980) e produz vitelogenina, que será incorporada pelos oócitos na forma de grânulos de vitelo (Patiño e Sullivan; 2002). No mesmo sentido, os lipídeos são armazenados em vários locais, como mesentério e músculos, exercendo diversas funções como, na composição de membranas celulares e dos oócitos, como isolantes térmicos, reservas energéticas, bem como na produção de hormônios (Sheridan, 1994).

Além disso, certas atividades como o comportamento reprodutivo e a defesa territorial dependem de energia (Jager *et al.*, 2008). É conhecido que a espécie *C. striatus* possui enérgico comportamento de corte (Colin e Clavijo, 1988) e que as fêmeas dos peixes borboletas compartilham a defesa do território com os machos (Tricas, 1986; Colin e Clavijo 1988; Bonaldo *et al.*, 2005). Além disso, no outono e no inverno, o mar se torna mais agitado, sobretudo na região costeira, o que pode demandar mais energia para a natação desses peixes. Tricas (1986) constatou que ambos os sexos de *C. multicolor* possuem grande armazenamento de gordura antes da época reprodutiva e que a duração do período de desova pode depender das reservas de gordura.

Em relação à proporção sexual, sabe-se que em peixes ela está relacionada a fatores fisiológicos e evolutivos, como a taxa de mortalidade, porcentagem de crescimento diferente e estratificação populacional (Barbieri, 1992; Vazzoler, 1996). Alguns estudos com representantes da família Chaetodontidae mostram que não há diferença na proporção sexual de



*Chaetodon miliaris* (Ralstron, 1981), *C. autriacus*, *C. fasciatus* (Gharaibeh e Hulings, 1990) e *Chelmon rostratus* (Fowler, 1991).

No presente estudo, a concentração de machos de *C. striatus* na maior classe de comprimento pode ser atribuída pelo grau de seletividade dos aparatos de captura utilizados, pela limitada faixa de profundidade do estudo e pelas diferentes taxas de crescimento da espécie nessa área.

As maiores classes de tamanho para *C. striatus* encontradas na ilha da Rapada podem ser explicadas pelas melhores condições ambientais, uma vez que esta ilha oceânica possui pouca influência antrópica. Nessas faixas de comprimento, os indivíduos de *C. striatus* estão ativos reprodutivamente e podem encontrar neste local os fatores mais favoráveis tanto para o crescimento como para a reprodução. Já na praia do Itaguá, a maior concentração de indivíduos nas menores classes de comprimento pode indicar que nesse local há condições adequadas para o crescimento, tais como certos itens alimentares, temperatura da água e abrigo.

O tamanho mínimo de indivíduos de *C. striatus* reprodutivamente ativos encontrados no presente estudo foi diferente dos tamanhos da primeira maturação sexual descrito por Aiken (1983) no Mar do Caribe, sendo 12,4 cm para fêmeas e 13,2 cm para machos. O conhecimento desse parâmetro populacional é imprescindível para o manejo pesqueiro adequado, permitindo a fixação dos tamanhos mínimos de captura (Vazzoler, 1996).

A relação peso-comprimento é uma importante ferramenta para avaliação e gestão dos estoques pesqueiros (Froese, 2006) e os parâmetros dessa relação não foram descritos para muitas das espécies de peixes ornamentais marinhas. Neste estudo, os valores de  $b$  variaram entre 2.96 e 3.33, estando dentro do intervalo esperado (2,5 a 3,5). Com exceção da primavera, os valores de  $b > 3$  indicam que há um aumento na altura ou largura em função do comprimento, que por sua vez será menor (Froese, 2006). Isto pode ser atribuído ao corpo alto que a espécie possui.

Diversos fatores podem explicar as diferenças dos valores de  $b$  aqui encontrados, como por exemplo, a estrutura de tamanho da amostra, local de amostragem, estação, sexo e maturidade das gônadas (Froese, 2006; Franco *et al.*, 2014).

Franklin e colaboradores (2009) calcularam a relação peso-comprimento para 3 espécies de chaetodontídeos endêmicas do Hawaí. As espécies *Chaetodon fremblii*, *Chaetodon miliaris* e *Chaetodon multicinctus* apresentaram valores de  $b$  similares ao presente estudo. Do mesmo modo, os valores descritos para *C. striatus* no FishBase também são similares (Froese e Pauly, 2018).

O fator de condição se baseia na análise de dados de peso-comprimento e consiste de um indicador adequado de bem-estar ou fitness de uma população (Bolger e Cannolly, 1989).

É extremamente importante conhecer a condição de uma população para o manejo pesqueiro (Blackwell *et al.*, 2000). Os valores superiores relativos ao fator de condição na praia do Itaguá podem demonstrar um importante local de alimentação para a espécie. Enquanto que a média superior de fêmeas em relação aos machos pode ser atribuída ao alto investimento reprodutivo, evidenciado pelo maior tamanho das gônadas, o que demanda um grande acúmulo de certos componentes como os lipídeos e a vitelogenina. Esse fato também foi evidenciado por Pope e Willis (1996), em uma revisão sobre a dinâmica sazonal da condição de peixes.

Assim como os demais índices aqui empregados, as diferenças entre as estações demonstram que a aquisição energética varia sazonalmente. Os maiores valores do fator de condição na primavera podem ser atribuídos a uma intensa atividade alimentar nesse período e a uma preparação para a época reprodutiva. Peixes em ótimas condições fisiológicas crescem e se reproduzem com sucesso garantindo assim, a manutenção dos estoques (Vazzoler, 1996).

De acordo com Floeter e colaboradores (2003), o Brasil, incluindo suas ilhas oceânicas, encontrava-se carente quanto ao conhecimento da biologia da sua ictiofauna. Com o passar de mais de uma década, ainda há muito para compreender acerca dessas espécies nesses ambientes.

Além disso, muitas são as convenções, programas e acordos mundiais acerca dos oceanos, devido a sua irrefutável importância e à urgente necessidade do uso sustentável. No mesmo sentido, os órgãos reguladores e pesquisadores orientam para a necessidade de estudos acerca da biologia e ecologia das espécies e que a partir disso, estabeleça-se um manejo efetivo e novas regulamentações (Bushnel, 2007).

Além de informações acerca da reprodução de *C. striatus*, o presente estudo mostrou que mesmo com um menor N amostral, é possível realizar um estudo ecológico, poupando assim, uma maior coleta de exemplares. Esses dados podem fornecer subsídios para a gestão pesqueira de *C. striatus*, assim como contribuir com o desenvolvimento da produção em cativeiro.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradecemos ao Instituto de Pesca de Ubatuba. Aos biólogos Ana Paula dos Santos e Francisco Costa, aos médicos veterinários Veronica Takatsuka e Vitor Spandri e ao zootecnista Otávio Mesquita de Souza.

## REFERÊNCIAS

Ab'saber, A. N. (1955). Contribuições à geomorfologia do litoral paulista. *Revista Brasileira de Geografia* 17, 3-37.

Ackman, R. G. (1980). Fish lipids. In 'Advances in fish science and technology'. (Ed Connell, J.J ) pp. 86-103. (Fishing News Books Ltd: England).

Aiken, K. (1983). The biology, ecology and biomass of the butterflyfishes and angelfishes, Chaetodontidae: In 'Caribbean Coral Reef Fishery Resources, International Centre for Living Aquatic Resource Management.' (Ed Munro, J.L) pp. 155-165.

Allen, G. R. (1985). 'Butterfly and angelfishes of the world.' (Mergus Publishers: Germany). 352 p.

Barbieri, G. (1992). Dinâmica da nutrição de *Astyanax scabripinnis paranae* (Characiformes, Characidae) do Ribeirão do Fazzari: São Carlos, SP. *Revista Brasileira de Zoologia* 21, 68-72.

Bellwood, D. R., Hughes, T. P., Folke, C., and Nyström, M. Confronting the coral reef crisis. (2004). *Nature* 429, 827–833.

Blackwell, B. G., Brown, M. L., and Willis, D. W. (2000). Relative weight (Wr) status and current use in fisheries assessment and management. *Reviews in Fisheries Science* 8, 1-44.

Bolger, T., and Connolly, P. L. (1989). The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition. *Journal of Fish Biology* 34, 171-182.

Bonaldo, R. M., Krajewski, J. P., and Sazima, I. (2005). Meals for two: foraging activity of the butterflyfish *Chaetodon striatus* (Perciformes) in southeast Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 65, 211-215.

Bushnell, M. Reproduction of *Zebrasoma Flavescens*: Oocyte Maturation, Spawning Patterns, and an Estimate of Reproductive Potential for Female Yellow Tang in Hawai'i. (2007). PhD Thesis, University of Hawaii at Manoa. 79 p.

Calado, R. (2006). Marine ornamental species from European waters: A valuable overlooked resource or a future threat for the conservation of marine ecosystems? *Scientia Marina* 70, 389-398.

Carvalho-Filho, A. (1999). Peixes: Costa Brasileira. (Editora Melro: São Paulo). 316 p.

Ciiagro - Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas, São Paulo, (2015). Available at <http://www.ciiagro.sp.gov.br/> [Accessed November 2017].

Colin, P. L. (1989). Aspects of the spawning of western Atlantic butterfly fishes (Pisces: Chaetodontidae) *Environmental Biology of Fishes* 25, 131-141.

Colin, P. L., and Clavijo, I. E. (1988). Spawning activity of fishes producing pelagic eggs on a shelf edge coral reef, southwestern Puerto Rico. *Bulletin of Marine Science* 43, 249–279.

Driscoll, J. W., and Driscoll, J. L. (1988). Pair behavior and spacing in butterflyfishes (Chaetodontidae). *Environmental Biology of Fishes* 22, 29-37.

Eschmeyer, W. N., Fricke, R., and Van der Laan, R. (2018). Catalog of fishes: genera, species, reference. Available at <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp> [Accessed 22 de July 2018].

Floeter, S. R., Gasparini, J. L., Rocha, L. A., Ferreira, C. E. L; Rangel, C. A., and Feitoza, B. M. (2003). Brazilian reef fish fauna: checklist and remarks. *Brazilian Reef Fish Project*. 22 p.

Fowler, A. J. (1991). Reproductive biology of bisexual and all-female populations of chaetodontid fishes from the outhern Great Barrier Reef. *Environmental Biology of Fishes* 31, 261-274.

Franco, T. P., Araújo, C. E. O., and Araújo, F. G. (2014). Length–weight relationships for 25 fish species from three coastal lagoons in Southeastern Brazil. *Journal of Applied Ichthyology* 30, 248-250.

Fricke, H. W. (1986) Pair swimming and mutual partner guarding in monogamous butterflyfish (Pisces, Chaetodontidae): a joint advertisement for territory. *Ethology* 73, 307-333.

Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22, 241-253.

Froese, R., and Pauly, D. Editors. (2018). FishBase. World Wide Web electronic publication. Available at [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org), version [accessed at 28 November 2018].

Gharaibeh, B. M., and Hulings, N. C. (1990). The reproduction of *Chaetodon austriacus*, *C. fasciatus* and *C. paucifasciatus* (Chaetodontidae, Perciformes) in the Jordan Gulf of Aqaba. *Environmental Biology of Fishes* 29, 7-72.

Jager, H.I., Rose, K.A., and Vila-Gispert, A. (2008). Life history correlates and extinction risk of capital-breeding fishes. *Hydrobiologia* 602, 15-25.

Le Cren, E. D. (1951). The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *The Journal of Animal Ecology*, 201-219.

Lobel, P. S. (1989). Spawning behavior of *Chaetodon multicinctus* (Chaetodontidae); pairs and intruders. In 'The butterflyfishes: success on the coral reef.' pp. 125-130. (Springer, Dordrecht, Holand).

Longhurst, A. R., and Pauly, D. (2007). *Ecologia dos oceanos tropicais* (Edusp: São Paulo). 424 p.

Mahiques, M. M., Tessler, M. G., and Furtado, V. V. (1988). Characterization of Energy Gradient in Enclosed Bays of Ubatuba Region, South-eastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 47, 431-446.

Mcbride, R. S., Somarakis, S., Fitzhugh, G. R., Albert, A., Yaragina, N. A., Wuenschel, M. J., Alonso-fernández, A., and Basilone, G. (2015). Energy acquisition and allocation to egg production in relation to fish reproductive strategies. *Fish and Fisheries (Oxford)* 16, 23-57.

McConnell, R., and Lowe-McConnell, R. H. (1987). 'Ecological studies in tropical fish communities'. Cambridge University Press. 382 p.

Moorhead, J. A., and Zeng, C. (2010). Development of Captive Breeding Techniques for Marine Ornamental Fish *Research in Fisheries Science* 18, 315-343.

Morales, M. (2017). 'With code developed by the R Development Core Team, with general advice from the R-help listserv community and especially Duncan Murdoch (R package version 1.1-1).' Available at <https://CRAN.R-project.org/package=sciplot> [accessed 08 February 2018].

Motta, P. J. (Ed). (2012). The butterflyfishes: success on the coral reef. (Springer Science & Business Media: Berlin). 250 p.

Nagpure, N. S., Kumar, R., Srivastava, S. K., Kushwaha, B., Gopalakrishnan, A., and Basheer, V. S. (2006). Cytogenetic characterization of two marine ornamental fishes, *Chaetodon collare* and *Stegastes insularis*. *Journal of the Marine Biological Association of India* 48, 267-269.

Neudecker, S and Lobel, P. S (1982) Mating systems of Chaetodontid and Pomacanthid fishes at St. Croix. *Ethology* 59, 299-318.

Olivotto, I., Chemello, G., Vargas, A., Randazzo, B., Piccinetti, C. C., and Carnevali, O. (2017). Marine ornamental species culture: From the past to "Finding Dory". *Genetic Comparative and Endocrinology* 245, 116-121.

Olivotto, I., Holt, S. A., Carnevali, O., and Holt, J. G. (2006). Spawning, early development and first feeding in the Lemonpeel angelfish *Centropyge flavissimus*. *Aquaculture* 253, 270-278.

Olivotto, I., Planas, M., Simões, N., Holt, G. J., and Calado, R. (2011). Advances in breeding and rearing marine ornamentals. *Journal of the World Aquaculture Society* 42, 135-166.

Patiño, R., and Sullivan, C. V. (2002). Ovarian follicle growth, maturation, and ovulation in teleost fish. *Fish Physiology and Biochemistry* 26, 57-70.

Pires, A. M. S. (1992). Structure and dynamics of benthic megafauna on the continental shelf offshore of Ubatuba, southeastern Brazil. *Marine Ecology Progress Series* 86, 63-76.

Pires-Vanin, A. M. S., and Matsuura Y. (1993). Estrutura e função do ecossistema de plataforma continental da região de Ubatuba, Estado de São Paulo: uma Introdução. *Publicação Especial do Boletim do Instituto Oceanográfico* 10, 1-8.

Pope, K. L., and Willis, D. W. (1996). Seasonal influences on freshwater fisheries sampling data. *Reviews in Fisheries Science* 4, 57-73.

QGIS Development Team (2018). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.

R Core Team (2016). 'R: A language and environment for statistical computing version (Version 3.3.1)'. Available at <https://www.R-project.org/> [accessed 08 February 2018].

Ralston, S. (1981). Aspects of the reproductive biology and feeding ecology of *Chaetodon miliaris*, a Hawaiian endemic butterflyfish. *Environmental Biology of Fishes* 6, 167-176.

Rhyne, A. L., Tlusty, M. F., Schofield, P. J., Kaufman, L., Morris, J. A., Andrew, J. R. and Bruckner, W. (2012). Revealing the Appetite of the Marine Aquarium Fish Trade: The Volume and Biodiversity of Fish Imported into the United States. *PLoS ONE* 7. 7, e35808.

Tlusty, M. (2002). The benefits and risks of aquaculture production for the aquarium trade. *Aquaculture* 205, 203-219.



Tricas, T. C. (1986). Life history, foraging ecology, and territorial behavior of the Hawaiian butterflyfish, *Chaetodon multicinctus*. PhD Thesis, University of Hawaii, Honolulu. 223 p.

Tricas, T. C., and Hiramoto, J. T. (1989). Sexual differentiation, gonad development, and spawning seasonality of the Hawaiian butterflyfish, *Chaetodon multicinctus*. *Environmental Biology of Fishes*, 25, 111-124.

Vazzoler, A. E. A. M. (1996). Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teoria e prática. (Eduem: Maringá). 169 p.

Wootton, R. J. (1990). Ecology of teleost fishes (Springer, Dordrecht). 386 p.

Wootton, R., and J., Smith, C. (2014). 'Reproductive biology of teleost fishes'. (John Wiley & Sons). 496 p.

Zar, J. H. (1984). 'Biostatistical analysis.' (Prentice-Hall Editions: New Jersey). 718 p.

Zekeria, Z. A., Weertman, S., Samuel B., Kale-ab, T., and Videler, J. J. (2006). Growth of *Chaetodon larvatus* (Chaetodontidae: Pisces) in the southern Red Sea. *Marine Biology*, 148, 1113-1122.

## LEGENDAS DAS FIGURAS E TABELAS

Figura 1. Exemplar do peixe borboleta *Chaetodon striatus*.

Figura 2. Mapa da área de estudo em Ubatuba, São Paulo, Brasil. Costões rochosos da praia do Itaguá e da Ilha da Rapada.

Figura 3. Resultados da análise de variância (One-Way Anova) e do teste de Tukey para os índices Gonadossomático (IGS), Hepatossomático (IHS) e Viscerossomático (IVS) de indivíduos de *Chaetodon striatus* capturados de março de 2015 a junho de 2017, na praia do Itaguá e na ilha da Rapada, em Ubatuba, São Paulo, Brasil. Letras diferentes: houve diferença ( $p < 0,05$ ). A, C e E = Praia do Itaguá; B, D e F = Ilha da Rapada.

Figura 4. Distribuição de frequências percentuais de classes de comprimento para machos, fêmeas e indivíduos que não tiveram as gônadas analisadas histologicamente de *Chaetodon striatus* capturados no período de março de 2015 a junho de 2017.

Figura 5. Distribuição de frequências percentual de classes de comprimento para machos e fêmeas de *Chaetodon striatus* capturados no período de março de 2015 a junho de 2017 na Praia do Itaguá (A) e na Ilha da Rapada em Ubatuba (B), São Paulo, Brasil.

Tabela 1. Variáveis ambientais analisadas em Ubatuba, São Paulo, Brasil. Os valores são apresentados como média e desvio padrão.

Tabela 2. One-Way Anova calculada para os fatores abióticos registrados na praia do Itaguá em Ubatuba, São Paulo, Brasil, de março de 2015 a junho de 2017.

Tabela 3. Estatística descritiva de tamanhos e pesos de fêmeas e machos de *Chaetodon striatus* capturados no período de março de 2015 a junho de 2017 em Ubatuba, São Paulo, Brasil.

