

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)

Campus de Botucatu

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

Pós-Graduação em Ciências Biológicas, AC: Zoologia

Doutorado

**Diversidade e história de vida dos camarões
Alpheidae de regiões intermareais estuarinas no
limite sul do estado de São Paulo, Brasil**



Régis Augusto Pescinelli

Orientador: Prof. Dr. Rogerio Caetano da Costa

Botucatu - SP

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus Botucatu
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
Pós-Graduação em Ciências Biológicas – AC: *Zoologia*

**Diversidade e história de vida dos camarões Alpheidæ de regiões
intermareais no limite sul do Estado de São Paulo, Brasil**

RÉGIS AUGUSTO PESLINELLI

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas A/C Zoologia do Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista – UNESP – *Campus* de Botucatu, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas – Área de Concentração: *Zoologia*.

Orientador: Prof. Dr. Rogerio Caetano da Costa

Botucatu – SP

2019

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSANGELA APARECIDA LOBO-CRB 8/7500

Pescinelli, Régis Augusto.

Diversidade e história de vida dos camarões Alpheidæ de regiões intermareais no limite sul do estado de São Paulo, Brasil / Régis Augusto Pescinelli. - Botucatu, 2019

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Biociências de Botucatu

Orientador: Rogerio Caetano da Costa

Capes: 20402007

1. Camarão - Crescimento e desenvolvimento. 2. Longevidade. 3. Cananeia (SP). 4. Biodiversidade.

Palavras-chave: Assembleia; Cananéia; Crescimento; Desenvolvimento larval; Longevidade.

Dedico esta tese a todos aqueles que mesmo nas adversidades da vida seguem firmes trabalhando para atingir seus objetivos. Aqueles que transformam as dificuldades em combustível para o sucesso.

Dedico a todos que vieram de famílias humildes, de escolas públicas, que enfrentaram todas as dificuldades e num ato de resistência tornaram-se os primeiros graduados, mestres e doutores de suas famílias.

Por fim, dedico aos meus pais Dirce Pescinelli e Odvaldo Pescinelli.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. **Rogério Caetano da Costa**, primeiramente pela oportunidade, a orientação, por todo o aprendizado e pela experiência. Agradeço também, pela confiança desde a minha iniciação científica até o final de meu doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq (#140608/2015-0) pela bolsa de doutorado.

À fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de estudos concedida durante meu mestrado (#2013/12136-4), quando foi possível obter parte dos resultados que puderam ser utilizados no doutorado.

Ao projeto BIOTA temático FAPESP (#2010/50188-8), sob a coordenação do prof. Dr. Fernando L. Mantelatto.

À Pós-Graduação em Ciências Biológicas da UNESP de Botucatu e ao Departamento de Zoologia. (IBB Unesp-Botucatu).

Ao Departamento de Ciências Biológicas, FC da UNESP de Bauru do qual o LABCAM está vinculado.

Ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO USP), base de Cananéia-SP, por disponibilizar os laboratórios de pesquisa para a triagem dos animais amostrados.

Ao Ministério do Meio Ambiente, IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) por conceder a licença para as coletas.

Ao LABCAM (Laboratório de Biologia de Camarões Marinhos e de Água Doce), sob responsabilidade do Prof. Dr. Rogério Caetano da Costa.

Ao Prof. Dr. **Alexandre O. Almeida** (UFPE, Pernambuco) pela parceria e grande ajuda na identificação das espécies desde o início de meu mestrado, sempre disposto a

responder as minhas dúvidas e pelas conversas que sempre contribuíram com meu conhecimento e interesse sobre os Alpheidae.

Ao Prof. Dr. **Fernando L. Mantelatto** (USP, Ribeirão Preto) por todo apoio e parceria durante o desenvolvimento deste estudo, além de todas as conversas que contribuíram com a minha formação acadêmica.

Aos amigos e parceiros de trabalho do LABCAM: Abner, Ana, Bianca, Chuck, Daphine, Emerson, Fernanda, Icaro, João, Josi, Júlia, Lizandra, Sabrina, Sarah, Woody, bem como os que compõem a nova geração, por toda a ajuda não só nas coletas, mas também por todos os momentos de convivência ao longo desses anos.

Agradeço também o Dr. João Alberto Farinelli Pantaleão pela ilustração do camarão *Alpheus brasileiro* utilizada nas contracapas, além de todo auxílio e ensinamentos durante a descrição dos primeiros estágios larvais apresentados no capítulo três desta tese.

Agradeço a Lizandra por todo auxílio durante as análises do crescimento dos indivíduos.

Aos colegas do NEBECC (Núcleo de estudos em biologia, ecologia e cultivo de crustáceos).

Agradeço aos meus pais **Odvaldo Pescinelli** e **Dirce Pescinelli** por todo apoio no decorrer de toda minha formação.

Sumário

Resumo	1
Abstract	2
Considerações Iniciais	3
Referências	9

CAPÍTULO 1: Diversidade e microdistribuição dos camarões *Alpheidae* Rafinesque, 1815 na região intermareal estuarina de Cananéia-SP, Brasil.

Introdução	13
Material e Métodos	15
1. Caracterização da área de estudo	15
2. Coleta dos camarões	16
3. Análise dos dados	21
Resultados	22
1. Fatores ambientais	22
2. Diversidade e abundância	23
3. Similaridade	31
4. Microdistribuição	36
Discussão	41
Referências	48

CAPÍTULO 2: Estrutura populacional, Crescimento e longevidade de *Alpheus brasileiro* Anker, 2012 (Decapoda: Caridea: *Alpheidae*).

Artigo 1: Population structure, relative growth, and morphological sexual maturity of the snapping shrimp <i>Alpheus brasileiro</i> Anker, 2012 (Caridea: <i>Alpheidae</i>) from the southeastern coast of Brazil	51
---	----

Artigo 2: Growth patterns, longevity and age at the morphological and functional sexual maturity of the snapping shrimp <i>Alpheus brasileiro</i> Anker, 2012 (Caridea; <i>Alpheidae</i>) from the south-eastern coast of Brazil	63
--	----

CAPÍTULO 3: Descrição morfológica dos primeiros estágios larvais de *Alpheus brasileiro* Anker, 2012 e revisão da morfologia do primeiro estágio larval do gênero *Alpheus* Fabricius, 1798.

Artigo 3: Morphological description of early zoeal stages of *Alpheus brasileiro* Anker, 2012 reared in the laboratory, including a revision of the larval morphology of the first zoeal stage of the genus *Alpheus* Fabricius, 1798 (Caridea: Alpheidae) 82

Considerações finais 93

Resumo

PESCINELLI, R. A. **Diversidade e história de vida dos camarões Alpheidae de regiões intermareais no limite sul do estado de São Paulo, Brasil.** Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências - IBB, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

Estudos sobre a biodiversidade são fundamentais para o conhecimento biológico. Assim sendo, o presente estudo teve como objetivo conhecer a assembleia e a microdistribuição dos camarões Alpheidae presentes na região intermareal estuarina de Cananéia, São Paulo, Brasil. Além de caracterizar a história de vida de *Alpheus brasileiro*, espécie mais abundante nas áreas estudadas, a estrutura populacional, os parâmetros de crescimento, a longevidade e o desenvolvimento dos primeiros estágios larvais da espécie. As hipóteses de que as espécies apresentam microdistribuição diferenciada na região intermareal e de que a monogamia social influencia na estrutura populacional e nos parâmetros de crescimento de *A. brasileiro* foram testadas. A região estuarina de Cananéia é considerada uma das mais conservadas da costa brasileira, portanto, todo o conhecimento sobre esse importante ecossistema é fundamental, principalmente para comparações com áreas diferentes graus de conservação. A assembleia de Alpheidae se caracterizou por sete espécies: *A. brasileiro*, *Alpheus buckupi*, *Alpheus carlae*, *Alpheus estuariensis*, *Alpheus petronioi*, *Athanas nitescens* e *Salmones carvachoi*. A microdistribuição evidenciou a influência de *A. brasileiro* sobre as demais espécies, principalmente devido à maior abundância e constância que a espécie apresentou. Os resultados sobre a estrutura populacional da espécie estão diretamente relacionados ao seu comportamento monogâmico social, no qual se caracteriza pela formação de pares heterossexuais que compartilham o mesmo refúgio. Desta forma, não houve diferenças na razão sexual assim como no tamanho médio de machos e de fêmeas. Já os parâmetros de crescimento e a longevidade diferiram entre os sexos, com machos vivendo mais e atingindo maiores tamanhos (1.64 anos e 9.49 mm) comparados às fêmeas (1.32 anos e 9.31mm). Os resultados obtidos sobre a biologia de *A. brasileiro* somados à descrição de seus primeiros estágios larvais caracterizam grande parte da história de vida da espécie. Além disso, os resultados sobre a assembleia de camarões Alpheidae na região intermareal de Cananéia fornecem informações importantíssimas sobre a biodiversidade local.

Palavras-Chave: Assembleia, microdistribuição, crescimento, longevidade, desenvolvimento larval, Cananéia.

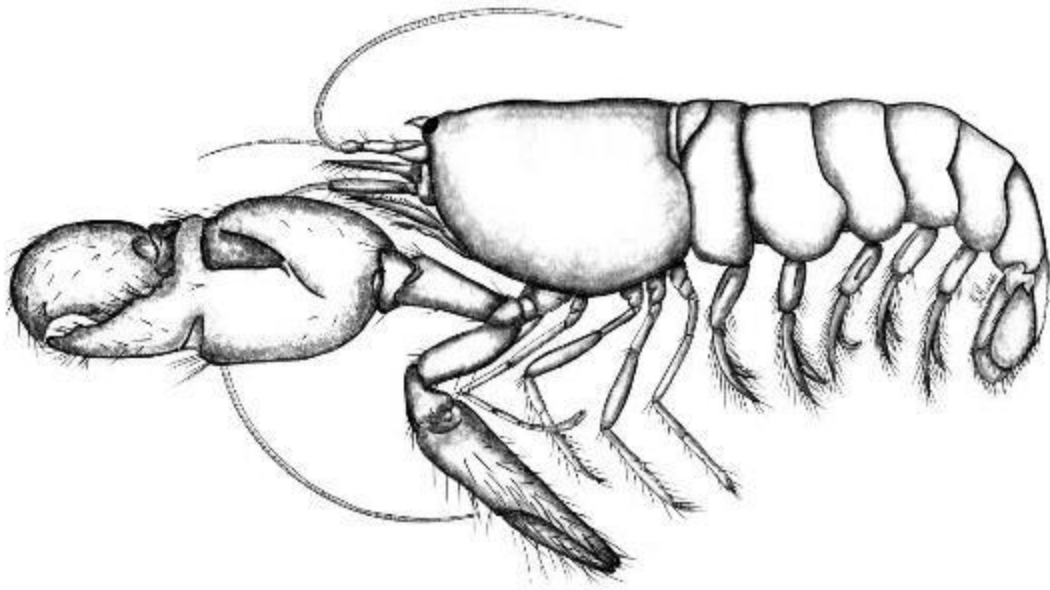
Abstract

PESCINELLI, R. A. **Diversity and life history of Alpheidae shrimps of the intertidal areas at South limit of São Paulo State, Brazil.** Thesis (PhD) – Institute of Biosciences - IBB, São Paulo State University, Botucatu, 2019.

Studies about biodiversity are fundamental for biological knowledge. Therefore, the aim of the present study was to know the assemblage and the microdistribution of the Alpheidae shrimps present in the intertidal estuarine region of Cananéia, São Paulo State, Brazil. In addition to characterizing the life history of *Alpheus brasileiro*, the most abundant species in the studied areas. Population structure, growth parameters, longevity and development of the first larval stages of the species was also investigated. The hypotheses that the species show differentiated microdistribution in the intertidal region and that social monogamy influences the population structure and growth patterns of *A. brasileiro* were tested. The estuarine region of Cananéia is considered one of the most conserved of the Brazilian coast, therefore, all the knowledge about this important ecosystem is fundamental mainly for comparisons with areas in different degrees of conservation. The Alpheidae assemblage was characterized by seven species: *A. brasileiro*, *Alpheus buckupi*, *Alpheus carlae*, *Alpheus estuariensis*, *Alpheus petronioi*, *Athanas nitescens* e *Salmonus carvachoi*. The microdistribution evidenced the influence of *A. brasileiro* on the other species, mainly due to the abundance and constancy that this species presented. The results on the population structure of the species are directly related to its monogamous social behavior, in which it is characterized by the formation of heterosexual pairs that share the same refuge. Thus, there were no differences in the sex ratio as well as the average size of males and females. The parameters of growth and longevity differed between the sexes, with males living longer and reaching larger sizes (1.64 years and 9.49 mm) than the females (1.32 years and 9.31 mm). The results obtained on the biology of *A. brasileiro*, including the description of its first larval stages characterize a great part of the life history of this species. In addition, the results on the Alpheidae assemblage in the intertidal region of Cananéia provide important information on local biodiversity.

Keywords: Assemblage, microdistribution, growth, longevity, larval development, Cananéia.

Considerações iniciais



Considerações iniciais

Caracterização do grupo estudado

A infraordem Caridea Dana, 1852 compreende o maior grupo de camarões com aproximadamente 3.500 espécies descritas, sendo o segundo mais representativo entre os Decapoda Pleocyemata Burkenroad, 1963 atrás somente dos Brachyura Latreille, 1802 (De Grave & Fransen 2011). A riqueza de Caridea continua aumentando com a descrição de novas espécies desde então (De Grave et al. 2015).

Os camarões da família Alpheidae, apresentam alta diversidade morfológica e ecológica (Bauer 2004). Estão amplamente distribuídos e a maioria habita ecossistemas tropicais e subtropicais marinhos (Chace 1988), podendo habitar uma grande variedade de nichos ecológicos, desde microhabitats, como poças de maré em regiões estuarinas (Anker et al. 2006) até regiões de mar profundo (Chace 1988). Além de estar presente em diversos microhabitats, os representantes desta família também podem viver em associações mutualísticas e comensais com outros organismos como por exemplo, outros decápodes, peixes da família Gobiidae Cuvier, 1816, esponjas e anêmonas (Boltaña & Thiel 2001; Bauer 2004; Anker et al. 2006).

O gênero *Alpheus* Fabricius, 1798 é o mais representativo da família, com mais de 313 espécies descritas no mundo e uma riqueza estimada em mais de 400 espécies (Anker et al. 2006; De Grave & Fransen 2011; Soledade & Almeida 2013; Dehghani et al. 2018; Komai & Ohtomi 2018). Os representantes de *Alpheus* caracterizam-se em sua maioria pelo desenvolvimento acentuado de um dos quelípodos, que produz um som semelhante a um estalo que os caracteriza como camarões-de-estalo. Esse quelípodo bem desenvolvido é utilizado na defesa de território e contra predadores, além de ser utilizado durante a predação, construção de galerias (Nolan & Salmon 1970) e tem grande importância taxonômica (Anker et al. 2006).

Uma outra peculiaridade de muitas espécies de Alpheididae é a formação de pares monogâmicos, no qual um refúgio é compartilhado, assim como as funções diretamente relacionadas à manutenção do micro habitat, proteção e busca por alimento (Mathews 2002a,b; Correa & Thiel 2003). No sistema monogâmico social, em que machos e fêmeas compartilham refúgios, normalmente tais refúgios são discretos e o pareamento ultrapassa o período reprodutivo, tratando-se de uma estratégia adaptativa de sobrevivência (Correa & Thiel 2003).

Caracterização física e hidrográfica da área de estudo e importância do conhecimento sobre a biodiversidade

O complexo Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape está localizado no extremo sul da costa paulista, sendo conhecido pelo seu alto grau de conservação, sendo um dos ecossistemas estuarinos mais produtivos do mundo (Diegues 1987; Unesco 2005). Essa região apresenta abundantes precipitações, sendo irrigada por centenas de pequenos rios, dando lugar a uma mistura de água dulcícola e marinha com salinidades que variam sazonalmente no decorrer do ano (Mishima 1985).

Trata-se de uma região com muitos canais, os quais apresentam um padrão hidrodinâmico fortemente influenciado pelas correntes geradas por oscilações de micro marés, geralmente menores que 1m e em menor proporção pela influência das descargas de água continental que entram no sistema (Tessler & Souza 1998).

O sistema Cananéia-Iguape apresenta-se como um ambiente de baixa energia, tratando-se de seu transporte de fundo, com alta resistência ao escoamento, e transporte sedimentar muito limitado, condições de baixa energia que condicionam a formação de pequenas deformações de fundo, rugosidades, características de fluxo bidirecional (Tessler & Souza 1998).

O estudo do número de espécies em uma assembleia ou ecossistema é de fundamental importância no entendimento das relações tróficas existentes (Huston 1979). Além do conhecimento sobre as espécies existentes em um determinado ecossistema é possível também, verificar a presença de espécies exóticas que podem influenciar na dinâmica das espécies nativas.

Outros fatores importantes são as funções ecológicas que os indivíduos desempenham dentro da assembleia, suas relações inter e intraespecíficas e como podem interferir no ambiente em que vivem (Gray 1974). O conhecimento da biodiversidade e dos padrões estruturais de uma assembleia também permite o monitoramento de atividades antrópicas ao longo do tempo.

Estrutura populacional, crescimento e longevidade

Informações sobre a biologia populacional, como por exemplo, a proporção sexual, o período reprodutivo e recrutamento são essenciais para o melhor entendimento da história de vida de uma espécie (Stearns 2000). O conhecimento sobre os mais variados aspectos de uma população possibilita uma maior compreensão dos padrões de distribuição dos diferentes grupos demográficos, informações essas que possibilitam a determinação da vulnerabilidade da população à distúrbios de origem natural ou antrópico (Ricklefs & Millwe 1999). Além disso, a caracterização das populações é de fundamental importância para o estabelecimento de medidas que visem à manutenção dos recursos naturais, sendo que as informações geradas podem ser empregadas em trabalhos ecológicos e subsidiando métodos de proteção da espécie.

Apesar de o gênero *Alpheus* ser o mais representativo da família (Anker et al. 2006; De Grave & Fransen 2011), estudos abordando os aspectos populacionais são escassos, sendo a grande maioria direcionados à taxonomia (Mathews & Anker 2009).

Dos estudos realizados no Brasil, os que abordaram aspectos populacionais foram de Mossolin et al. (2006), que analisou a estrutura populacional de *A. carlae* (como *A. armillatus*) em São Sebastião e Ilhabela, Pavanelli et al. (2008, 2010), estudando a estratégia reprodutiva de *Alpheus nuttingi* (Schmitt, 1924) no norte do estado de São Paulo e os aspectos populacionais em relação aos fatores ambientais, e Costa-Souza et al. (2014), estudando a biologia reprodutiva e o pareamento heterossexual em *A. estuariensis* no sul da Bahia.

Os crustáceos decápodes apresentam uma ampla gama de padrões reprodutivos que garantem a manutenção das populações (Costa & Soares-Gomes 2009). O início da reprodução é um evento que geralmente está associado com o esforço reprodutivo podendo ser definido como a taxa energética destinado à reprodução (López-Greco & Rodrigues 1999). O ciclo reprodutivo de muitos invertebrados é regulado por variações latitudinais, pela sazonalidade do fotoperíodo, nutrientes e temperatura (Bertini et al. 2010). Informações sobre a reprodução auxiliam no entendimento de estratégias e o potencial reprodutivo de diferentes espécies (Castiglioni & Negreiros-Fransozo 2006). As informações geradas nos estudos populacionais são de fundamental importância na determinação da vulnerabilidade da população a situações como fragmentação e alterações dos habitats que podem ser resultado de distúrbios naturais ou de origem antrópica (Ricklefs & Miller 1999).

O estudo do crescimento nos crustáceos é uma importante ferramenta que possibilita a determinação da taxa de crescimento além de servir como base para o cálculo da longevidade e da taxa de mortalidade da população (Sheehy 1990; Campana 2001). Os parâmetros mencionados acima somados as informações sobre a biologia reprodutiva, distribuição ecológica, além das informações biológicas sobre as primeiras fases de vida são considerados importantes aspectos que compõem a história de vida de uma espécie.

Desenvolvimento e morfologia larval em Caridea

O conhecimento sobre a morfologia larval é de grande importância para o entendimento da biologia de uma espécie e também, em estudos taxonômicos, principalmente em Caridea, devido às pequenas diferenças morfológicas entre espécies, até mesmo nas espécies congêneras (Pantaleão et al. 2011, 2013). Apesar de as larvas de Alpheidae corresponderem a uma significativa porção do meroplâncton costeiro, a descrição larval nesta família é pouco conhecida (Bartilotti et al. 2005). Dentre os estudos direcionados a descrição larval nesta família podemos destacar Knowlton (1973) com a descrição larval de *A. heterochaelis*, Yang et al. (1996) *Alpheus euphorosyne* e Pires et al. (2008), descrevendo o desenvolvimento larval de *Alpheus estuariensis* coletado no Pará, Brasil.

A descrição da morfologia larval pode ser utilizada em estudos taxonômicos uma vez que espécies pertencentes a complexo de espécies, muitas vezes não apresentam diferenças morfológicas claras para a sua identificação, assim sendo, possíveis diferenças nos estágios larvais podem ser muito úteis, principalmente na identificação de larvas presentes no plâncton. Apesar do gênero *Alpheus* ser o mais representativo da família Alpheidae, apenas 4.7% das 296 espécies descritas apresentam pelo menos o primeiro estágio larval descrito (Pescinelli et al. 2017). Do total de 34 espécies que ocorrem na costa brasileira, apenas *A. estuariensis* (Pires et al. 2008) apresentava a descrição dos primeiros estágios larvais.

Considerando a grande diversidade de habitats que os camarões Alpheidae são encontrados, e que a grande maioria dos estudos sobre a riqueza e biologia populacional de crustáceos Decapoda no estado de São Paulo são provenientes da pesca de arrasto, o estudo aqui apresentado teve como objetivo investigar a diversidade camarões Alpheidae

Pescinelli, R.A., 2019

na zona intermareal estuarina de Cananéia, SP e testar a hipótese de que as espécies apresentam microdistribuição diferenciada na zona intermareal estuarina de Cananéia, SP.

