



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

EWERTTON SOUZA GADELHA

**ECOLOGIA POPULACIONAL DE *Donax striatus* (Bivalvia: Donacidae) NA PRAIA
DE AJURUTEUA, LITORAL NORTE DO BRASIL, AMAZÔNIA ORIENTAL**

**BELÉM
2017**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

EWERTTON SOUZA GADELHA

**ECOLOGIA POPULACIONAL DE *Donax striatus* (Bivalvia: Donacidae) NA PRAIA
DE AJURUTEUA, LITORAL NORTE DO BRASIL, AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais da Universidade Federal Rural da Amazônia como requisito para obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais.

Área de Concentração: Ecologia Aquática.

Orientador: Prof. Dr. Nuno Filipe Alves Correia de Melo

Coorientador: Dr. Fábio Campos Pamplona Ribeiro

**BELÉM
2017**

Gadelha, Ewertton Souza

Ecologia populacional de *Donax striatus* (Bivalvia: Donacidae) na praia de Ajuruteua, litoral norte do Brasil, Amazônia Oriental / Ewertton Souza Gadelha. – Belém, 2017.

90 f.

Dissertação (Mestrado em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2017.

Orientador: Dr. Nuno Filipe Alves Correia de Melo.

1. Ecologia populacional 2. *Donax striatus* 3. Ecossistema de praia – Região amazônica 4. Ecossistema de praia – Praia de Ajuruteua I. Melo, Nuno Filipe Alves Correia de, (orient.) II. Título

CDD – 577.88

EWERTTON SOUZA GADELHA

ECOLOGIA POPULACIONAL DE *Donax striatus* (Bivalvia: Donacidae) NA PRAIA DE AJURUTEUA, LITORAL NORTE DO BRASIL, AMAZÔNIA ORIENTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais da Universidade Federal Rural da Amazônia como requisito para obtenção do título de Mestre em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais. Área de Concentração: Ecologia Aquática.

Data da Aprovação:

Banca Examinadora:

Dr. Nuno Filipe Alves Correia de Melo
Universidade Federal Rural da Amazônia

Dr. Mauro Márcio Tavares da Silva
Universidade da Amazônia

Dra. Bianca Bentes da Silva
Universidade Federal do Pará

Dr. Caio Brito Lourenço
Universidade de São Paulo

A minha mãe Ana Gadelha e minha irmã Ewellyn Gadelha que sempre estiveram ao meu lado partilhando todos os momentos da minha vida e o apoio incondicional, à minha Família Gadelha e Ferreira, que sempre me apoiaram, e que são fundamentais na minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal Rural da Amazônia, que me proporcionou durante esses 2 anos de grandes descobertas e experiências que me fizeram crescer como profissional e pessoa e forneceu a estrutura necessária para realização deste trabalho.

A meus orientadores Nuno Filipe Melo e Fábio Pamplona Correia, que me conduziram na elaboração deste trabalho, pelo apoio nos momentos finais desta dissertação.

Ao Professor Marko Herrmann, pelo auxílio no custeamento de despesas de transportes, que foram muito importantes para a condução deste trabalho.

Aos inigualáveis Ianca Miranda, Kaio Luz, Luana Cruz e Pedro Sousa, doravante denominados “Cracas”, a Rafael Anaisce e aos estudantes Mara Rúbia, Alex Ribeiro, Taiana Nascimento pelo apoio durante as coletas, que foi essencial para a conclusão deste trabalho.

Palavras me faltam para agradecer ao meu supertime que foi providencial para o início e desfecho deste trabalho, Shirley Rafael, Elton Correia e Rosana Esther, doravante denominados "Mundo Paralelo", pelo apoio incondicional durante todo esse trabalho, seja nas coletas, análises ou apoio emocional quando mais necessitei.

A professora Rosália Sousa, que gentilmente cedeu parte do material de laboratório utilizado neste trabalho, sem o qual esse trabalho não teria se concretizado.

Ao CEPNOR na pessoa de Alex Klautau, que disponibilizou transporte ao local de estudo nos momentos de desespero.

A Luciana, técnica do CTA, que gentilmente disponibilizava seu tempo para me atender sempre que fosse necessário utilizar a mufla.

A professora Maria de Lourdes Santos e a Engenheira Francianne Mourão, que cederam seu tempo para analisar as amostras de clorofila-a.

A Denise Ribeiro, Maiara Freitas, Samara Castro, Luana Sousa e Fernanda dos Reis, amigos de laboratório, de caminhada, agradeço a amizade e apoio durante esse mestrado e pelos momentos de descontração.

A Deus, pois ele tem guiado meu caminho e derramado muitas bênçãos na minha vida pessoal e profissional, e sem ele nada seria possível.

Ao meu maior exemplo de fortaleza, de guerreira e de pessoa, minha mãe Ana Gadelha que sem sua persistência e luta eu jamais teria chegado até aqui. A minha irmã Ewellyn Gadelha pelo apoio em todos os momentos da minha vida. A Família Gadelha e Ferreira pelo apoio são os meus alicerces.