Tabela 4. Estatística descritiva dos parâmetros estimados da relação peso-comprimento e médias do fator de condição para a praia do Itaguá e Ilha da Rapada, machos e fêmeas e estações do ano de *Chaetodon striatus* em Ubatuba, São Paulo, Brasil.\* Apresentou diferença ( $p < 0,05$ ).

## FIGURAS E TABELAS



Figura 1

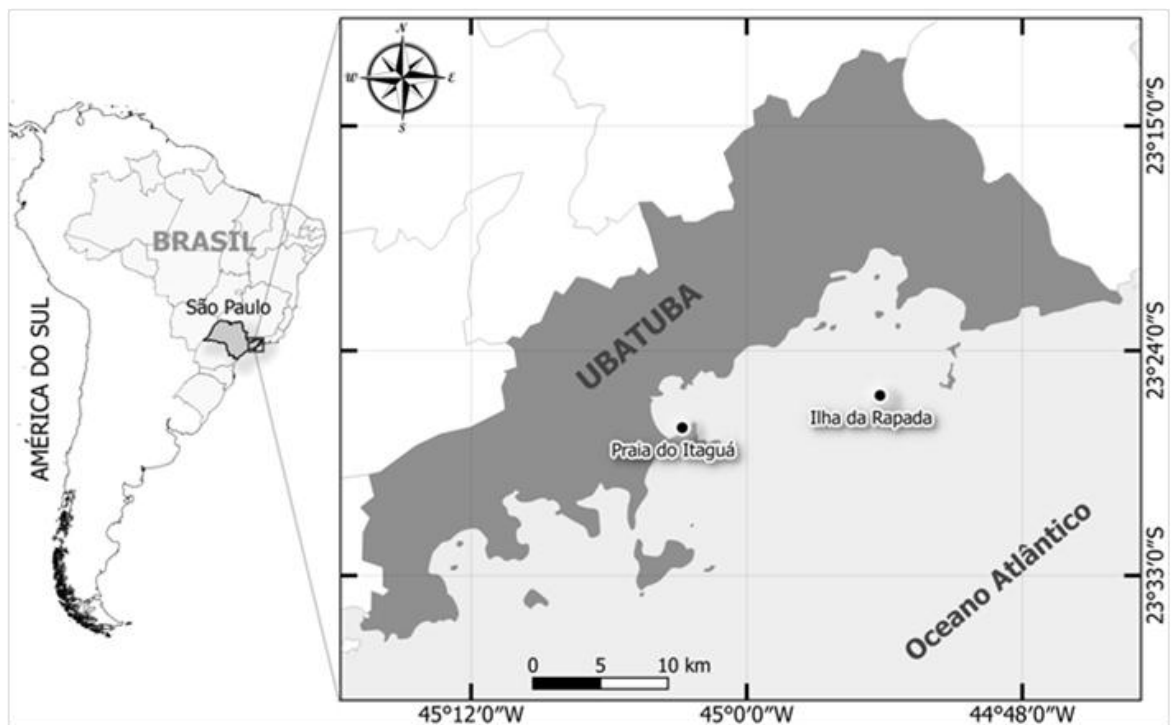


Figura 2

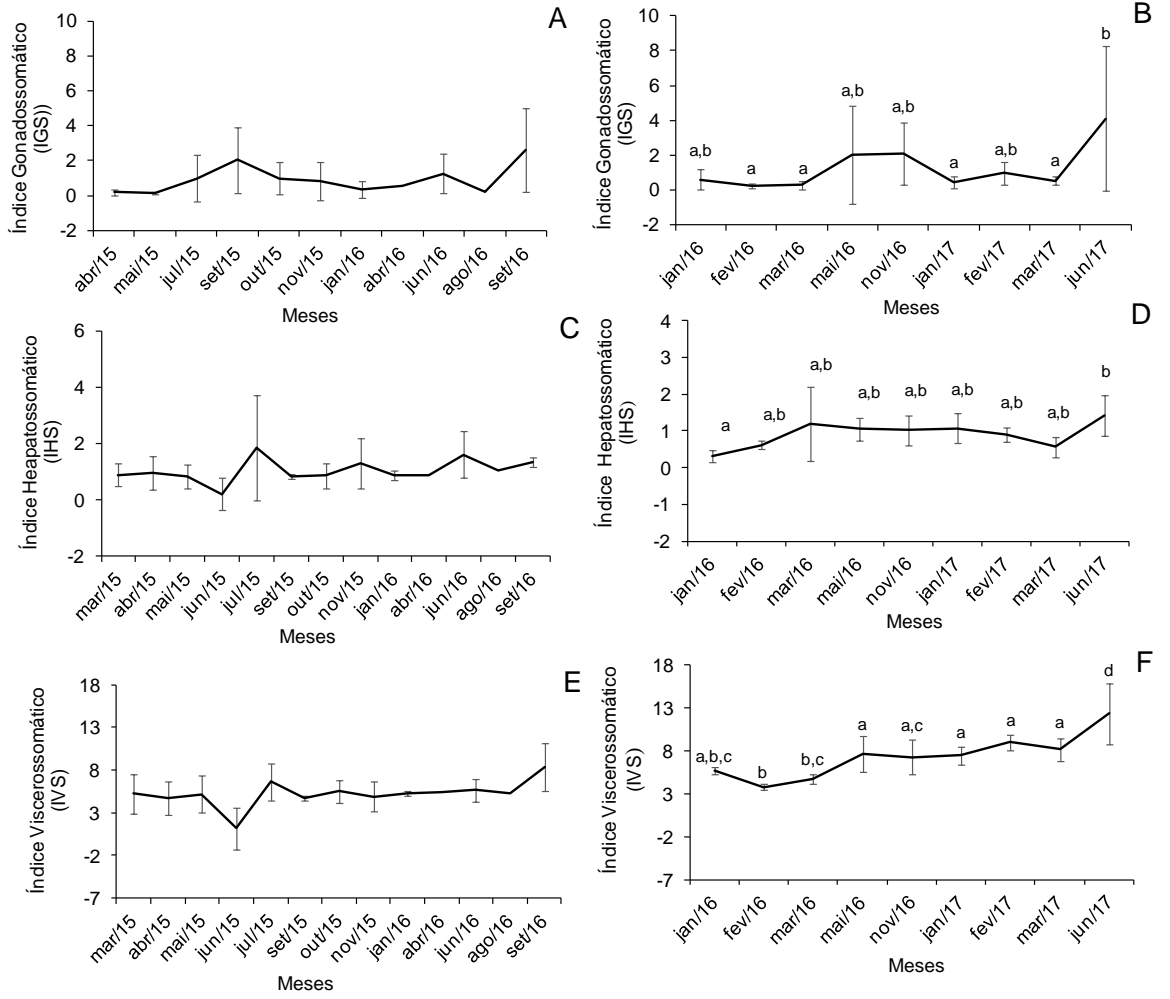


Figura 3

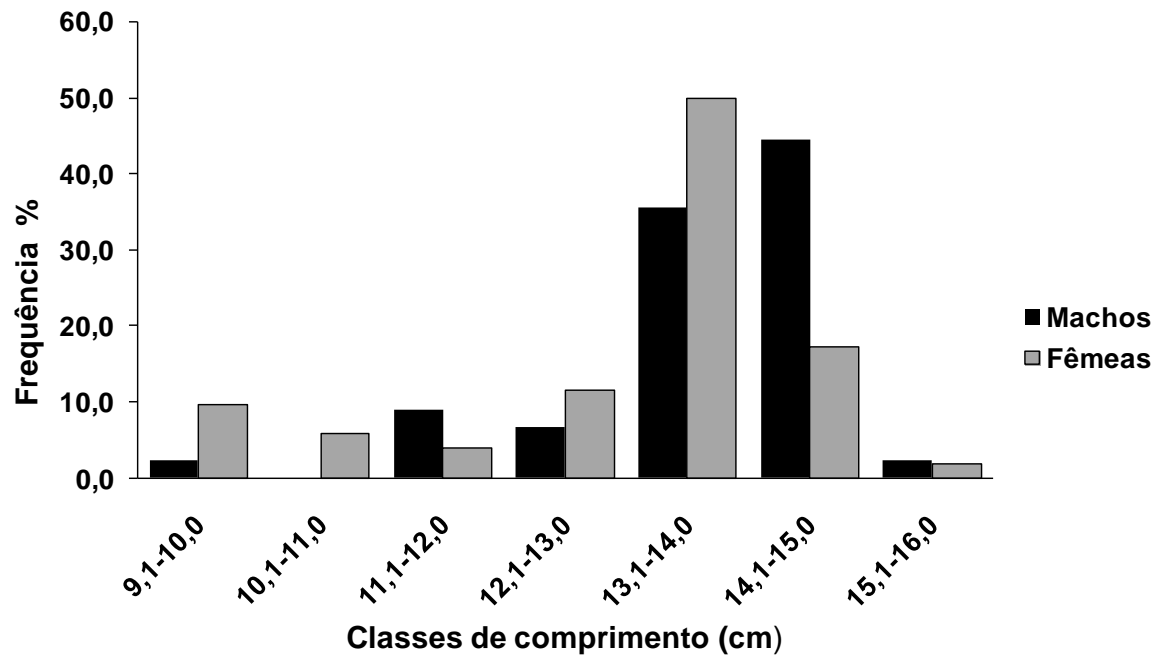


Figura 4

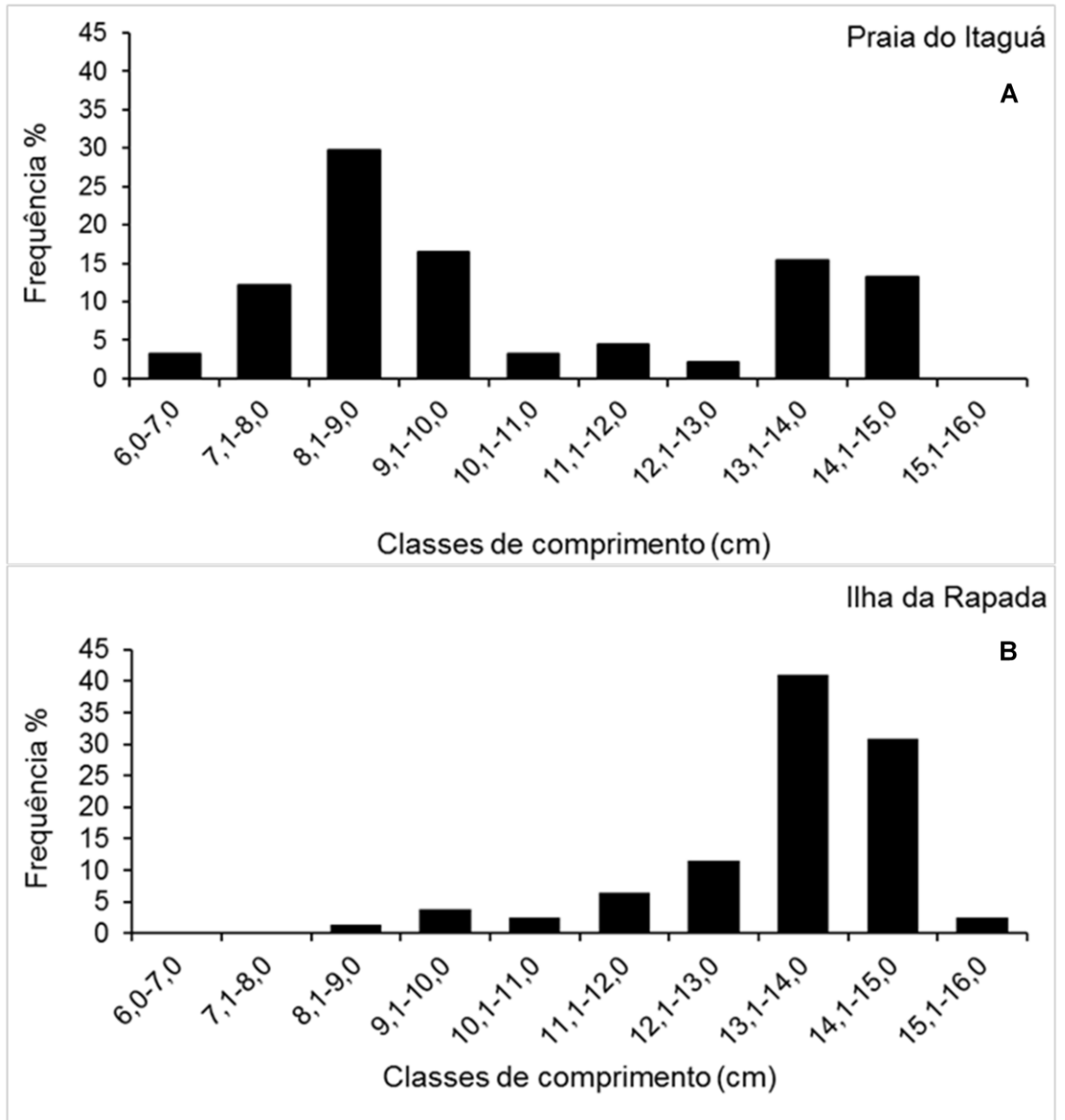


Figura 5

| Ano  | Estação   | Temperatura ar (°C) | Precipitação (mm) | Temperatura água (°C) | Salinidade (ppm) | Transparência (m) |
|------|-----------|---------------------|-------------------|-----------------------|------------------|-------------------|
| 2015 | Verão     | 24,7 ± 0            | 425,8 ± 0         | 30,0 ± 1,5            | 34,6 ± 0,9       | 2,6 ± 0,1         |
|      | Outono    | 21,3 ± 1,8          | 176,9 ± 39,6      | 24,4 ± 1,5            | 34,9 ± 0,6       | 2,4 ± 0,2         |
|      | Inverno   | 21,0 ± 1,0          | 79,7 ± 78,1       | 24,3 ± 0,3            | 36,1 ± 0,4       | 2,2 ± 0,03        |
|      | Primavera | 24,5 ± 1,1          | 246,0 ± 77,8      | 26,4 ± 0,5            | 33,5 ± 1,6       | 2,5 ± 0,3         |
| 2016 | Verão     | 24,4 ± 0,6          | 125 ± 109,2       | 28,4 ± 1,1            | 32,2 ± 0,5       | 2,9 ± 0,4         |
|      | Outono    | 21,6 ± 4,2          | 21,0 ± 18,5       | 26,2 ± 3,1            | 34,6 ± 1,7       | 2,8 ± 0,2         |
|      | Inverno   | 19,6 ± 1,0          | 57,9 ± 48,7       | 24,4 ± 0,9            | 32,1 ± 0,9       | 2,7 ± 0,5         |
|      | Primavera | 23,2 ± 1,7          | 256,5 ± 120,7     | 27,0 ± 0,7            | 33,6 ± 0,9       | 2,2 ± 0,5         |
| 2017 | Verão     | 25,8 ± 1,0          | 196 ± 271,4       | -                     | -                | -                 |
|      | Outono    | 21,0 ± 1,7          | 126,6 ± 37,4      | -                     | -                | -                 |

Tabela 1

| Parâmetro           | F              | p               |
|---------------------|----------------|-----------------|
| Temperatura da água | <b>12,815</b>  | <b>0,000068</b> |
| Salinidade          | 0,85           | 0,481895        |
| Transparência       | 1,880          | 0,165443        |
| Temperatura do ar   | <b>3,99592</b> | <b>0,024130</b> |
| Precipitação        | <b>9,078</b>   | <b>0,000706</b> |

Tabela 2

|        | Comprimento total(cm) |        |        | Peso total (g) |        |        |
|--------|-----------------------|--------|--------|----------------|--------|--------|
|        | Média ± DP            | Máximo | Mínimo | Média ± DP     | Máximo | Mínimo |
| Fêmeas | 13,0 ± 1,5            | 15,1   | 9,6    | 66,3 ± 23,4    | 122,8  | 21,4   |
| Machos | 13,7 ± 1,2            | 15,7   | 9,5    | 73,5 ± 20,1    | 112,2  | 21,2   |

Tabela 3

| Local/Sexo/Estação | Peso |       |       |    | Comprimento |      |       |                | Relação peso-comprimento linear |               |      |             | Fator de Condição |      |       |
|--------------------|------|-------|-------|----|-------------|------|-------|----------------|---------------------------------|---------------|------|-------------|-------------------|------|-------|
|                    | min  | max   | média | n  | min         | max  | média | R <sup>2</sup> | a                               | C1a           | b    | C1b         | min               | max  | média |
| Haguá              | 5,6  | 95,4  | 36,3  | 91 | 6,2         | 15,0 | 10,4  | 0,99           | 0,0236                          | 0,0194-0,0278 | 3,05 | 2,963-3,133 | 1,84              | 3,06 | 2,41  |
| Rapada             | 17,8 | 108,9 | 68,1  | 53 | 8,5         | 15,1 | 13,2  | 0,98           | 0,0168                          | 0,0103-0,0232 | 3,20 | 3,014-3,394 | 1,49              | 1,92 | 1,70  |
| Fêmeas             | 21,4 | 102,8 | 62,7  | 42 | 9,6         | 15,1 | 12,9  | 0,98           | 0,0223                          | 0,0130-0,0316 | 3,08 | 2,874-3,296 | 2,01              | 2,63 | 2,27  |
| Machos             | 21,2 | 99,0  | 69,4  | 33 | 9,5         | 15,7 | 13,7  | 0,98           | 0,0183                          | 0,0094-0,0271 | 3,14 | 2,888-3,394 | 1,64              | 2,19 | 1,83  |
| Outono             | 8,5  | 112,2 | 37,2  | 67 | 7,1         | 15,7 | 10,4  | 0,99           | 0,0226                          | 0,0167-0,0285 | 3,08 | 2,945-3,207 | 1,30              | 2,87 | 2,31  |
| Inverno            | 12,3 | 90,7  | 58,5  | 12 | 8,5         | 14,6 | 12,7  | 0,99           | 0,0145                          | 0,0064-0,0225 | 3,23 | 2,908-3,552 | 1,23              | 1,76 | 1,45  |
| Primavera          | 25,0 | 83,0  | 64,4  | 25 | 10,0        | 14,6 | 13,4  | 0,98           | 0,0297                          | 0,0150-0,0444 | 2,96 | 2,692-3,220 | 2,81              | 3,31 | 3,02  |
| Verão              | 5,6  | 122,8 | 59,3  | 58 | 6,2         | 15,0 | 12,2  | 0,98           | 0,0123                          | 0,0082-0,0163 | 3,33 | 3,174-3,495 | 0,97              | 1,67 | 1,25  |

Tabela 4



## ARTIGO 2

As citações e referências foram formatadas de acordo com as normas do periódico *Journal of Morphology*.