Referências

- Anker A; Ahyong ST; Noël PY; Palmer AR. 2006. Morphological phylogeny of Alpheid shrimps: parallel preadaptation and the origin of a key morphological innovation, the snapping claw. *Evolution*, 60:2507–2528.
- Bartilotti C; Calado R; Santos A. 2005. Correct diagnosis of early zoeal stages of *Athanas nitescens* (Leach, 1814) (Decapoda, Caridea, Alpheidae) using laboratory-raised larvae. *Journal of Plankton Research*, 27:1189–1194.
- Bauer RT. 2004. Remarkable shrimps: Adaptations and Natural History of the Carideans, University of Oklahoma press, Norman, USA. Marine resources Library, 282 p.
- Bertini G; Fransozo A; Negreiros-Fransozo ML. 2010. Brachyuran soft-bottom assemblage from marine shallow waters in the southeastern Brazilian littoral. *Marine Biodiversity*, 40:277–291.
- Boltaña S; Thiel M. 2001. Associations between two species of snapping shrimp, *Alpheus inca* and *Alpheopsis chilensis* (Decapoda: Caridea: Alpheidae). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 81:633–638.
- Campana, SE. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of fish Biology*, 59:197–242.
- Castiglioni DS; Negreiros-Fransozo. 2006. Ciclo reprodutivo do caranguejo violinista *Uca rapax* (Smith) (Crustacea, Brachyura, Ocypodidae) habitante de um estuário degradado em Paraty, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 23:331–339.
- Chace FA. 1972. The shrimps of the Smithsonian-Bredin Caribben Expeditions with a Summary of the West Indian shallow-water Species (Crustacea: Decapoda: Natantia). *Smithsonian Contributions to Zoology*, n98, 176p.
- Correa C; Thiel M. 2003. Mating systems in caridean shrimp (Decapoda: Caridea) and their evolutionary consequences for sexual dimorphism and reproductive biology. *Revista Chilena de História Natural*, 76:187–203.
- Costa T; Soares-Gomes A. 2009. Population structure and reproductive biology of *Uca rapax* (Decapoda: Ocypodidae) in a tropical coastal lagoon, southeast Brazil. *Zoologia*, 26: 647–657.

- Costa-Souza AC; Rocha SS; Bezerra LEA; Almeida AO. 2014. Breeding and heterosexual pairing in the snapping shrimp *Alpheus estuariensis* (Caridea: Alpheidae) in a tropical bay in northeastern Brazil. *Journal of Crustacean Biology*. 34:593–603.
- De Grave S; Fransen CHJM. 2011. Carideorum catalogus: the recent species of the dendrobrachiate, stenopodidean, procarididean and caridean shrimps (Crustacea: Decapoda). *Zoologische Mededelingen*, 85:195-588.
- De Grave S; Smith KG; Adeler NA; Allen DJ; Alvarez F; Anker A; et al. 2015. Dead shrimps blues: A global assessment of extinction risk in freshwater shrimps (Crustacea: Decapoda: Caridea). *PLoS ONE*, 10: e0120198.
- Dehghani A; Sari A; Naderloo R. 2018. Three new species of narrowly endemic snapping shrimp, genus *Alpheus* (Decapoda: Caridea: Alpheidae) from the Persian Gulf. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 1–10. (online first view)
- Diegues AC. 1987. Conservação e desenvolvimento sustentado de ecossistemas litorâneos no Brasil. São Paulo: Secretaria Estadual do Meio Ambiente de São Paulo.
- Gray JS. 1974. Animal-sediment relationship. *Oceanography and Marine Biology. Annual Review*, Aberdeen, 12:223–261.
- Huston M. 1979. A general hypothesis of species diversity. *The American Naturalist*, 113:81–101.
- Komai T; Ohtomi J. 2018. A new deep-sea species of the snapping shrimp genus *Alpheus* Fabricius, 1798 (Decapoda: Caridea: Alpheidae) from Kagoshima Bay, Japan. *Zootaxa*. 4434: 99–110.
- López-Greco L; Rodriguez E. 1999. Annual reproduction and growth of adult crabs *Chasmagnathus granulata* (Crustacea, Brachyura, Grapsidae). *Cahiers de Biologie Marine*, 40:155–164.
- Mathews LM. 2002a. Territorial cooperation and social monogamy: factors affecting intersexual behaviours in pair-living snapping shrimp. *Animal Behaviour*, 63:767–777.
- Mathews LM. 2002b. Tests of the mate-guarding hypothesis for social monogamy: does population density, sex ratio, or female synchrony affect behavior of male snapping shrimp (*Alpheus angulatus*)? *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 51:426–432.

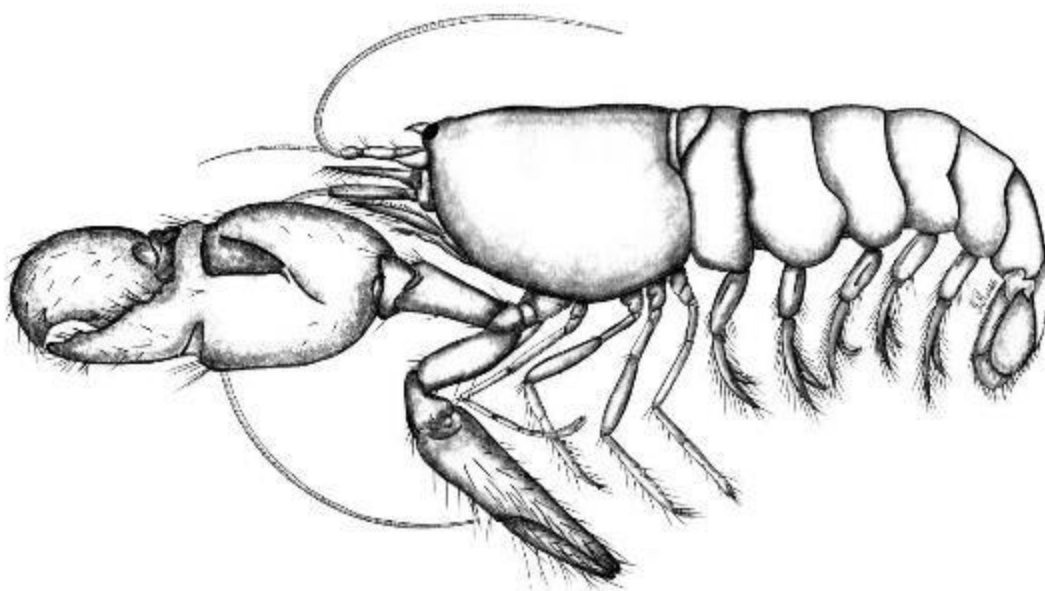
- Mathews LM; Anker A. 2009. Molecular phylogeny reveals extensive ancient and ongoing radiations in a snapping species complex (Crustacea, Alpheidae, *Alpheus armillatus*). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 50:268–291.
- Mishima M; Yamanaka N; Pereira OM; Soares FC; Sinque C; Akaboshi S; Jacobsen O. 1985. Hidrografia do complexo estuarino-lagunar de Cananéia (25° S, 48° W), São Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 12:109–121.
- Mossolin EC; Shimizu RM; Bueno SLS. 2006. Population structure of *Alpheus armillatus* (Decapoda, Alpheidae) in São Sebastião and Ilhabela, Southeastern Brazil. *Journal of Crustacean Biology*, 26:48–54.
- Nolan BA; Salmon M. 1970. The Behavior and Ecology of Snapping Shrimp (Crustacea: *Alpheus heterochaelis* and *Alpheus normanni*). *Forma et Functio*, 2:289–335.
- Pantaleão JAF; Gregati RA; Taddei FG; Costa RC. 2011. Morphology of the first larval stage of *Macrobrachium brasiliense* (Heller, 1868) (Caridea: Palaemonidae). *Nauplius*, 19:79–85.
- Pantaleão JAF; Terossi M; Costa RC; Mantelatto FL. 2013. First zoeal stage of the partner shrimp *Periclimenes paivai* Chace, with remarks on the genus *Periclimenes* O.G. Costa (Caridea, Palaemonidae). *Zootaxa*, 3750: 367–374.
- Pavanelli CAM; Mossolin EC; Mantelatto FL. 2008. Reproductive strategy of the snapping shrimp *Alpheus armillatus* H. Milne-Edwards, 1837 in the South Atlantic: fecundity, egg features, and reproductive output. *Invertebrate Reproduction and Development*, 52:123–130.
- Pavanelli CAM; Mossolin EC; Mantelatto FL. 2010. Maternal investment in egg production: environmental and population-specific effects on offspring performance in the snapping shrimp *Alpheus nuttingi* (Schmitt, 1924) (Decapoda, Alpheidae). *Animal Biology*, 60:237–247.
- Pescinelli RA; Pantaleão JAF; Mantelatto FL; Costa RC. 2017. Morphological description of early zoeal stages of *Alpheus brasileiro* Anker, 2012 reared in the laboratory, including a revision of the larval morphology of the first zoeal stage of the genus *Alpheus* Fabricius, 1798 (Caridea: Alpheidae). *Zootaxa*. 4269:265–276.
- Pires MAB; Abrunhosa FA; Maciel CR. 2008. Early larval development in the laboratory of *Alpheus estuariensis* (Crustacea: Caridea) from the Amazon Region. *Revista Brasileira de Zoologia*, 25:199–205.

Pescinelli, R.A., 2019

- Ricklefs RE; Miller GL. 1999. Ecology. 4th ed. New York, W.H. Freeman and Company, 822p.
- Sheehy MRJ. 1990. Widespread occurrence of fluorescent morphological lipofuscin in the Crustacean brain. *Journal of Crustacean Biology*, 10:613–622.
- Soledade GO; Almeida AO. 2013. Snapping shrimps of the genus *Alpheus* Fabricius, 1798 from Brazil (Caridea: Alpheidae): updated checklist and key for identification. *Nauplius*, 21:89–122.
- Stearns SC. 2000. Life history evolution: Successes, limitations, and prospects. *Naturwissenschaften* 87:476–486.
- Tessler MG; Souza LAP. 1998. Dinâmica sedimentar e feições sedimentares identificadas na superfície de fundo do sistema Cananéia-Iguape, SP. *Revista Brasileira de oceanografia*, 46:69–83.
- Unesco. 2005. World Network of Biosphere Reserves- SC/EES- June 2005. The MAB Program. 19p.

CAPÍTULO 1

Diversidade e microdistribuição dos camarões Alpheidae Rafinesque, 1815 na região intermareal estuarina de Cananéia-SP, Brasil



Introdução

A distribuição espacial e a abundância de uma população destacando os padrões de distribuição conforme alterações ambientais é uma importante ferramenta na caracterização populacional em uma determinada área (Southwood 1978). Variações na diversidade podem ser atribuídas a diversos fatores, entre eles, a complexidade estrutural do substrato, a produtividade, estabilidade ambiental, competição e a predação (Gray 1974). Outro fator a ser considerado na diversidade biológica é o efeito latitudinal, não propriamente a latitude, mas as variáveis ambientais correlacionadas, uma vez que o fotoperíodo maior nos trópicos aumenta a produtividade, que, por sua vez é tida como responsável pelo aumento da biodiversidade (Gaston 2000).

De uma forma geral, considerando os fatores mencionados anteriormente, a diversidade tenderia a ser maior em ambientes heterogêneos, sujeitos a uma maior estabilidade climática e a uma frequência intermediária de ocorrência de distúrbios (Huston 1979; Connel 1978); a maior abundância de predadores diminuiria a competição entre as presas, aumentando a diversidade (Peterson 1992); ambientes mais produtivos apresentariam maior diversidade, a qual tenderia a aumentar com o passar do tempo (Rex et al. 1993).

Considerando que a zona intermareal apresenta grande variação em termos de condições ambientais como por exemplo, a exposição à radiação solar, o aumento da salinidade e da predação, a distribuição de animais nas marcas superiores e inferiores das marés é altamente influenciável (Grant & McDonald 1979). Essa distribuição em pequena escala (limites inferiores e superiores das marés) que muitos organismos apresentam, caracteriza sua microdistribuição no ambiente estuarino.

Organismos marinhos que vivem na zona intermareal estão frequentemente sujeitos a dessecação, sendo este um fator limitante em sua distribuição (Young 1978).

Estes organismos devem estar preparados para grandes flutuações de temperatura, turbidez e salinidade, principalmente aqueles que utilizam de pequenos refúgios em poças de água durante a maré baixa (Young 1978).

Além de serem reguladores da distribuição de animais na zona intermareal, os fatores ambientais também influenciam na abundância e no tamanho dos indivíduos (Grant & McDonald 1979). Um exemplo dessa diferença na abundância em diferentes faixas da zona intermareal é a maior abundância do caranguejo *Panopeus americanus* Saussure, 1857 nas faixas médio e alto intermareal (Vergamini et al. 2008). Em relação ao tamanho, indivíduos menores são mais abundantes na faixa baixo intermareal (Vergamini et al. 2008). Diferenças na distribuição entre os sexos também ocorrem na zona entre marés e, podem ser um reflexo da estratégia reprodutiva, da qual, fêmeas ovígeras preferem áreas mais estáveis e seguras (Mantelatto 2000).

Diferentes espécies podem habitar o mesmo local desde que apresentem características que permitam esta sobreposição de nicho. A coexistência e o compartilhamento de habitats dependem não só dos limites de tolerância de cada uma das espécies envolvidas em relação aos fatores abióticos, mas também, de fatores bióticos como relações interespecíficas (Pinheiro et al. 1997).

O objetivo deste capítulo foi conhecer a biodiversidade de camarões da família Alpheidae e sua microdistribuição em duas áreas de amostragem na zona intermareal estuarina de Cananéia, SP, nesse sentido, as seguintes hipóteses foram testadas: (1) as espécies de camarões pertencentes a família Alpheidae apresentam microdistribuição diferenciada na zona intermareal estuarina evitando a sobreposição de nicho; (2) a abundância de fêmeas ovígeras é maior nas zonas intermareais com menor variação ambiental, que permanecem por mais tempo submersas, ou seja, médio e baixo intermareal.

Material e Métodos

1- Área de amostragem

Duas áreas na região estuarina de Cananéia foram amostradas, sendo conhecidas pelos pescadores locais como Canta galo ($25^{\circ}04'11,2''\text{S}$ $48^{\circ}03'08,9''\text{W}$), uma pequena praia estuarina que se forma devido ao declive do solo, a segunda área de coleta é conhecida como região da ilha das Cascas ($25^{\circ}05'13,6''\text{S}$ $48^{\circ}01'04,2''\text{W}$) por estar de frente para um ilhote estuarino conhecido pelo mesmo nome (**Figura 1**). Ambas áreas de coleta são caracterizadas por apresentar sedimento composto por uma mistura de areia com lama e rochas, sendo as rochas de pequeno a médio porte (aproximadamente 15 cm de diâmetro), dispersas por todo o local (**Figura 2**). Durante a maré baixa, ocorre a exposição do local onde formam-se pequenas poças de água sob as rochas, proporcionando microhabitats onde os camarões Alpheidae permanecem (**Figuras 3 e 4**). As bordas do estuário são compostas por um bosque denso e alagado parcialmente durante a maré alta.

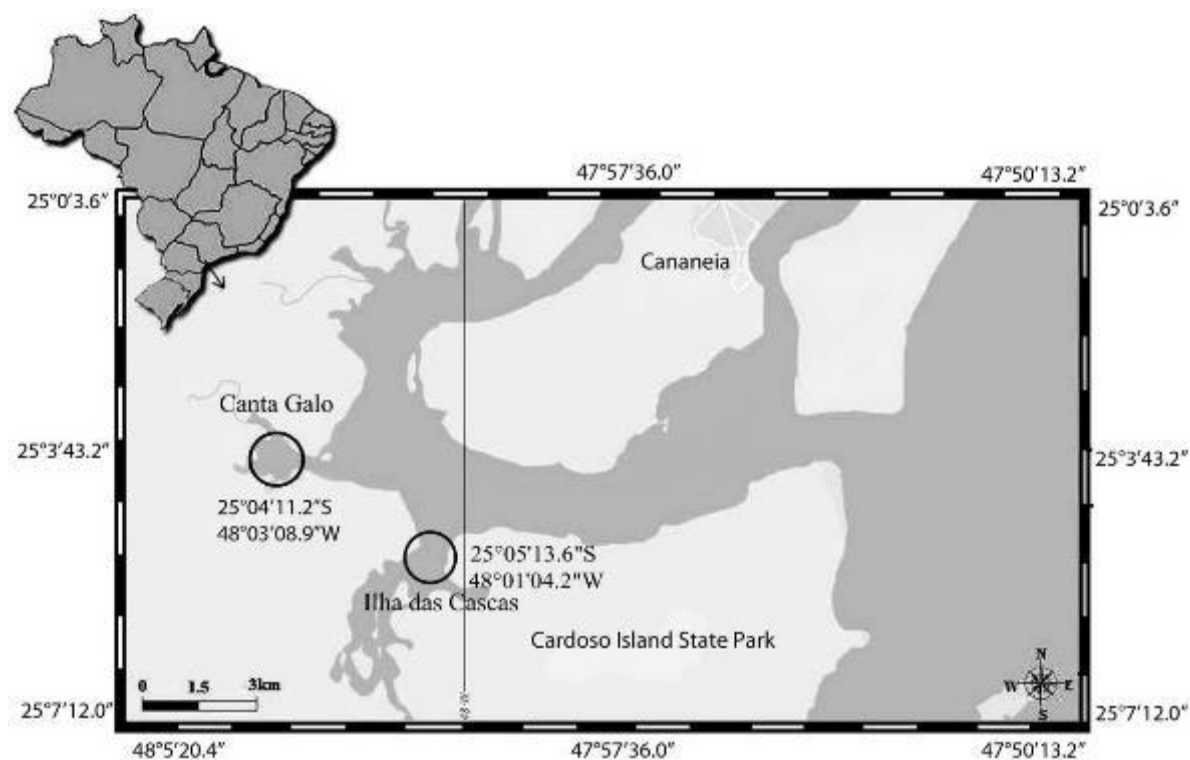


Figura 1. Adaptado de Pescinelli et al., (2017). Áreas de coleta (Canta Galo e Ilha das Cascas) na região intermareal estuarina de Cananéia, São Paulo, Brasil.

2- Coletas dos camarões

As coletas ocorreram em dois períodos, sendo no primeiro (março de 2013 a janeiro de 2014) quando foram realizadas bimestralmente na área de coleta Cantá Galo. No segundo período (abril de 2015 a março de 2016) as coletas foram realizadas mensalmente nas duas áreas de coleta, Cantá Galo e Ilha das Cascas. Todas as coletas ocorreram na maré baixa, durante lua cheia ou nova, quando ocorre maior exposição da região intermareal.

Em cada área de estudo, a região intermareal foi dividida em três zonas intermareais de aproximadamente 20m de comprimento por 5m de largura (perpendicular à linha da água), (metodologia adaptada de Vergamini et al. 2008 e Costa-Souza 2014). As zonas foram definidas de acordo com a proximidade da água durante o recuo máximo da maré sendo elas: região mais próxima à água (zona baixo intermareal), região mediana

(zona médio intermareal) e mais próxima as árvores do mangue (zona alto intermareal) (**Figura 5**).

Os camarões foram coletados manualmente por duas pessoas durante o período da manhã com um esforço amostral de 2h. Após a coleta, os camarões foram individualizados e acondicionados em caixas térmicas com gelo picado. Posteriormente, o material foi levado ao laboratório e analisado. Os dados ambientais amostrados foram temperatura da água e do ar por meio de um termômetro químico, a salinidade com um refratômetro portátil e os dados de precipitação média obtidos no site www.ciiagro.sp.gov.br.



Figura 2. Área de coleta do Canta Galo ($25^{\circ}04'11,2''\text{S}$ - $48^{\circ}03'08,9''\text{W}$), Estuário de Cananéia, São Paulo, Brasil. (a) área de coleta ainda submersa durante o recuo da maré; (b) área de coleta exposta durante a maré baixa.



Figura 3. Área de coleta do Canta Galo no estuário de Cananéia, São Paulo, Brasil. Destaque para quadrante de 1m² delimitado por cordas e rochas sob o sedimento estuarino.

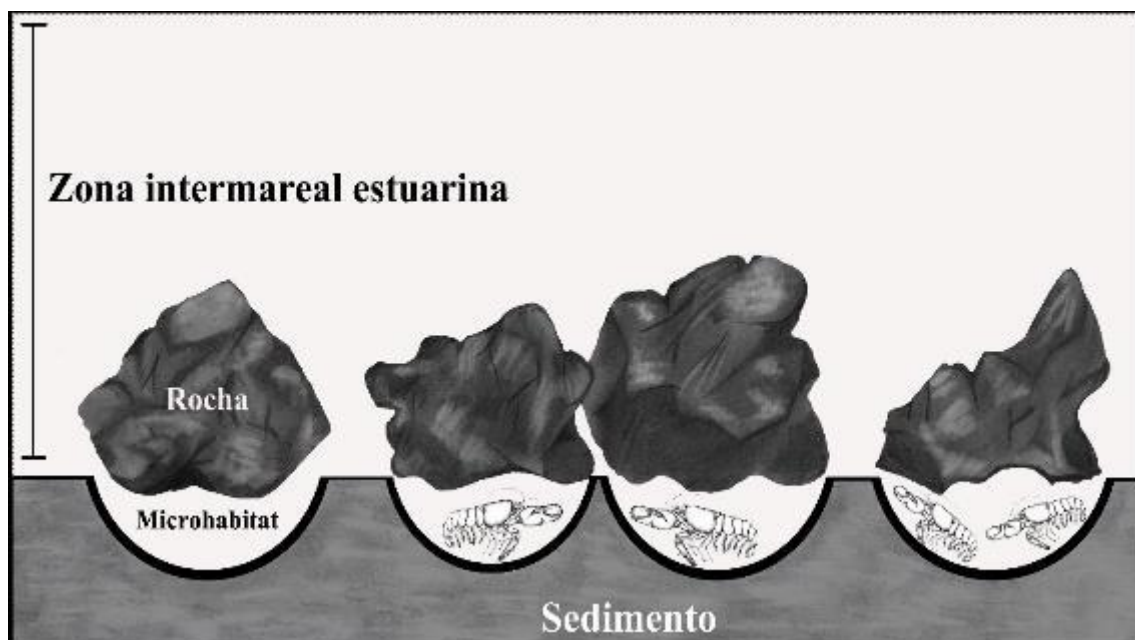


Figura 4. Representação dos microhabitats sob rochas, onde os camarões Alpheidae Rafinesque, 1815, foram coletados manualmente na região intermareal estuarina.