Só quando a última árvore for derrubada, o último peixe for morto e o último rio for poluído é que o homem perceberá que não pode comer dinheiro.
(Provérbio Indígena)

RESUMO

Este trabalho objetiva analisar a ecologia populacional de *Donax striatus* em um ecossistema de praia arenosa na região amazônica, durante os meses de março/2015 a abril/2016, durante a maré baixa de sizígia, sendo a praia dividida em 3 transectos perpendiculares à linha da costa, com espaçamento entre eles de 50 m e 20 m de intervalo entre as estações. As amostragens foram realizadas com um amostrador cilíndrico de 0,025 m² de superfície, e uma profundidade de 15 cm, enquanto as amostragens de indivíduos para as análises de produção e histológica foram capturados manualmente e aleatoriamente ao longo da praia. A distribuição foi estimada através do índice de morisita. Sendo, que a diferença entre o número de machos e de fêmeas foi verificada pelo teste qui-quadrado, o tamanho de primeira maturação foi determinado pela Ogiva de Galton e pela curva sigmoidal, enquanto que o período reprodutivo foi estimado pelos métodos de variação temporal da frequência de estágios de maturação, somente para as fêmeas foi empregado o método de abundância dos ovócitos e análise de coorte ovocitárias. Os indivíduos de *D. striatus* apresentaram uma densidade média de 50±18 ind.m⁻², com predomínio de adultos na classe de comprimento de 20 a 24 mm. A relação entre o comprimento e o massa seca livre de cinzas (MSLC) foi de $M_{(MSLC)} = 0,00001L^{2,8469}$, tendo uma biomassa média anual de 8,44 g MSLC. Enquanto a produção anual somática foi de 1,99 g MSLC ano⁻¹ e uma relação produção/biomassa (P/\bar{B}) de 0,23 g MSLC ano⁻¹. A densidade sofreu maior influência positiva da concentração de matéria orgânica ($r_{sp} = 0,42$, $p < 0,05$) e negativamente da TSM ($r_{sp} = -0,57$, $p < 0,05$), a biomassa, possui uma correlação positiva com a pluviosidade ($r_{sp} = 0,61$, $p < 0,05$) e uma relação inversa com a TSM ($r_{sp} = -0,5$, $p < 0,05$). Por outro lado, a produção sofre maior influência da clorofila-*a* ($r_{sp} = 0,67$, $p < 0,05$). A população de *D. striatus* possui proporção sexual de 1:1, com tamanho mínimo de primeira maturação para os machos de 10,94 mm e peso de 0,38 g, enquanto que as fêmeas e o sexo agrupado atingem com 8,92 mm e peso de 0,38 g e 12,45 mm e 0,38 g, respectivamente. Esses animais possuem desova assíncrona, tendo um ciclo reprodutivo contínuo, com maiores frequências de maduros no período de julho/2015 a novembro/2015, no entanto, as maiores frequências de eliminação gametogênica ocorre nos meses de março/2015 a maio/2015 e dezembro/15 a fevereiro/16. Deste modo, a população de *D. striatus* durante o evento de El Niño mostrou uma diminuição de sua densidade e P/\bar{B} , devido a maiores mortalidades possivelmente causadas pelo aumento da temperatura superficial do mar que alcançou máxima de 36 °C. Apresentando uma população caracteristicamente r-estrategista, gonocorísta, com proporção sexual igualitária. Apesar de não haver sazonalidade reprodutiva e ausência de correlação entre os estágios de maturação com os parâmetros ambientais, as maiores frequências de maduros encontra-se no período seco e de estoques desovantes no período chuvoso.

Palavras chave: Molusco. Recurso pesqueiro. Dinâmica populacional. Produção secundária

ABSTRACT

This work aims to analyze the population ecology of *Donax striatus* in a sandy beach ecosystem in the Amazon region, during the months of March / 2015 to April / 2016, during a low tide of syzygy, being a beach divided in 3 transects perpendicular to the line Coast, with spacing between them of 50 m and 20 m interval between stations. Samplings were performed with a cylindrical sampler of 0.025 m² surface and a depth of 15 cm, while samples of individuals for production and histological analysis were captured manually and randomly along the beach. The distribution was estimated through morisite index. However, the difference between the number of males and females was verified by the chi-square test, the first maturation size was determined by the Galton's Ogive and the sigmoidal curve, whereas the reproductive period was estimated by the methods of temporal variation of the frequency of maturation stages, the oocyte abundance method and oocyte cohort analysis were employed only for females. The individuals of *D. striatus* presented a mean density of 50±18 ind.m⁻², with predominance of adults in the length class of 20 to 24 mm. The relationship among ash length and dry mass (AFDM) was $M_{(AFDM)} = 0.00001L^{2.8469}$, having an annual mean biomass of 8.44 g AFDM. While the annual somatic production was 1.99 g AFDM y⁻¹ and a production/biomass (P/ \bar{B}) ratio of 0.23 g AFDM y⁻¹. The density had a higher positive influence of the organic matter concentration ($r_{sp} = 0.42$, $p < 0.05$) and negatively of the SST ($r_{sp} = -0.57$, $p < 0.05$), the biomass had a positive correlation with rainfall ($r_{sp} = 0.61$, $p < 0.05$) and an inverse relationship with SST ($r_{sp} = -0.5$, $p < 0.05$). On the other hand, the production suffers greater influence of chlorophyll-a ($r_{sp} = 0.67$, $p < 0.05$). The *D. striatus* population has a sexual ratio of 1:1, with a minimum size of first maturation for males of 10.94 mm and weight of 0.38 g, while females and clustered sex reach 8.92 mm and weight of 0.38 g and 12.45 mm and 0.38 g, respectively. These individuals have asynchronous spawning, having a continuous reproductive cycle, with higher frequencies of mature in the period from July/2015 to November/2015, however, the highest frequencies of gametogenic elimination occur in the months of March/2015 to May/2015 and December/15 to February/16. So, the population of *D. striatus* during the El Niño event showed a decrease in its density and P/ \bar{B} due to higher mortalities possibly caused by the increase in sea surface temperature which reached a maximum of 36 °C. It presents a population characteristically r-strategist, gonocorísta, with egalitarian sexual proportion. Although there is no reproductive seasonality and there is no correlation between maturation stages and environmental parameters, the highest frequencies of ripeness occur in the dry season and in the rainy season.