### **Desenvolvimento celular do epitélio germinativo durante a gametogênese feminina e masculina de *Chaetodon striatus***

#### **RESUMO**

O peixe borboleta *Chaetodon striatus* (Linnaeus, 1758) é altamente requisitado no mercado da aquarioria ornamental marinha. Porém, estudos básicos acerca da biologia reprodutiva da espécie em cativeiro encontram-se, até o momento, ausentes. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo analisar os aspectos reprodutivos estruturais das gônadas de *C. striatus* em cativeiro, através de técnicas histológicas. Foram realizadas capturas mensais dos exemplares durante um ano e meio em Ubatuba/SP. Os peixes coletados, transportados para o laboratório, foram eutanasiados e dissecados para retirada dos ovários e testículos, os quais foram processados para inclusão em historesina. Os cortes histológicos obtidos foram corados com Hematoxilina Férrica + Ácido Periódico de Schiff + Metanil Yellow, e com Método de Reticulina. Em *C. striatus*, o desenvolvimento oocitário e espermático seguem o padrão dos Teleostei. Os oócitos em final de crescimento secundário entraram em atresia. Durante o processo de atresia, notam-se folículos em diferentes etapas de degeneração, caracterizada pela progressiva perda da membrana basal e desorganização do envoltório folicular, com presença de corpos apoptóticos. Em estágio avançado de atresia folicular, há perda total da membrana basal, culminando com a degradação do complexo folicular. Já o epitélio germinativo masculino de *C. striatus*, mostrou-se ativo em todos os animais analisados. Seu testículo mantém

o padrão de organização como lobular irrestrito, característico de peixes mais derivados. Com os resultados obtidos, espera-se disponibilizar maiores informações sobre a biologia reprodutiva desta espécie, dados estes que até o presente momento são bastante escassos, embora os *Chaetodon* sejam espécies cosmopolitas.

**Palavras-chaves:** peixe ornamental marinho, morfologia de gônadas, oogênese, espermatogênese

## ABSTRACT

The butterflyfish *Chaetodon striatus* (Linnaeus, 1758) is highly sought after in the marine ornamental aquarium fishery. However, basic studies on the reproductive biology of captive species are still absent. In this context, this work aimed to analyze the structural reproductive aspects of the *C. striatus* gonads in captivity, through histological techniques. Monthly catches of the specimens were carried out during a year and a half in Ubatuba/SP. The collected fish, transported to the laboratory, were euthanized and dissected for removal of the ovaries and testes, which were processed for inclusion in historesin. The histological sections obtained were stained with Iron Hematoxylin + Periodic Acid of Schiff + Metanil Yellow, and with Reticulin Method. In *C. striatus*, oocyte and spermatid development follow the Teleostei pattern. The oocytes in late secondary growth went into atresia. During the process of atresia, follicles are noted in different stages of degeneration, characterized by progressive loss of basement membrane and follicular envelopment disorganization, with presence of apoptotic bodies. In the advanced stage of follicular atresia, there is total loss of the basement membrane, culminating with the degradation of the follicular complex. The male germinal epithelium of *C. striatus* was active in all the animals analyzed. Your testicle keeps the pattern of organization as unrestricted lobular, characteristic of more derived fish. With the results obtained, it is expected to provide more

information on the reproductive biology of this species, data that until now are very scarce, although the *Chaetodon* species are cosmopolitan.

**Keywords:** marine ornamental fish, morphology of gonads, oogenesis, spermatogenesis

## INTRODUÇÃO

Estudos básicos sobre aspectos reprodutivos de determinada espécie de peixe permitem a obtenção de dados primordiais imprescindíveis para o entendimento dos mecanismos que regem a perpetuação da espécie. Esse conhecimento sobre primeira maturação sexual, duração do ciclo reprodutivo, determinação da época reprodutiva e tipo de desova, permitem o entendimento e compreensão de sua capacidade reprodutiva (Murua & Saborido-Rey, 2003), bem como o desenvolvimento de novos experimentos acerca da viabilidade da espécie em cativeiro.

Neste aspecto, estas informações tornam-se especialmente importantes no que se refere ao entendimento da biologia de vida de espécies marinhas, principalmente aquelas de interesse econômico.

Dentre muitas espécies marinhas de destaque na aquariofilia, os peixes borboleta, pertencentes à família Chaetodontidae, possuem grande importância ornamental devido a sua atraente coloração e diferentes padrões morfológicos (Nagpure, 2006). Atualmente, a família possui 133 espécies, distribuídas em 12 gêneros presentes nos oceanos tropicais e subtropicais, sendo que o maior número de espécies pertence ao gênero *Chaetodon* (Eschmeyer, Fricke, & Van der Lann, 2018).

Embora os *Chaetodon* sejam espécies cosmopolitas, estando presentes em aquários do mundo inteiro, informações sobre os aspectos reprodutivos em muitas de suas espécies são ainda bastante escassas (Motta, 2012). Ainda assim, esses estudos não abordam com profundidade aspectos básicos da

biologia reprodutiva desses animais, como o desenvolvimento oocitário e testicular, tampouco a evolução do tecido gonadal feminino e/ou masculino durante o período de coleta e aclimatação em cativeiro.

Em peixes, a dinâmica reprodutiva em diferentes espécies de Teleostei pode ser avaliada utilizando ferramentas macro ou microscópicas como alterações no epitélio germinativo e diferenciação de células gaméticas (Grier, Uribe, & Parenti, 2007; Grier, Uribe-Aranzábal, & Patiño, 2009), observação e viabilidade dos gametas, quantificação do diâmetro de estruturas ou de células gonadais (Vazzoler, 1996), perfil de esteroides sexuais (Pandian, 2010), etc. Porém, independente dos métodos avaliativos, as características reprodutivas são importantes aspectos a serem considerados quando o objetivo é a manutenção de espécies fora de seu habitat natural. Em condições de cativeiro o processo de reprodução natural, muitas vezes não se completa (Mylonas, Fostier, & Zanuy, 2010) e disfunções reprodutivas são frequentes, o que torna o estudo básico relacionado à dinâmica reprodutiva de espécies em cativeiro bastante relevante.

Assim, considerando os diversos mecanismos que envolvem os eventos reprodutivos nos peixes, este trabalho teve por objetivo analisar as gônadas de *Chaetodon striatus* do Atlântico Sul, através de técnicas histológicas, proporcionando maiores informações sobre a biologia reprodutiva da espécie.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **1. Coleta dos espécimes**

As coletas dos exemplares de *Chaetodon striatus* foram realizadas em dois pontos distintos de Ubatuba-SP, utilizando métodos diferentes: 1) captura passiva através do uso de armadilhas do tipo covó, implantadas nos costões rochosos próximos à praia do Itaguá (23° 27' 05. 17" S 45° 02' 48. 49" O) e 2) captura ativa através de mergulho com puçás, na Ilha da Rapada (23° 25' 33. 44" S 44° 54' 10. 90" O). Os indivíduos foram coletados mensalmente, de novembro de 2015 a junho de 2017 através de mergulho com puçás e utilizando armadilhas do tipo covó, as quais foram confeccionadas em formato trapezoidal e em quadrado, revestidas de tela plástica amarrada com linha de Nylon multifilamento 0,5 mm, permanecendo semi-fixas no mar através de cordas, âncoras e poitas. A

profundidade de captura variou de 3 a 8 metros (conforme a variação entre as marés altas e baixas). Após a coleta, os espécimes foram transportados vivos em galões de 60 litros com água do mar para o Laboratório de Piscicultura Marinha do Instituto de Pesca, de Ubatuba/SP.

Os peixes permaneceram 3 dias em cativeiro, sendo inicialmente aclimatados, fazendo a troca gradativa da água usada no transporte pela água dos tanques onde iriam permanecer. Em seguida, os indivíduos foram distribuídos nos tanques em sistema de recirculação de água salgada, dotado de filtração mecânica ("bag" de 100 micra), de filtração química através do ozônio, skimmer e esterilização da água através de lâmpadas ultra-violeta (Figura 6). O sistema de recirculação de água salgada foi instalado em um galpão de alvenaria de 300 m<sup>2</sup>. A taxa de circulação dos tanques foi de 200%, ou seja, o volume total de água dos tanques foi renovado duas vezes ao dia. Os tanques foram sifonados todos os dias. A temperatura e salinidade da água foram mantidas com os mesmos parâmetros da água do mar. O fotoperíodo mantido no galpão foi de 12C:12E e salinidade a 35 ppm.

Durante o período de manutenção em cativeiro, os peixes foram alimentados com alimentos vivos (larvas de invertebrados, poliquetas e mexilhões), oriundos da região marinha local.

## **2.Preparação do Material para a Microscopia de Luz**

No laboratório, os peixes foram anestesiados com benzocaína (100mg/L de água) e após a analgesia profunda, os peixes foram eutanaziados de acordo com as normas da Comissão de Ética em Experimentação Animal do Instituto de Biociências de Botucatu (protocolo nº 805 - CEEA-IBB/UNESP), dissecados através da incisão de um bisturi a partir da abertura urogenital até a base da nadadeira peitoral e as gônadas foram retiradas. Estas foram fixadas em solução de Karnovsky (glutaraldeído 2% e paraformaldeído 4% em tampão Sorensen - 0,1 M a pH 7,2) por pelo menos 24 h. Após fixação, o material foi desidratado em uma série crescente de álcool etanol (70% por 4 horas; 95% por 4 horas), embebido e incluído em historesina (metacrilato glicol) – Leica historesin. Os cortes histológicos com 3 µm de espessura, obtidos em micrótomo equipado com navalhas de vidro, foram corados com Ácido Periódico de Schiff + Hematoxilina

Férrica + Metanil Yellow (MY) (Quintero-Hunter, Grier, & Muscato, 1991) e Método de Reticulina (Vidal, 1988). A documentação do material foi realizada a partir de um microscópio Biotika acoplado a um software de captura digital para microscopia (AmScope FMA050).

## RESULTADOS

### 1. Estrutura Ovariana e o Epitélio Germinativo Feminino

Os ovários de *Chaetodon striatus* são órgãos pares, cilíndricos e alongados que percorrem longitudinal e dorsalmente toda cavidade abdominal, desembocando na papila urogenital. Estão presos à parede dorsal desta cavidade por uma membrana de tecido conjuntivo, denominada de mesovário. Embora órgãos pares, os ovários de *C. striatus* são muito próximos um do outro, colocando-se numa disposição longitudinal em paralelo, sendo envoltos por uma espessa cápsula de tecido conjuntivo, que se torna congruente na região de intersecção entre ambos os ovários (Fig. 1). Além disso, os ovários de *C. striatus* são órgãos cavitários, delimitados internamente por um epitélio germinativo que margeia suas lamelas ovígeras, as quais estão voltadas para o lúmen ovariano (Figura 1).

#### 1.1. Desenvolvimento Oocitário

Em *Chaetodon striatus*, o epitélio germinativo feminino (Fig. 2A) é formado por células somáticas e células germinativas, em diferentes etapas de desenvolvimento. Em porções específicas do epitélio germinativo, há regiões de intensa atividade celular, denominadas de ninhos germinativos, nos quais ocorrem proliferação de oogônias, bem como seu recrutamento para entrada em meiose, originando os oócitos profásicos iniciais. Ao entrar em diplóteno, o oócito passa a apresentar uma forte basofilia próxima ao envoltório nuclear (Fig. 2A). Nesta etapa, as células somáticas epiteliais, denominadas de células pré-foliculares, colocam-se ao redor de cada oócito individualizando-o e dando origem a um folículo ovariano (Fig. 2B). Durante esse processo, as células foliculares iniciam a formação da membrana basal. Gradativamente, a membrana basal é sintetizada individualizando cada folículo ovariano.

Com a entrada e permanência do oócito em diplóteno, o oócito passa a apresentar um único nucléolo bastante desenvolvido (Fig. 2B). O citoplasma desses oócitos diplotênicos aumenta em volume tornando-se gradualmente mais basófilo, caracterizando o período de crescimento primário do oócito (Fig. 2C). Gradualmente, o citoplasma do oócito em crescimento primário torna-se cada vez maior e menos basofílico devido ao aumento da quantidade de organelas, que se distribuem por todo citoplasma (Fig. 2D).

Ao final do crescimento primário, é possível observar um acúmulo de gotículas de lipídeos no citoplasma do oócito, próximo ao limite nuclear (Fig. 2E). Numa próxima etapa, pequenas vesículas começam a ser formadas no citoplasma junto à membrana do oócitos de *Chaetodon striatus*, constituindo os alvéolos corticais, os quais são PAS positivos (Fig. 2F).

Após o aparecimento de alvéolos corticais, observa-se a deposição de grânulos de vitelo no citoplasma, marcando a entrada do oócito em crescimento secundário (Fig. 2G). Agora, as gotículas de lipídeos tornam-se mais numerosas, assim como os alvéolos corticais (Fig. 2G).

Ao longo do crescimento secundário, o oócito sofre um grande aumento de tamanho novamente, aumentando também o número de grânulos de vitelo, gotículas de lipídeos e alvéolos corticais em seu citoplasma (Fig. 2H). Ao final do crescimento secundário, o oócito mostra-se plenamente desenvolvido, apresentando seu tamanho máximo (Fig. 2I). Seu núcleo é central e seu citoplasma encontra-se totalmente preenchido por grânulos de vitelo. As gotículas de lipídeo permanecem individualizadas e espalhadas ao longo de todo o citoplasma, por entre os grânulos de vitelo (Fig. 2I).

Após o término do crescimento secundário, foi observado que os oócitos plenamente desenvolvidos entraram em atresia (Fig. 2J-L). Assim, foram observadas diferentes etapas de atresia folicular. Nestes folículos atrésicos, os grânulos de vitelo fundem-se parcialmente e se tornam fluidos, formando uma massa heterogênea vitelo (Fig. 2J-K). As gotículas de lipídeos que ora espalhavam-se por entre os grânulos de vitelo, também se fusionam parcialmente formando gotas maiores, porém, individualizadas (Fig. 2J-K). Ao final do processo de atresia, o folículo ovariano perde totalmente sua organização, tornando-se completamente desestruturado (Fig. 2L).

Não foi possível observar oócitos em maturação final nos ovários de *Chaetodon striatus* analisados.

Acompanhando o desenvolvimento do oócito, o envoltório folicular (Figura 3) também se desenvolve, caracterizando diferentes tipos de folículos ovarianos.

No início do crescimento primário, o oócito é envolto por uma única camada de células foliculares (Fig. 3A). À microscopia de luz, não é possível observar a presença da zona pelúcida neste estágio. Entretanto, à medida que o oócito segue seu crescimento primário, as células foliculares pavimentosas passam a sintetizar a zona pelúcida ao redor do oócito (Fig. 3B). Nesta etapa, a zona pelúcida é uma fina camada acelular, que em *Chaetodon striatus* responde positivamente ao PAS, indicando a presença de polissacarídeos neutros em sua constituição (Fig. 3C).

Precedendo o aparecimento de gotículas de lipídeos no citoplasma, o oócito em crescimento primário passa a ser envolvido por uma segunda camada de células – as células tecais (Fig. 3D). Nesta etapa, a zona pelúcida continua respondendo positivamente ao PAS. Concomitante ao aparecimento de gotículas de lipídeos e alvéolos corticais, a zona pelúcida mostra-se levemente mais espessa, respondendo ao PAS. Porém, agora, uma nova camada acelular que responde positivamente ao MY passa a ser observada ao redor do oócito, indicando a deposição de uma nova camada proteica junto à camada polissacarídica (Fig. 3E).

Ao entrar em crescimento secundário, a zona pelúcida dos oócitos de *Chaetodon striatus* torna-se ainda mais espessa, apresentando uma natureza glicoproteica, indicada pela sua resposta positiva ao PAS e ao MY (Fig. 3F). Ao final do crescimento secundário, a zona pelúcida atinge seu desenvolvimento máximo, mostrando-se bastante espessa (Fig. 3G). As células foliculares continuam pavimentosas por todo o desenvolvimento oocitário (Fig. 3A-G) e só alteram sua morfologia em períodos antecedentes à atresia folicular. Assim, durante a atresia, as células foliculares tornam-se cúbicas (Fig. 3H-I), apresentando núcleo arredondado e citoplasma vacuolizado (Figura 3I). Com a progressão da atresia, os folículos apresentam desestruturação de seus envoltórios (Fig. 3H-J). A zona pelúcida apresenta-se progressivamente mais tortuosa e desorganizada (Fig. 3H) até apresentar-se totalmente segmentada (Figura 3I) e não mais morfologicamente reconhecível (Fig. 3J). As células



foliculares entram gradualmente em morte celular, sendo detectadas pela presença de corpos apoptóticos ao longo do envoltório (Fig. 3H). Ao final do processo de atresia folicular, as células foliculares perdem conexão com sua membrana basal e misturam-se por entre os grânulos de vitelo e elementos da zona pelúcida em segmentação, os quais se encontram espalhados no citoplasma vestigial dos oócitos em degeneração (Fig. 3J).

## 1.2. A Membrana Basal e a Atresia Folicular

Em *Chaetodon striatus*, os compartimentos germinativo e intersticial dos ovários são separados por uma membrana basal contínua ao longo de todo o epitélio das lamelas ovígeras (Fig. 4).

As oogônias e cistos de oócitos profásicos, circundados por células somáticas, são individualizados pela membrana basal em vários conjuntos distintos ao longo do epitélio germinativo (Fig. 4A-B). Durante a formação do folículo ovariano, a membrana basal é sintetizada gradativamente individualizando cada folículo. Nesta etapa de formação de novos folículos, observa-se com frequência uma membrana basal única sendo compartilhada por dois folículos ovarianos (Fig. 4B-C).

À medida que se dá o desenvolvimento oocitário, os folículos ovarianos, envoltos por suas membranas basais contínuas com o restante do epitélio, projetam-se gradativamente para o estroma ovariano, porém permanecem isolados dos elementos intersticiais (Fig. 4D-F). Deste compartimento intersticial, células mesenquimais contactam os folículos ovarianos e diferenciam-se em células tecais, sobre a membrana basal do folículo (Fig. 4D-F). A membrana basal, marcada pela impregnação por prata, pelo Método de Reticulina, torna-se bastante evidente e contínua até o final do crescimento secundário do oócito (Fig. 4G-H). Entretanto, precedendo a atresia folicular, a membrana basal do oócito plenamente desenvolvido mostra-se segmentada e mais delgada (Fig. 4I-J), causando a degeneração do folículo (Fig. 4K). O folículo em início de atresia (Fig. 4L) passa a apresentar a membrana basal tortuosa e segmentada (Figura 4O-P), acompanhando a desorganização da zona pelúcida. A degeneração da membrana basal é progressiva, acompanhando o avanço da atresia folicular (Fig.

4M,Q), sendo que em estágio avançado de degeneração do folículo, não é mais possível visualizá-la à microscopia de luz (Fig. 4N,R).

### 1.3. Desenvolvimento Ovariano

Os ovários de *Chaetodon striatus* sofrem notáveis alterações na coloração, tamanho, volume e irrigação sanguínea ao longo da vida do animal, mostrando-se mais reduzidos e translúcidos, quando imaturos, e mais desenvolvidos e amarelados nos períodos de vitelogênese. Neste aspecto, foram descritos seis padrões gonadais femininos, caracterizando as etapas de desenvolvimento ovariano encontradas ao longo do período estudado: 1) regeneração ovariana; 2) desenvolvimento ovariano inicial; 3) desenvolvimento ovariano intermediário; 4) desenvolvimento ovariano final; 5) degeneração ovariana inicial e; 5) degeneração ovariana tardia.