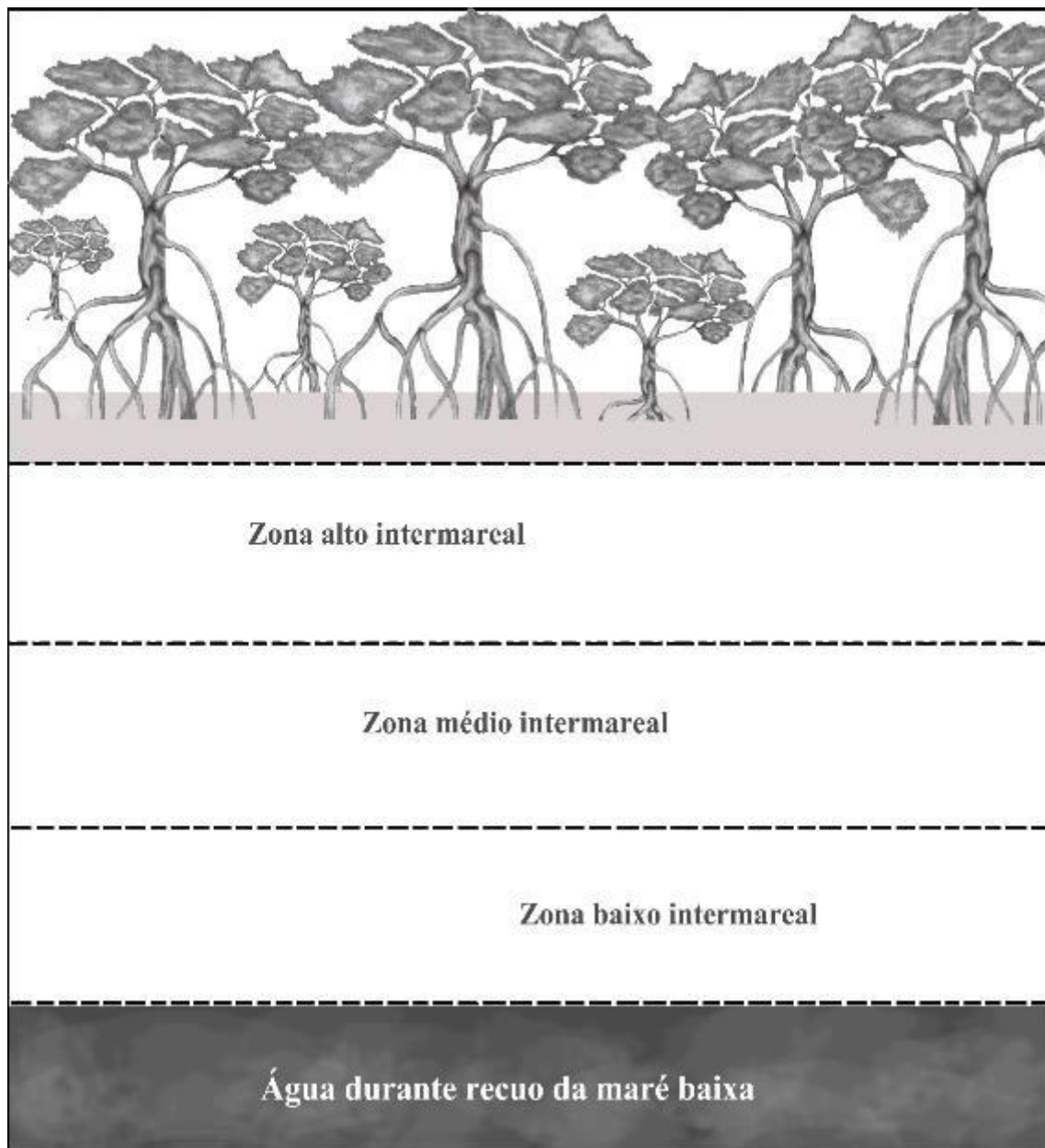


Figura 5. Representação da área de coleta do Canta Galo dividida em zonas intermareais de acordo com a proximidade da água durante o recuo máximo da maré baixa: região mais próxima à água (zona baixo intermareal), região mediana (zona médio intermareal) e mais próxima as árvores do mangue (zona alto intermareal).

3- Análise dos dados

Composição, diversidade e microdistribuição dos camarões Alpheidæ

A diversidade de Alpheidæ (H') de cada área de coleta foi expressa pelo índice de Shannon-Wiener (Pielou 1966). Os componentes: riqueza de espécies (número de espécies na assembleia) e equitabilidade de Pielou (J') (como os indivíduos estão distribuídos entre as espécies) também foram calculados. Para a equitabilidade os valores podem variar de 0 a 1 e, quanto mais próximo de 1, mais homogênea é a amostra em termos de abundância, ou seja, maior a semelhança na quantidade de organismos capturados de cada espécie.

O índice H' foi expresso pela equação:

$$H' = - \sum^S (P_i) \cdot (\ln P_i)$$

A equitabilidade foi estimada pela equação:

$$J' = H' / \log_2 S.$$

Sendo,

P_i = importância da espécie i , ou seja, número de indivíduos da espécie i em relação ao total de indivíduos na amostra (n_i/N); S = número de espécies na amostra; J' = equitabilidade; H' = índice de diversidade de Shannon-Wiener.

A análise de agrupamento (Cluster) foi realizada entre as espécies (modo R) utilizando-se o coeficiente de dissimilaridade de Bray-Curtis. Este índice não é afetado por valores extremos e pode ser usado em dados que contêm espécies tanto abundantes quanto raras (Krebs 1989). O método de ligação utilizado foi o UPGMA (Unweighted-Pair Group Averaging), cuja técnica de ligação é muito utilizada na ecologia, pois é a que melhor traduz no dendrograma as afinidades da matriz original (Krebs 1989).

Foram testados a homocedasticidade (teste de Levene) e a normalidade (teste de Kolmorov-Sminov). Os camarões foram quantificados em cada zona intermareal (baixo, médio e alto intermareal).

Para cada área de coleta (Ilha das Cascas e Santa Galo) e zona intermareal foi calculada a abundância (número total de indivíduos) e, para o agrupamento de todo o período amostral, a abundância relativa ($AR = \text{número de indivíduos de uma determinada espécie} / \text{número total de indivíduos de todas as espécies}$). A constância das espécies foi calculada para todo o período de coletas de acordo com Dajoz (1983), através da equação $C = p.100/P$, onde p é o número de amostras em que espécie ocorreu e P é o número total de amostras realizadas.

A abundância de todos os Alpheidae foi comparada nas três zonas de coleta (baixo, médio e alto intermareal), por meio de uma análise de variância ANOVA ou Kruskal Wallis no caso de dados não normais ($\alpha = 0,05$). O tamanho médio dos indivíduos nas três zonas intermareais de amostragens (baixo, médio e alto intermareal) foi comparado por meio do *test* ou Mann-Whitney *test* ($\alpha = 0,05$), no caso de dados não normais.

Resultados

1- Fatores ambientais

No primeiro período de amostragem a temperatura da água variou de 20 a 30°C ($24,5 \pm 4,5^\circ\text{C}$), a salinidade variou de 4 a 20 ppt ($12,4 \pm 6,2$ ppt) e a precipitação variou de 99 a 418 mm (185 ± 127 mm). No segundo período de amostragem a temperatura variou de 21 a 28°C ($24,2 \pm 1,93^\circ\text{C}$), a salinidade mínima e máxima constatadas foram 5 e 29 ppt ($15,4 \pm 7,7$ ppt) e a precipitação variou de 30 a 413 mm (189 ± 108 mm) (**Figura 6**). Na área do Santa Galo a temperatura variou de 20 a 30°C ($24,5^\circ\text{C} \pm 4,5^\circ\text{C}$) e a

salinidade de 4 a 20 ppt (12.4 ± 6.2 ppt). Já na área de amostragem Ilha das Cascas a temperatura variou de 21 a 28°C (23.9 ± 2.1 °C) e a salinidade de 9 a 29 ppt (19.5 ± 8.5 ppt).

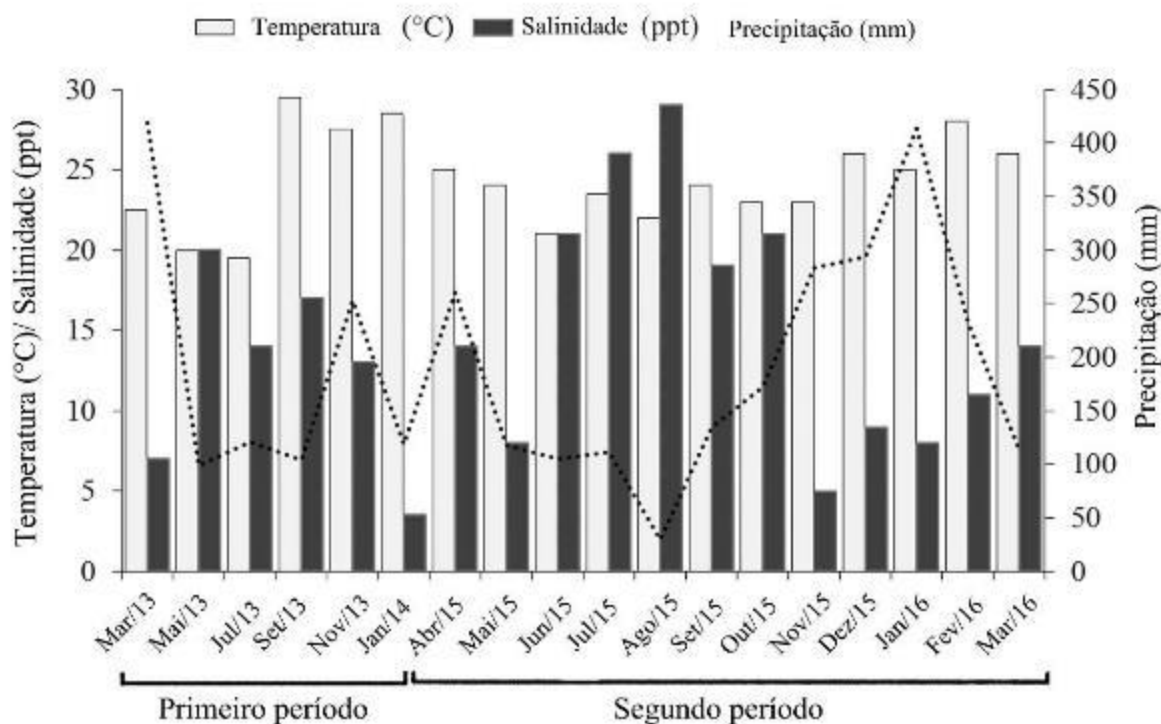


Figura 6. Variação temporal da temperatura, salinidade e precipitação durante os dois períodos de amostragem em Cananéia, São Paulo, Brasil. Modificado de Pescinelli et al. 2018.

2- Diversidade e abundância

Durante os dois períodos de amostragem foram capturadas 7 espécies de Alpheidae sendo elas: *Alpheus brasileiro* Anker, 2012 e *Alpheus carlae* Anker, 2012 (**Figura 7 a-b**), *Alpheus buckupi* Almeida, Terossi, Araújo-Silva & Mantelatto, 2013 e *Alpheus estuariensis* Christoffersen, 1984 (**Figura 8 a-b**), *Alpheus petronioi* Almeida, Terossi & Mantelatto, 2014 e *Athanas nitescens* (Leach, 1814) (**Figura 9 a-b**), e *Salmones carvachoi* Anker, 2007 (**Figura 10**).

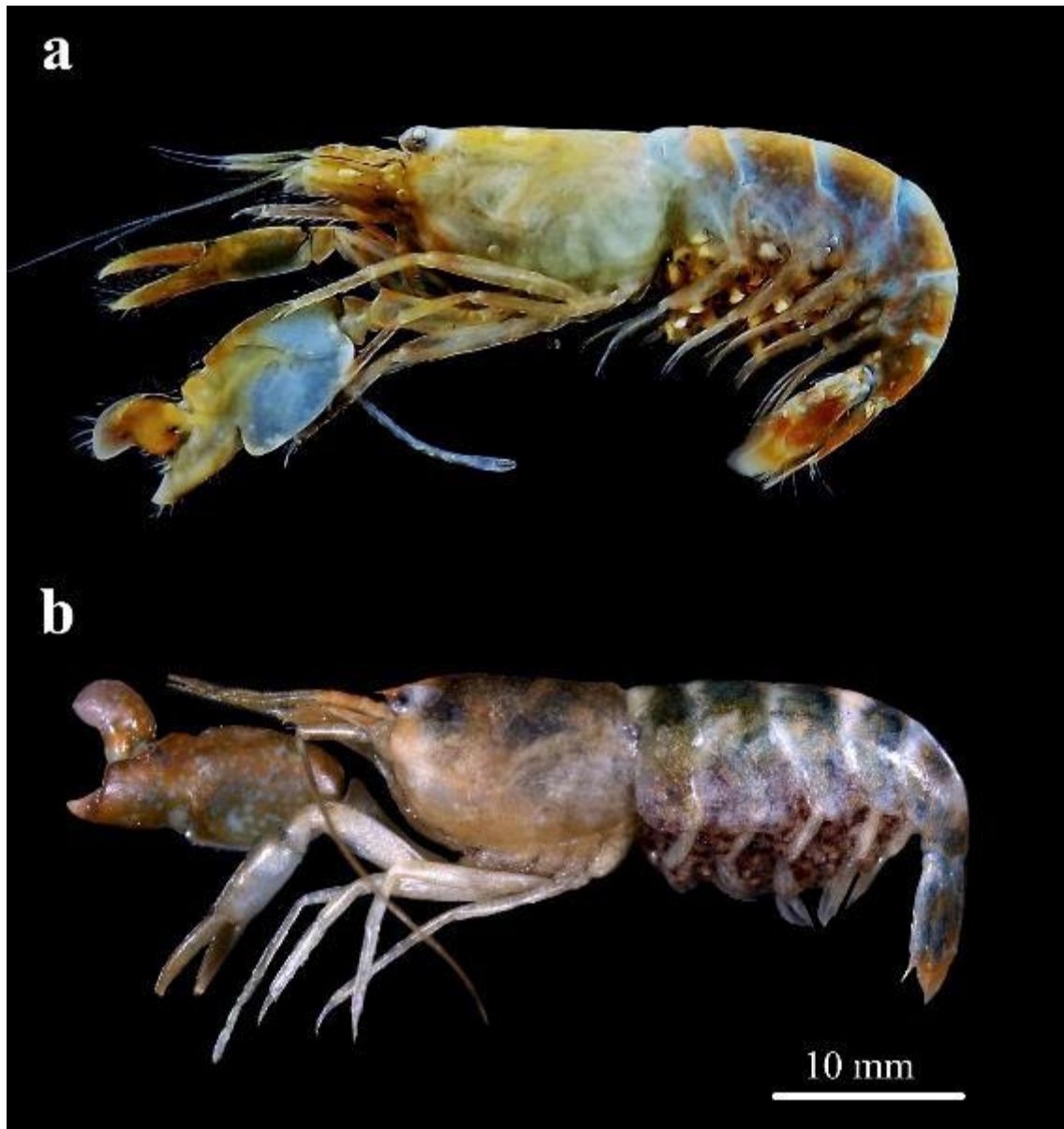


Figura 7 a-b. Camarões Alpheidae coletados na região intermareal estuarina de Cananéia, São Paulo. Fotos: vista lateral (a) *Alpheus brasileiro* Anker, 2012, (b) *Alpheus carlae* Anker, 2012.

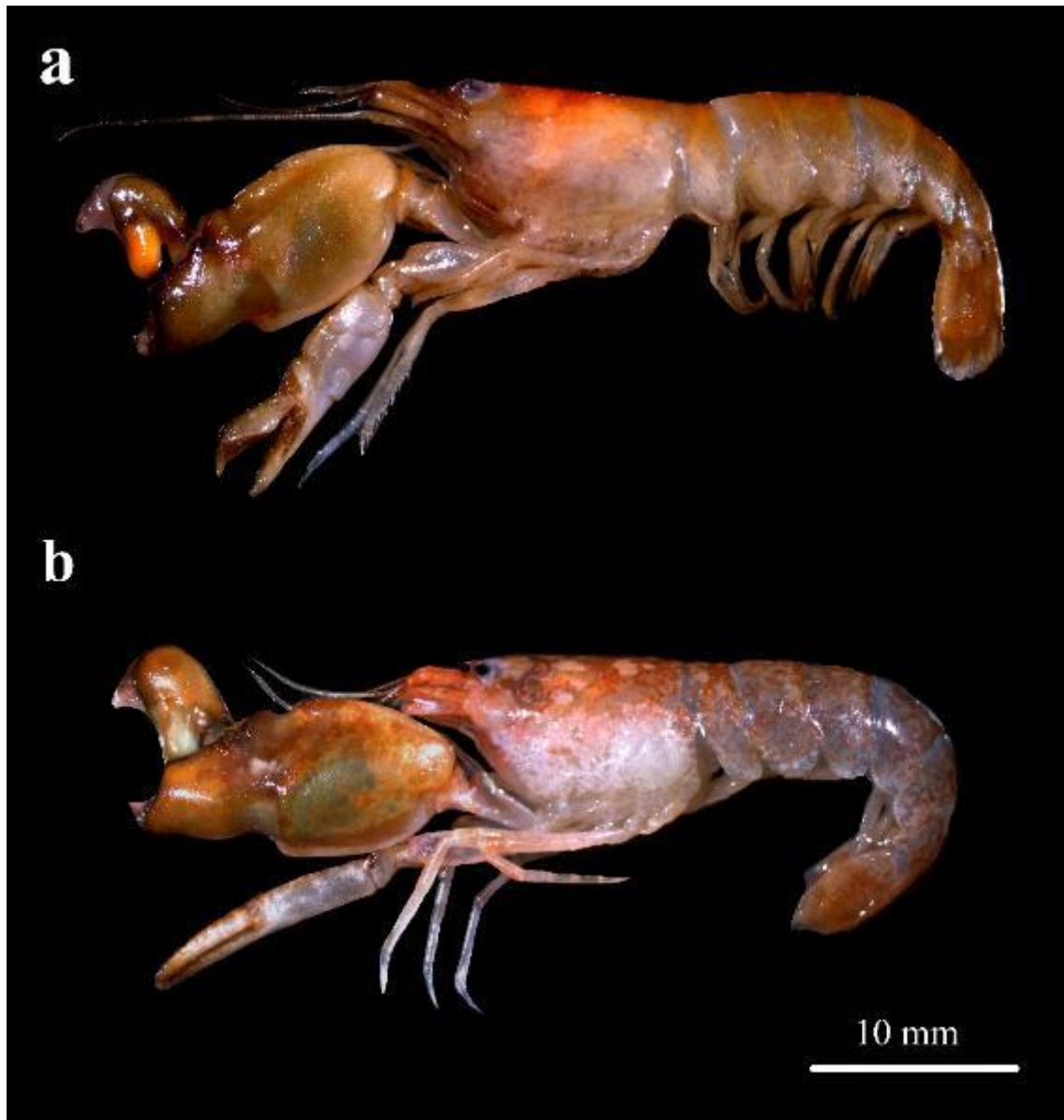


Figura 8 a-b. Camarões Alpheidae coletados na região intermareal estuarina de Cananéia, São Paulo. Fotos: vista lateral (a) *Alpheus buckupi* Almeida, Terossi, Araújo-Silva & Mantelatto, 2013, (b) *Alpheus estuariensis* Christoffersen, 1984.

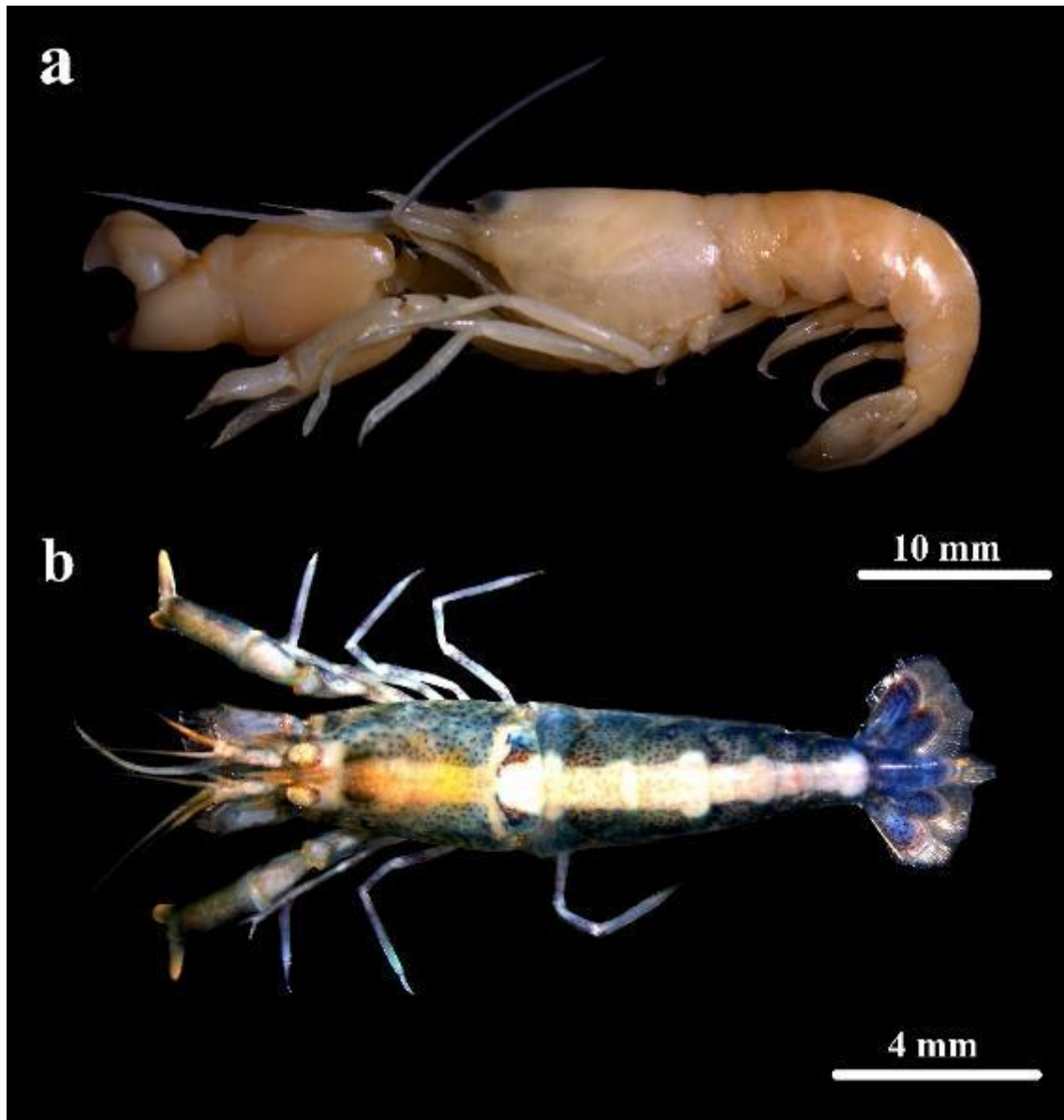


Figura 9 a-b. Camarões Alpheidae coletados na região intermareal estuarina de Cananéia, São Paulo. Fotos: vista lateral (a) *Alpheus petronioi* Almeida, Terrosi & Mantelatto, 2014, vista dorsal (b) *Athanas nitescens* (Leach, 1814).