Keywords: Mollusk. Fishing resource. Population dynamics. Secondary production

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPITULO 1

- Figura 1-** Morfologia externa de *D. striatus*..... 14
- Figura 2-** Detalhe da charneira do lado direito de *Donax striatus*, onde, DCA- dente lateral anterior, DCA- dente cardinal anterior, DCP- dente cardinal posterior e DLP- dente lateral posterior..... 15
- Figura 3-** Distribuição geográfica de *Donax striatus* (A) e localização do local de coleta na praia de Ajuruteua, Bragança, Pará, Brasil (B). 16
- Figura 4-** Método de estudo por transecto, seguindo em direção ao infralitoral, na praia Ajuruteua, Pará, onde R1- reperição 1, R2- repetição 2, E1- estação 1 e E2- estação 2.....23
- Figura 5-** Esquema de medida da célula germinativa feminina. Aumento de 1000X.....27

CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Mapa da área de estudo praia de Ajuruteua, município de Bragança, estado do Pará, Brasil.....40
- Figura 2.** Variação mensal da densidade média (ind.m⁻²; Média±erro padrão) de *Donax striatus* e da pluviosidade no período de março/15 a março/16, onde, a- total, b- recrutas, c- juvenis e d- adultos.....43
- Figura 3.** Variação mensal da biomassa seca livre de cinzas (g MSLC ind.) de *Donax striatus* e da pluviosidade no período de março/15 a março/16.....44
- Figura 4.** Distribuição da biomassa individual (g MSLC) (a) e da produção anual somática (b) por classe de tamanho. Área acinzentada demonstra a abundância de indivíduos de *Donax striatus* para diferentes classes de tamanho.....44
- Figura 5.** Variação de março/15 a março/16 dos parâmetros ambientais da praia de Ajuruteua. a - temperatura superficial do mar - TSM (°C), b - salinidade, c - matéria orgânica (%), d - clorofila-*a* (mg/m³) e e - pluviosidade (mm).....45
- Figura 6.** Representação gráfica do plano fatorial do primeiro e segundo eixo da análise de componente principal (ACP) dos dados no período de março/15 a maio/15 (estação chuvosa), junho/15 a novembro/15 (estação seca) e dezembro/15 a março/16 (estação chuvosa). As elipses em cinza representam os grupos amostrais de sazonalidade. Biom= biomassa, Clo= clorofila-*a*, MO= matéria orgânica, Plu= pluviosidade, Pro= produção, Den= densidade, TSM= temperatura superficial do mar, Sal= Salinidade.....46

Figura 7. Relação entre a taxa de renovação (P/B) e latitude de várias espécies de *Donax*, onde, a- relação de P/B sem influência de anomalias climáticas e b- relação de P/B com influência de anomalias climáticas. Fonte de dados na tabela 2.....50

CAPITULO 4

Fig. 1 Mapa da área de estudo praia de Ajuruteua, município de Bragança, estado do Pará, Brasil.....73

Fig. 2 Variação de Março/15 a Março/16 dos parâmetros ambientais da praia de Ajuruteua. a - temperatura superficial do mar - TSM (°C), b- salinidade, c- matéria orgânica - MO (%), d- clorofila-*a* (mg/m³) e e- pluviosidade (mm).....76

Fig. 3 Fotomicrografias das fases de desenvolvimento gonadal de *Donax striatus*. a- Fêmea Em Maturação; b- Fêmea Em Eliminação; c- Fêmea em Citólise; d- Macho Imaturo; e- Macho Em Maturação; f- Macho Maduro; g- Macho Em Eliminação; h- Macho em Citólise. Onde, PV- ovócito pré-vitelogênico, M- ovócito maduro, V- ovócito vitelogênico, F- folículo ovariano, T- tecido interfolicular, Sm- espermatozoide, Sp- espermátócito, Sd- espermátide, T- tecido interfolicular, asterisco- indica espaços vazios devido à eliminação de gametas maduros e cabeça de seta indica a parede folicular.....78

Fig. 4 Curva logística indicando o tamanho de primeira maturação para o sexo agrupado de *Donax striatus*.....79

Fig. 5 Frequência dos estádios de maturação no período de Março/15 a Abril/16 de fêmeas (a) e machos (b) de *Donax striatus*, onde, IM- Imaturo, EM- Em maturação, MA- Maduro, EE- Em eliminação e CT- Citólise.....80

Fig. 8 Distribuição mensal da frequência absoluta dos diâmetros dos ovócitos de *Donax striatus*.....82

Fig. 9 Variação mensal da média de abundância de ovócitos (a), média do índice de condição (%) (b) e média da biomassa seca livre de cinzas (g) (c) de *Donax striatus* na praia de Ajuruteua, no período de março/2015 a abril/2016.....83