**Regeneração Ovariana:** os ovários de *Chaetodon striatus* em Regeneração (Fig. 5A-C) apresentam grande quantidade de ninhos germinativos, constituídos por oogônias ou oócitos profásicos no epitélio, que reveste as lamelas ovígeras (Fig. 5B-C). Nesse período de desenvolvimento ovariano, além dos ninhos, são observados somente oócitos em crescimento primário ao longo de toda a gônada (Fig. 5A-C). Porém, não há oócitos em etapa final de crescimento primário (com gotículas de lipídeos ou alvéolos corticais). Não há também oócitos em crescimento secundário, porém foram observados alguns folículos atrésicos associados a grandes aglomerados de macrófagos. A túnica albugínea é bastante espessa, quando comparada às cápsulas ovarianas de ovários imaturos.

**Desenvolvimento Ovariano Inicial:** neste período de desenvolvimento, o ovário passa a apresentar oócitos em crescimento primário com gotículas de lipídeos e alvéolos corticais. Os primeiros oócitos em crescimento secundário em processo de vitelogênese inicial e intermediária podem ser observados (Fig. 5D-F), assim como alguns folículos atrésicos (Fig. 5E). O epitélio germinativo apresenta, em menor número, ninhos de oogônias e de oócitos profásicos (Fig. 5F).

**Desenvolvimento Ovariano Intermediário:** neste período, o ovário passa a apresentar um maior número de oócitos em crescimento secundário em

diversas etapas da vitelogênese, incluindo oócitos plenamente desenvolvidos, em vitelogênese final (Fig. 5G-I).

**Desenvolvimento Ovariano Final:** nesta etapa, há uma grande quantidade de oócitos em crescimento secundário, sendo a maioria deles encontrados em vitelogênese final (Fig. 5J), ou seja, já incorporaram em sua totalidade o vitelo necessário, porém ainda apresentam núcleo central (Fig. 5K). É possível observar alguns oócitos em vitelogênese inicial e intermediária, bem como oócitos em crescimento primário (Fig. 5J-K). Os ninhos germinativos tornam-se bastante escassos e os folículos atrésicos são observados com frequência (Fig. 5L).

**Degeneração Ovariana Inicial:** há uma grande quantidade de oócitos em crescimento secundário (Fig. 5M), porém a maioria se encontra em início de atresia folicular (Fig. 5N). Os oócitos plenamente desenvolvidos não conseguem prosseguir sua maturação final e acabam degenerando, apresentando desorganização dos envoltórios foliculares, característica dos folículos atrésicos (Fig. 5O). Não há presença de complexos pós-ovulatórios. Os oócitos em crescimento primário são encontrados em quantidades menores em relação a outras etapas (Fig. 5M-O).

**Degeneração Ovariana Tardia:** os folículos atrésicos são observados em grande quantidade (Fig. 5P), sendo que a maioria deles encontra-se em estágio avançado de degeneração (Fig. 5Q-R). Não há presença de complexos pós-ovulatórios. Os oócitos em crescimento primário estão em maior quantidade quando comparados ao período de degeneração ovariana inicial (Fig. 5P-R).

## 2. Estrutura Testicular e o Epitélio Germinativo Masculino

Os testículos de *Chaetodon striatus* são órgãos pares e ovalados, parcialmente fusionados no eixo medial por um tecido conjuntivo oriundo da túnica albugínea que os envolve externamente, formando uma cápsula. Os testículos estão localizados dorsalmente na cavidade abdominal, desembocando na papila urogenital. Encontram-se presos à parede dorsal desta cavidade por uma membrana de tecido conjuntivo, denominada de mesórquio.

Os testículos de *Chaetodon striatus* são formados por dois compartimentos: o intersticial e o germinativo (Fig. 6A-C), separados entre si por

uma membrana basal (Fig. 6D-F). O compartimento germinativo é formado por estruturas digitiformes, denominadas de lóbulos testiculares, que terminam em fundo cego na região periférica do testículo, caracterizando uma organização testicular do tipo lobular (Fig. 6A-B). Os cistos de espermatogônias, bem como os cistos de outras células germinativas, distribuem-se de forma aleatória e irrestrita ao longo do lóbulo testicular, caracterizando o testículo de *C. striatus* como lobular irrestrito (Fig. 6B-C). Esse padrão de organização testicular do tipo lobular é facilmente detectado ao se marcar a membrana basal do epitélio germinativo de *C. striatus* com o Método de Reticulina, pela impregnação por prata (Fig. 6D-F).

O compartimento germinativo em *Chaetodon striatus* é formado por células somáticas (células de Sertoli) e células germinativas em diferentes estágios de desenvolvimento, que se associam formando cistos germinativos (Fig. 6C). No interior dos cistos, inicia-se a espermatogênese. O processo no interior de cada cisto ocorre de forma sincrônica, ou seja, em cada cisto, as células germinativas encontram-se em uma mesma fase de desenvolvimento (Fig. 6C).

## 2.1. Desenvolvimento Testicular

Os testículos de *Chaetodon striatus* sofrem notáveis alterações na coloração, tamanho e volume ao longo da vida do animal, mostrando-se mais reduzidos e translúcidos, quando imaturos, e mais desenvolvidos e esbranquiçados nos períodos de reprodução. Neste aspecto, foram descritos cinco padrões gonadais masculinos (Figura 7), caracterizando as etapas de desenvolvimento testicular encontradas ao longo do período estudado: 1) desenvolvimento testicular; 2) apto à reprodução; 3) reprodução ativa; 4) regressão testicular; 5) regeneração testicular.

**Desenvolvimento Testicular:** nesta etapa, os testículos de *Chaetodon striatus* iniciam a espermatogênese (Fig. 7A-C). Cistos com células em diferentes etapas da espermatogênese (espermatogônias, espermatócitos, espermátides), podem ser encontrados (Fig. 7C). O lúmen dos lóbulos testiculares ainda são apresentam-se, na maioria das vezes, vazios, com quantidade bastante reduzida de espermatozoides (Fig. 7B-C). O epitélio germinativo é contínuo por todo o testículo (Fig. 7B-C). O interstício é delgado, formado por fibroblastos, fibras

colágenas e vasos sanguíneos (Fig. 7C). Os animais encontrados nesta etapa de desenvolvimento testicular não são capazes de se reproduzirem.

**Apto à reprodução:** por todo o testículo podem ser visualizados cistos em diferentes fases da espermatogênese (espermatogônias, espermatócitos e espermátides (Fig. 7D-F). O lúmen dos lóbulos testiculares, principalmente na região central do testículo, está totalmente preenchido por espermatozoides (Fig. 7D-F). Devido à liberação dos espermatozoides para o lúmen testicular, o epitélio germinativo torna-se progressivamente descontínuo (Fig. 7D-F), principalmente nas regiões próximas ao ducto espermático. Os animais encontrados nesta etapa de desenvolvimento testicular estão prestes a entrar em seu período reprodutivo.

**Reprodução Ativa:** neste período, os cistos de espermatogônias, espermatócitos e espermátides são pouco frequentes (Fig. 7G-I). O lúmen dos lóbulos testiculares mostra-se repleto de espermatozoides. Com o rompimento e abertura dos cistos para a liberação dos espermatozoides, o epitélio germinativo tende a se tornar totalmente descontínuo (Fig. 7G-I). Os animais encontrados nesta etapa de desenvolvimento testicular são capazes de se reproduzirem.

**Regressão Testicular:** esta etapa é caracterizada por apresentar cistos de espermatogônias e espermatócitos por todo testículo, além de espermatozoides residuais no lúmen dos lóbulos testiculares (Fig. 7J-L). No interstício, observa-se a presença de macrófagos associados à fagocitose dos espermatozoides residuais. Os animais encontrados nesta etapa de desenvolvimento testicular não são capazes de se reproduzirem, embora ainda haja espermatozoides no ducto testicular, porém em número insuficiente.

**Regeneração Testicular:** por todo o testículo, são encontrados apenas cistos de espermatogônias (Fig. 7M-O). O lúmen dos lóbulos testiculares é pequeno e apresenta espermatozoides residuais (Fig. 7O). O interstício mostra-se mais desenvolvido do que nas etapas anteriores (Fig. 7N-O). O epitélio germinativo passa a ser formado somente por cistos de espermatogônias, tornando-se contínuo novamente (Fig. 7O).

## DISCUSSÃO

### 1. Estrutura Ovariana e o Epitélio Germinativo Feminino

Os ovários de *Chaetodon striatus* aqui analisados apresentam os mesmos padrões de organização morfológica e posição anatômica encontrados na maioria dos Teleostei, sendo órgãos pares, cavitários e em formato de estrutura sacular. Esse formato estrutural determina a condição de um ovário do tipo cisto-ovário, no qual a cavidade ovariana é contínua ao gonoducto, que desemboca na papila urogenital (Nagahama, 1983; Selman & Wallace, 1986; Grier *et al.*, 2007). Externamente, os ovários de *C. striatus* apresentam uma notável cápsula de tecido conjuntivo, que, além de emitir septos para o interior do tecido ovariano, formando as lamelas ovígeras, como em outras espécies (Grier *et al.*, 2009; Lubzens, Young, Bobe, & Cerdà, 2010), permite uma união externa das gônadas na região mediana, fazendo com que os ovários permaneçam em posição paralela ao longo da cavidade abdominal do animal. Este tecido conjuntivo comporta-se como uma camada adventícia, sendo comum para os dois ovários, sem apresentar um mesotélio entre os mesmos.

Conforme esperado, os ovários de *Chaetodon striatus*, apresentam, internamente, um padrão comum de compartimentalização do tecido gonadal entre os Teleostei: um compartimento germinativo, constituído pelo epitélio germinativo, e um compartimento intersticial, formado pelos componentes do estroma ovariano subjacente, ambos separados por uma membrana basal (Grier, 2002; Grier *et al.*, 2007; Quagio-Grassiotto, Grier, Mazzoni, Nóbrega & Amorim, 2011; Mazzoni & Quagio-Grassiotto, 2017).

Fato comum a todos os Teleostei, a partir deste epitélio germinativo, dar-se-á a formação dos folículos ovarianos e desenvolvimento oocitário, por toda a vida reprodutiva do animal (ver Grier *et al.*, 2009 para revisão). Assim, ao iniciar seu crescimento primário, o oócito de *Chaetodon striatus* já se encontra totalmente envolto por suas células foliculares, que por sua vez sintetizam uma membrana basal ao redor do folículo ovariano, fato que pode ser detectado através do Método de Reticulina. O folículo ovariano é composto pela célula germinativa, ou seja, o oócito, e pelas células somáticas derivadas do epitélio, as células foliculares (Grier *et al.*, 2007; Lubzens *et al.*, 2010). Ao redor do folículo,

dispõem-se as células da teca, oriundas do estroma ovariano (Grier, 2000; Grier *et al.*, 2007; Mazzoni, Grier, & Quagio-Grassiotto, 2010), que juntamente ao folículo irão constituir o complexo folicular (Grier *et al.*, 2007).

A membrana basal intermedia a comunicação entre o compartimento germinativo e intersticial (Mazzoni, Grier & Quagio-Grassiotto, 2015). Sua ausência ou degradação faz com que o oócito entre em atresia e o epitélio germinativo seja degenerado (Mazzoni *et al.*, 2015). Essa informação pode explicar o fato dos folículos ovarianos de *Chaetodon striatus* entrarem em atresia no momento em que estão plenamente desenvolvidos, visto que sua membrana basal começa a ser segmentada nesta etapa, levando o folículo a uma progressão da atresia, de modo contínuo e irreversível. Outro fator a ser considerado é a presença de grande quantidade de granulócitos no epitélio germinativo dos ovários de *C. striatus*. Essas células só conseguiriam adentrar nos cistos germinativos após a quebra da membrana basal, que de fato acontece nesse período (Mazzoni *et al.*, 2015). Somando-se a isso, a ausência da membrana basal leva à degeneração das células epiteliais e dos cistos germinativos (Mazzoni *et al.*, 2015), o que explica o grande número de corpos apoptóticos no epitélio germinativo de *C. striatus*. Esses resultados sugerem que os granulócitos podem ter um papel importante na degradação da membrana basal também em *C. striatus*, conforme observado durante a remodelação do tecido gonadal de outras espécies de peixes (Santana & Quagio-Grassiotto, 2014; Mazzoni, Lo Nostro, Antoneli, & Quagio-Grassiotto, 2018).

Não nos é possível afirmar quais fatores levaram à degradação da membrana basal tanto no epitélio germinativo, como principalmente nos oócitos plenamente desenvolvidos de *Chaetodon striatus*. Porém pode-se supor que manejo dos animais tenha contribuído de forma significativa para o elevado número de atresia folicular e degeneração celular encontrados nas gônadas de *C. striatus*.

## **2. Estrutura Testicular e o Epitélio Germinativo Masculino**

A organização básica dos testículos é comum a todos os vertebrados, incluindo os Teleostei, apresentando função espermatogênica e androgênica

(Grier & Uribe, 2009; Schulz *et al.*, 2010). Os testículos, sejam eles tubulares ou lobulares, são divididos em dois compartimentos: o compartimento intersticial e o compartimento germinativo, os quais se encontram separados por uma membrana basal (Grier & Uribe, 2009; Schulz *et al.*, 2010). Em *Chaetodon striatus*, através do Método de Reticulina, foi possível classificar o padrão de organização testicular da espécie, como lobular irrestrito, conforme esperado para os grupos de peixes mais derivados na escala evolutiva, como os Perciformes (Parenti & Grier, 2004), ordem pertencente aos Chaetodontidae. Nestes animais aqui analisados, assim como nos demais Teleostei que apresentam testículo lobular irrestrito, os lóbulos se encerram em fundo cego na porção distal do testículo, e apresentam espermatogônias distribuídas aleatoriamente ao longo do epitélio germinativo (Parenti & Grier, 2004; Mazzoni, Grier, & Quagio-Grassiotto, 2014).

O epitélio germinativo masculino de *Chaetodon striatus* passa por mudanças morfofisiológicas ao longo da vida do animal que permitiu aqui a caracterização de etapas semelhantes às encontradas durante o ciclo reprodutivo de outros Teleostei. A presença ou ausência dos cistos germinativos ao longo do epitélio germinativo, o caracteriza como contínuo ou descontínuo (Grier & Taylor, 1998). Somado a isso, a presença em grande quantidade de espermatozoides no lúmen dos lóbulos testiculares de *C. striatus*, bem como a quantidade de cistos germinativos e as mudanças no compartimento intersticial, permitiram a identificação de exemplares potencialmente reprodutivos, durante o período estudado.

As análises histológicas dos testículos de *Chaetodon striatus*, ao longo dos períodos de desenvolvimento gonadal distintos observados neste estudo, estão de acordo com as fases reprodutivas comumente observadas para outras espécies de Teleostei (ver Brown-Peterson *et al.*, 2009 para revisão). Essa informação sustenta a hipótese de que os mecanismos de alterações do epitélio germinativo são conservados durante a evolução dos Teleostei, apresentando apenas pequenas modificações e adaptações decorrentes da biologia reprodutiva de cada espécie ou grupo.



## CONCLUSÃO

As gônadas da espécie *Chaetodon striatus* apresentam o mesmo padrão de alterações morfológicas no epitélio germinativo encontrado nos demais Teleostei, ao longo de seu ciclo reprodutivo, mostrando que esse processo mantém-se evolutivamente conservado entre os peixes, independente de sua posição na escala filogenética ou do hábitat marinho ou dulcícola em que vive.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto de Pesca – Base de Ubatuba. Aos biólogos Ana Paula dos Santos e Francisco Costa, aos médicos veterinários Veronica Takatsuka e Vitor Spandri e ao zootecnista Otávio Mesquita de Souza. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo financiamento por bolsa de estudos.

## REFERÊNCIAS

Brown-Peterson, N. J., Wyanski, D. M., Saborido-Rey F., Macewicz, B. J., & Lowerre-barbieri, S. K. A. (2011). Standardized terminology for describing reproductive development in fishes. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, p. 52-70.

Campbell, P. M., Pottinger, T .G., & Sumpter, J. P. (1994). Preliminary evidence that chronic confinement stress reduces the quality of gametes produced by brown and rainbow trout, *Aquaculture*, 120, 151-169.

Eschmeyer, W. N., Fricke., R. & Van der Laan, R (Ed.) Catalog of fishes: genera, species, reference. Disponível em: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. Acessado em 22 de julho 2018. [This version was edited by Bill Eschmeyer -

Recalculated with each new version; based on current literature, this provides all available species names, valid species, and species described in the last 10 years by family/subfamily].

Gowaty, P. A., Anderson, W. W., Bluhm, C. K., Drickamer, L. C., Kim, Y. K. & Moore, A. J. (2007). The hypothesis of reproductive compensation and its assumptions about mate preferences and offspring viability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 15023-15027.

Grier H. J., & Uribe M. C. (2009). The Testis and Spermatogenesis in Teleosts. In: Jamieson, B. J. M. (Ed): Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony Fishes): Phylogeny Reproductive System Viviparity Spermatozoa (802 p).

Grier H. J., Uribe M. C., & Patiño R. The ovary, folliculogenesis and oogenesis in teleosts. In: Jamieson, B. J. M. (2009). (Ed): Reproductive Biology and Phylogeny of Fishes (Agnathans and Bony Fishes): Phylogeny Reproductive System Viviparity Spermatozoa (802 p).

Grier, H. J., Uribe-Aranzábal, M. C., & Patino, R. (2009). The ovary, folliculogenesis, and oogenesis in teleosts. Reproductive biology and phylogeny of fishes (agnathans and bony fishes), 8, 25-84.

Grier, H. J. (2000). Ovarian germinal epithelium and folliculogenesis in the Common Snook, *Centropomus undecimalis* (Teleostei: Centropomidae). *Journal of Morphology*, 243, 265-281.

Grier, H. J. (2002). The germinal epithelium: its dual role in establishing male reproductive classes and understanding the basis for indeterminate egg production in female fishes. In: Proceedings of the fifty-third annual Gulf and Caribbean Fisheries Institute (537-552 p.). Fort Pierce: Mississippi/Alabama Sea Grant Consortium.

Grier, H. J., & Taylor, R. G. (1998). Testicular maturation and regression in the common snook. *Journal of Fish Biology*, 53, 521-542.

Grier, H. J., Uribe, M. C., & Parenti, L. R. (2007). Germinal epithelium, folliculogenesis, and postovulatory follicles in ovaries of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792) (Teleostei, Protacanthopterygii, Salmoniformes). *Journal of Morphology*, 268, 293-310.

Lubzens, E., Young, G., Bobe, J., & Cerdà, J. (2010). Oogenesis in teleosts: How fish eggs are formed. *Genetic Comparative and Endocrinology*, 165, 367-389.