Figura 10. *Salmoneus carvachoi* Anker, 2007 (vista lateral) coletado na região intermareal estuarina de Cananéia, São Paulo.

Com relação à riqueza, a área de amostragem Santa Galo apresentou 6 espécies, sendo que das sete espécies amostradas para a riqueza total nos dois períodos de amostragem e nas duas áreas coletadas, apenas *A. buckupi* não foi coletada no Santa Galo. Já na Ilha das Cascas 5 espécies foram amostradas, *S. carvachoi* e *A. estuariensis* não estiveram presentes (**Figura 11**).

Comparando a riqueza por período de amostragem foi constatado a presença de 6 espécies durante o primeiro período com a ocorrência de apenas mais uma espécie no segundo período (*A. buckupi*) (**Figura 12**).

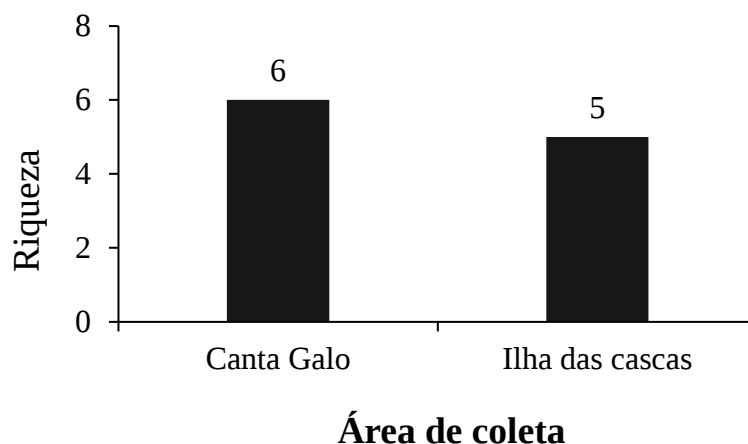


Figura 11. Riqueza de espécies nas duas áreas amostradas na região intermareal estuarina de Cananéia, São Paulo, Brasil.

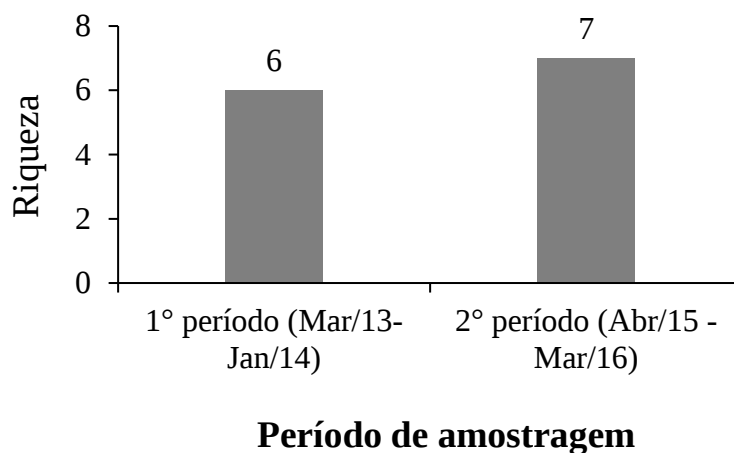


Figura 12. Riqueza de espécies durante dos dois períodos de amostragem na região intermareal estuarina de Cananéia, São Paulo, Brasil.

A abundância total dos camarões Alpheidae considerando as duas áreas de coleta (Canta Galo e Ilha das Cascas) e os dois períodos de amostragem (março-13 a janeiro-14 e abril-2015 a março-16) foi de 877 indivíduos, sendo *A. brasileiro* a espécie mais abundante e também a mais constante seguido por *A. carlae* (**Tabela 1**).

Tabela 1. Abundância absoluta, abundância relativa e constância das espécies de Alpheidae coletadas nas duas áreas de coleta durante os dois períodos de amostragem.

Espécie	Abundância	Abundância relativa AR (%)	Constância C (%)
<i>Alpheus brasileiro</i>	498	56.78	100
<i>Alpheus buckupi</i>	18	2.05	16.67
<i>Alpheus carlae</i>	172	19.61	50
<i>Alpheus estuariensis</i>	87	9.92	61
<i>Alpheus petronioi</i>	54	6.16	38.89
<i>Athanas nitescens</i>	44	5.02	33.33
<i>Salmones carvachoi</i>	4	0.46	11.11
Total	877	100	

No Canta Galo *A. brasileiro* também foi a espécie com maiores abundâncias absoluta, relativa e maior constância (AR = 64.34 % e C = 100 %) seguido de *A. estuariensis* (AR = 19.03 e C = 41.67) (**Tabela 2**). Na ilha das Cascas assim como no Canta Galo *A. brasileiro* foi a espécie mais abundante (AR = 48.57 % C = 100 %) seguido por *A. carlae* (AR = 37.86 % C = 83.33 %) (**Tabela 3**).

Tabela 2. Abundância absoluta, abundância relativa e constância das espécies de Alpheidae coletadas na área de coleta “Canta Galo” durante os dois períodos de amostragem.

Espécie	Abundância	Abundância relativa AR (%)	Constância C (%)
<i>Alpheus brasileiro</i>	294	64.34	100
<i>Alpheus carlae</i>	13	2.85	33.33
<i>Alpheus estuariensis</i>	87	19.03	41.67
<i>Alpheus petronioi</i>	52	11.37	25
<i>Athanas nitescens</i>	7	1.53	16.67
<i>Salmones carvachoi</i>	4	0.88	8.3
Total	457	100	

Tabela 3. Abundância absoluta, abundância relativa e constância das espécies de Alpheidae coletadas na área de coleta “Ilha das Cascas” durante os dois períodos de amostragem

Espécie	Abundância	Abundância relativa AR (%)	Constância C (%)
<i>Alpheus brasileiro</i>	204	48.57	100
<i>Alpheus buckupi</i>	18	4.28	50
<i>Alpheus carlae</i>	159	37.86	83.33
<i>Alpheus petronioi</i>	2	0.48	16.66
<i>Athanas nitescens</i>	37	8.81	50
Total	420	100	

A diversidade foi semelhante nas duas áreas de amostragem sendo a ilha das Cascas a área que apresentou os maiores valores do índice de diversidade e equitabilidade ($H' = 1.09$ e $J' = 0.68$) comparado aos valores observados para o Canta Galo ($H' = 1.05$ e $J' = 0.59$) (**Figura 13**). Com relação à diversidade e equitabilidade comparando os dois períodos de amostragem foi observado que o segundo período (abril/15 – março/16) apresentou maior diversidade ($H' = 1.28$ e $J' = 0.66$) comparado ao observado ao primeiro período de amostragem ($H' = 1.07$ e $J' = 0.60$) (**Figura 14**).

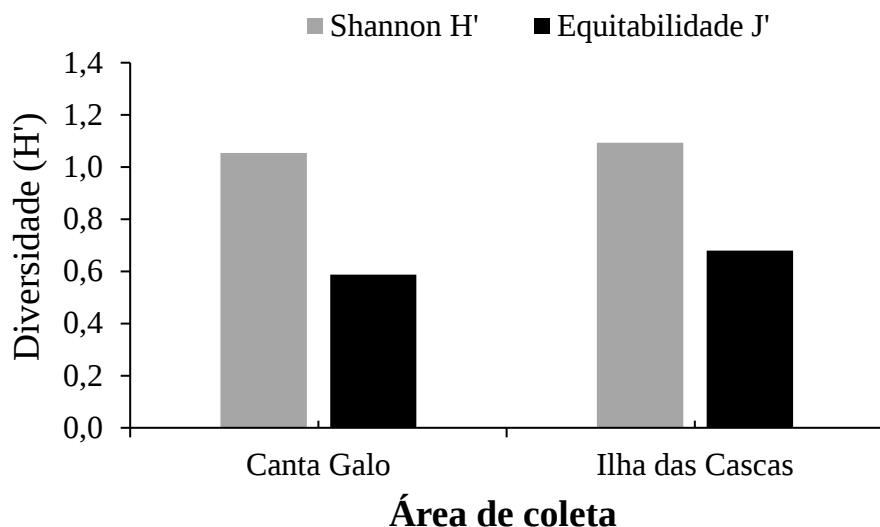


Figura 13. Índices de diversidade e equitabilidade entre as duas áreas de coleta durante os dois períodos de amostragem na região intermareal estuarina de Cananéia, São Paulo, Brasil.

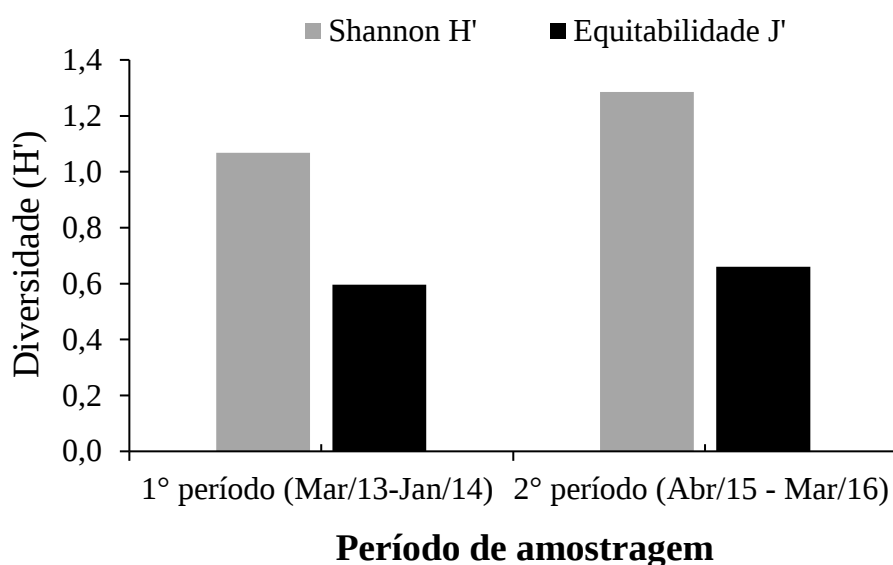


Figura 14. Índices de diversidade e equitabilidade entre os dois períodos de amostragem na região intermareal estuarina Cananéia, São Paulo, Brasil.

3- Similaridade

Analisando a similaridade entre as espécies de camarões mais e menos abundantes nos dois períodos de amostragem juntamente com as duas áreas, é possível observar o

agrupamento de algumas espécies como por exemplo, o formado por *A. petronioi* e *A. estuariensis* com similaridade superior a 50%, além de *A. brasileiro* com *A. carlae* e *A. buckupi* com *A. nitescens* ambos agrupamentos com menos de 50% de similaridade (Figura 15).

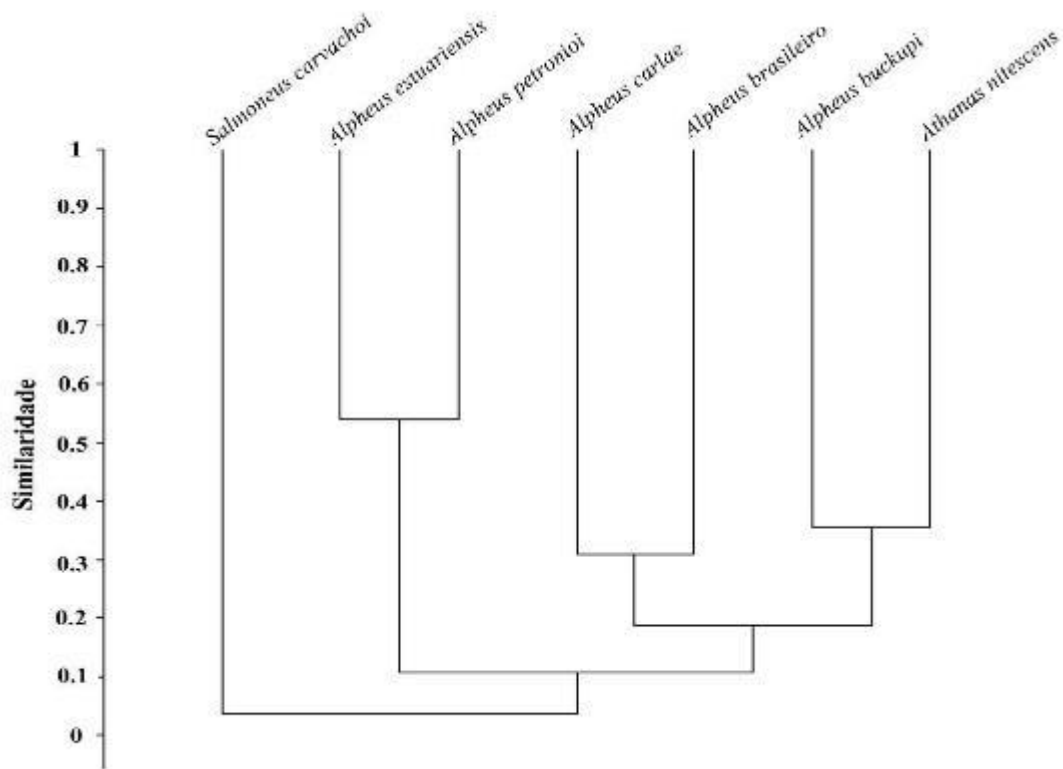


Figura 15. Dendrograma obtido na análise de cluster (UPGMA - Bray-Curtis) para os camarões Alpheidae na região intermareal do estuário de Cananéia, São Paulo, Brasil.

Analisando a similaridade por período de amostragem também verificou o agrupamento superior a 50% de similaridade entre *A. petronioi* e *A. estuariensis* (Figuras 16 e 17).

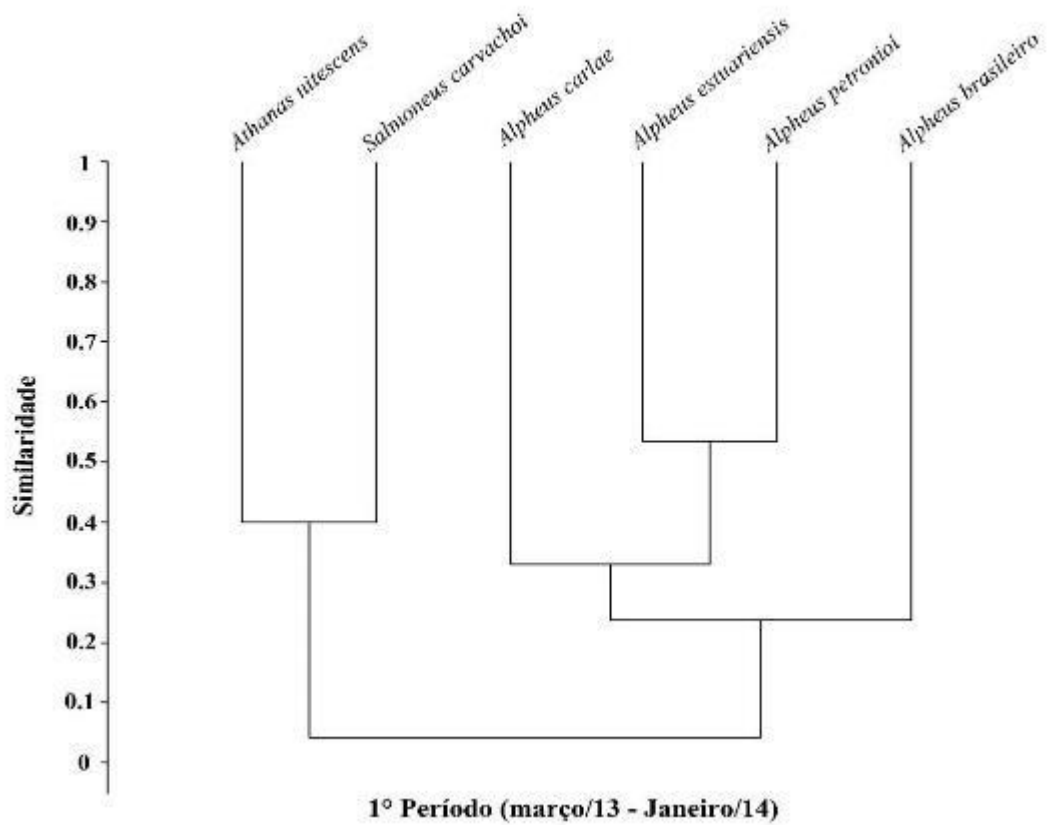


Figura 16. Dendrograma obtido na análise de cluster (UPGMA - Bray-Curtis) para os camarões Alpheidae coletados no primeiro período de amostragem (março/13 a janeiro/14) na região intermareal do estuário de Cananéia, São Paulo, Brasil.

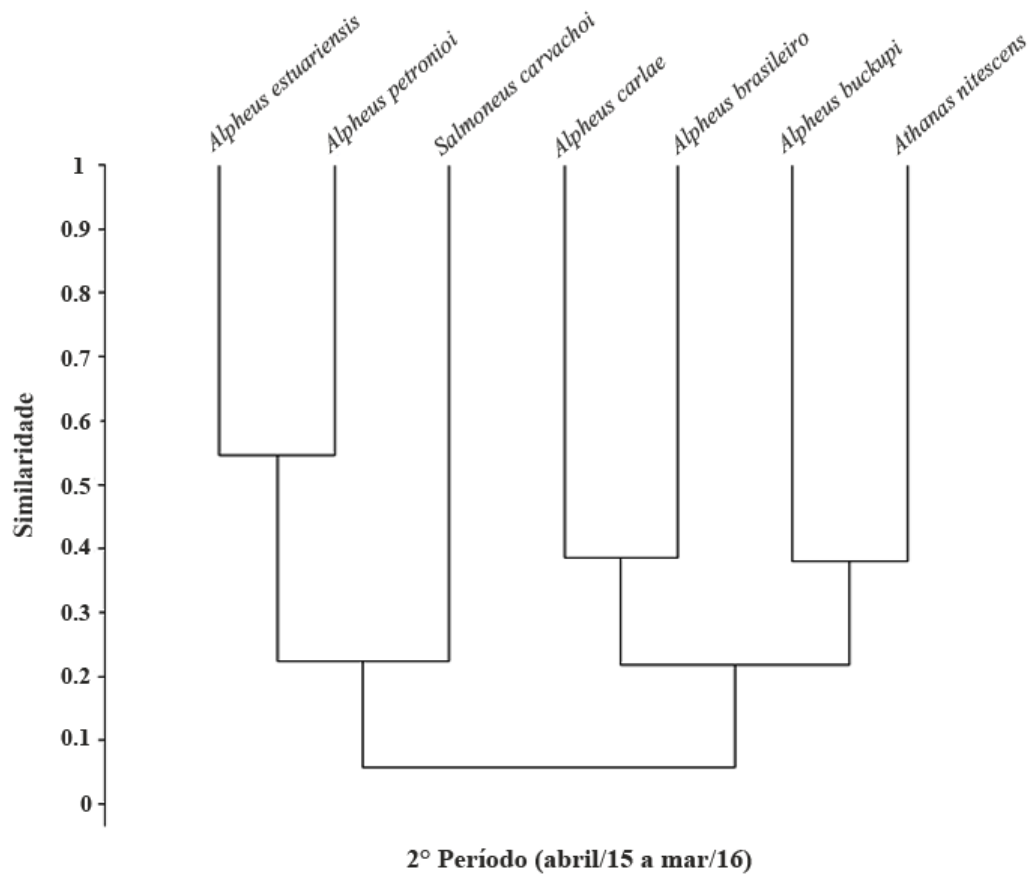


Figura 17. Dendrograma obtido na análise de cluster (UPGMA - Bray-Curtis) para os camarões Alpheidae coletados no segundo período de amostragem (abril/15 a mar/16) na região intermareal do estuário de Cananéia, São Paulo, Brasil.

Em relação as duas áreas de coleta somente *A. estuariensis* e *A. petronioi* na região do Canta Galo e *A. brasileiro* e *A. carlae* na ilha das Cascas apresentaram agrupamentos de similaridade superiores 50% (**Figura 18**).