SUMÁRIO

CAPITULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1 SISTEMÁTICA.....	13
3.2 CARACTERES MORFOLOGICOS.....	13
3.3 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E HABITAT	15
3.4 ECOLOGIA POPULACIONAL	16
3.4.1 Densidade Populacional	16
3.4.2 Biomassa e Produção secundária	18
3.5 EL NIÑO	20
4 MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1 ÁREA DE ESTUDO	22
4.2 COLETA DE DADOS	23
4.2.1 Parâmetros Ambientais.....	24
4.3 PROCEDIMENTO EM LABORATÓRIO	24
4.3.1 Massa Seca Livre de Cinzas.....	24
4.3.2 Análise Biológica e Química	25
4.3.3 Reprodução	26
4.4 ANÁLISE DOS DADOS	27
4.4.1 Densidade, biomassa e produção secundária	27
4.4.2 Reprodução	29
REFERÊNCIAS	31

CAPITULO 2

Estrutura populacional e produção secundária de <i>Donax striatus</i> em um ecossistema de praia de areia tropical	38
---	-----------

CAPITULO 3

Padrões reprodutivos de bivalves de regiões tropicais.....	56
---	-----------

CAPITULO 4

Ciclo reprodutivo e desenvolvimento gonadal do bivalve, *Donax striatus* em um ecossistema de praia de areia, norte do Brasil 71

CAPITULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 88

CAPITULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

A captura de moluscos tem importante papel socioeconômico no cenário da pesca artesanal mundial e principalmente em países da Americana Latina, por contribuir como forma de subsistência e complementarem a renda das populações litorâneas (CASTILLA; DEFEO, 2001; GIL et al., 2007).

Os moluscos do gênero *Donax* são considerados grupos mundialmente dominantes da comunidade de invertebrados em praias de areia, das 64 espécies que foram descritas até o momento, cerca de 75% encontram-se em águas tropicais, em torno de 22% vivem em áreas temperadas e uma quantidade muito pequena habita regiões de ressurgência costeira. Como os consumidores primários, Donacídeos fornecem uma abundância significativa de biomassa para o ecossistema, contribuindo significativamente para a regeneração de nitrogênio orgânico dissolvido e particulado. Parte da produção secundária deste molusco é consumida por caranguejos, aves e peixes (MCLACHLAN et al., 1996; BROWN; MCLACHLAN, 2006). No Brasil, *Donax* sp. são utilizados na confecção de artesanatos e na alimentação, tendo a vantagem de ser facilmente obtido e de baixo custo (BORGES-AZEVEDO; MOURA NETO; SILVA, 1990).

Devido à exploração extrativista destes bivalves ao longo do ano, a degradação ambiental crescente e a escassez de estudos, limitam a adoção de medidas de manejo, acarretando diversos problemas aos estoques naturais desses moluscos em diversas regiões litorâneas, comprometendo a renovação destes estoques. Há exemplo, no estado do Pará, no município de Bragança, *Donax striatus* vem sofrendo uma progressiva deterioração de seu habitat por ações antrópicas (ARAÚJO, 2001; BEASLEY, et al., 2005).

Como forma de proteger estas populações naturais dos impactos antrópicos e subsidiar a gestão e o manejo, é necessária antes de qualquer medida possuir informações ecológicas das espécies, tais como crescimento, reprodução, nutrição e distribuição, descrevendo assim a dinâmica dos estoques (SILVA; TAGLIARO; BEASLEY, 2014).

A dinâmica ou ecologia populacional de organismos bentônicos depende das condições ambientais, que mudam até mesmo dentro de pequenas distâncias, e interdependências ecológicas, tanto intra e interespecífica, que regulam as variações demográficas em uma escala espacial reduzidas (CASTILLA; DEFEO, 2001).

Bivalves de praias arenosas são expostos a diferentes fatores que influenciam na sua dinâmica populacional, tais como temperatura, salinidade, correntes de água, morfodinâmica da praia, influenciando nos padrões de distribuição, densidade, crescimento, reprodução e produção, outrora se sabe que a temperatura em ambientes tropicais surge pouco efeito, uma vez que não apresenta uma grande amplitude de variação. A disponibilidade de alimento é outro importante fator limitante, constituindo como variável agregada aos demais fatores, agindo localmente sobre as populações (DEFEO; CARDOSO, 2002). Portanto, são suscetíveis as mudanças e fenômenos climáticos.

Um dos fenômenos climáticos mais significativos nos trópicos é o El Niño-Oscilação Sul (ENSO). Os impactos da ENSO são generalizados, com fortes variações de temperatura e padrões de chuva que se estendem por todo o globo, durante o qual há o aquecimento das águas superficiais e um aumento do nível médio do mar. Na região Amazônica de um modo geral, o El Niño é mais seco e quente do que o normal, tais condições afetam a distribuição e a biologia das espécies planctônicas e bentônicas (PHILANDER, 1990; RASMUSSEN; CARPENTER, 1983; FOLEY; BOTTA; COE, 2002). Todavia, Riasco e Urban (2002) discorrem que pouco se sabe sobre os efeitos deste evento sobre a estrutura das populações marinhas. É reconhecido que há uma interação entre os fatores abióticos e a ecologia populacional dos bivalves, no entanto quais os fatores influenciam e de qual forma ainda é um paradigma para a ecologia.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a ecologia populacional do bivalve, *Donax striatus* Linnaeus, 1767, em uma praia de macromaré no município de Bragança.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular a densidade;
- Determinar o tipo de distribuição;
- Estimar a produção secundária e a biomassa seca livre de cinzas;
- Analisar a biologia reprodutiva;
- Analisar a influência das variáveis ambientais (salinidade, temperatura, precipitação pluviométrica e clorofila-*a*) no ciclo reprodutivo, na densidade, produção e biomassa.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 SISTEMÁTICA