Mazzoni, T. S., & Quagio-Grassiotto, I. (2017). Ovary Differentiation and Activity in Teleostei Fish. Chapter 7. In: *Theriogenology* (RP Carreira, ed). InTech. p. 129-156.

Mazzoni, T. S., Grier, H. J., & Quagio-Grassiotto I. (2010). Germline cysts and the formation of the germinal epithelium during the female gonadal morphogenesis in *Cyprinus carpio* (Teleostei: Ostariophysi). *The Anatomical Record*, 293, 1581-1606.

Mazzoni, T.S., Grier, H.J., & Quagio-Grassiotto, I. (2014). Male gonadal differentiation and the paedomorphic evolution of the testis in Teleostei. *The Anatomical Record*, 297, 1137-1162.

Mazzoni, T. S., Grier, H. J., & Quagio-Grassiotto, I. (2015). The basement membrane and the sex establishment in the juvenile hermaphroditism during gonadal differentiation of the *Gymnocorymbus ternetzi* (Teleostei: Characiformes: Characidae). *The Anatomical Record*, 298, 1984-2010.

Mazzoni, T. S., Lo Nostro, F. L., Antoneli, F. A., & Quagio-Grassiotto I. (2018). Action of the Metalloproteinases in Gonadal Remodeling during Sex Reversal in the Sequential Hermaphroditism of the Teleostei Fish *Synbranchus marmoratus* (Synbranchiformes: Synbranchidae), *Cells*, 7, 34-60.

Motta, P.J. (Ed.). (2012). *The butterflyfishes: success on the coral reef*. (251 p). Springer Science & Business Media.

Murua, H., & Saborido-Rey, F. Female reproductive strategies of marine fish species of the North Atlantic. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 33: 23-31.

Mylonas, C. C., Fostier, A., & Zanuy, S. (2010). Broodstock management and hormonal manipulations of fish reproduction. *General and comparative endocrinology*, 3, 516-534.

Nagahama, Y. (1983). The functional morphology of teleost gonads. In: Fish physiology. (223-275 p). (Hoar, W.S.; Randall, D.J.; Donaldson, E.M., eds.). New York: Academic Press.

Pandian, T. J. (2010). *Sexuality in fishes*. (189 p.). FL: Science Publishers.

Parenti L. R., & Grier, H. J. (2004). Evolution and phylogeny of gonad morphology in bony fishes. *Integrative and Comparative Biology*, 44, 333-348.

Quagio-Grassiotto, I., Grier, H. J., Mazzoni, T. S., Nóbrega, R. H., & Amorim, J. P. A. (2011). Activity of the ovarian germinal epithelium on the follicle formation and the oocyte development in the freshwater catfish *Pimelodus maculatus* (Teleostei: Ostariophysi: Siluriformes). *Journal of Morphology*, 272, 1290-1306.

Quintero-Hunter, I., Grier, H., & Muscato, M. (1991). Enhancement of histological detail using Metanil Yellow as counterstain in periodic acid/Schiff's hematoxylin staining of glycol methacrylate tissue sections. *Biotechnic & Histochemistry*, 66, 169-172.

Santana, J. C., & Quagio-Grassiotto, I. (2014). Extracellular matrix remodeling of the testes through the male reproductive cycle in Teleostei fish. *Fish Physiology and Biochemistry*, 40, 1863–1875.

Schulz, R. W.; França, L. R., Lareyre, J. J., Legac, F., Chiarini-Garcia, H., Nóbrega, R. H., & Miura T. (2010). Spermatogenesis in fish. *General and Comparative Endocrinology*, 165, 390-411.

Selman, K., & Wallace, R. A. (1986). Gametogenesis in *Fundulus heteroclitus*. *American Zoologist*, 26, 173-192.

Vidal, B. C. (1988). Histochemical and anisotropical properties characteristics of silver impregnation: The differentiation of reticulin fibers from the other interstitial collagens. *Zoologische Jahrbücher*, 117, 485-494.

## LEGENDAS DAS FIGURAS

Figura 1. Corte transversal dos ovários (ov) de *Chaetodon striatus*, mostrando o compartilhamento do tecido conjuntivo na região de intersecção da túnica albugínea (ta) (A) em diferentes períodos do desenvolvimento gonadal (A-C). Lúmen ovariano (lu), lamela ovígera (la). Coloração: MY. Barra: 600µm.

Figura 2. Corte histológico dos ovários de *Chaetodon striatus*, mostrando o desenvolvimento oocitário. A) Epitélio germinativo (ge) com ninhos germinativos. B) Oócitos em diferentes estágios ao longo do crescimento primário. C) Detalhe de oócito em crescimento primário (cp) com nucléolo (nu) bastante desenvolvido no núcleo (n). D) Oócito em crescimento primário envolto por células foliculares (f) apresentando um maior tamanho e queda na basofilia citoplasmática. Os nucléolos começam a reduzir seus tamanhos. E) Oócito em crescimento primário apresentando as primeiras gotículas de lipídeo (gl). A zona pelúcida (zp) torna-se evidente. F) Oócito em crescimento primário apresentando os primeiros alvéolos corticais (ac). A teca (t) torna-se evidente. G) Oócito em crescimento secundário

em início de vitelogênese. Inicia-se a deposição de grânulos de vitelo (v) no citoplasma. H) Oócito em crescimento secundário em vitelogênese intermediária. A zona pelúcida torna-se mais desenvolvida. I) Oócito em crescimento secundário plenamente desenvolvido. Notar os grânulos de vitelo e as gotículas de lipídeo em grande quantidade. O núcleo (n) permanece no centro do oócito. J-L) Folículos atrésicos em diferentes etapas de degeneração. Notar a desorganização dos envoltórios foliculares e a fusão parcial dos grânulos de vitelo. Coloração: MY. Barra: 20µm (C-F), 40µm (A,B,G), 70µm (H,J-L), 100µm (I).

Figura 3. Corte histológico dos ovários de *Chaetodon striatus*, mostrando os envoltórios foliculares de cada tipo de oócito. A) Oócito em crescimento primário (cp) envolto apenas por células foliculares (f). B) Início da síntese de zona pelúcida (zp) ao redor do oócito em crescimento primário. Notar as células foliculares pavimentosas formando o folículo. C) A zona pelúcida ao redor do oócito torna-se mais fortemente PAS positiva. D) Além da zona pelúcida e das células foliculares, é possível observar a presença das células tecais (t). E) Oócito em crescimento primário com a presença de gotículas de lipídeo (gl) e alvéolos corticais (ac). Neste oócito, a zona pelúcida passa a apresentar duas camadas, sendo uma PAS positiva e a outra marcada em MY. F-G) Oócito em crescimento secundário. Notar o espessamento da zona pelúcida. H) Envoltório do folículo atrésico (fa) em início de degeneração. Notar a tortuosidade da zona pelúcida, que ainda se mantém contínua. As células foliculares passam a apresentar corpos apoptóticos (ca). I) Folículo atrésico com zona pelúcida já segmentada. Notar a vacuolização das células foliculares. J) Folículo atrésico em estágio final de degeneração. Notar a perda total dos envoltórios foliculares. Núcleo (n). Coloração: MY. Barra: 10µm (A-F), 7µm (G-J).

Figura 4. Corte histológico dos ovários de *Chaetodon striatus*, mostrando a membrana basal ao redor dos folículos ovarianos, através de impregnação por prata. A) Lamelas ovígeras formadas por oócitos em crescimento primário (cp) delimitados pela membrana basal (seta). B) Detalhe de A, mostrando o epitélio germinativo (eg), com cistos germinativos apoiados sobre a membrana basal. C) Detalhe de A, mostrando a membrana basal bastante desenvolvida ao redor do oócito. D) Lamelas ovígeras formadas por oócitos em crescimento primário e em

crescimento secundário (cs). E-F) Detalhes de D, mostrando a membrana basal ao redor do oócito em crescimento secundário, acompanhado pelas células foliculares (f). G) Ovário com grande quantidade de oócitos em crescimento secundário, plenamente desenvolvidos. H-J) Detalhes de G, mostrando o espessamento gradual da zona pelúcida (zp) e a membrana basal. Notar que em H, a membrana basal é contínua, porém progressivamente vai se segmentando (I e J), conforme ocorre o desenvolvimento do oócito, indicando que este entrará em atresia. K) Ovário com grande quantidade de folículos atrésicos (fa). L) Folículos atrésicos, em início de degeneração. M) Folículo em estágio de atresia mais avançado que em L. N) Folículo atrésico em final de degeneração. Notar que não há mais nenhuma organização folicular. O-P) Detalhes de L, mostrando a zona pelúcida e membrana basal bastante tortuosas e em início de segmentação. Q) Detalhe de M, mostrando poucos segmentos restantes da membrana basal. R) Detalhe de N, mostrando a ausência total de membrana basal (seta) ao redor do folículo atrésico em estágio avançado de degeneração. Núcleo (n), túnica albugínea (ta). A) Coloração: Método de Reticulina. Barra: 70µm (A), 50µm (B,E,L), 20µm (C,N), 100µm (D,G,K), 10µm (F,H-J,M,O-R).

Figura 5. Corte histológico transversal dos ovários de *Chaetodon striatus*, mostrando os padrões gonadais femininos encontrados, que caracterizam as etapas de desenvolvimento ovariano. A-C) Regeneração ovariana. A) Notar a espessa túnica albugínea (ta) que envolve o ovário, o qual apresentam um lúmen (lu) central. B) As lamelas ovígeras (la) se projetam em direção ao lúmen ovariano, sendo margeadas pelo epitélio germinativo. C) No interior das lamelas ovígeras, nota-se a presença apenas de oócitos em crescimento primário (cp). D-F) Desenvolvimento ovariano inicial. Neste período, o ovário é formado por uma grande quantidade de oócitos em crescimento primário, mas tem início o crescimento secundário oocitário (cs). É possível observar a presença de folículos atrésicos (fa). E-F) Detalhes de D, mostrando o epitélio germinativo. G-I) Desenvolvimento ovariano intermediário. Nesta etapa, é possível observar oócitos plenamente desenvolvidos. Os oócitos em crescimento secundário também aumentam em número e em tamanho. H-I) Detalhes de G, mostrando os oócitos em crescimento secundário plenamente desenvolvidos e o epitélio germinativo. J-L) Desenvolvimento ovariano final. Neste período, o ovário se prepara para uma

possível desova. O número de oócitos em crescimento secundário plenamente desenvolvidos supera o número de oócitos em crescimento primário. K-L) Detalhes de J mostrando os oócitos em crescimento secundário e o aumento dos folículos atrésicos. M-O) Degeneração ovariana inicial. Notar a grande quantidade de oócitos em crescimento secundário, porém a maior parte, em início de atresia. N-O) Detalhes de M, mostrando a perda de organização dos folículos e de seus envoltórios. P-R) Degeneração ovariana tardia. Nesta etapa, os folículos atrésicos se encontram em estágio avançado de degeneração. Q-R) Detalhes de P, mostrando a perda total dos envoltórios foliculares. Epitélio germinativo (eg). Coloração: MY. Barra: 200µm (A,D,G,J,M,P), 100µm (B,E,H,K,N,Q), 50µm (C,F,I,L,O,R).

Figura 6. Corte histológico sagital dos testículos de *Chaetodon striatus*, mostrando o tipo de organização testicular. A) Visão geral do testículo. Notar a disposição dos compartimentos germinativo e intersticial (in), formando os lóbulos testiculares (lo). B-C) Detalhes de A, mostrando os lóbulos testiculares, delimitados por um tecido conjuntivo que forma o compartimento intersticial. C) Detalhe de A, mostrando o epitélio germinativo masculino (eg), constituído por cistos de células germinativas em diferentes etapas de diferenciação. Notar a distribuição das espermatogônias (g) ao longo de todo o epitélio germinativo, caracterizando um testículo lobular do tipo irrestrito. D) Visão geral do testículo, corado com impregnação por prata, mostrando a disposição da membrana basal (seta) ao longo do tecido gonadal. E-F) Detalhes de D, mostrando os lóbulos testiculares, formado pelo epitélio germinativo que se encontra apoiado sobre a membrana basal. Espermatócito (ct), espermátide (et), espermatozoide (z) Coloração: MY (A-C), Método de Reticulina (D-F). Barra: 200µm (A,D), 100µm (B,E), 20µm (C,F).

Figura 7. Corte histológico sagital dos testículos de *Chaetodon striatus*, mostrando os padrões gonadais masculinos encontrados, que caracterizam as etapas de desenvolvimento testicular. A-C) Desenvolvimento testicular. Os lóbulos testiculares (lo) são formados por um epitélio germinativo (eg) contínuo, constituído por cistos (ci) de espermatogônias (g), espermatócitos (ct) e espermátides (et). O lúmen testicular (lu) é bastante amplo, com quantidade



escassa de espermatozoides (z). Notar o compartimento intersticial (in) entre dois lóbulos adjacentes. D-F) Apto à reprodução. Os testículos tornam-se mais desenvolvidos e os lóbulos testiculares passam a ser preenchidos por grande quantidade de espermatozoides. F) Detalhes de D, mostrando o epitélio germinativo, que varia de contínuo a descontínuo. G-I) Reprodução ativa. Nesta etapa, o testículo produz grande quantidade de espermatozoide e o animal está pronto para a reprodução. I) Detalhe de G, mostrando o lúmen totalmente preenchido por espermatozoides e o epitélio, formando apenas por espermatogônias e células de Sertoli (S), agora é totalmente descontínuo. J-L) Regressão testicular. Após o período reprodutivo, o testículo apresenta uma redução do tamanho, aparentando uma desorganização no tecido gonadal. K) No ducto testicular (du), observam-se espermatozoides residuais. O compartimento intersticial é formado por um tecido conjuntivo mais frouxo do que nas etapas anteriores. L) No compartimento germinativo, é possível observar alguns cistos de espermatogônias e espermatócitos remanescentes, assim como espermatozoides residuais no lúmen testicular. M-O) Regeneração testicular. Após o período reprodutivo e regressão do tecido gonadal, o testículo apresenta uma redução acentuada dos lúmens testiculares. N-O) O interstício torna-se mais desenvolvido, possibilitando a detecção de células de Leydig (L) mostradas em O. O) O epitélio germinativo, novamente contínuo, é formado apenas por cistos de espermatogônias. No lúmen testicular, notam-se a presença ainda de espermatozoides residuais. Esta etapa é marcada por intensa proliferação das espermatogônias para reconstituir o epitélio germinativo. Coloração: MY. Barra: 200 $\mu$ m (A,D,G,J,M), 100 $\mu$ m (B,E,H,K,N), 40 $\mu$ m (C,F,I,L,O).