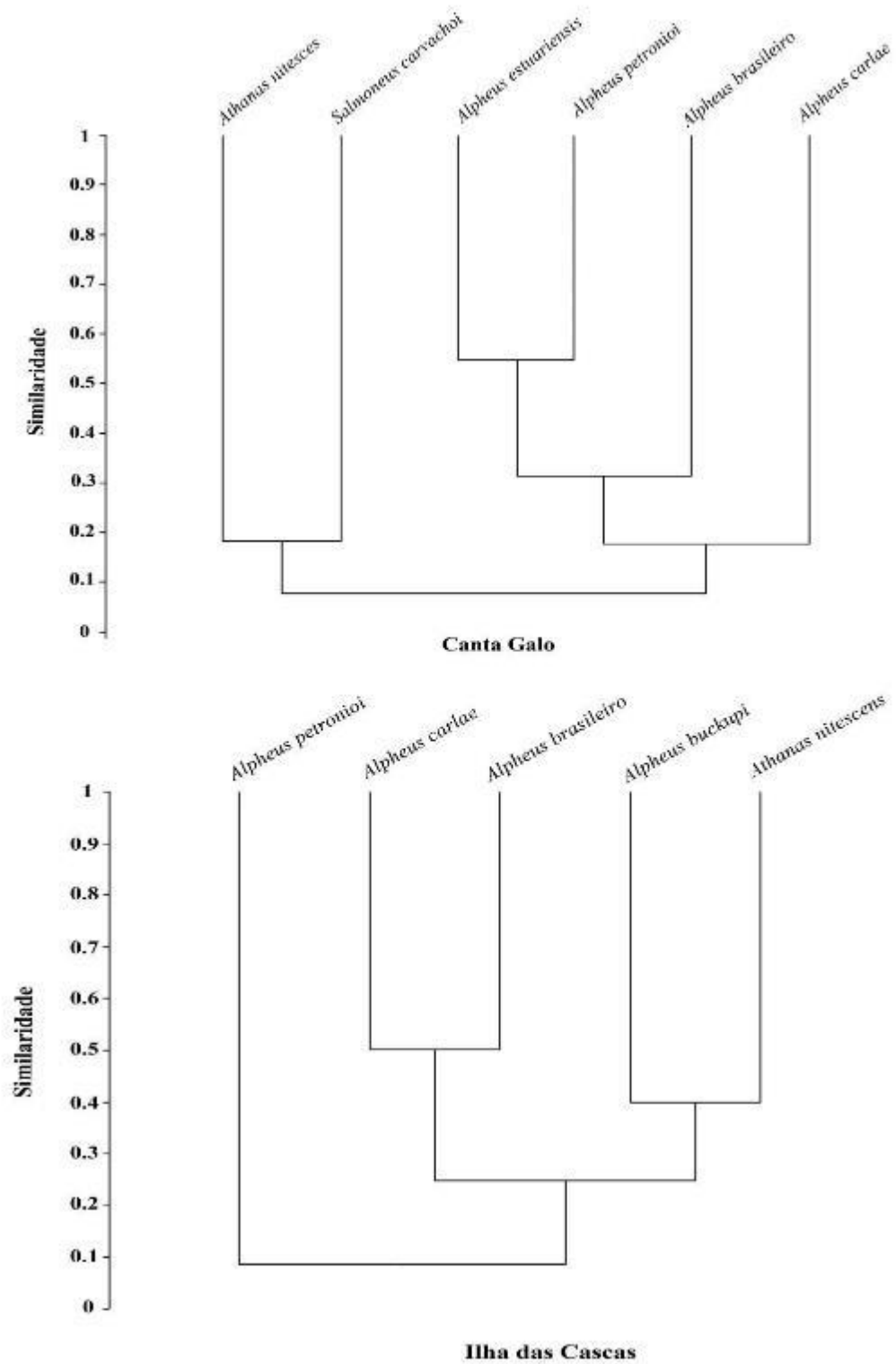


Figura 18. Dendrograma obtido na análise de cluster (UPGMA - Bray-Curtis) para os camarões Alpheidae coletados no Cantá Galo e Ilha das Cascas, região intermareal estuarina de Cananéia, São Paulo, Brasil.

4- Microdistribuição

A microdistribuição apresentou um gradiente em termos de abundância total das espécies de Alpheidae na área de amostragem Santa Galo, onde foi possível observar uma maior abundância de camarões na zona A (baixo intermareal) seguida pela zona B e C respectivamente (médio e alto intermareal) (**Figura 19**). No entanto, a análise de variância não apresentou diferença significativa entre as zonas de coleta (ANOVA, $F = 3.323$, $P = 0.051$). A ilha das Cascas apresentou maior abundância na zona B seguida pela zona C e A respectivamente (**Figura 19**). A análise de variância também não apresentou diferença significativa entre a abundância de Alpheidae entre as zonas intermareais (ANOVA, $F = 0.421$, $P = 0.664$).

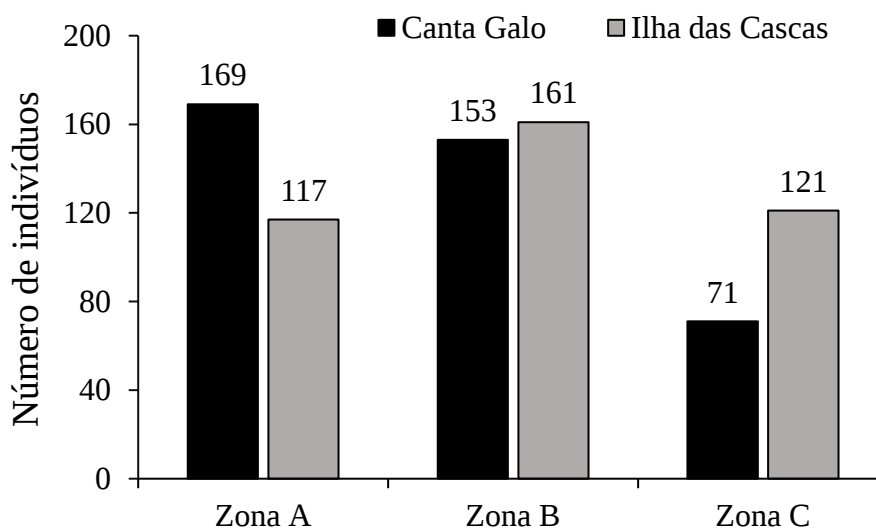


Figura 19. Microdistribuição dos camarões Alpheidae da região intermareal estuarina de Cananéia, São Paulo, Brasil. Baixo intermareal (zona A), médio intermareal (zona B) e alto intermareal (zona C).

Analisando isoladamente a microdistribuição de cada espécie nas áreas do Santa Galo e Ilha das Cascas foi observado diferenças na distribuição de uma mesma espécie nas duas áreas amostradas. *A. brasileiro* por exemplo, apresentou maior abundância na

zona A seguido de zona B e C no Canta Galo (Kruskal–Wallis/Dunn: $H = 3.12$; $P = 0.007$). Já na ilha das Cascas a distribuição foi mais homogênea com indivíduos encontrados em abundâncias semelhantes nas três zonas intermareais amostradas e não houve diferença significativa na distribuição (ANOVA, $F = 0.140$, $P = 0.870$). (**Figura 20a**).

Analisando a distribuição das demais espécies apenas *A. estuariensis* apresentou diferença significativa (ANOVA, $F = 3.874$, $P = 0.036$), sendo mais abundante na zona C e B respectivamente, ocorrendo apenas no Canta Galo (**Figura 20c**). *A. carlae* foi mais abundante na ilha das Cascas e a distribuição foi semelhante nas três zonas (**Figura 20b**). *A. petronioi* foi mais abundante na zona A do canta Galo, porém, na zona B e C a abundância da espécie foram iguais (**Figura 20d**). Tanto *A. buckupi* como *A. nitescens* apresentaram distribuição com maior abundância na zona B da ilha das cascas, ou seja, na zona do médio intermareal (**Figura 20 e-f**).

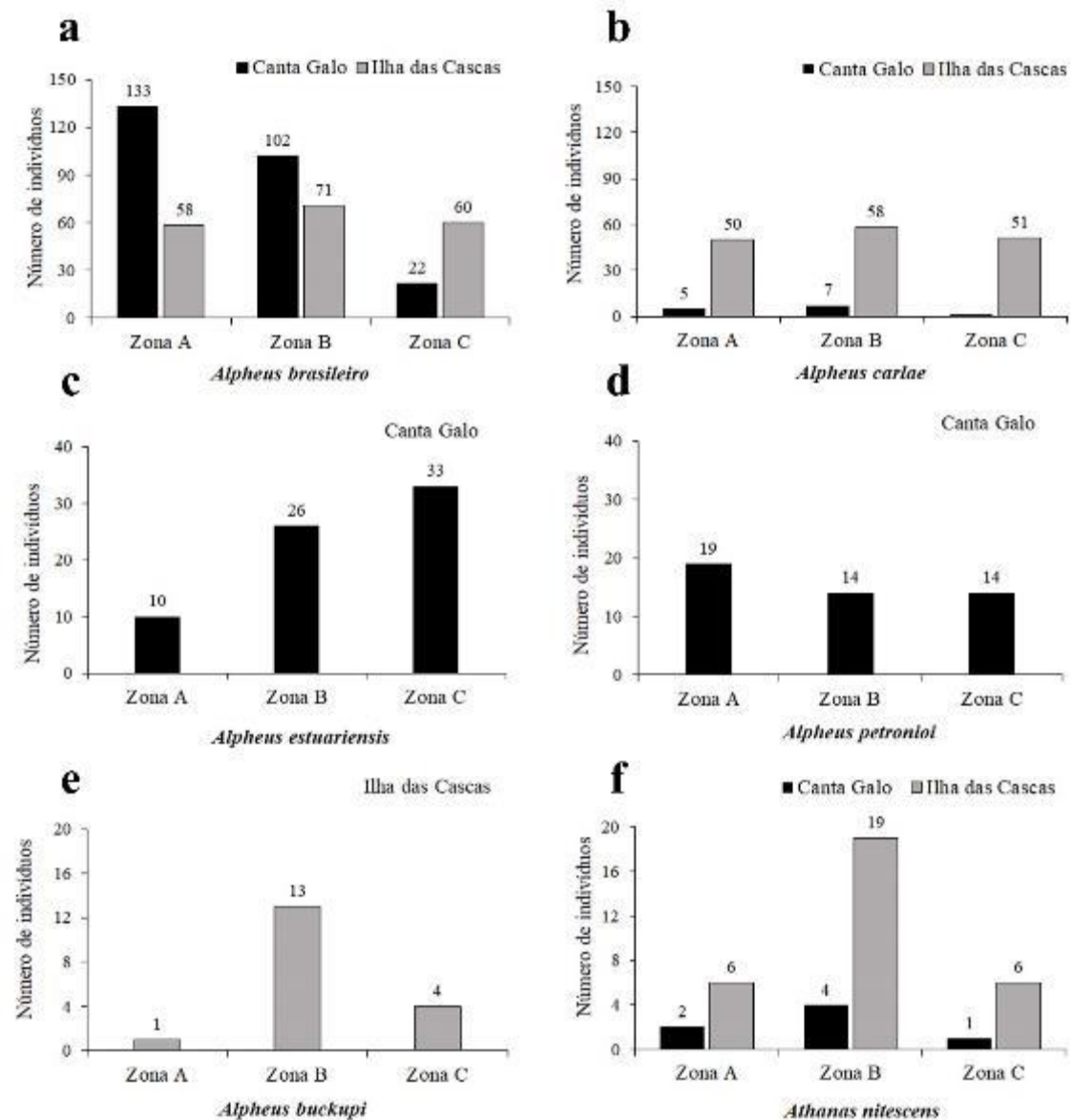


Figura 20. Microdistribuição dos camarões Alpheidae da região intermareal estuarina de Cananéia, São Paulo, Brasil. Baixo intermareal (zona A), médio intermareal (zona B) e alto intermareal (zona C).

Não houve divergência na microdistribuição em relação as categorias demográficas (machos, fêmeas sem ovos e fêmeas com ovos). Todas as categorias foram mais abundantes na zona B (médio intermareal) seguido pela zona A (baixo intermareal) e C (alto intermareal) respectivamente (**Figura 21**).

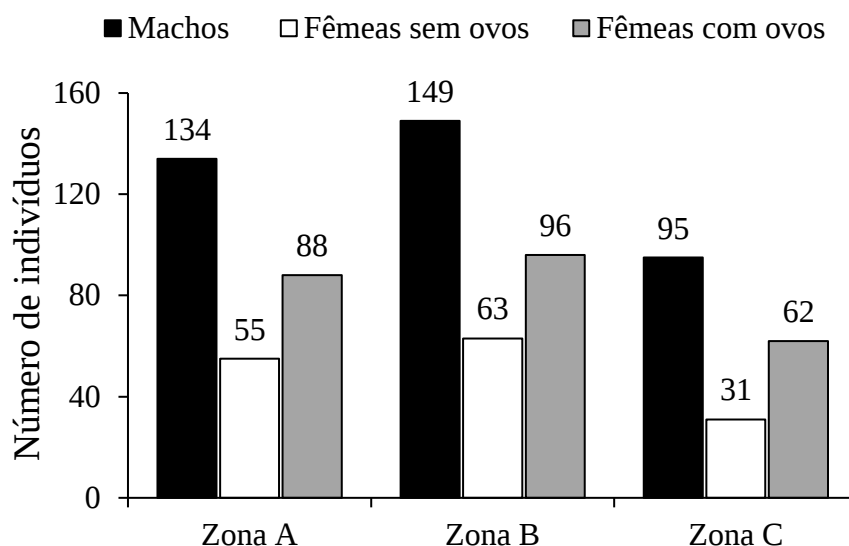


Figura 21. Microdistribuição dos camarões Alpheidae de acordo com as categorias demográficas na região intermareal estuarina de Cananéia, São Paulo, Brasil. Baixo intermareal (zona A), médio intermareal (zona B) e alto intermareal (zona C).

A microdistribuição por categoria demográfica para cada uma das espécies de Alpheidae amostradas manteve o padrão observado para a abundância geral por área de coleta. *A. brasileiro* apresentou maior abundância em todas as categorias demográficas na zona A, seguido das zonas, B e C (**Figura 22a**). Já *A. carlae* não apresentou um padrão de distribuição, ou seja, todas as categorias demográficas apresentaram abundâncias semelhantes nas três zonas intermareais (**Figura 22b**).

Analisando a distribuição de *A. estuariensis* e *A. petronioi* é possível notar um padrão distribucional oposto, ou seja, enquanto *A. estuariensis* apresentou maiores abundâncias na zona C seguido de B e A, *A. petronioi* foi mais abundante na zona A seguido de B e C (**Figuras 22 c-d**). Já *A. buckupi* e *A. nitescens* foram mais abundantes na zona B (**Figuras 22 e-f**).

O tamanho médio dos camarões Alpheidae não apresentou diferença significativa entre as zonas de amostragem (baixo, médio e alto intermareal) na região do Santa Galo e Ilha das Cascas (Mann-Whitney test, $P > 0.05$).

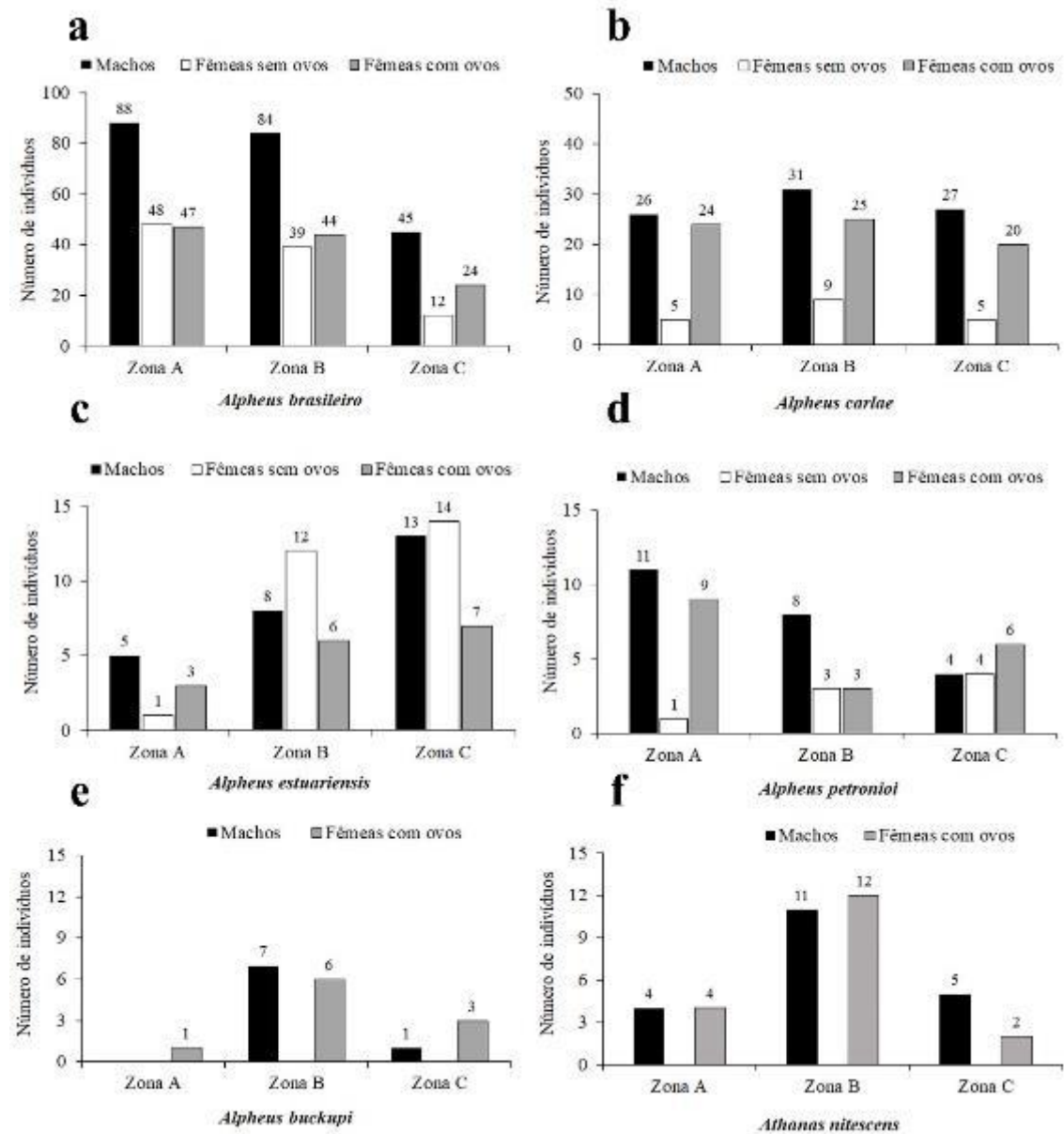


Figura 22. Microdistribuição dos camarões Alpheidae de acordo com as categorias demográficas na região intermareal estuarina de Cananéia, São Paulo, Brasil. Baixo intermareal (zona A), médio intermareal (zona B) e alto intermareal (zona C).

Discussão

No presente estudo, verificou-se dentre os fatores ambientais monitorados nas duas áreas de coleta (Canta Galo e Ilha das Cascas) que a salinidade da água foi o que apresentou maior diferença entre esses dois locais, sendo que na Ilha das Cascas foram observados os maiores valores de salinidade. Essa diferença nos valores da salinidade observados nas duas áreas está ligada a posição de cada área em relação a desembocadura do estuário na região marinha propriamente dita (Barra de Icapara).

A área amostral da Ilha das Cascas está mais próxima da abertura do estuário comparada ao Canta Galo. Além disso, o canal da Ilha das Cascas é mais largo comparado ao do Canta Galo, assim sendo, a maior salinidade encontrada na Ilha das Cascas se deve ao maior fluxo de entrada de água durante a subida da maré. Outro fator que provavelmente contribui para os menores valores na salinidade da região do Canta Galo é a presença de pequenos corpos d'água continentais que desaguam no canal.

A riqueza dos camarões Alpheidae foi semelhante nas duas áreas de coleta, sendo seis espécies registradas para o Canta Galo e cinco para Ilha das Cascas. Porém, algumas espécies só ocorreram em uma das áreas estudadas, como no caso de *S. carvachoi* e *A. estuariensis* que só foram registradas na região do Canta Galo. Já *A. buckupi* só foi coletado na área de coleta da Ilha das Cascas. Com exceção de *S. carvachoi* que foi representado por apenas quatro indivíduos durante todo o período de amostragem e que apresenta um tamanho bastante diminuto sendo difícil de ser localizado no sedimento, a presença de *A. estuariensis* e *A. buckupi* pode estar relacionada a salinidade da água, uma vez que foi o único fator analisado que mostrou diferenças entre as duas áreas.

Além de ocorrer apenas na Ilha das Cascas, *A. buckupi* foi observado nos três meses com os maiores valores de salinidade da água (julho, agosto e outubro/15) indicando que a presença desta espécie está modulada a água com valores de salinidades

acima de 20ppt. Valores esses que não foram observados para a salinidade da água na região do Canta Galo. A salinidade é considerada um dos principais fatores abióticos a serem correlacionados com a presença ou ausência de espécies em determinado local, isso porquê este fator pode ser limitante a presença de uma espécie ou aos seus processos reprodutivos (Gunter 1950).

Apesar de apresentar uma riqueza considerável, foi possível observar a predominância de duas espécies em relação a abundância. *A. brasileiro* é a espécie mais abundante e constante em ambas as áreas de amostragem seguido de *A. carlae*. Quando comparado a abundância nas duas áreas também foi observado a presença de *A. brasileiro* como a espécie mais abundante. Porém, na região do Canta Galo a segunda espécie mais abundante é *A. estuariensis* já na ilha das Cascas é *A. carlae*.

Analisando a abundância relativa fica mais nítido ainda a predominância de duas espécies durante o estudo. *A. brasileiro* apresentou uma abundância relativa de 56% seguido de *A. carlae* com 19%, nenhuma das outras cinco espécies registradas para o estudo ultrapassaram a abundância relativa de 10%. Somando a abundância relativa das duas espécies mais abundantes em cada área de amostragem fica ainda mais expressivo (83% Canta Galo e 86% Ilha das Cascas). Esses resultados indicam uma provável dificuldade no crescimento populacional dessas espécies decorrente da presença predominante de *A. brasileiro*, ou uma capacidade maior de se manter em competição com outras espécies de crustáceos, como por exemplo caranguejos intermareais do gênero *Panopeus* H. Milne Edwards, 1834. Espécies congêneras geralmente são similares ecologicamente, ou seja, tendem a apresentar uma proximidade entre os nichos ecológicos de tal forma que tendem a competir pelos mesmos recursos e quanto mais limitado for determinado fator ecológico menor deverá ser o número de espécies concorrentes (Elton 1946; Webb et al. 2002).

A espécie menos abundante durante o estudo foi *S. carvachoi*, trata-se de uma espécie de Alpheidae ainda pouco conhecida. Um dos prováveis motivos para a falta de informações sobre *S. carvachoi* é seu pequeno tamanho, normalmente menores que 10 mm de comprimento total, além, de apresentarem uma inconspícua coloração e hábito de vida críptico, características essas que explicam sua baixa captura (Anker 2007). A presença desta espécie na região do Canta Galo provavelmente está relacionada à sua tolerância a valores baixos de salinidade.