Segundo Amaral, Rizzo e Arruda (2005) a família Donacidae é constituída por quatro gêneros com aproximadamente cinquenta espécies. No Brasil são conhecidos as espécies *Donax gemmula* Morrison, 1971, *D. hanleyanus* Philippi, 1842, *D. striatus* Linnaeus, 1767, *D. denticulatus* Linnaeus, 1758 e *Iphigenia brasiliensis* (Lamarck, 1818). De acordo com Linnaeus (1767) e Passos e Magalhães (2011) a espécie *D. striatus* pertence aos seguintes grupos taxonômicos:

Reino: Animalia

Filo: Mollusca

Classe: Bivalvia Linnaeus, 1758

Ordem: Veneroidea H. Adams e A. Adams, 1856

Família: Donacidae Fleming, 1828

Gênero: *Donax* Linnaeus, 1758

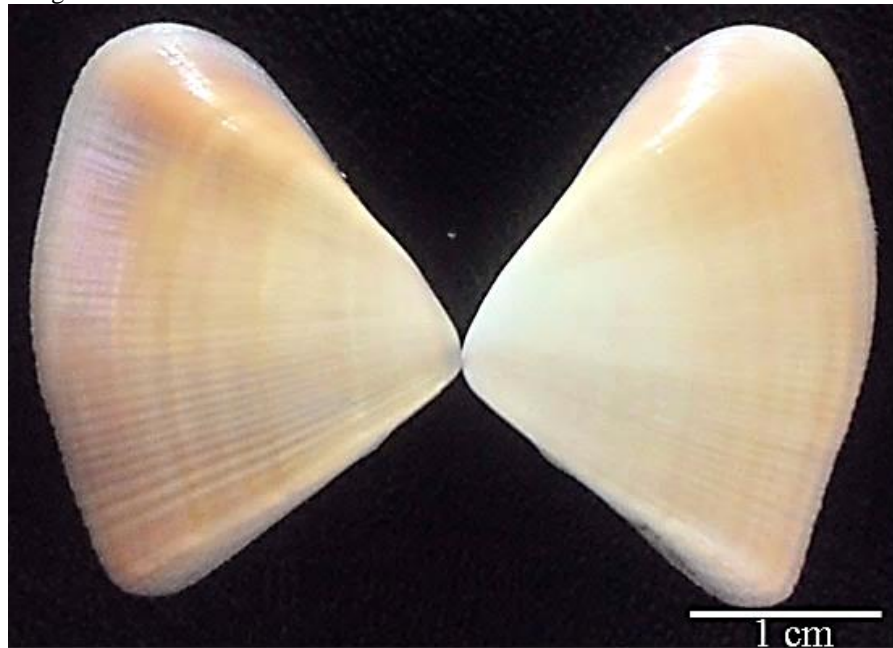
Espécie: *Donax striatus* Linnaeus, 1767

3.2 CARACTERES MORFOLOGICOS

Para Amaral, Rizzo e Arruda (2005) a família Donacidae possui conchas subtrigonais a alongadas, grossas, com valvas iguais, geralmente com a margem anterior estreita e arredondada e a margem posterior larga ou truncada. O perióstraco é fino e decíduo, com escultura radial. A região posterior frequentemente está delimitada por uma carena ou quilha radial. O ligamento é pequeno e completamente externo à concha.

Para Wade (1967) e Rios (2009) indivíduos da espécie *Donax striatus* apresentam concha tipicamente larga triangular com linhas concêntricas e radiais. Serrilhado a partir do lado posterior, com margem ventral arqueadas, crenulada e truncada na parte traseira, lateralmente são densamente estriado, diminuindo anteriormente. Inclinação posterior com numerosas linhas radiais diminutos. Coloração variável de branco, amarelo, rosa, laranja ou marrom, ocorrendo muitas vezes zonas concêntricas de tons diferentes entre o arroxeadado, azul, cinza ou verde na região distal posterior (Figura 1).

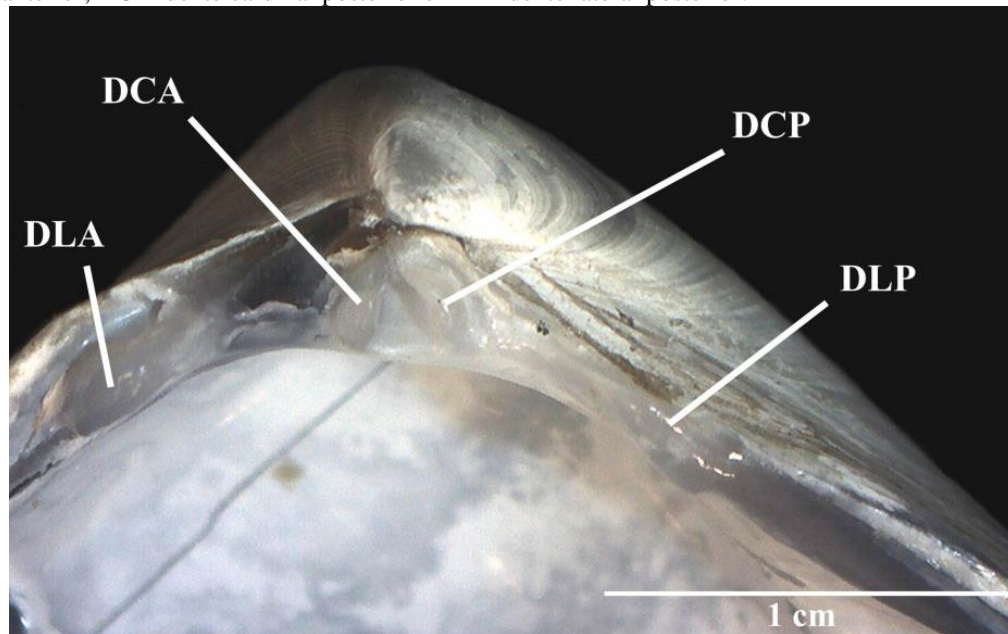
Figura 1- Morfologia externa de *D. striatus*.