## LISTA DE FIGURAS

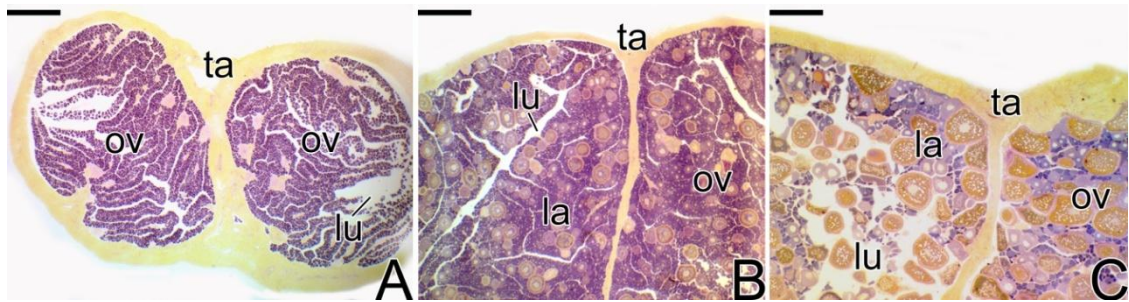


Figura 1

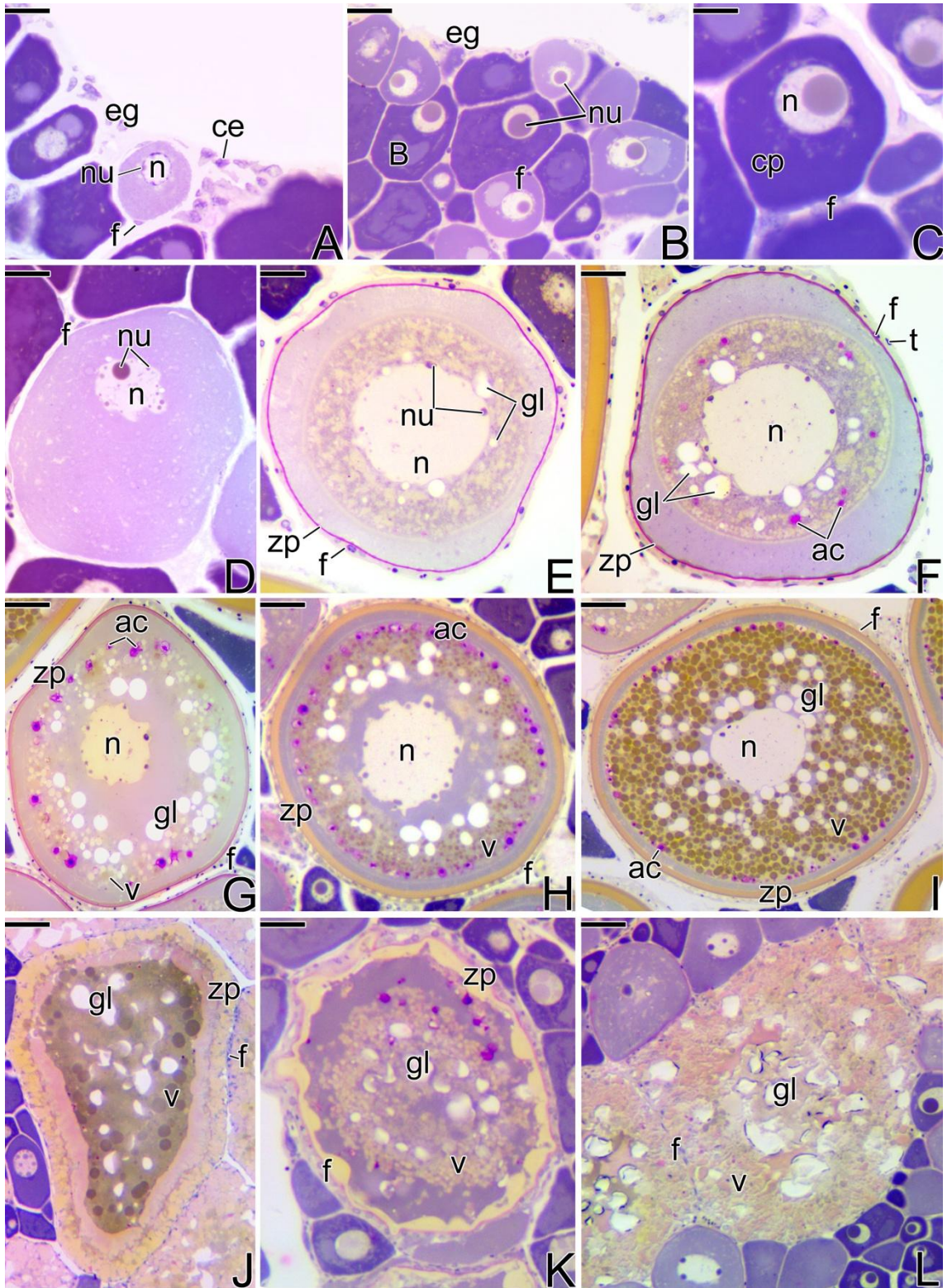


Figura 2



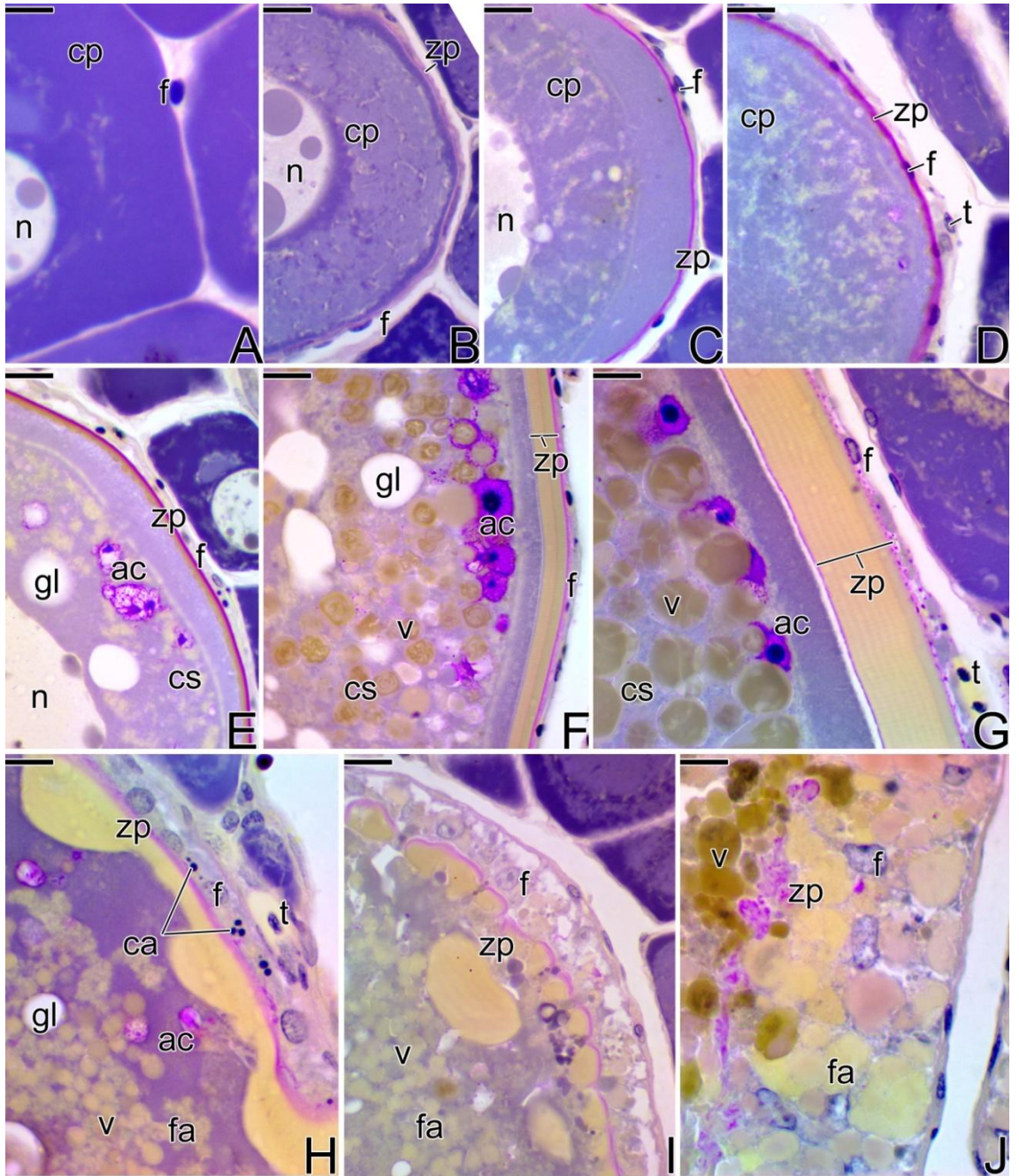


Figura 3



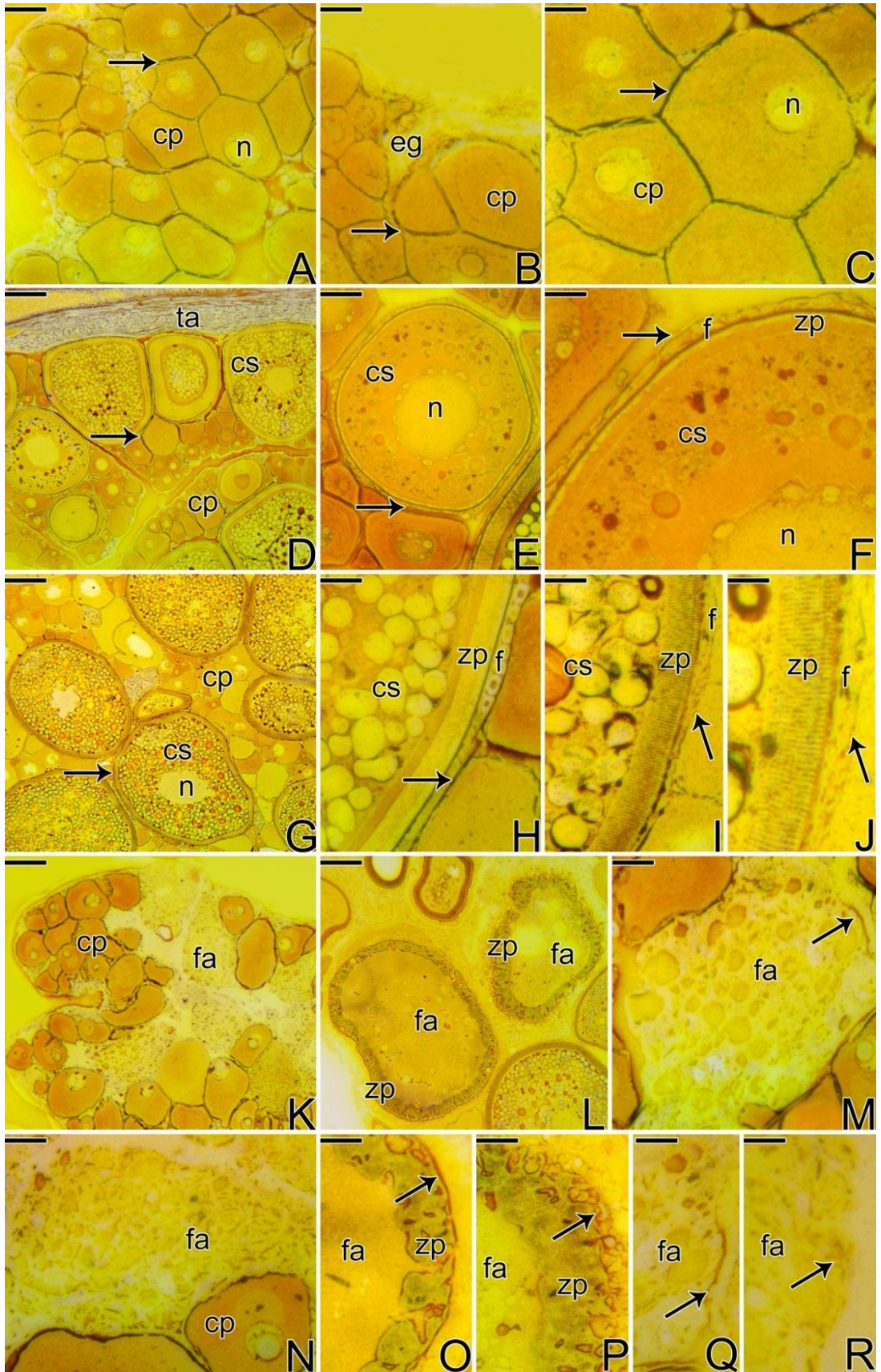


Figura 4



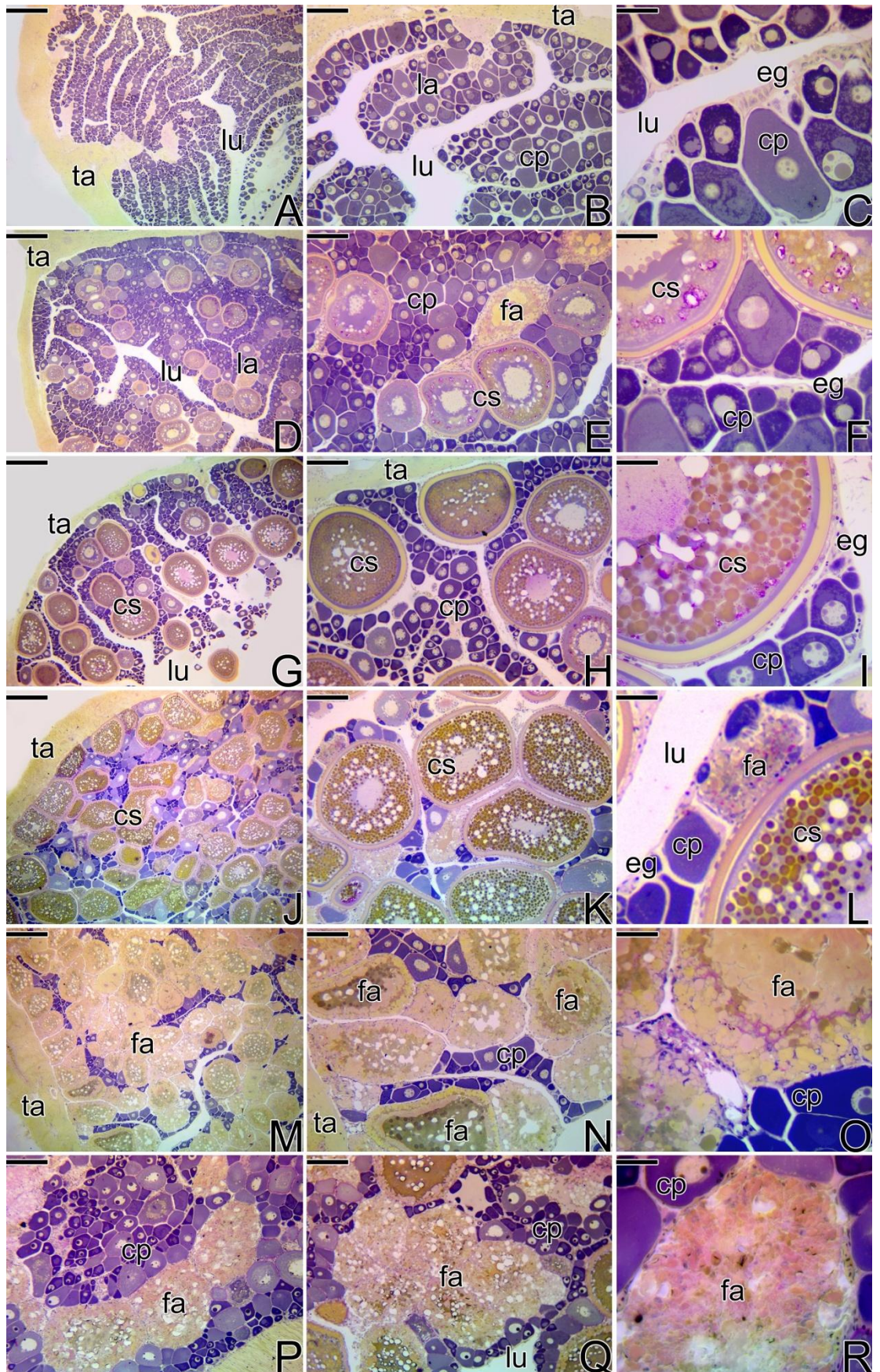


Figura 5



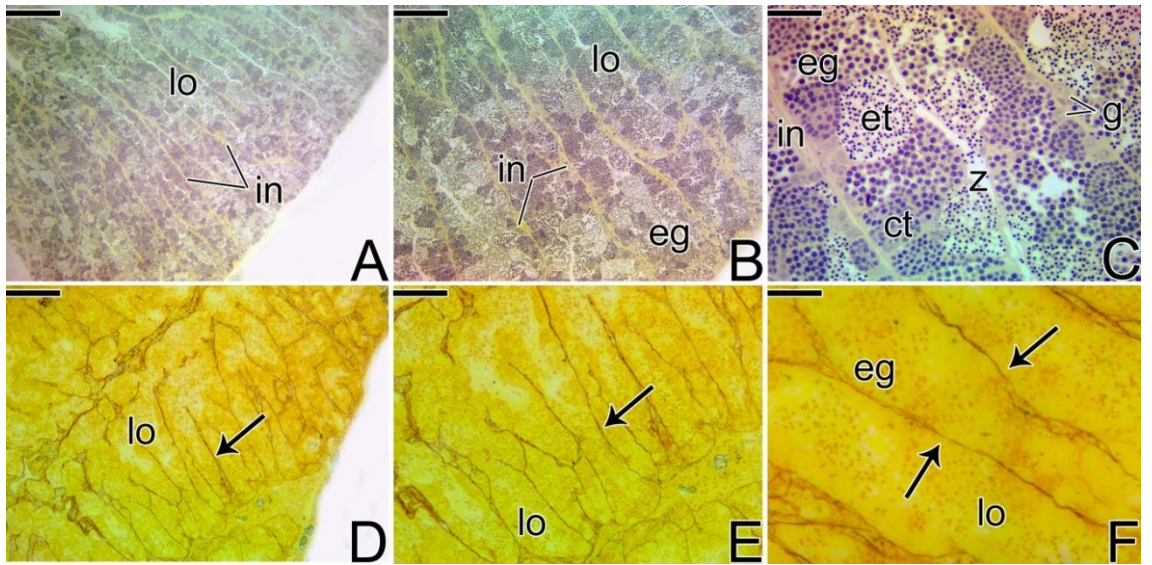


Figura 6



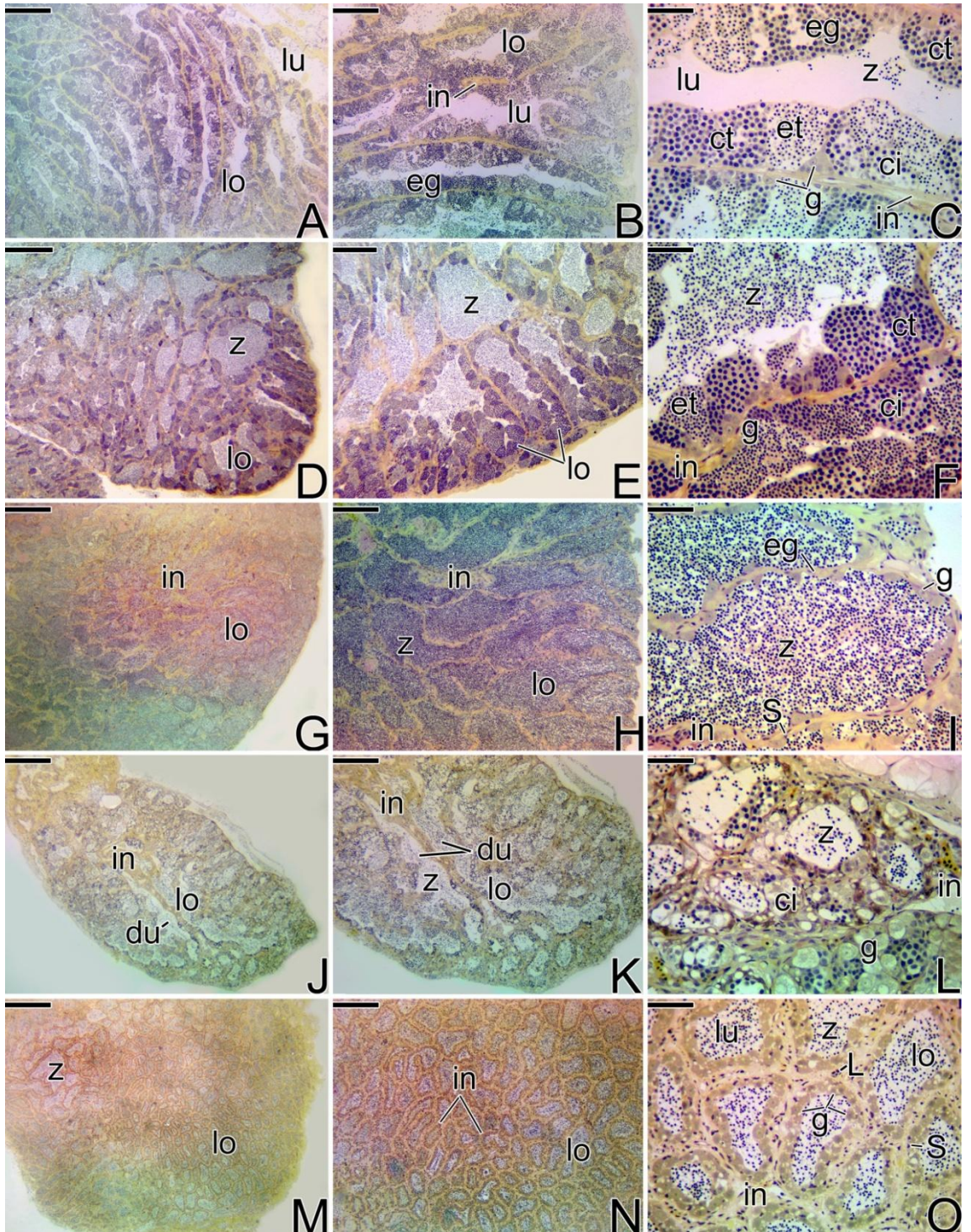


Figura 7



### ARTIGO 3

As citações e referências foram formatadas de acordo com as normas do periódico *Journal of Aquaculture & Fisheries*.

## **Manutenção do peixe borboleta *Chaetodon striatus* (Perciformes:Chaetodontidae) em sistema de recirculação**

### RESUMO

O grande extrativismo de peixes marinhos para suprir a demanda do mercado de aquarofilia tem preocupado os pesquisadores e nesse contexto, a produção dessas espécies em cativeiro consiste em uma alternativa para o problema. A família Chaetodontidae representa uma das principais famílias de peixes ornamentais marinhos e não tem recebido a devida atenção quanto às pesquisas sobre o seu cultivo. Considerando a ausência dessas informações acerca do peixe borboleta *Chaetodon striatus*, o presente trabalho teve como objetivo a obtenção de informações sobre sua criação em cativeiro. Exemplares da espécie foram mantidos em tanques de diferentes volumes em um sistema de recirculação, sendo ofertados organismos vivos para a alimentação. Também foram realizadas tentativas de reprodução e observação dos comportamentos. Não houve mortalidade nos tanques de 300 e 1000 L e os pequenos invertebrados e mexilhões frescos foram bem aceitos na alimentação. Alguns comportamentos foram observados, sendo a maioria já descrita para chaetodontídeos. Este é o primeiro relato acerca da criação de *C. striatus* e essa contribuição pode fornecer subsídios para um futuro pacote tecnológico.