Outra espécie que apresentou baixa abundância neste estudo foi *A. nitescens*, reconhecida como espécie exótica originária do Atlântico oriental e Mediterrâneo (Anker & Jeng 2007; Anker & Ahyoung 2007). Até então o litoral sul do estado de São Paulo a espécie tinha sido relatada para a região estuarina de São Vicente (Almeida et al. 2012). Apesar de ser a segunda menos abundante durante este estudo, a espécie apresenta indícios de já estar bem estabelecida no local, principalmente devido à presença de fêmeas ovígeras no decorrer deste estudo. Sabe-se que a introdução de espécies exóticas pode impactar diretamente as espécies nativas e causar sérias consequência ecológicas na dinâmica de uma comunidade (Almeida et al. 2012).

Assim como na riqueza, a diversidade tanto comparando as duas áreas de coleta como os dois períodos de amostragem apresentaram-se semelhantes. Este fato provavelmente se deve à semelhança que às duas áreas de coleta apresentam, ambas apresentam micro habitats semelhantes apresentando diferença apenas nos valores médios da salinidade da água. A riqueza está relacionada as variáveis ambientais como temperatura, salinidade (Cartes et al. 2008) e a complexidade do sedimento o que proporciona uma diversidade maior de micro habitats (Wenner et al. 1983).

Uma vez que a estimativa da diversidade leva em consideração a abundância das espécies analisadas, possivelmente a presença de *A. brasileiro* como espécie mais

abundante e constante em ambas as áreas é um dos fatores que contribuíram para a semelhança nos valores estimados para a diversidade. Assim sendo, *A. brasileiro* se mostrou a espécie moduladora da diversidade dos camarões Alpheidae nas regiões intermareais estudadas. Porém, demais fatores bióticos e abióticos que não foram averiguados também podem influenciar na biodiversidade local.

A análise de agrupamento realizada para os valores de abundância mensais mostrou que de modo geral, as espécies apresentam baixa semelhança entre si. Este resultado também tem relação com a alta abundância e constância de *A. brasileiro* comparado as outras espécies coletadas. Somente *A. petronioi* e *A. estuariensis* caracterizaram um agrupamento de similaridade superior a 50%. *A. brasileiro* e *A. carlae* também formaram um agrupamento, porém com similaridade abaixo de 50%. Em termos de filogenia *A. petronioi* e *A. estuariensis* são espécies próximas (Almeida et al. 2014). Assim como, *A. brasileiro* e *A. carlae* que pertencem ao complexo de espécies *A. armillatus* (Anker 2012). O agrupamento de similaridade apresentado por *A. buckupii* e *A. nitescens* se deve a baixa abundância e constância de ambas as espécies no decorrer deste estudo.

Analisando os resultados foi possível observar que enquanto a região do Canta Galo apresenta um gradiente de distribuição entre as zonas intermareais, na região da Ilha das Cascas esse padrão não se repete. Em ambiente natural, as espécies não estão isoladas, mas sim em interação e sob uma série de fatores limitantes (Begon et al. 2007). Como resultado dessas interações pode ocorrer o estreitamento da amplitude de tolerância dos indivíduos para determinados fatores, assim sendo, uma espécie pode estar dentro ou fora de seu ótimo ecológico o que impacta diretamente em sua distribuição e abundância (Chase & Leibold 2003; Begon et al. 2007).

De acordo com Giller (1984) quando espécies coexistentes utilizam os mesmos tipos de alimento ao mesmo tempo, pode ocorrer uma separação horizontal. Assim sendo, uma das hipóteses que foram testadas no presente estudo é a de que as espécies de camarões pertencentes a família Alpheidae apresentam microdistribuição diferenciada na zona intermareal estuarina evitando a sobreposição de nicho. Essa hipótese só foi confirmada quando comparamos a distribuição de *A. brasileiro* e *A. estuariensis* na região do Canta Galo, ou seja, enquanto que *A. brasileiro* apresenta maior abundância na zona do baixo intermareal seguido de médio e alto intermareal, em *A. estuariensis* ocorre exatamente o contrário, uma maior abundância na zona alto intermareal, seguido por médio e baixo intermareal. Essa diferença na distribuição pode ser explicada como resultado da competição, na qual duas espécies com características similares raramente ocupam os mesmos nichos, mas sim buscam se distanciar de forma que não ocorra sobreposição (Krebs 1972).

As duas espécies mais abundantes na região do Canta Galo, *A. brasileiro* e *A. estuariensis* provavelmente evitam a sobreposição de nicho por meio desta distribuição diferenciada. O mesmo não ocorre na região da Ilha das Cascas que não apresentou padrão para nenhuma das espécies coletadas. Considerando que por definição o nicho pode ser caracterizado como uma propriedade de uma população biológica, e que pode sofrer alteração com a mudança de seus componentes (Colwell & Futuyma 1971), provavelmente na ausência de *A. brasileiro* uma nova espécie ou até mesmo um conjunto de outras espécies poderiam preencher este nicho e modificar o padrão de distribuição no local.

Por serem espécies simpátricas ou seja, populações que ocorrem em uma mesma área (Mayr 1977), o esperado seria que apresentassem uma microdistribuição diferenciada, diferente do encontrado para as espécies menos abundantes neste estudo.

Possivelmente a baixa abundância das espécies que não são dominantes possa explicar esse resultado, uma vez que os nichos das espécies dominantes já estejam ocupados resta as espécies menos abundantes ocuparem os nichos restantes sem apresentar um padrão de distribuição.

Avaliando a assembleia de camarões Alpheidae em duas áreas de amostragem na região intermareal estuarina de Cananéia levando-se em conta sua microdistribuição, é possível dizer que o ecossistema apresenta-se muito próximo de um clímax ecológico. Em uma comunidade em clímax, todos os nichos possíveis apresentam-se cheios, sendo assim, a invasão de outras espécies deve ser praticamente impossível (Chase & Leibold 2003). Os resultados demonstram que todos os nichos estão ocupados nas regiões intermareais estuarinas estudadas. Porém, durante as amostragens a espécie exótica *A. nitescens* esteve presente na zona intermareal estuarina, mesmo que em baixa abundância e inclusive com fêmeas ovígeras, indicando que a espécie está conseguindo se estabelecer no local. Sua distribuição não apresentou um padrão, mas por ser uma espécie pequena comparada aos camarões do gênero *Alpheus* pode apresentar vantagem na ocupação de nichos bastantes reduzidos ou até mesmo viver nas rochas das quais formam os microhabitats dos *Alpheus*, assim, enquanto os camarões *Alpheus* vivem no substrato arenoso sob as pequenas rochas, os *A. nitescens* poderiam viver sobre ou na lateral dessas rochas se aproveitando de um nicho não utilizado pelos *Alpheus*.

Outra hipótese proposta no presente estudo foi a de que fêmeas ovígeras distribuem-se nas zonas intermareais com menor variação ambiental, ou seja, médio e baixo intermareal. Os resultados da microdistribuição nas categorias demográficas machos, fêmeas sem ovos e fêmeas com ovos não foram diferentes daqueles encontrados para as populações como um todo, ou seja, para *A. brasileiro* ambas as categorias demográficas foram mais abundantes na zona do baixo intermareal seguida de médio e

alto intermareal. Já para *A. estuariensis* todas as categorias demográficas apresentaram padrão de distribuição contrário ao de *A. brasileiro* já discutido anteriormente, com maior abundância na zona do alto intermareal seguida da zona médio e baixo intermareal. Sendo assim, ao considerar apenas *A. brasileiro* a hipótese se confirma, mas, quando analisado a distribuição de *A. estuariensis* o mesmo não ocorre.

A hipótese da distribuição de fêmeas com ovos em regiões mais estáveis se fundamenta no fato de que em organismos que vivem na zona intermareal tem a dessecação como um importante fator, podendo ser um limitante em sua distribuição (Young 1978). Nos caranguejos geralmente as fêmeas buscam por locais com maior estabilidade para que possam completar seu processo reprodutivo (Bosa & Masunari 2002; Mantelatto 2000).

Provavelmente, a explicação para a divergência na distribuição das fêmeas com ovos no presente estudo esteja mais relacionada ao comportamento das espécies coletadas do que a fatores ambientais como exposição da população durante a maré baixa. Isso porque, no gênero *Alpheus* muitas espécies apresentam comportamento monogâmico social (Nolan & Salmon 1979). Inclusive a população de *A. brasileiro* aqui estudada apresenta monogamia social (Pescinelli et al. 2017), no qual machos e fêmeas são encontrados juntos dividindo o mesmo refúgio. A formação de pareamento heterossexual também foi constatada por Costa-Souza et al. (2014) para uma população de *A. estuariensis* na costa nordeste do Brasil. Portanto, é mais adequado inferir que a microdistribuição das fêmeas ovígeras está mais correlacionada ao comportamento do pareamento entre machos e fêmeas, sendo assim, a distribuição será a mesma para machos e fêmeas, uma vez que os pares habitam o mesmo refúgio.

Referências

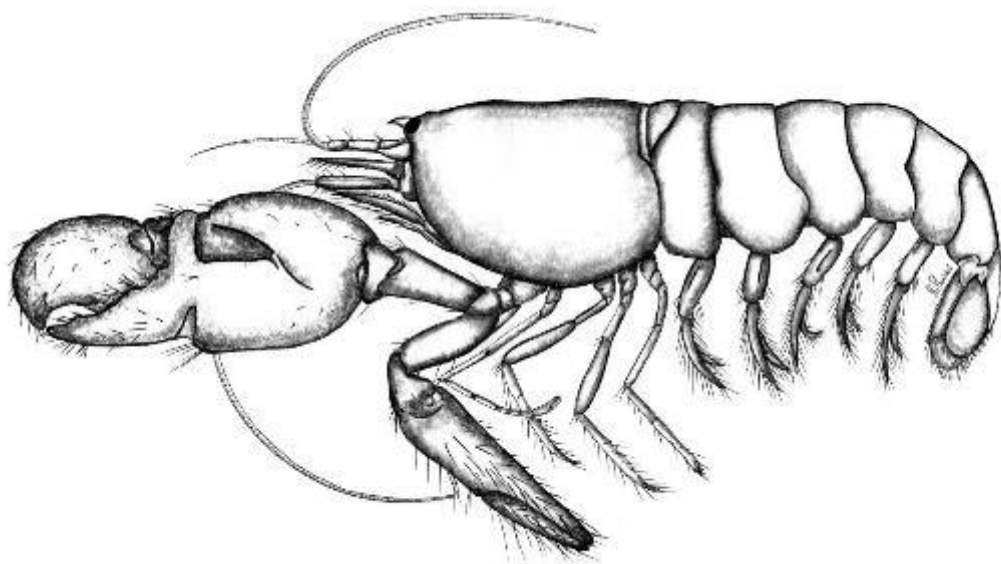
- Almeida AO; Simões SM; Costa RC; Mantelatto FL. 2012. Alien shrimps in evidence: new records of the genus *Athanas* Leach, 1814 on the coast of São Paulo, southern Brazil (Caridea: Alpheidae). *Helgoland Marine Research*, 66:557–565.
- Almeida A; Terossi M; Mantelatto FL. 2014. Morphology and DNA analyses reveal a new cryptic snapping shrimp of the *Alpheus heterochaelis* Say, 1818 (Decapoda: Alpheidae) species complex from the western Atlantic. *Zoosystema*, 36:53–71.
- Anker A; Ahyong ST. 2007. Description of two species in the alpheid shrimp genus *Athanas* Leach, 1814, with remarks on *A. amazone* Holthuis, 1951 (Decapoda, Caridea). *Zootaxa*, 1563:17–30
- Anker A; Jeng MS. 2007. Establishment of a new genus for *Arete borradailei* Coutie`re, 1903 and *Athanas verrucosus* Banner & Banner, 1960, with redefinitions of *Arete* Stimpson, 1860 and *Athanas* Leach, 1814 (Crustacea: Decapoda: Alpheidae). *Zoological Studies*, 46:454–472.
- Anker A. 2007. New species and records of alpheid shrimps, genera *Salmaneus* Holthuis and *Parabetaeus* Coutière, from the tropical western Atlantic (Decapoda, Caridea). *Zootaxa*, 1653, 21–39.
- Anker A. 2012. Revision of the western Atlantic members of the *Alpheus armillatus* H. Milne Edwards, 1837 species complex (Decapoda, Alpheidae), with description of seven new species. *Zootaxa*, 3386, 109p.
- Begon M; Harper JL; Townsend CR. 2007. *Ecologia - De indivíduos a ecossistemas*. Artmed Editora. Porto Alegre, RS, 752p.
- Bosa CR; Masunari S. 2002. Crustáceos decápodos associados aos bancos de *Phragmatopoma caudata* (Kröyer) (Polychaeta, Sabellariidae) na Praia de Caiobá, Matinhos, Paraná. *Revista Brasileira de Zoologia*, 19:117–133.
- Cartes JE; Madurell T; Fanelli E; López-Jurado JL. 2008. Dynamics of suprabenthos zooplankton communities around the balearic islands (western Mediterranean): Influence of environmental variables and effects on the biological cycle of *Aristeus antennatus*. *Journal of Marine Systems*, 71:316–335.
- Carvacho A. 1979. Les crevettes carides de la mangrove guadeloupéenne. *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle* (4), section A, Zoologie, Biologie et Écologie animales, 1:445–470.
- Chase JM; Leibold MA. 2003. *Ecological niches: linking classical and contemporary approaches*. Chicago: University Press, 212p.

- Colwell RK; Fututma DJ. 1971. On the measurements of niche breadth and overlap. *Ecology*, 52:567–576.
- Connell JH. 1978. Diversity in tropical rain forest and coral reef. *Science*, 199 (4335):1302–1310.
- Costa-Souza AC; Rocha SS; Bezerra LEA; Almeida AO. 2014. Breeding and heterosexual pairing in the snapping shrimp *Alpheus estuariensis* (Caridea: Alpheidae) in a tropical bay in northeastern Brazil. *Journal of Crustacean Biology*, 34:593–603.
- Dajoz R. 1983. *Ecologia geral*. Editora Vozes, EDUSP, São Paulo, 472p.
- Elton C. 1946. Competition and the structure of ecological communities. *Journal of Animal Ecology*, 15:54–68.
- Gaston KJ. 2000. Global patterns in biodiversity. *Nature*, 405:220–227.
- Giller PS. 1984. *Community structure and the niche*. London, Great Britain Chapman and Hall. 176p.
- Grant J; McDonald J. 1979. Desiccation tolerance of *Eurypanopeus depressus* (Smith) (Decapoda: Xanthidae) and the exploitation of microhabitat. *Estuaries*, 2:172–177.
- Gray JS. 1974. Animal-sediment relationship. *Oceanography and Marine Biology. Annual Review*, Aberdeen, 12:223–261.
- Gunter G. 1950. Seasonal population changes and distributions as related to salinity of certain invertebrates of the Texas Coast, including the commercial shrimps. *Publications of the Institute of Marine Science. University of Texas, Port Aransas*, 1(2): 1–52.
- Huston M. 1979. A general hypothesis of species diversity. *The American Naturalist*, 113:81–101.
- Krebs CJ. 1972. *Ecology*. New York, Harper & Row Publishers, 694p.
- Mantelatto FL. 2000. Allocation of the portunid crab *Callinectes ornatus* (Decapoda: Brachyura) in the Ubatuba Bay, northern coast of São Paulo State, Brazil. *Crustacean Issues*, 12:431–443.
- Mayr DE. 1977. *Populações, espécies e evolução*. São Paulo, Companhia Editora Nacional, Editora da Universidade de São Paulo, v.5, 485p.
- Nolan BA; Salmon M. 1970. The Behavior and Ecology of Snapping Shrimp (Crustacea: *Alpheus heterochaelis* and *Alpheus normanni*). *Forma et Functio*, 2:289–335.

- Pescinelli RA; Davanzo TM; Costa RC. 2017. Social monogamy and egg production in the snapping shrimp *Alpheus brasiliensis* (Caridea: Alpheidae) from the southeastern coast of Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 97:1519–1526.
- Peterson CH. 1992. Competition for food and its Community level implications. *Benthos Research*, 42:1–11.
- Pinheiro MAA.; Fransozo A; Negreiros-Fransozo ML. 1997. Dimensionamento e sobreposição de nichos dos portunídeos (Decapoda, 132 Brachyura), na Enseada da Fortaleza, Ubatuba, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 14:371–378.
- Rex MA; Stuart CT; Hessler RR; Allen JA; Sanders HL; Wilson GDF. 1993. Global-scale benthos of North Atlantic. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 97:4082–4085.
- Southwood TRE. 1978. *Ecological methods, with particular reference to the study of insect populations*. 2nd ed. New York: Chapman and Hall, 524p.
- Vergamini FG; Mantelatto FL. 2008. Microdistribution of juveniles and adults of the mud crab *Panopeus americanus* (Brachyura, Panopeidae) in a remnant mangrove area in the southwest Atlantic. *Journal of Natural History*, 42:1581–1589.
- Webb CO; Ackerly DD; McPeck MA; Donoghue MJ. 2002. Phylogenies and Community ecology. *Annual Review of ecology and systematics*, 33:475–505.
- Wenner EL; Knott DM; Van Dolah RF; Burrell VGJr. 1983. Invertebrate communities associated with hard bottom habitats in the South Atlantic Bight. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 17:143–158.
- Young AM. 1978. Desiccation tolerances for three hermit crab species *Clibanarius vittatus* (Bosc), *Pagurus pollicaris* Say and *P. longicarpus* Say (Decapoda, Anomura) in the North Inlet Estuary, South Carolina, USA. *Estuar Coastal and Marine Science*. 6:117–122

CAPÍTULO 2

Estrutura populacional, crescimento e longevidade de *Alpheus brasileiro* Anker, 2012 (Decapoda: Caridea: Alpheidae)



Capítulo 2 – Artigo 1

Pescinelli, R.A., 2019

Population structure, relative growth and morphological sexual maturity of the snapping shrimp *Alpheus brasiliensis* Anker, 2012 (Caridea: Alpheidae) from the south-eastern coast of Brazil. **Marine Biology Research**, 14:6, 610-620, 2018.

Régis Augusto Pescinelli, Alexandre Oliveira Almeida & Rogério Caetano da Costa

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17451000.2018.1472383?scroll=top&needAccess=true>

<https://doi.org/10.1080/17451000.2018.1472383>

Growth patterns, longevity and age at the morphological and functional sexual maturity of the snapping shrimp *Alpheus brasileiro* Anker, 2012 (Caridea; Alpheidae) from the south-eastern coast of Brazil

Laboratory of Biology of Marine and Freshwater Shrimp (LABCAM), Faculty of Sciences, Department of Biological Sciences, São Paulo State University (UNESP), São Paulo, Brazil.

ABSTRACT

The growth patterns, longevity and the age at the morphological and functional sexual maturity of snapping shrimp *Alpheus brasileiro* were estimated in the present study. We tested the hypothesis that growth patterns, longevity and age at the sexual maturity are the same into males and females. The samplings occurred monthly from April 2015 to March 2016 in the estuarine intertidal zone of Cananéia, São Paulo, south-eastern Brazil. The growth analysis was performed separately for males and females using PeakFit software. To estimate growth parameters, all cohorts were adjusted to the Bertalanffy growth model. Longevity was estimated by inverse growth equation. Five cohorts were selected for each sex, resulting in estimates of $CL_{\infty} = 9.49$ mm, $k = 0.0077/\text{day}$ (1.64/years), $t_0 = -0.7628$ for males and $CL_{\infty} = 9.31$ mm, $k = 0.0095/\text{day}$ (1.32/years), $t_0 = 0.0374$ for females. The age at morphological sexual maturity was calculated in 94 and 74 days for males and females respectively. To functional sexual maturity of females, the age was estimated in 89 days. The hypothesis that growth and longevity parameters are the same for males and females of *A. brasileiro* has not been confirmed. The males reached larger sizes, grew slower, reached the sexual maturity later and live slightly longer than females. According to our results, it's possible to suggest that physiological aspects and energy allocation of each sex in the population analysed are more preponderant than monogamous social system in terms of growth, longevity and age at sexual maturity.

KEYWORDS

Sex allocation; intertidal; sexual dimorphism; Cananéia

Introduction

Information on population dynamic, such growth, sexual maturity and longevity is essential to understand the species' life history (Stearns 2000). The energy allocation strategy also have a great interest because it is associated with physiological process, such growth and reproduction (Lika 2003). The growth study in crustaceans is an important tool in determination of growth rate and it is the basis for calculating the mortality rate of the population and in the determination of age at sexual maturity (Sheehy 1990; Campana 2001). The parameters cited above including information on reproductive biology, ecological distribution and information about the early stages of life are essential aspects of the biology of a species.

In the study of the individual's growth it is important to consider that dimensions in different ratios from one organism to another and that these differences may occur according to sex (Hartnoll 1982). In contrast to fish or bivalve shells, for example, that have apposition structures that can be used in determination of the age of the individuals (Skurdal et al. 1985), in crustaceans there is no body structure that allow the determination of age (King 1995). As an alternative to age determination in crustacean species, the individuals' body size can be used as a function of time, that is, the monitoring of age cohorts resulting from the frequency distribution of individuals over a given period (Bertalanffy 1938; Fonteles-Filho 2011; Campos et al. 2011).

The size-frequency distribution method can generate cohort identification, thus reporting growth in age and longevity. The mathematical model that has been widely used for this purpose is the one proposed by Bertalanffy (1938) in which it relates the age to the size, in order to analyse the maximum size and the longevity that the individual can reach, it is shown a model of excellence in studies with crustaceans (Pinheiro and Taddei, 2005; Davanzo et al. 2013; Simões et al. 2013; Santos et al. 2015; Pescinelli et al. 2018a).

The genus *Alpheus* Fabricius, 1798 is the most speciose of the Family Alpheidae with more than 300 species described worldwide (De Grave and Fransen 2011). The alpheid shrimps occur in a wide variety of microhabitats, most commonly in tropical and subtropical regions, in consolidated and unconsolidated sediments (Bauer 2004; Anker et al. 2006). The western Atlantic snapping shrimp *Alpheus brasiliensis* Anker, 2012, is a common representative of the *Alpheus armillatus* H. Milne Edwards, 1937 species complex found along the Brazilian coast. It is found in natural pools of exposed reef areas and under rocks in estuarine environments (Anker 2012; Pescinelli et al. 2017a).