Superfície interna lisa, brilhante. Linha palial contínua, conspícua, seio palial amplo, profundo, estendendo-se até a altura do dente lateral anterior. Cicatrizes dos músculos retrator anterior do pé e do adutor anterior unidas, de contorno ovalado, cicatrizes do retrator posterior do pé e do adutor posterior unidas, de contorno elíptico (PASSOS; DOMANESCHI, 2004).

Charneira arqueada, estreita, enquanto as valvas apresentam dois dentes cardinais e dois laterais. Dente cardinal posterior da valva direita forte, proeminente, cardinal anterior reduzido, semelhante a um ligeiro espessamento da margem da valva (Figura 2). Cardinais da valva esquerda subiguais, fortes e proeminentes (PASSOS; DOMANESCHI, 2004).

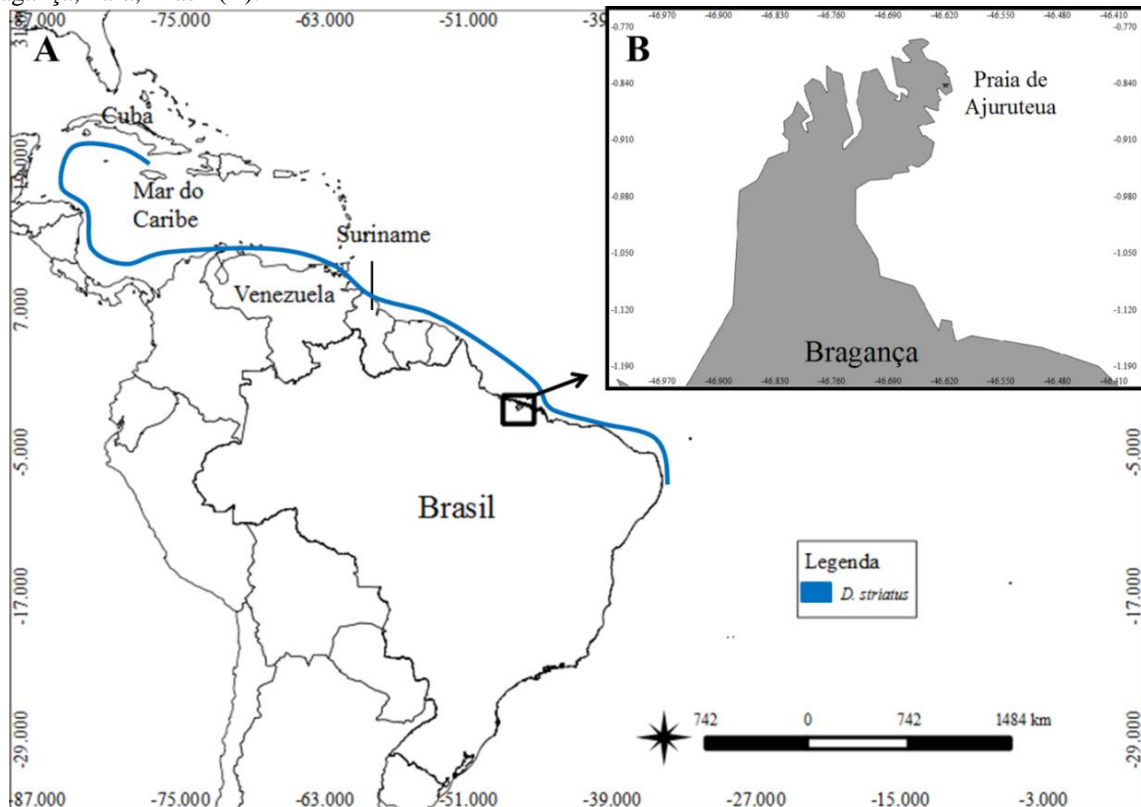
Figura 2- Detalhe da charneira do lado direito de *Donax striatus*, onde, DCA- dente lateral anterior, DCA- dente cardinal anterior, DCP- dente cardinal posterior e DLP- dente lateral posterior.



3.3 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA E HABITAT

Donax striatus distribui-se na Costa do Atlântico, Mar do Caribe, Venezuela, Suriname e Brasil (WADE, 1967; RIOS, 2009) (Figura 3). A ocorrência desta espécie na região nordeste do estado do Pará é relatada por Borcem et al. (2011) em Marapanim e por Beasley et al. (2005) em Bragança.