**Palavras-chave:** peixe ornamental marinho, aquarismo, comportamento.

## ABSTRACT

The high extractivism of marine fish to supply the demand of the aquarium market has worried the researchers and in this context, the production of these species in captivity consists of an alternative to the problem. The family Chaetodontidae represents one of the main families of ornamental marine fish and has not received due attention to research on their cultivation. Considering the absence of this information about the butterflyfish *Chaetodon striatus*, the present work had the objective of obtaining information about the species in captivity. The fishes remained in tanks of different volumes in a recirculation system, being offered living organisms for the feeding. Also attempts were made to reproduce and We observed the behaviors. There was no mortality in tanks of 300 and 1000 L and, for feeding, small invertebrates and fresh mussels were well accepted. Some behaviors were observed, most of which were already described for chaetodontids. This is the first report of *C. striatus* in captivity and this contribution may provide subsidies for a future technological package.

**Keywords:** ornamental marine fish, aquarism, behavior.

## INTRODUÇÃO

A produção de peixes ornamentais é considerada uma atividade altamente lucrativa [1] e mesmo as espécies de peixes marinhos representando apenas 10% do mercado de aquarioria, tal atividade encontra-se em expansão [2]. Os altos valores alcançados pelos peixes promovem o aquecimento do setor e certamente a denominação de *hobby* luxuoso se faz pertinente, sendo que numa base de peso unitário, os peixes ornamentais constituem a mercadoria mais valiosa do mundo [3]. De acordo com a FAO, os valores do comércio de peixe ornamental cresceram significativamente ao longo das últimas décadas, sendo que entre 2000 e 2011 as exportações globais de peixes ornamentais aumentaram de 181 milhões para 372 milhões de dólares [4]. Se considerados os valores de vendas

no varejo, materiais associados, salários e produtos não exportados, os valores do setor podem chegar a 15 bilhões de dólares anuais [5-9].

A indústria de peixes ornamentais é caracterizada pelo conjunto de numerosas espécies advindas de diversos países, o que se tornou evidente ao longo do ano 2000, quando aproximadamente um bilhão de peixes ornamentais foram exportados, oriundos de mais de 100 países localizados nas regiões tropicais, como Brasil, Colômbia, Indonésia, Malásia, Nigéria, Peru, Sri Lanka e Tailândia. Estes países, por vezes ainda em desenvolvimento, encontram uma fonte de renda ao comercializar esses organismos a países desenvolvidos [10].

Apesar de todos os benefícios econômicos gerados por esta atividade, existe uma outra questão emergente a qual tem despertado a preocupação dos pesquisadores – o extrativismo exacerbado. Em torno de 90% das espécies de peixes marinhos utilizadas para essa finalidade são capturadas do ambiente natural [11-13], pois não há domínio sobre a produção desses peixes recifais e costeiros em cativeiro, sobretudo no Brasil.

Neste contexto, a aquicultura ornamental marinha representa parte dos planos de manejo eficaz, uma vez que as espécies produzidas em cativeiro podem suprir a demanda do mercado, diminuindo assim o extrativismo para essa finalidade [14,15].

Dentre as principais famílias de peixes ornamentais marinhos, destaca-se família Chaetodontidae, sendo altamente requisitada no mercado da aquariofilia por abranger espécies que possuem colorações atrativas e diferentes morfotipos [16]. Esta família possui aproximadamente 130 espécies, conhecidas como peixes borboleta, distribuídas em 11 gêneros presentes nos oceanos tropicais e subtropicais [17]. Os peixes borboleta geralmente vivem em pares monogâmicos por anos e cada par habita uma determinada área no recife ou na costa, defendendo-se de outros pares da mesma espécie [18].

A espécie *Chaetodon striatus* (Linnaeus, 1758), conhecida popularmente como peixe borboleta-listrado, é encontrada nos fundos consolidados (rochosos e de recifes de corais) em águas tropicais, no oceano Atlântico Ocidental, de Massachusetts, Estados Unidos a Santa Catarina, Brasil, ainda, incluindo o Golfo do México e o Mar do Caribe [19,20]. Possui o corpo achatado lateralmente e apresenta um colorido que varia do branco-amarelado ao bege, sempre com

quatro barras verticais negras, e os juvenis apresentam um ocelo na porção posterior do corpo [2].

A popularidade dos peixes borboleta no comércio de aquários torna-os óbvios candidatos para consideração do desenvolvimento de métodos de criação em cativeiro [21]. E, de acordo com [22] essa família ranqueou a sexta colocação de peixes mais comercializados no mundo em 2003 e de 2004 a 2005, somente o EUA importaram 97 espécies de chaetodontídeos [23].

Fato já conhecido por pesquisadores e hobbistas, muitos peixes ornamentais marinhos representam um desafio para a produção, sendo que não há o domínio da tecnologia e não há relatos acerca da manutenção e reprodução em cativeiro, como é o caso do peixe borboleta *C. striatus*. Apesar de algumas espécies de peixes borboleta serem rústicas ou até mesmo inviáveis em aquários como, por exemplo, *Chaetodon capistratus* que possui uma dieta altamente especializada e restrita a certas espécies de corais [22], há muitas espécies promissoras com boas características para a atividade [24]. Além disso, o desenvolvimento de produtos e tecnologias na aquariofilia ornamental nas últimas décadas propiciou a resolução de grandes problemas.

Apesar da importância na aquariofilia, os peixes borboletas, não tem recebido a devida atenção e as pesquisas em cativeiro são escassas. A reprodução em cativeiro foi realizada em algumas espécies como *Forcipiger flavissimus* [25], *Chaetodon nippon* [26], *Chaetodon modestus* [27] e *Chaetodon miliaris* [28] e a comparação entre desovas em cativeiro e selvagens em *Chaetodon nippon* [26], *Chaetodon aculeatus*, *Chaetodon capistratus* [29] *Chaetodon multicinctus* [30], *Chaetodon trifascialis* [31] e *Chaetodon modestus* [27].

Nexte contexto, na tentativa de realizar a aclimação da referida espécie em cativeiro e de induzir a entrada de casais em cortejo, seguida por uma possível desova, o presente estudo teve por objetivo manter os indivíduos em tanques de diferentes volumes em sistema de recirculação, verificar se há aceitação de pequenos vertebrados e mexilhões na alimentação e verificar os comportamentos dos casais em cativeiro.

## MATERIAL E MÉTODOS

### 1. Coleta dos espécimes

As coletas e a manutenção dos peixes foram realizadas de acordo com as normas da Comissão de Ética em Experimentação Animal do Instituto de Biociências de Botucatu (protocolo nº 805 - CEEA-IBB/UNESP). Os exemplares de *Chaetodon striatus* foram coletados em Ubatuba/SP de março de 2015 a junho de 2017, utilizando-se armadilhas do tipo covo implantadas nos costões rochosos próximos à praia do Itaguá e através de mergulho com puçás, na Ilha da Rapada. As armadilhas foram confeccionadas em formato trapezoidal e quadrado, revestidas de tela plástica amarrada com linha de Nylon 0,5 mm, permanecendo semi-fixas no mar através de cordas, âncoras e poitas. As profundidades de captura variaram de 3 a 8 metros (conforme a variação entre as marés baixas e altas).

Durante as coletas dos exemplares, observou-se frequentemente a entrada de somente dois indivíduos adultos nas armadilhas por vez, formando um casal, os quais foram selecionados para a tentativa de reprodução.

### 2. Manutenção dos espécimes

Após a coleta, os espécimes foram transportados vivos em caixas térmicas e em galões de 60 litros, com água do mar para o Laboratório de Piscicultura Marinha do Instituto de Pesca em Ubatuba/SP.

Em seguida, os peixes foram aclimatados, fazendo a troca gradativa da água usada no transporte pela água dos tanques onde iriam permanecer. Feito isso, os indivíduos foram distribuídos em tanques com sistema de recirculação de água salgada, dotado de filtragem mecânica ("bag" de 100 micra), de filtragem química através do ozônio, *skimmer* e esterilização da água através de lâmpadas ultravioleta. O sistema de recirculação de água salgada foi instalado em um galpão de alvenaria de 300 m<sup>2</sup>. A taxa de circulação dos tanques foi de 200% (o volume total de água dos tanques foi renovado duas vezes ao dia). Os tanques foram sifonados diariamente, uma vez ao dia.

Como estratégia de manutenção do sistema de recirculação, diariamente o "copo" armazenador do *skimmer* foi removido e lavado com água doce para

eliminação do resíduo acumulado. O filtro "bag" também foi removido diariamente e lavado com jateamento de água sob pressão. Mensalmente todas as bombas receberam uma limpeza dos "impellers" para evitar travamento. A temperatura da água foi mantida constante em  $28 \pm 1,0$  °C. O fotoperíodo mantido no galpão foi de 12C:12E e salinidade a 35 ppm.

Os peixes foram mantidos em tanques de 100, 200, 300 e 1000 L, com 6 peixes em cada, havendo 3 repetições para cada volume, totalizando 72 indivíduos. Nos tanques foram colocados tubos de policloreto de vinila (PVC) com 50 cm de comprimento e com 15 ou 25 cm de diâmetro, que funcionaram como abrigo para os peixes (Fig. 1).

Para alimentação dos indivíduos utilizou-se redes com 30 cm de comprimento e de largura, que permaneceram no mar por 30 dias. Nessas redes ocorria um processo de sucessão de organismos, ficando repletas de alimento vivo como larvas de diversos invertebrados e poliquetas. Essas redes foram retiradas do mar e amarradas nos tanques onde permaneceram por 7 dias. Outro alimento utilizado foram mexilhões congelados ou frescos, os quais tiveram seu líquido retirado sendo ofertados com as conchas abertas ou em pequenos pedaços. Para cada peixe foi ofertado uma unidade por dia.

### **3. Tentativa de reprodução**

Para a tentativa de reprodução em cativeiro, foram utilizados dois casais presumivelmente já formados, coletados diretamente do mar, a partir de sua entrada nas armadilhas. Dentre os espécimes coletados formando um casal, a suposta fêmea apresentava abdômen abaulado e ambos os indivíduos com comprimento total variando de 12.5 a 15 cm, correspondendo a exemplares adultos.

Cada casal foi aclimatado em um tanque de 100 L, nas condições citadas anteriormente (Fig. 2). A observação desses indivíduos foi realizada durante 8 horas por dia, sem a utilização de câmera.

## **RESULTADOS**

### **1. Manutenção dos espécimes**

Todos os espécimes mantidos em cativeiro foram capazes de se alimentar adequadamente já no primeiro dia de manutenção, havendo grande aceitação de pequenos invertebrados e mexilhões. Apesar disso, os peixes mantidos em tanques de 100 e 200 L (Fig. 1A-B) não conseguiram sobreviver, havendo mortalidade de todos os indivíduos entre o quarto e sétimo dia de cativeiro. A mortalidade possivelmente se deu por agressões entre os indivíduos e por choques mecânicos contra a parede do tanque.

Já nos tanques de 300 L (Fig. 1C) houve menos agressões e choques mecânicos, e não houve mortalidade. Da mesma forma, não houve mortalidade de nenhum indivíduo nos tanques de 1000 L (Fig. 1D).

## **2. Entrada em cortejo**

Os casais mantidos individualmente em tanques de 100 L alimentaram-se adequadamente e não houve mortalidade. Após período de aclimação de 2 dias, cada casal passou a apresentar determinados comportamentos, como “parados um ao lado do outro em sentidos opostos”, “natação em carrossel com um peixe na frente e outro atrás”, “macho toca no abdômen da fêmea com o focinho”, “natação paralela” e “frente a frente”, os quais são apresentados na figura 3.

Para verificar a maturação sexual desses casais, dois pares de peixes selvagens foram dissecados. As gônadas desses indivíduos mostravam-se sexualmente maduras, ocupando grande porção da cavidade abdominal. Os testículos apresentavam coloração esbranquiçada e os ovários coloração alaranjada, com ovócitos visíveis, desprendendo-se facilmente da gônada (Fig. 4).

## **DISCUSSÃO**

### **1. Manutenção dos espécimes**

Apesar de muitas espécies de peixes ornamentais marinhos representarem um desafio para a criação em cativeiro, o presente estudo demonstrou que é possível a aclimação de espécies ornamentais, mesmo aquelas consideradas de difícil manutenção, como os peixes borboleta.

Uma das maiores dificuldades de se manter espécies selvagens em cativeiro diz respeito à alimentação. Entretanto, no presente estudo, pode-se comprovar que alimentos vivos foram facilmente aceitos por *Chaetodon striatus*, possivelmente por se tratar de uma espécie zoobentívora generalista [32]. Entretanto esse fato não descarta a possibilidade do animal ser gradualmente condicionado a se alimentar de industrializados como ração ou mesmo de alimentos congelados, como também foi observado neste trabalho, o que permite sua criação longe do ambiente marinho.

No presente estudo, a criação de *C. striatus* se mostrou apropriada em espaços avantajados, como em outras espécies de peixes borboleta [39], evitando a mortalidade dos indivíduos, como ocorreu nos experimentos em tanques de 100 e 200L. Considerando a agressividade natural da espécie, faz-se necessário um espaço em torno de 300L para o manejo em cativeiro [39, presente estudo], permitindo que os indivíduos ocupem nichos próprios pré-estabelecidos por eles mesmos (observação pessoal), evitando ataques e disputas territoriais entre os espécimes, como observado em *Chaetodon lunulatus* [40].

## **2. Entrada em cortejo**

Como os casais foram capturados e mantidos juntos, já se encontrando previamente estabelecidos, houve uma boa aceitação por ambos os indivíduos em cativeiro. Muitas vezes, a falha no reconhecimento do parceiro pode levar a ataques e disputas territoriais [40] dificultando a interação entre o casal. Isso se deve ao fato da espécie ser monogâmica [32], formar pares para a desova [33] e se defender de outros pares da mesma espécie [34]. Portanto, foi imprescindível no presente estudo manter os casais já formados, sempre juntos, a fim de não desemparelhá-los, aumentando assim a chance da entrada em cortejo em cativeiro.

No presente estudo, foram observados alguns comportamentos característicos já descritos para outras espécies de peixes borboleta em ambiente natural, incluindo aqueles relacionados ao cortejo. Muitos membros da família Chaetodontidae apresentam comportamentos conspícuos, como formação de pares, proximidade e natação simultânea [35].



Dentre os comportamentos observados nesse estudo, somente “parados um ao lado do outro em sentidos opostos” e “frente a frente” ainda não tinham sido descritos para chaetodontídeos na literatura. Já “natação em carrossel, com um peixe na frente e outro atrás” [36], “macho toca no abdômen da fêmea com o focinho” [31,36,37] e “natação paralela” [36] já haviam sido descritos.

O comportamento “macho toca no abdômen da fêmea com o focinho” [31, 36,37] é frequentemente observado nos chaetodontídeos, podendo o macho tocar o abdômen, a papila urogenital bem como a nadadeira caudal da fêmea. Em um trabalho sobre o comportamento de desova em ambiente natural de *C. striatus*, os autores descreveram que o macho aproximou-se de uma fêmea que apresentava o abdômen abaulado e tocava com o focinho a nadadeira caudal [38]. Outro comportamento relacionado à desova de chaetodontídeos é a “natação paralela” [36].

Considerando esses aspectos comportamentais, não há dúvida de que esse é um grande passo observado em cativeiro, que pode levar à próxima etapa, que culmina com a reprodução dos espécimes. Ainda há muito para se conhecer sobre a estrutura social dos peixes borboleta, incluindo a agressão, a territorialidade e o sistema de acasalamento [41].

Sabe-se que as pesquisas que abordam a manutenção de peixes ornamentais marinhos em cativeiro no mundo são escassas [9]. Portanto, uma futura concentração de esforços para o desenvolvimento do setor realizados por mais instituições de pesquisa, poderia refletir na mitigação da exploração desses recursos e na geração de renda, em especial para países em desenvolvimento. No mesmo sentido, o estreitamento da relação entre pesquisadores e setor produtivo pode favorecer novas perspectivas para a aquicultura ornamental.

## CONCLUSÃO

Para a manutenção de *Chaetodon striatus* são adequados tanques com mais de 300 L e os alimentos vivos aqui utilizados demonstram alternativas viáveis para a nutrição desses peixes em cativeiro. Ainda, informações elementares sobre a possível obtenção dos reprodutores bem como os

comportamentos descritos neste trabalho, podem contribuir para um futuro pacote tecnológico de criação da espécie.

## **AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradecemos ao Instituto de Pesca – Base de Ubatuba por fornecer a estrutura para a realização dessa pesquisa. Aos biólogos Ana Paula dos Santos e Francisco Costa, aos médicos veterinários Veronica Takatsuka e Vitor Spandri e ao zootecnista Otávio Mesquita de Souza.

## REFERÊNCIAS

- 1 Araújo AP, Santos FWM, Pincinato S, SILVA, JG (2012) Gestão participativa no comércio de animais aquáticos ornamentais (ensaio). Rev Edu Contin Med Veter Zootec 10: 6-15.
- 2 Sampaio CLS, Nottingham MC (2008) Guia para identificação de peixes ornamentais brasileiros: espécies marinhas. IBAMA. 205 p.
- 3 Hardy R (2003) Introduction to the special issue on 'Ornamental fish'. Aquac res 34: 903-903.
- 4 Manning P (2015) Fisheries and aquaculture topics. Coastal and marine ecosystems. Topics Fact Sheets. In: FAO Fisheries and Aquaculture Department.
- 5 Bartley, D. (2000). Responsible ornamental fisheries. *FAO Aquaculture Newsletter (FAO)*.
- 6 Livengood EJ, Chapman FA. (2007) The ornamental fish trade: An introduction with perspectives for responsible aquarium fish ownership. Department of Fisheries and Aquatic Sciences. University of Florida IFAS Extension. <http://edis.ifas.ufl.edu/fa124>.
- 7 Prang G (2007) An industry analysis of the freshwater ornamental fishery with particular reference to the supply of brazilian freshwater ornamentals to the UK market. Uakari 3: 7-51.
- 8 Wittington RJ, Chong R (2007) Global trade in ornamental fish from an Australian perspective: The case for revised import risk analysis and management strategies. Prev Vet Med 81: 92-116.
- 9 Moorhead JA, Zeng C (2010) Development of Captive Breeding Techniques for Marine Ornamental Fish. Rev Fish Sci 18: 315-343.