Information from previous studies revealed the occurrence of social monogamy in *A. brasiliensis* and investigated the egg production (Pescinelli et al. 2017a) confirmed the hypothesis that males and females have different relative growth and that the reproduction and juvenile recruitment are continuous in the species (Pescinelli et al. 2018b). The morphology of early larval stages was also analysed and showed that larval development of this species fits in the regular development (Pescinelli et al. 2017b). Although all this information characterizes a great part of life history of *A. brasiliensis*, there is a lack of information about the growth patterns, longevity and the age at the sexual maturity of the species.

This study aimed to analyse the growth patterns, estimate the longevity and the age at the morphological and functional sexual maturity of snapping shrimp *A. brasiliensis*. Considering that the species present social monogamy (Pescinelli et al. 2017a) and, which this system is defined as a close association between males and females with a positive correlation between the size of the individuals paired (size-assortative pairing) resulting in similar sized pairs and absence of sexual dimorphism in body size (Boltaña and Thiel 2001, Baeza et al. 2016), we tested the hypothesis that growth patterns, longevity and age at the sexual maturity are the same in males and females expanding the knowledge of the species' life history.

Materials and methods

Study area

The sampling area was an intertidal estuary on the south-eastern Brazilian coast (25°04'11.2"S, 48°03'08.9"W). The sediment in the area is composed of a mixture of mud, sand and small rocks dispersed throughout the area (Figure 1). During the low tide rocks are exposed, but small puddles of water provide microhabitats for *A. brasileiro* (Figure 2).

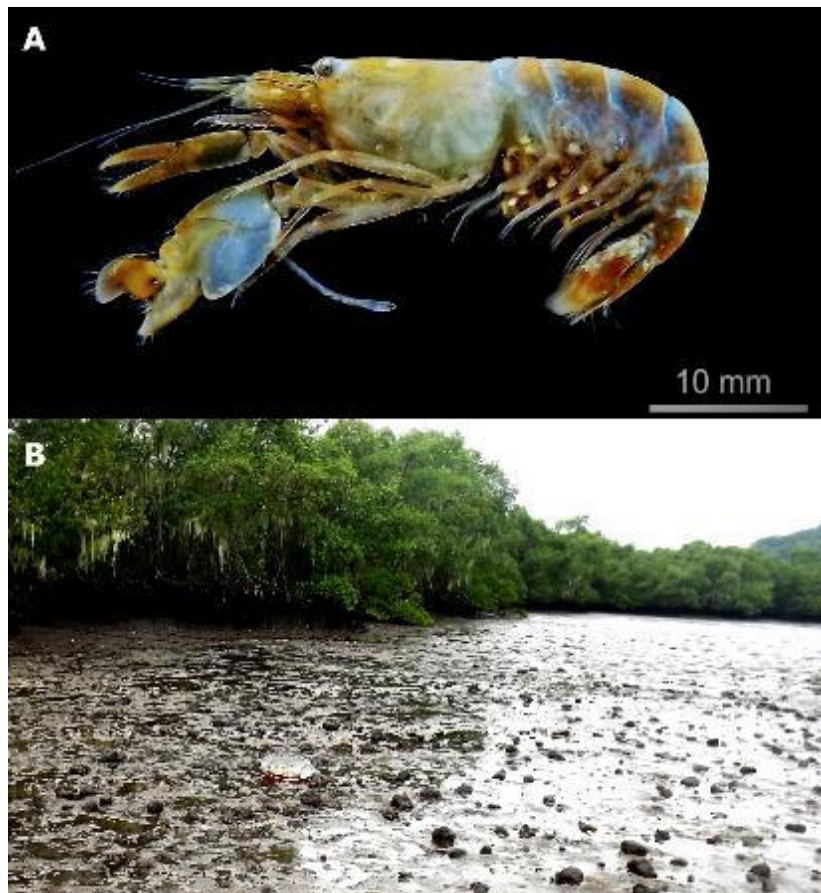


Figure 1. (A) Lateral view of an ovigerous female of *Alpheus brasileiro* Anker, 2012; (B) sampling area at the intertidal zone of the estuary of Cananéia, São Paulo, south-eastern Brazil.

Sampling

The sampling occurred monthly from April 2015 to March 2016. The sampling area was divided into three sub-areas perpendicular to the water line. Each sub-area was 20m long

and 5 m wide, and they were sited 10 m apart from each other. Inside each sub-area, three 1-m² units were sampled, yielding nine sampling units per month. These units were equidistant from each other (method adapted from Vergamini and Mantelatto 2008; Costa-Souza et al. 2014). Shrimps were collected under the rocks during the low tide with an effort of 2 hours per person. Upon sampling, shrimps were kept in coolers with crushed ice. Next, the shrimp were transported to the laboratory where a number of measurements were recorded.

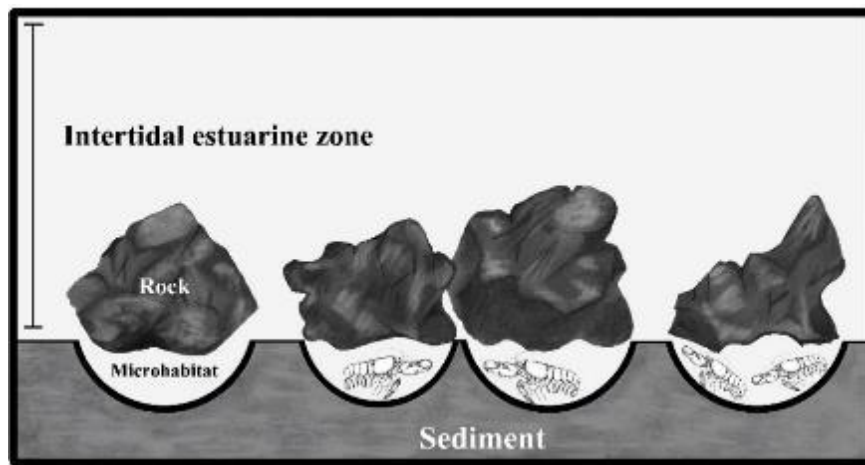


Figure 2. Representation of microhabitats in the intertidal estuarine zone of Cananéia, São Paulo, south-eastern Brazil.

All specimens captured were classified based on identification keys or information provided by Anker (2012) and Soledade and Almeida (2013). The sex was identified according to the presence (males) and absence (females) of appendices masculinae on the endopod of the second pair of pleopods (Bauer 2004). Individuals smaller than the smallest male found in the study period were considered as undifferentiated. The carapace length (CL), major cheliped propodus length (CPL) and second pleuron length (SPL) of each individual was measured with a digital calliper of 0.01 mm accuracy. Individuals of small size were measured under a Zeiss Stemi 2000C trinocular stereomicroscope equipped with an ocular micrometer.

Growth, longevity and age at the morphological and functional sexual maturity

The growth analysis was performed separately for males and females. For each sampling month, the frequency of CL values was distributed in 0.5 mm size classes, and modes were calculated using PeakFit software (PeakFit v. 4.06 SPSS Inc. for Windows Copyright 1991–1999, AISN Software Inc., Florence, OR, USA).

To estimate growth parameters, all cohorts chosen were adjusted to the Bertalanffy growth model (von Bertalanffy 1938), namely $CL_t = CL_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]$, where CL_t is size estimated at age t , CL_∞ is asymptotic size, k is the growth coefficient, and t_0 is the theoretical age the organism would have at size zero. The growth parameters CL_∞ , k and t_0 were estimated using the *Solver* supplement in Microsoft Excel, which minimizes the sum of residues between the lengths observed in the field and those calculated by the von Bertalanffy model. The criteria used to accept a cohort were based on biological coherence with longevity, growth coefficient and asymptotic size. Growth curves were compared using F test ($P = 0.05$) according to Cerrato (1990). Longevity was estimated by inverse von Bertalanffy growth equation, with modifications suggested by D'Icao and Fonseca (1999), $t_0 = 0$ e $CL/CL_\infty = 0.99$, while the longevity equation was $t = (t_0 - (1/k) \ln(1 - CL_t/CL_\infty))$.

To verify the difference between the average sizes reached by males and females, the Mann–Whitney test ($\alpha = 0.05$) (Zar 2010) was used.

Functional sexual maturity in females was determined by the presence of an egg mass being carried on the pleopods. The L50 method was used to estimate the onset of functional sexual maturity of females. This method distributes (%) specimens into size classes using CL as an independent variable and the relative frequencies as a dependent variable. The data were then fitted to a sigmoid curve following the results of the logistic

equation ($y = 1/(1 + e^{-(r(CL - CL_{50}))})$), where CL_{50} is the CL at which 50% of females reach functional maturity and r is the slope. The adjustment equation was performed using the method of least squares (Vazzoler 1996), by estimating the value of maturity (CL_{50}), and using interpolation (50%).

In the estimation of the age at the sexual maturity for males and females to reach the morphological sexual maturity, the follow equation suggested by King (1995) was used: Age at maturity = $(t_0 - (1/k) \ln (1 - CL_{\infty} / CL_m))$ where t_0 , K , CL_{∞} are the values found in growth analysis and CL_m is the value of sexual maturity. Age at sexual maturity was calculated to functional sexual maturity of females and to morphological sexual maturity of males and females. The values of morphological sexual maturity (4.9 and 4.7 mm CL for males and females respectively) are from the study of population structure and relative growth with the same population (Pescinelli et al. 2018b).

Results

During the study, we collected and measured 313 individuals, 154 males and 147 females. The size ranges recorded for each demographic class are shown in Table 1. In Figure 3 it is possible to observe the population's distribution by size classes and the similar proportion of males and females in size classes of individuals sexually immature and in individuals sexually mature.

Table I. *Alpheus brasiliensis* Anker, 2012. Carapace length of each demographic category of the population of Cananéia, São Paulo state, southeastern Brazil from April 15 to March 2016.

Demographic category	N	Min - Max (CL-mm)	Mean $\pm$ SD	%
Undifferentiated	12	2.01 - 2.84	2.52 $\pm$ 1.66	3.9
Males	154	2.97 – 8.91	5.39 $\pm$ 1.65	49.2
Females without eggs	59	2.54 – 8.61	4.42 $\pm$ 1.66	18.5
Females with eggs	88	4.83 – 8.91	6.42 $\pm$ 1.66	28.4
Total	313	2.01 – 8.91	5.37 $\pm$ 1.65	100

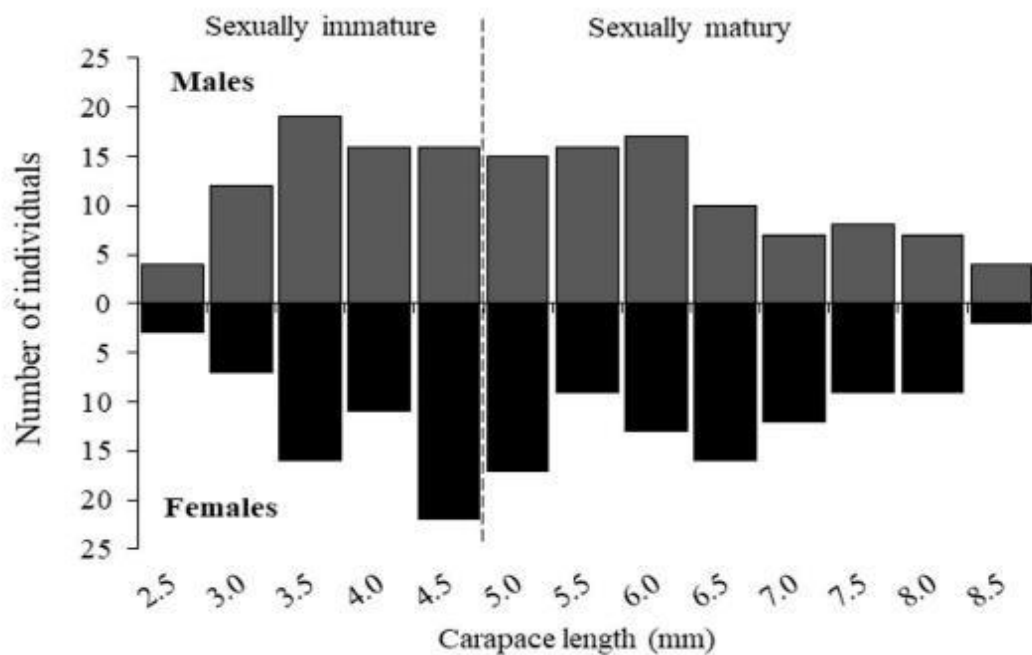


Figure 3. *Alpheus brasiliensis* Anker, 2012. Size-frequency distribution of males and females sexually immature and mature from intertidal zone of the estuary of Cananéia, São Paulo, south-eastern Brazil. Class interval of 0.5 mm (CL).

Five cohorts were selected for males and females to compose the growth curves to *A. brasiliensis* (figure 4). The mean curve, grouping the cohort curves for each sex,

resulted in estimates of $CL_{\infty} = 9.49$ mm, $k = 0.0077/\text{day}$, $t_0 = -0.7628$ for males and $CL_{\infty} = 9.31$ mm, $k = 0.0095/\text{day}$, $t_0 = 0.0374$ for females (Figure 4).

The maximum longevity was estimated in 598 days (1.64 years) and 483 days (1.32 years) for males and females, respectively. The statistical comparison (F test) between the estimated curves for both sexes showed significant differences ($F_{\text{calc}} = 11.42 > F_{\text{tab}} = 2.87$).

Males and females showed no significant differences in their average sizes (Mann-Whitney, $P > 0.05$). However, the major cheliped propodus of males was larger than in females (Mann-Whitney, $P < 0.05$). The second pleuron length between males and females showed no significant differences in the average sizes (Mann-Whitney, $P > 0.05$) (Figure 5).

The estimation of size at onset of functional sexual maturity, where 50% of females are sexually mature (CL_{50}) was 5.34 mm CL (Figure 6).

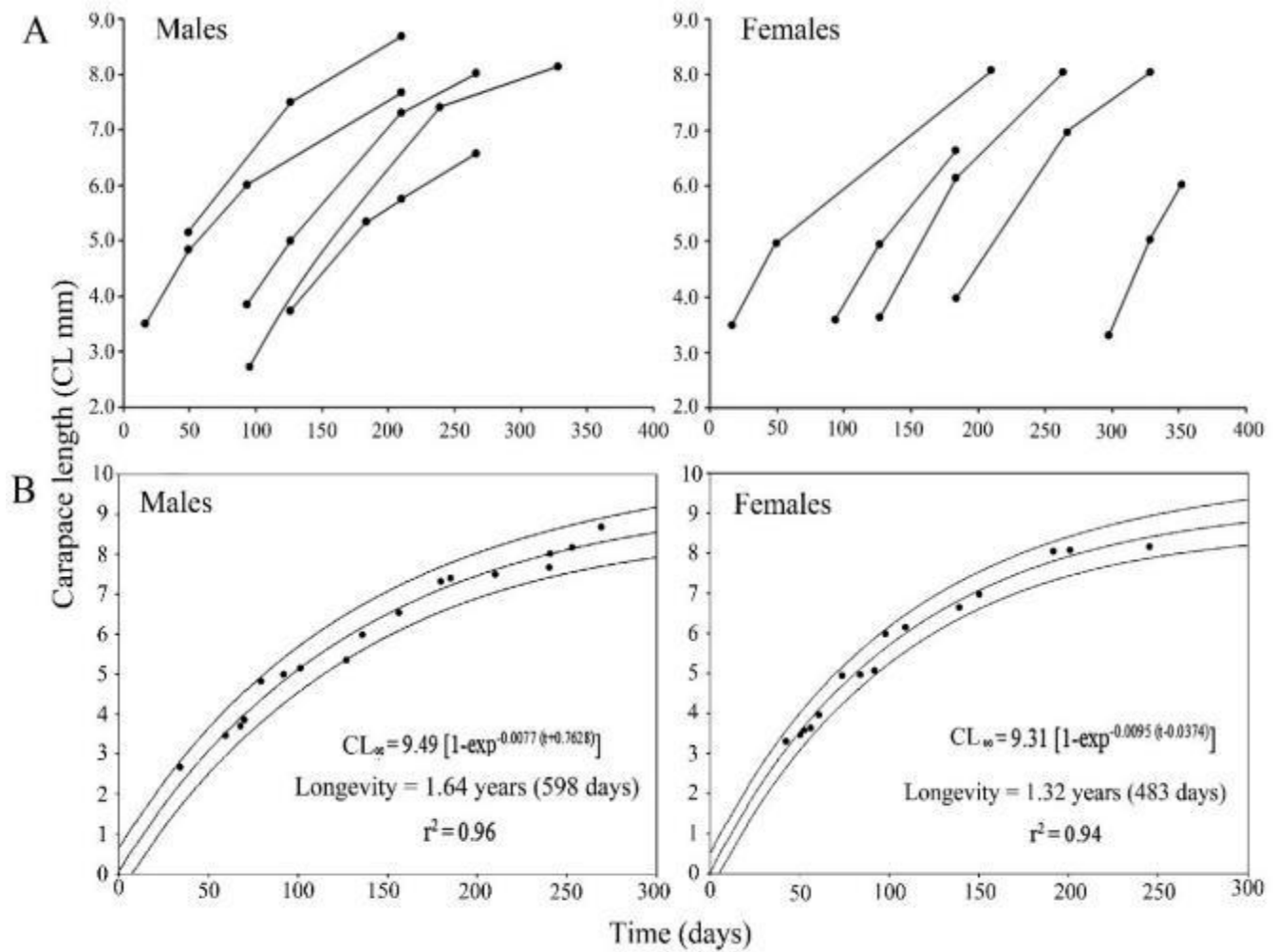


Figure 4. *Alpheus brasileiro* Anker, 2012. (A) Cohorts identified during sampling describing the growth of each sex. (B) von Bertalanffy's equation parameters estimated for males and females. The central line = mean; external lines = prediction intervals (95%).

The estimation of the age at morphological sexual maturity of *A. brasileiro* was calculated in 94 and 74 days for males and females respectively. To functional sexual maturity of females, the age was estimated in 89 days.

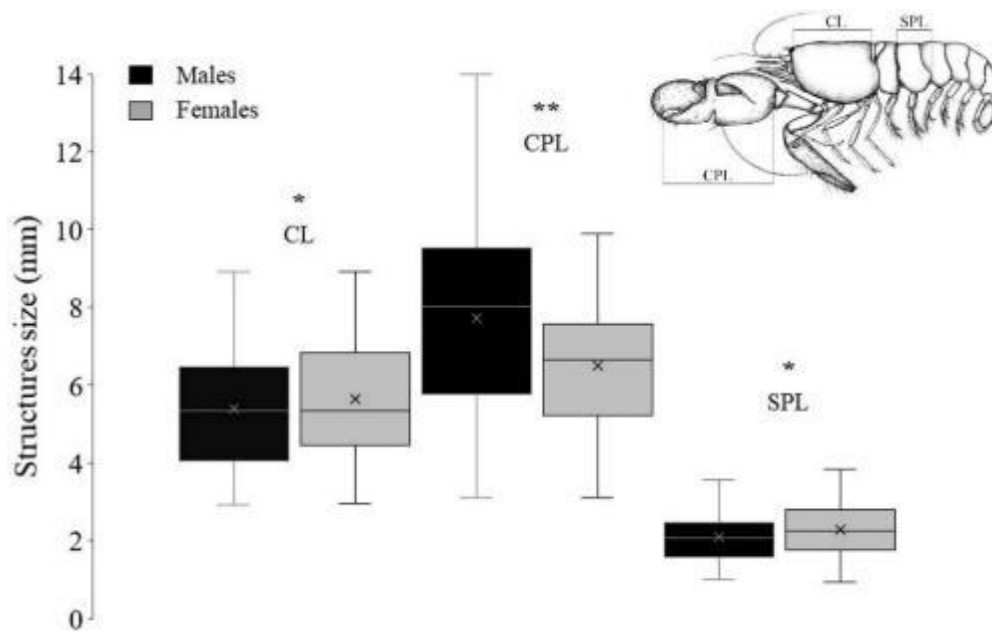


Figure 5. *Alpheus brasileiro* Anker, 2012. Minimum, maximum (whiskers), median (horizontal lines) and mean (x). Carapace length (CL), major cheliped propodus length (CPL) and second pleuron length (SPL) for males and females. **Significant difference (Mann–Whitney test $P < 0.05$).

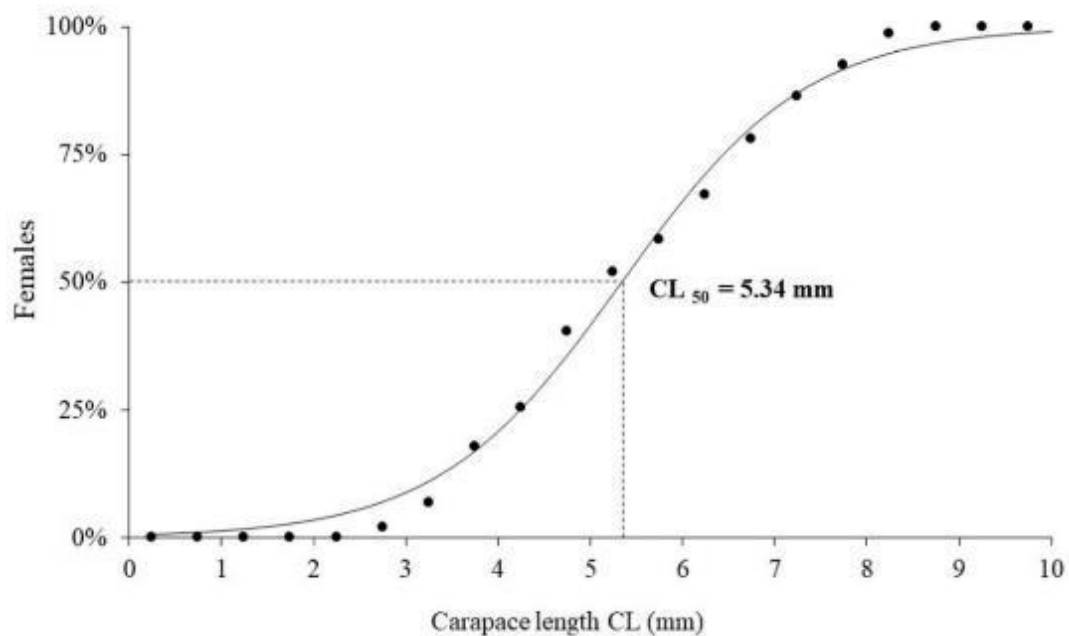


Figure 6. *Alpheus brasileiro* Anker, 2012. Logistic curve interpolation where 50% of females reach the functional sexual maturity (CL₅₀).