Figura 3- Distribuição geográfica de *Donax striatus* (A) e localização do local de coleta na praia de Ajuruteua, Bragança, Pará, Brasil (B).



D. striatus habita a zona intertidal de praias de areia, de mar aberto expostas à ação das ondas, sendo encontrado em profundidades de até 20 cm (WADE, 1967; RIOS, 2009). Esses organismos migram sincronicamente com as marés, mantendo um padrão de zonação por meio de transporte passivo ascendente e descendente, usando os sifões e o pé para se locomover (GARCIA et al., 2003).

3.4 ECOLOGIA POPULACIONAL

3.4.1 Densidade Populacional

O zoneamento por classe de tamanho foi estudado por Donn (1990) na espécie *D. serra* na África do Sul, ocorrendo adultos principalmente na zona de arrebenção, indivíduos jovens ocorrem perto da baixa-mar e movem-se para costa à medida que crescem, deslocando-se novamente à medida que se aproximam da maturidade sexual. Esses padrões de zonação resultam principalmente de diferentes respostas ao meio ambiente.

Borrego et al. (2010) e Ocaña, Apín e Cala (2013) relatam que o gênero *Donax* possui uma distribuição estratificada por classes de tamanho, onde os recrutas são registrados nos

estratos superiores, pois é uma área onde o sedimento é mais fino, menor turbidez e dinamismo, por ser um local menos estressante utilizam mais energia no processo de desenvolvimento do que em manutenção. Enquanto os adultos localizam-se principalmente nos estratos mais baixos, pois conseguem se enterrar com mais facilidade em sedimentos mais grosseiros, suportam o dinamismo das ondas e evitam concorrência com outros grupos (recrutas e jovens). Esse tipo de comportamento reflete em uma distribuição de classes de comprimento unimodal.

Para Borrego et al. (2010) e Palacios, Cruz e Urpí (1983) espécies do gênero *Donax* possuem uma distribuição agregada, sendo esta uma estratégia típica de bivalves (SASTRE, 1985). Desta forma, Wade (1967) sugeriu que essa agregação acontece devido à seletividade de habitat, onde há maior preferência por locais que tenham estabilidade dos grãos de areia, fornecendo um substrato de fácil penetração, sendo que este tipo de distribuição também é uma forma de defesa contra predadores naturais.

A distribuição espacial de organismos bentônicos em ambientes inconsolidados tem sido associada a diversos fatores biológicos, tais como comportamento reprodutivo e disponibilidade de alimento, e também a fatores físico-químicos como hidrodinamismo, granulometria, quantidade de matéria orgânica e umidade da área ou ainda a uma combinação dos mesmos (MCLACHLAN, 1983; ESTEVES, 1998).

Borrego et al. (2010) discorrem que não há correlação entre as alterações mensais na densidade de *D. striatus* com a temperatura e nem com a precipitação pluviométrica, no entanto, parece que as mudanças no esquema normal de ondas e o aumento do nível do mar influenciam no comportamento da abundância desta espécie.

Delgado et al. (2003) relatam que *D. striatus* nas praias da Venezuela apresenta alta abundância no período seco e baixa no chuvoso, diferentemente, Beasley et al. (2005) relatam que a maior densidade ocorre no período chuvoso e a menor no seco na península de Ajuruteua, região amazônica brasileira. Em zonas de clima temperado, na Baía de El Barquero, na Espanha, Mazé e Laborda (1988) discorrem que *Donax trunculus* apresenta maiores densidade no inverno, por ser o período de recrutamento, com a chegada do verão a densidade começa a decrescer. Os valores de densidades encontrados na literatura para espécies do gênero *Donax* se encontram na tabela 1.

Tabela 1- Densidades relatadas na literatura para espécies do gênero *Donax*.

Espécie	Densidade (ind.m⁻²)	Local	Autor
<i>D. dentifer</i>	65,1	Colômbia	Riasco e Urban (2002)
<i>D. dentifer</i>	48	Costa Rica	Palacio, Cruz e Urpi (1983)
<i>D. denticulatus</i>	146,67 a 855,55	Cuba	Ocaña, Apin and Cala (2013)
<i>D. striatus</i>	27 a 54	Cuba	Borrego et al. (2010)
<i>D. striatus</i>	34,4	Cuba	Ocaña (2015)
<i>D. striatus</i>	295,4	Venezuela	Delgado et al. (2003)
<i>D. striatus</i>	92,63	Venezuela	Delgado et al. (2003))
<i>D. striatus</i>	10,04	Venezuela	Herrera e Bone (2011)
<i>D. striatus</i>	33,13	Venezuela	Garcia et al. (2003)
<i>D. striatus</i>	14,6	Brasil	Beasley et al. (2005)
<i>D. trunculus</i>	28,3	Espanha	Mazé e Laborda (1988)

Arntz et al. (1987) estudaram a estrutura populacional de *Donax peruvianus*, em Santa María del Mar, no Peru durante o El Niño de 1982/1983 e concluíram que este reduz ou estabiliza a densidade populacional, sendo observados aumentos significativos na densidade populacional após este evento. Esses efeitos já foram registrados em outros bivalves do gênero *Donax*, na Lambayeque, Peru, as populações de *D. marincovich* diminuíram drasticamente durante o evento EN 97/98 (CHANAME et al., 1998), durante o mesmo evento em Paita, também no Peru, ocorreu o desaparecimento temporário das populações de *Donax* sp (INAPAQUÉ; BALMACEDA, 1998).