10 Moravec F, Wolter J, Korting W (1999) Some nematodes and acanthocephalans from exotic ornamental freshwater fishes imported into Germany. *Folia Parasitol* 46: 296-310.

11 Rubec PJ, Pratt V, Cruz F (2001) Territorial use rights in fisheries to manage areas for farming coral reef fish and invertebrates for the aquarium trade. *Aqua Sci Conserv* 3: 119-134.

12 Calado, R (2006) Marine ornamental species from European waters: A valuable overlooked resource or a future threat for the conservation of marine ecosystems? *Sci Mar* 70: 389-398.

13 Olivotto I, Holt SA, Carnevali O, Holt JG (2006) Spawning, early development and first feeding in the Lemonpeel angelfish *Centropyge flavissimus*. *Aquaculture* 253: 270-278.

14 Tlustý M (2002) The benefits and risks of aquaculture production for the aquarium trade. *Aquaculture* 205: 203-219.

15 Bellwood DR, Hughes TP, Folke, C, Nyström M (2004) Confronting the coral reef crisis. *Nature* 429: 827-833.

16 Nagpure NS, Kumar R, Srivastava SK, Kushwaha B, Gopalakrishnan A, et al. (2006) Cytogenetic characterization of two marine ornamental fishes, *Chaetodon collare* and *Stegastes insularis*. *J Mar Biol Association of India* 48: 267-269.

17 Kuitert RH (2002) Butterflyfishes, bannerfishes, and their relatives: a comprehensive guide to Chaetodontidae & Microcanthidae. Twayne Publishers.

18 Driscoll JW, Driscoll JL (1988) Pair behavior and spacing in butterflyfishes (Chaetodontidae). *Environ Biol Fishes* 22: 29-37.

19 Allen GR, Steene RC, Allen M (1998) A guide to angelfishes & butterflyfishes. Tropical Reef Research. 256 p.

20 Carvalho-filho, A. Peixes: Costa Brasileira (1999). Melro, São Paulo, Brazil. 316 p.

21 Ogawa T Brown CL (2001) Ornamental reef fish aquaculture and collection in Hawaii. Aqua Sci Conserv 3: 151-169.

22 Wabnitz C, Taylor M, Green E, Razak T (2003) From Ocean to Aquarium: The global trade in marine ornamental species. UNEP-WCMC Cambridge, United Kingdom. 64 p.

23 Rhyne AL, Tlusty M (2012) Trends in the Marine Aquarium Trade: The Influence of Global Economics and Technology. Aquac Aqua Conserv & Legisl 5: 99-102.

24 Pratchett MS, Berumen ML, Kapoor BG (eds.) (2013) Biology of butterflyfishes. CRC Press. 352 p.

25 Madden WD, May RC (1977) Ornamental fish culture project. Final Report, MAC Task Order The Oceanic Institute and the Hawaii Institute of Marine Biology 3: 23-23.

26 Suzuki K, Tanaka Y, Hioki S (1980) Spawning behavior, eggs, and larvae of the butterflyfish, *Chaetodon nippon*, in an aquarium. Jpn J Ichthyol 26: 334-341.

27 Tanaka Y, Hioki S, Suzuki K Spawning behavior, eggs, and larvae of the butterflyfish, *Chaetodon modestus*, in an aquarium (2001). Journal of the Faculty of Marine Science and Technology-Tokai University, Japan. 334-341.

28 Degidio JML, Yanong RP, Watson CA, Ohs CL, Cassiano EJ (2017) Spawning, Embryology, and Larval Development of the Milletseed Butterflyfish *Chaetodon miliaris* in the Laboratory. N Am J Aquac 79: 205-215.

29 Colin PL (1989) Aspects of the spawning of western Atlantic butterfly fishes (Pisces:Chaetodontidae). Environ Biol Fishes 25: 131-141.

30 Lobel PS (1989) Spawning behavior of *Chaetodon multicinctus* (Chaetodontidae); pairs and intruders. In: The butterflyfishes: success on the coral reef. Springer, Dordrecht, Holland.125-130.

31 Yabuta S, Kawashima M (1997) Spawning behavior and harem mating system in the corallivorous butterflyfish, *Chaetodon trifascialis*, at Kuroshima Island, Okinawa. Ichthyol Res 44: 183-188.

32 Liedke AM, Barneche DR, Ferreira CE, Segal B, Nunes LT, Burigo AP, et al. (2016) Abundance, diet, foraging and nutritional condition of the banded butterflyfish (*Chaetodon striatus*) along the western Atlantic. Mar biol 163: 6.

33 Whiteman EA, Côté IM (2004) Monogamy in marine fishes. Biol Rev 79 351-375.

34 Breder CM Jr, DE Rosen (1966) Modes of reproduction in fishes. T.F.H. Publications, Jersey City, Unite States of America. 1-941.

35 Reese ESA (1975) Comparative Field Study of the Social Behavior and Related Ecology of Reef Fishes of the Family Chaetodontidae. Ethology 37: 37-61.

36 Neudecker S, Lobel PS (1982) Mating systems of Chaetodontid and Pomacanthid fishes at St. Croix. Ethology 59: 299-318.

37 Fricke HW (1986) Pair swimming and mutual partner guarding in monogamous butterflyfish (Pisces, Chaetodontidae): a joint advertisement for territory. Ethology 73: 307-333.

38 Colin PL, Clavijo IE (1988) Spawning activity of fishes producing pelagic eggs on a shelf edge coral reef, southwestern Puerto Rico. Bull Mar Sci 43: 249-279.

39 Michael SW (2004) Angelfishes & Butterflyfishes: Plus Ten More Aquarium Fish Families with Expert Captive Care Advice for the Marine Aquarist. Microcosm Limited, Neptune City, United States of America. 344 p.

40 Yabuta S, Berumen ML (2013) Social structure and spawning behavior of Chaetodon butterflyfishes. Biology of Butterflyfishes. CRC Press, Boca Raton, United States of America. 200-225.

41 Yabuta S (2000) Behaviors in agonistic interaction of the butterflyfish (*Chaetodon lunulatus*). Journal of Ethology 18: 11-1.

## LEGENDAS DAS FIGURAS

Figura 1. Tanques utilizados para a manutenção de *Chaetodon striatus* em cativeiro. A: Bateria de tanques de 100 L. B: Bateria de tanques de 200 L. C: Bateria de tanques de 300 L. D: Tanque de 1.000 L.

Figura 2. Sistema para reprodução do peixe borboleta *Chaetodon striatus*. A: Tanques de 100 L para a reprodução em cativeiro. B e C: Coletores de ovos planctônicos. D: Casal formado para a reprodução em cativeiro.

Figura 3. Comportamentos apresentados por *Chaetodon striatus*. A: Parados um ao lado do outro em sentidos opostos. B: Natação em carrossel com um peixe na frente e outro atrás. C: macho toca no abdômen da fêmea com o focinho. D: Natação paralela. E: Frente a frente.

Figura 4. Exemplos de fêmea (A) e macho (B) de *Chaetodon striatus*. Ov: ovário, t: testículo. Barra= 1,5cm.



## LISTA DE FIGURAS



Figura 1

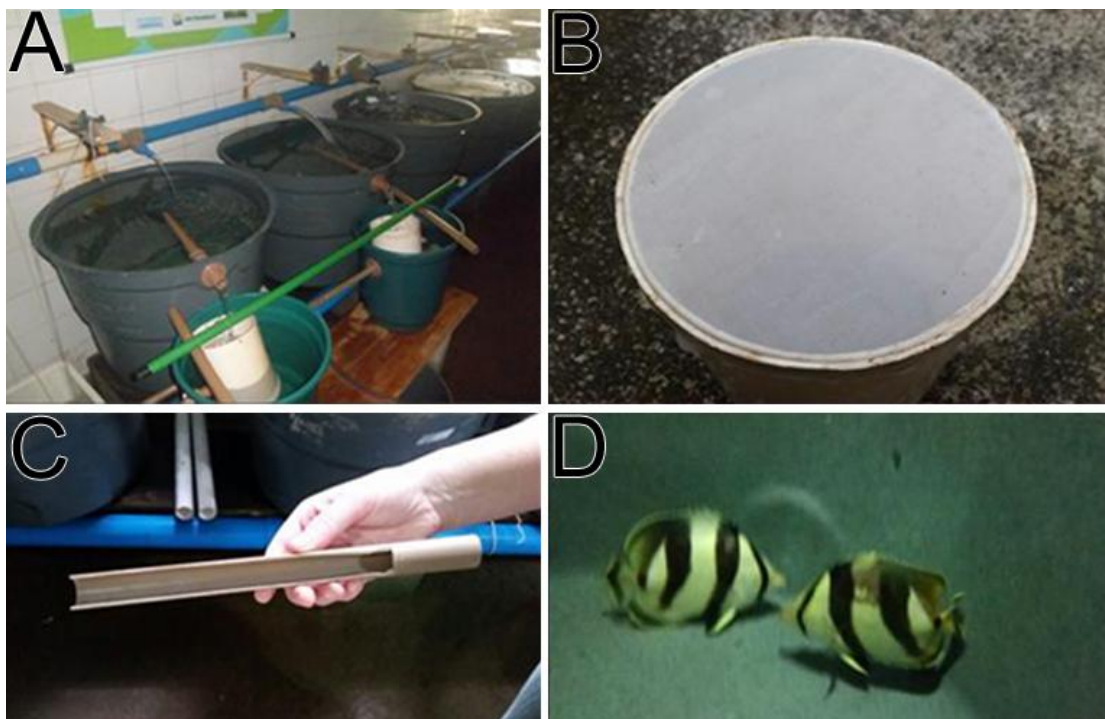


Figura 2

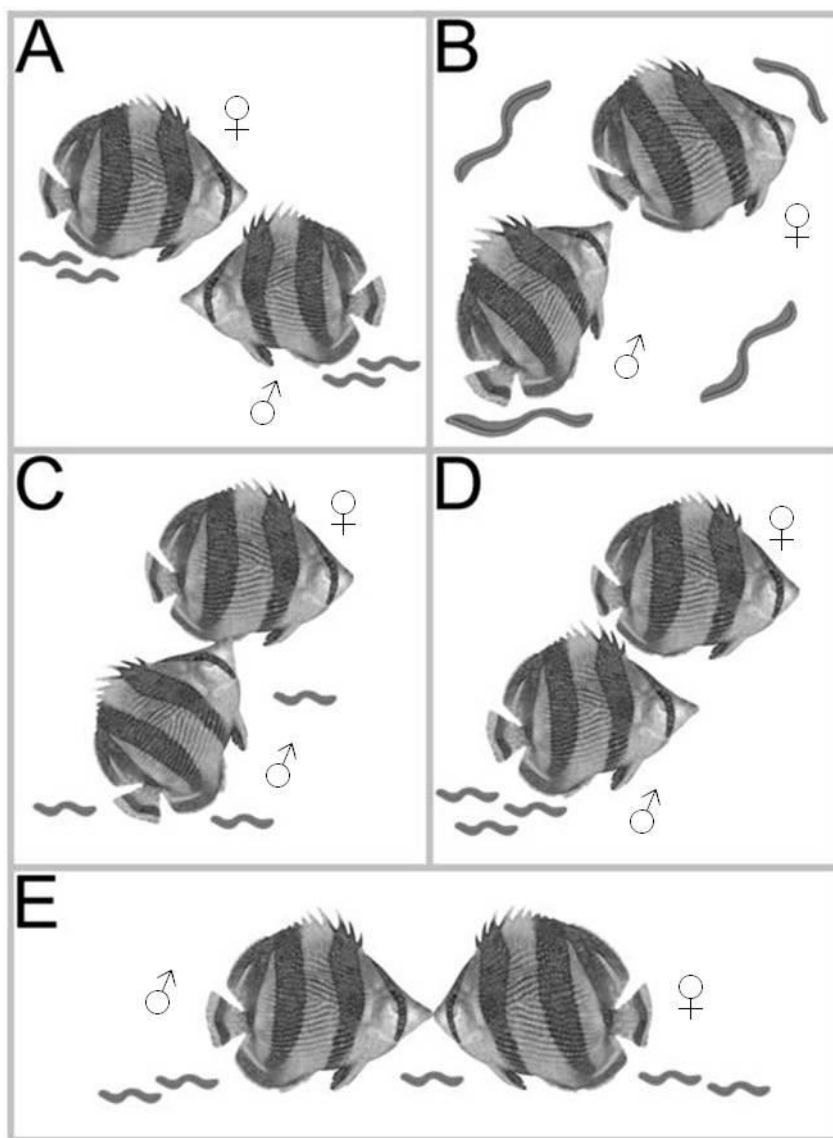


Figura 3

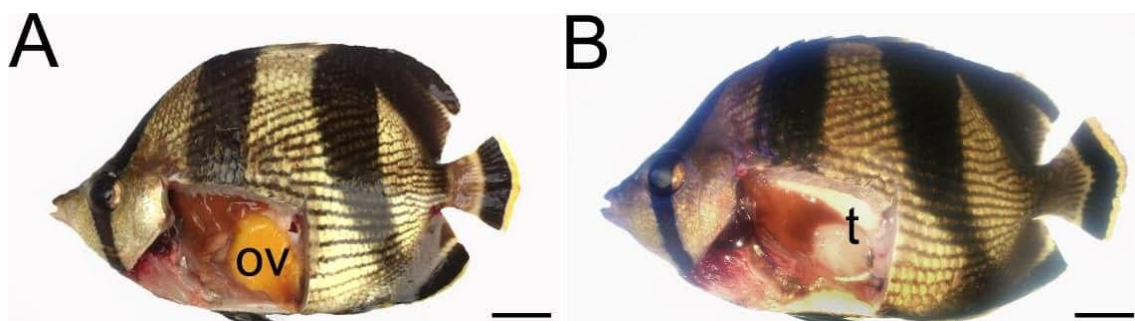


Figura 4

## ANEXO 1

### Artigo de divulgação científica publicado no site do programa da “TV Cultura” – “Mar sem fim”.

04/01/2019 Aquicultura marinha ornamental, conheça - Mar Sem Fim

**ESTADÃO** Opinião - Política - Economia & Negócios - Brasil - Internacional - Esportes - Cult

Por João Lara Mesquita 21 de outubro de 2016

---

500

## Aquicultura marinha ornamental no Brasil, saiba como estamos

Aquicultura marinha: da colaboradora, Isabelle Leite Bayona Perez

Bióloga, Mestre em Zoologia pela UNESP – Botucatu e doutoranda em Aquicultura pela UNESP – Jaboticabal.

Os peixes ornamentais marinhos tem alta popularidade. Eles são requisitados no setor da aquariofilia em todo o mundo, fato que se deve pela exuberância e pelas mais variadas formas e cores. Quem nunca se encantou com os peixes do filme “Procurando Nemo”? Nemo, um peixe-palhaço, e, sua companheira Dory, um peixe-cirurgião. Também podemos citar os belíssimos peixes anjos e os donzelas.

### Os peixes habitam os recifes de corais e regiões costeiras

Esses animais habitam em sua maioria os recifes de corais e regiões costeiras. Existem cerca de 440 espécies de peixes recifais conhecidas no Brasil. De acordo com Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), em torno de 40 espécies brasileiras são exportadas. As principais: *Holacanthus ciliates* e *Centropyge aurantonotus*. Estas são duas espécies de peixe anjo, *Pomacanthus paru*, conhecido popularmente como “paru” ou “frade”, *Acanthurus coeruleus*, o cirurgião azul e *Holacanthus tricolor* conhecido como peixe-soldado. Ainda, há espécies em extinção, como o *Gramma brasiliensis*, conhecido como “grama” e o peixe-donzela *Stegastes sanctipauli*.

### Aquicultura marinha ornamental está em expansão

Embora este seguimento corresponda a atualmente 10% do mercado de aquariofilia, o mesmo encontra-se em plena expansão. Quanto aos valores movimentados no mundo, incluindo espécies de água doce e marinhas, para o ano de 2005 estimou-se uma quantia de 15 bilhões de dólares. No Brasil dados publicados pelo Ministério da Pesca e Aquicultura revelam que somente a exportação nacional de peixes ornamentais alcançou cerca de 7 milhões de dólares em 2009. Ultrapassou a exportação de moluscos e filés de peixes frescos.

### Ausência de controle por de ser obstáculo à Aquicultura marinha ornamental

<https://marsemfim.com.br/aquicultura-marinha-ornamental/> 1/3

04/01/2019

Aqüicultura marinha ornamental, corifeia - Mar Sem Fim

**ESTADÃO**

Opinião - Política - Economia &amp; Negócios - Brasil - Internacional - Esportes - Cult

“extrativismo da aqüicultura”, com um alto número de peixes capturados: cerca de 30% das espécies são capturadas do ambiente natural. Tal fato somado à ausência de um controle eficiente sobre as retiradas desses animais e sua comercialização promovem a depleção direta dos estoques.

Portanto, formas de lidar com essa problemática tem sido pesquisadas em alguns institutos e universidades públicas no Brasil. Com o desenvolvimento de pacotes tecnológicos de cultivo, bem como a realização de pesquisas acerca da biologia destas espécies.



Foto: Pesquisa sendo realizada com o peixe borboleta-listrado, *Chaetodon striatus*, no Instituto de Pesca – APTA – SAA, base de Ubatuba – SP.

É praticamente desconhecido o manejo de inúmeros desses animais em cativeiro no Brasil e no exterior. É necessário uma série de estudos acerca da reprodução, nutrição e de sanidade. E assim tornar possível uma cadeia produtiva nesta área.

### **Imprescindível que haja incentivo e pesquisas, para o bem da aqüicultura marinha ornamental**

É imprescindível que haja incentivo e pesquisas, para posterior transferência do conhecimento ao setor produtivo. A substituição dos peixes retirados do ambiente natural pelos cultivados poderá tornar uma realidade sustentável.



Foto: Casal de peixe borboleta-listrado, *Chaetodon striatus*, em pesquisa acerca da reprodução em cativeiro, no Instituto de Pesca – APTA – SAA, base de Ubatuba – SP.

<https://marsemfim.com.br/aquicultura-marinha-ornamental/>

2/3



04/01/2019

Aquicultura marinha ornamental, conheça - Mar Sem Fim

**O ESTADÃO**

Opiniões - Política - Economia & Negócios - Brasil - Internacional - Esportes - Cult



Foto: Pesquisa sendo realizada com o peixe borboleta-listrado, *Choetodon striatus*, no Instituto de Pesca - APTA - SAA, base de Ubatuba - SP.

Mudando o tema, que tal conhecer o sailfish, um incrível predador marinho?

550



### Repórteres do Mar

O Mar Sem Fim quer a sua colaboração. Não é possível estar em todos os lugares ao mesmo tempo e, com a sua ajuda, podemos melhorar ainda mais o nosso conteúdo. Saiba como colaborar com o Mar Sem Fim.

COMENTÁRIOS

COMENTÁRIOS DO FACEBOOK

<https://marsemfim.com.br/aquicultura-marinha-ornamental/>

3/3