Discussion

We found significant differences in the growth parameters and longevity between the sexes, therefore the hypothesis that growth and longevity parameters are the same for males and females of *A. brasileiro* has not been confirmed. The males reached larger sizes, grew slower, and live slightly longer than females. The hypothesis of similar growth in males and females is based on the social monogamic system showed by the species and absence of sexual dimorphism in body size verified by Pescinelli et al., (2017a). In the monogamous sexual system there is a fidelity between the sexes, cooperation in defense of territory and in the maintenance of the refuge (Thiel and Baeza 2001; Correa and Thiel 2003). In species with social monogamic system, the body size is an important factor in pair formation, thus difference in size between the sexes is absent or minimal and there is a positive correlation in carapace length (CL) between paired males and females, phenomenon known as size-assortative pairing (Rodrigues et al. 2009).

The hypothesis that the age at sexual morphology is the same for males and females of *A. brasileiro* also has not confirmed. Males reached the morphological sexual maturity later (94 days) compared to females (74 days). The difference in values of asymptotic sizes (CL_{∞}) between males and females as well as longevity and the age at sexual maturity, even if small reflects the differentiated growth coefficients (k), which in males showed a lower k value in relation to females. However, males grow more slowly and reach larger sizes, live more and reach the sexual maturity later compared to females. This occurs because the parameters CL_{∞} and k are intrinsically negatively correlated (Pauly and Munro 1984).

The growth coefficient is related to the physiological aspects of individuals, which in turn are subject to the influence of environmental factors, so that they can trigger or alter the reproductive and growth conditions of each sex (Crear et al. 2003; Díaz et al.

2003). In *A. brasileiro* males and females are paired and share a specific microhabitat or refuge, therefore, it is possible to assume that the influence of environmental factors is the same for both, so, others physiological aspects can be preponderant for the differential growth coefficient between the sexes.

The results found here for growth parameters and longevity are consistent with the estimated values for the morphological sexual maturity of the species using the relative growth method (Pescinelli et al. 2018b), where males reach sexual maturity with a slightly larger size (4.9 mm CL) compared to females (4.7 mm CL). The differential growth between males and females can be explained by differential strategies of energy allocation. While males invest in growth and especially in the development of structures related to the agonistic behavior of the species, i.e. defense of territory, disputes by females and defense against predators, females invest energy in reproduction, as in the development of gonads in addition production and maintenance of eggs (Correa and Thiel 2003; Bauer 2004; Pescinelli et al. 2018b).

Considering that females present a higher energy investment for reproduction and the fact of the studied population presents continuous reproduction (Pescinelli et al. 2018b), we may be inferred that the lower longevity of females compared to males is due to successive events reproductive that begins as soon as they reach sexual maturity, demanding high energy investment for ovarian development, production and maintenance of the eggs until the hatching of the larvae. In carideans shrimps with continuous reproduction, ovarian development usually occurs while eggs are incubating (Bauer 2004). Thus, soon after larval hatching, females can copulate with the paired male and produce a new brood of embryos, therefore the energy investment to reproduction is continuous.

Differences in the mean size of major cheliped propodus between males and females observed (Mann–Whitney test) also reinforces a distinct strategies of energy

allocation in each sex. This strategy of energy allocation was reported to Palaemonidae shrimps (e.g., *Macrobrachium* spp.), males usually spend more energy on body growth and the acquisition of robust chelipeds that are more likely to inter/intraspecific competition (Correa and Thiel 2003, Bauer 2004). Robust major cheliped in a monogamous species like *A. brasileiro* is important in defense of paired female against other males and predators (Pescinelli et al. 2018b).

Studies on individual's growth and longevity in the genus *Alpheus* are scarce in the literature. In a study on the population structure of *A. carlae* (as *A. armillatus*) on the north coast of the state of São Paulo, Mossolin et al. (2006) found values of 13.90 mm and 14.90 mm CC_{∞} for males and females respectively and estimated the longevity around 1.20 years. A similar result was found for *A. estuariensis* in the northeast coast of Brazil by Costa-Souza et al. (2018) in which there was no difference between the growth parameters of males and females (Table 2).

Table 2. *Alpheus brasiliro* Anker, 2012. Growth parameters, CL_{∞} is asymptotic size, k is the growth coefficient and longevity for *Alpheus* species. *Growth parameters with no difference between males and females, and **Growth with difference between males and females.

Species	Reference	Methods	Parameters	Male	Female
<i>Alpheus carlae</i> (as <i>A. armillatus</i>)**	Mossolin et al. (2006)	Elefan I	CL_{∞} (mm)	13.90	15.34
			K (year ⁻¹)	2.28	1.89
			Longevity	1.20	1.29
<i>Alpheus estuariensis</i> *	Costa-Souza et al. (2018)	Bhattacharya	CL_{∞} (mm)	14.64	
			K (year ⁻¹)	1.21	
			Longevity	1.07	
<i>Alpheus brasiliro</i> **	Present study	(PeakFit)	CL_{∞} (mm)	9.49	9.31
			K (year ⁻¹)	2.92	3.28
			Longevity	1.64	1.32

Although *A. carlae* and *A. brasiliro* belong to the *A. armillatus* species complex, the growth parameters differed widely, probably due to the higher values of CL_{∞} estimated for *A. carlae*. When the study by Mossolin et al., (2006) was carried, it was still unclear which species belonged to the species complex, which it was only elucidated by Anker (2012), therefore it is possible suppose that other species have been sampled and analysed in the estimation of growth parameters, resulting in an overestimated value of CL_{∞} for *A. carlae*.

In summary, in the current study we observed that males reach larger sizes, grow slower, reach the sexual maturity later and live slightly longer than females. As well as we observed in relative growth, the analyses of individuals growth and longevity have evidenced the presence of a distinct strategies of energy allocation between the sexes. Thus, we suggest that physiological aspects of each sex are preponderant to monogamous social system present in the population analysed. All these results contribute to a better

Pescinelli, R.A., 2019

understanding of the life history of the snapping shrimp *A. brasileiro* and may be used in comparative studies with monogamous species.

Acknowledgments

We thank the LABCAM co-workers for their help during the field work.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

Funding

This research was financed by the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development – CNPq [Research Scholarships No. 140608/2015-0 to RAP].

References

- Anker A; Ahyong AT; Noël PY; Palmer AR. 2006. Morphological phylogeny of Alpheid shrimps: parallel preadaptation and the origin of a key morphological innovation, the snapping claw. *Evolution*, 60:2507–2528.
- Anker A. 2012. Revision of the western Atlantic members of the *Alpheus armillatus* H. Milne Edwards, 1837 species complex (Decapoda, Alpheidae), with description of seven new species. *Zootaxa*, 3386:109p.
- Bauer RT. 2004. Remarkable Shrimps: Adaptations and Natural History of the Carideans, University of Oklahoma Press, Norman, USA. 316p.
- Baeza JA; Simpson L; Ambrosio LJ; Guéron R; Mora N. 2016. Monogamy in a hyper-symbiotic shrimp. *PLoS ONE* 11:e0149797.
- Bertalanffy L von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws II). *Human Biology*, 10:181–213.
- Boltña S; Thiel M. 2001. Associations between two species of snapping shrimp, *Alpheus inca* and *Alpheopsis chilensis* (Decapoda: Caridea: Alpheidae). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 81:633–638.

Pescinelli, R.A., 2019

- Campana SE. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of fish Biology*, 59:197–242.
- Campos BR; Branco JO; D’Incao F. 2011. Crescimento do camarão sete-barbas (*Xiphopenaeus kroyeri* (Heller 1862)), na Baía de Tijucas, Tijucas, SC (Brasil). *Atlântica*, 33:201–208.
- Castiglioni DS; Negreiros-Fransozo. 2006. Ciclo reprodutivo do caranguejo violinista *Uca rapax* (Smith) (Crustacea, Brachyura, Ocypodidae) habitante de um estuário degradado em Paraty, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 23:331–339.
- Cerrato RM. 1990. Interpretable statistical tests for growth comparisons using parameters in the von Bertalanffy equation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 47:1416–1426.
- Costa T; Soares-Gomes. 2009. Population structure and reproductive biology of *Uca rapax* (Decapoda: Ocypodidae) in a tropical coastal lagoon, southeast Brazil. *Zoologia*, 26:647–657.
- Costa-Souza AC; Rocha SS; Bezerra LEA; Almeida AO. 2014. Breeding and heterosexual pairing in the snapping shrimp *Alpheus estuariensis* (Caridea: Alpheidae) in a tropical bay in northeastern Brazil. *Journal of Crustacean Biology*. 34:593–603.
- Costa-Souza AC; Souza JRB; Araújo MSLC; Almeida AO. 2018. Population Structure of the Shrimp *Alpheus estuariensis* (Caridea: Alpheidae) in a Tropical Estuarine Tidal Mudflat. *Thalassas*, 34:1–11.
- Crear BJ; Hart PR; Thomas CW. 2003. The effect of photoperiod on growth, survival, colour and activity of juvenile Southern rock lobster, *Jasus edwardsii*. *Aquaculture Research*, 34:439–444.
- De Grave S; Fransen CHJM. 2011. Carideorum catalogus: The recent species of the dendrobranchiate, stenopodidean, procarididean and caridean shrimps (Crustacea: Decapoda). *Zoologische Mededelingen* 85:195–589.
- D’Incao F; Fonseca DB. 1999. Performance of the von Bertalanffy growth curve in penaeid shrimps: a critical approach. In: *Proceedings of the fourth International Crustacean Congress, Amsterdam, the Netherlands*, p.733–737.

Pescinelli, R.A., 2019

- Davanso TM; Taddei FG; Simões SM; Fransozo A; Costa RC. 2013. Population dynamics of the freshwater crab *Dilocarcinus pagei* in tropical waters in southeastern Brazil. *Journal of Crustacean Biology*, 33:235–243.
- Díaz AC; Souza LG; Cuartas EI; Petriella AM. 2003. Growth, molt and survival of *Palaemonetes argentinus* (Decapoda, Caridea) under diferente light-dark conditions. *Iheringia*, 93:249–254.
- Fonteles-Filho AA. 2011. Oceanografia biologia e dinâmica populacional de recursos pesqueiros. Fortaleza, Expressão Gráfica e Editora, 464p.
- Hartnoll RG. 1982. Growth. - In: *The biology of the Crustacea*, Vol. 2. Embryology, morphology, and genetics (L.G. Abele, ed.). Academic Press, London, p.111–196.
- King M. 1995. *Fisheries Biology, assessment and management*. Blackwell Science, Inc. Cambridge, 341p.
- Mossolin EC; Shimizu RM; Bueno SLS. 2006. Population structure of *Alpheus armillatus* (Decapoda, Alpheidae) in São Sebastião and Ilhabela, Southeastern Brazil. *Journal of Crustacean Biology*, 26:48–54.
- Pescinelli RA; Davanso TM; Costa RC. 2017a. Social monogamy and egg production in the snapping shrimp *Alpheus brasileiro* (Caridea: Alpheidae) from the south-eastern coast of Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 97:1519–1526.
- Pescinelli RA; Pantaleão JAF; Mantelatto FL; Costa RC. 2017b. Morphological description of early zoeal stages of *Alpheus brasileiro* Anker, 2012 reared in the laboratory, including a revision of the larval morphology of the first zoeal stage of the genus *Alpheus* Fabricius, 1798 (Caridea: Alpheidae). *Zootaxa* 4269:265–76
- Pescinelli RA; Davanso TM; Pantaleão JAF; Carvalho-Batista A; Bauer RT; Costa RC. 2018a. Population dynamics, relative growth and sex change of the protandric simultaneous hermaphrodite *Exhippolysmata oplophoroides* (Caridea: Lysmatidae) close to an upwelling área. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98:727–734.
- Pescinelli RA; Almeida AO; Costa RC. 2018b. Population structure, relative growth and morphological sexual maturity of the snapping shrimp *Alpheus brasileiro* Anker, 2012 (Caridea: Alpheidae) from the south-eastern coast of Brazil. *Marine Biology Research* 14:610–620.

Pescinelli, R.A., 2019

- Pinheiro MAA; Taddei FG. 2005. Crescimento do caranguejo de água doce *Dilocarcinus pagei* Stimpson (Crustacea, Brachyura, Trichodactylidae). *Revista Brasileira de Zoologia*, 22:522–528.
- Santos APF; Simões SM; Bochini GL; Costa CH; Costa RC. 2015. Population parameters and the relationships between environmental factors and abundance of the *Acetes americanos* shrimps (Dendrobranchiata: Sergestidae) near a coastal upwelling region of Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 63:229–238.
- Sheehy MRJ. 1990. Widespread occurrence of fluorescent morphological lipofuscin in the Crustacean brain. *Journal of Crustacean Biology*, 10:613–622.
- Simões SM; D’Incao F; Fransozo A; Castilho AL; Costa RC. 2013. Sex ratio, growth and recruitment of the pelagic shrimp *Acetes americanos* on the southeastern coast of Brazil. *Journal of Crustacean Biology*, 31:1–9.
- Skurdal J; Vollestad LA; Qvenild T. 1985. Comparison of scales and otoliths for age determination of whitefish *Coregonus lavaretus*. *Fisheries Research*, 3:237–243.
- Stearns SC. 2000. Life history evolution: Successes, limitations, and prospects. *Naturwissenschaften* 87:476–486.
- Pauly D; Munro JL. 1984. Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. *Fishbyte* 2:21.
- Vergamini FG; Mantelatto FL. 2008. Microdistribution of juveniles and adults of the mud crab *Panopeus americanus* (Brachyura, Panopeidae) in a remnant mangrove area in the southwest Atlantic. *Journal of Natural History*, 42:1581–1589.
- Soledade GO; Almeida AO. 2013. Snapping shrimps of the genus *Alpheus* Fabricius, 1798 from Brazil (Caridea: Alpheidae): Updated checklist and key for identification. *Nauplius* 21:89–122.
- Zar JH. 2010. *Biostatistical analysis*, Edn.10. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- Correa C; Thiel M. 2003. Mating systems in caridean shrimp (Decapoda: Caridea) and their evolutionary consequences for sexual dimorphism and reproductive biology. *Revista Chilena de Historia Natural* 76:187–203.
- Thiel M; Baeza JA. 2001. Factors affecting the social behavior of crustaceans living symbiotically with other marine invertebrates: A modeling approach. *Symbiosis* 30:163–190.
- Rodrigues FMA; Lomônaco OC; Christoffersen ML. 2009. Habitat partition, and variations in size and symmetry of three sympatric species of *Alpheus* (Decapoda:

Pescinelli, R.A., 2019

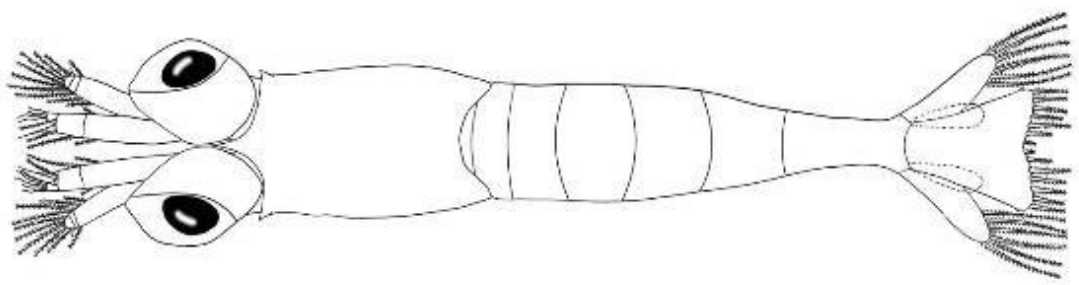
Caridea) along an intertidal gradient in the southwestern Atlantic. *Journal of Crustacean Biology*, 29:334–342.

King M. 1995. *Fisheries Biology, Assessment and Management*. Fishing News Books, Cambridge.

Vazzoler AEAM. 1996. *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: teorias e práticas*. 1ª ed [Reproductive biology of teleosteos fish: theory and practice. 1ª ed]. Maringá: Eduem; 169p.

CAPÍTULO 3

**Descrição morfológica dos primeiros estágios larvais de
Alpheus brasileiro Anker, 2012 e revisão da morfologia
do primeiro estágio larval do gênero *Alpheus*
Fabricius, 1798**



Capítulo 3 – Artigo 3

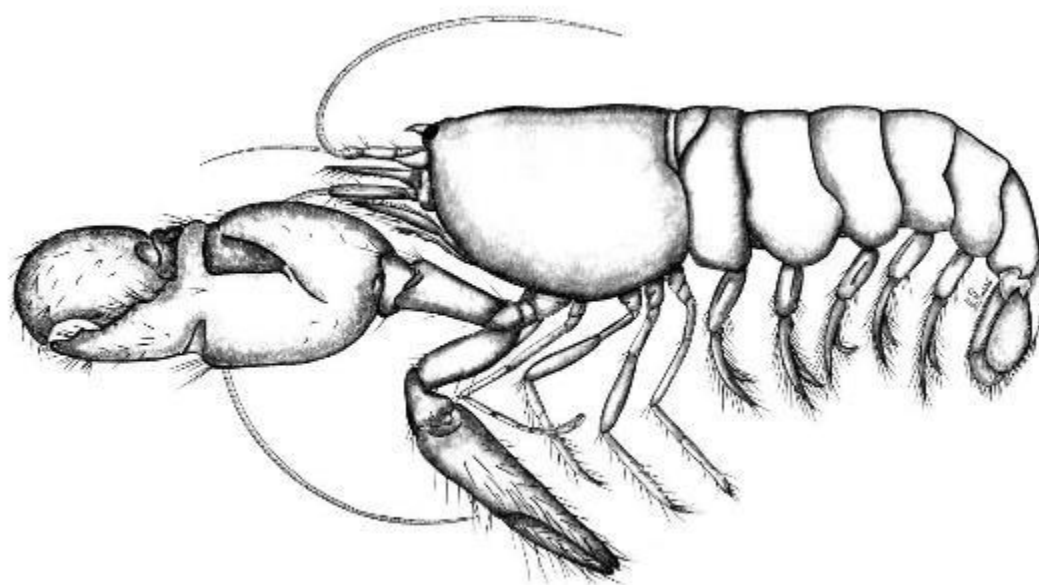
Morphological description of early zoeal stages of *Alpheus brasiliensis* Anker, 2012 reared in the laboratory, including a revision of the larval morphology of the first zoeal stage of the genus *Alpheus* Fabricius, 1798 (Caridea: Alpheidae). **Zootaxa** 4269 (2): 265–276, 2017.

Régis A. Pescinelli, João A.F. Pantaleão, Fernando L. Mantelatto & Rogério C. Costa

<https://biotaxa.org/Zootaxa/article/view/zootaxa.4269.2.5>

<https://doi.org/10.11646/zootaxa.4269.2.5>

Considerações Finais



Considerações finais

Neste estudo, pela primeira vez foi investigado a diversidade de camarões Alpheidae que ocorrem na região intermareal estuarina de Cananéia, São Paulo. Por ser uma área com um grande estuário e que apresenta uma ótima integridade ambiental, os resultados aqui apresentados são de grande importância na caracterização da biodiversidade local dos camarões da região intermareal estuarina e na comparação com estudos realizados em áreas com maior grau de interferência ambiental.

A presença de sete espécies de camarões Alpheidae em pequenas áreas aqui registradas configura mais um dos indícios de que o estuário de Cananéia apresenta-se ambientalmente conservado e pode ser utilizado como modelo de comparação com demais estuários da costa brasileira. Isso sem considerar a fauna de Brachyura presente nesses locais, que mesmo não sendo o alvo do presente estudo, esteve presente em todas as coletas.

Além da diversidade no local, a microdistribuição dos camarões Alpheidae na região intermareal também foi avaliada, de forma a auxiliar no entendimento de como a assembleia desses camarões está estruturada em relação a localização nas zonas intermareais. Com base nos resultados apresentados foi possível observar que há um padrão de distribuição na região do Canta Galo para as espécies mais abundantes. Porém, aquelas menos abundantes se distribuem de forma mais aleatória, provavelmente em decorrência da presença da espécie mais abundante, ou seja, *A. brasileiro* que ocupa a maior parte da zona intermareal, principalmente a zonas do baixo e médio intermareal.

Diferentes aspectos da biologia de *A. brasileiro* também foram analisados buscando respostas sobre a história de vida da espécie. Assim, além da microdistribuição, a estrutura populacional avaliando o período reprodutivo, recrutamento juvenil e a razão sexual da população também foram investigados. Os resultados aqui apresentados

demonstraram uma grande influência do comportamento monogâmico social na biologia populacional de *A. brasileiro*. Já com relação aos parâmetros de crescimento, a longevidade e o tempo necessário para que atinjam a maturidade sexual morfológica, estratégias distintas de alocação de energia entre os sexos foram preponderantes.

Todos os aspectos da biologia de *A. brasileiro* mencionados no parágrafo anterior somados à descrição dos primeiros estágios larvais também presente neste estudo, são informações importantes que caracterizam a história de vida da espécie e que podem ser utilizadas em estudos comparativos com as demais espécies pertencentes ao complexo *A. armillatus*.

As informações sobre a riqueza e abundância na região intermareal estuarina de Cananéia apresentadas nesta tese são de suma importância no monitoramento das assembleias de camarões Alpheidae ao longo do tempo, principalmente por se tratar de uma região de grande importância ecológica no litoral brasileiro. A presença da espécie invasora *Athanas nitescens* também reforça a importância do monitoramento da área e sua influência na assembleia de camarões, uma vez que os resultados mostraram que esta espécie se estabeleceu e está se reproduzindo no estuário de Cananéia.

Todos as informações presentes nesta tese reforçam a grande diversidade de crustáceos que podem ser encontrados em pequenas áreas, em microhabitats que muitas vezes passam despercebido. Além da complexibilidade envolvendo relações inter e intraespecíficas nesses ecossistemas. Desta forma, fica claro a importância da caracterização e do monitoramento da biodiversidade neste tipo de ecossistema ao longo do tempo. Assim como o aprofundamento das investigações sobre as relações entre as espécies e o ambiente.