No geral os efeitos sobre a fauna marinha de um forte evento climático como o El Niño resultam em mortes em massa de espécies bentônicas e migração forçada de espécies pelágicas e demersais (ARNTZ et al., 1988). No entanto, este tipo de efeito não foi registrado por Riasco e Urban (2002) durante o El Niño 1997/1998, pelo contrário, houve um aumento significativo na densidade da população de *Donax dentifer* durante novembro a abril, no entanto, os mesmos alertam que as condições ambientais extremas provocadas por essa anomalia eleva a mortalidade de indivíduos jovens.

3.4.2 Biomassa e Produção secundária

A produção é o meio pelo qual a energia torna-se disponível para ser transmitida de um nível trófico para outro. Desta forma, a produção é diretamente relacionada ao ciclo de vida das espécies, sendo um parâmetro-chave em ecologia populacional, pois pesquisas em produção secundária em ambientes aquáticos fornecem subsídios para elucidar a transferência de energia dentro do ecossistema, permitem o manejo racional dos recursos aquáticos, a

detecção dos efeitos da poluição e a criação de teorias gerais sobre produtividade biológica (WATERS, 1977; DOWNING, 1984, SARDÁ; PINEDO; DUESO, 2000).

A taxa de renovação (P/B) pode ser considerada um indicador do limite máximo da exploração sustentável das populações. Devido à tendência da P/B declinar com o peso máximo individual (TUMBIOLO; DOWNING, 1994).

As taxas de produção secundária podem ser afetadas por muitos fatores intrínsecos às populações ou ambientais, entre eles a biomassa dos organismos, tempo de vida, tamanho do corpo, taxonomia, temperatura, disponibilidade de alimento, concentração de oxigênio e predação (DOWNING, 1984). Portanto, é extremamente importante examinar as variáveis ambientais no ecossistema em que a população esteja submetida.

Garcia et al. (2003) relatam que *D. denticulatus*, na Venezuela, apresenta biomassa média de 3,48 g.m⁻² MSLC (peso seco livre de cinzas), enquanto no Peru, Velarde e Aguilar (2008) demonstraram que *D. obesulus* possui uma biomassa média de 3,14 g.m⁻² MSLC. Enquanto a produção calculada foi de 3,76 g.m⁻² MSLC y⁻¹. A taxa de renovação anual (P/B) estimada foi 1,20. Estimativas de biomassa, produção e P/B para as demais espécies do gênero *Donax* encontram-se na tabela 3.

Tabela 2- Comparação da produção secundária (P, g MSLC y⁻¹), biomassa (\bar{B} , g MSLC) e taxa de renovação (P/ \bar{B}) de várias espécies de *Donax* a partir de diferentes regiões geográficas. Tr- tropical, Te- temperado, El- El niño, Ln- La nina.

Espécie	P	\bar{B}	P/ \bar{B}	Local	Área Climática	Autor
<i>D. dentifer</i>	1,21	1,22	0,98	4°05'N; 77°16'W	TrEl	Riasco e Urban (2002)
<i>D. dentifer</i>	0,33	0,21	1,6	4°05'N; 77°16'W	TrEl	Riasco (2006)
<i>D. dentifer</i>	0,54	0,23	2,33	4°05'N; 77°16'W	TrLn	Riasco (2006)
<i>D. dentifer</i>	0,75	0,62	1,21	4°05'N; 77°16'W	Tr	Riasco (2006)
<i>D. denticulatus</i>	12,4	0,47	26,38	20°05'N; 77°34'W	Tr	Ocaña, Apin e Cala (2013)
<i>D. denticulatus</i>	31,39		5,84	10°34'N; 64°15'W	Tr	Vélez et al. (1985)
<i>D. denticulatus</i>	64,63			10°34'N; 64°15'W	Tr	Vélez et al. (1985)
<i>D. hanleyanus</i>	13,56	3,45	3,9	32°20'S; 52°W	Tr	Gianuca (1985)
<i>D. hanleyanus</i>	0,76	0,48	1,59	23°03'S; 43°34'W	Tr	Cardoso e Veloso (2003)
<i>D. hanleyanus</i>	3,67	2,53	1,45	23°03'S; 43°34'W	Tr	Cardoso e Veloso (2003)
<i>D. hanleyanus</i>	0,44	0,20	2,18	36°32'S; 56°41'W	Te	Herrmann et al. (2009)
<i>D. hanleyanus</i>	0,07	0,04	1,83	36°32'S; 56°41'W	Te	Herrmann et al. (2009)
<i>D. hanleyanus</i>	0,19	0,16	1,18	37°19'S; 57°00'W	Te	Herrmann et al. (2009)
<i>D. hanleyanus</i>	0,14	0,16	0,87	37°19'S; 57°00'W	Te	Herrmann et al. (2009)
<i>D. hanleyanus</i>	0,98	1,32	0,74	37°29'S; 57°07'W	Te	Herrmann et al. (2009)
<i>D. hanleyanus</i>	0,78	0,96	0,81	37°29'S; 57°07'W	Te	Herrmann et al. (2009)
<i>D. incarnatus</i>	1,08	0,18	5,88	9°42'N; 76°20'E	Tr	Ansell et al. (1978)
<i>D. serra</i>	166,9	141,2	1,18	22°47'S; 14°33'E	Tr	Laudien, Brey e Arntz (2003)

<i>D. serra</i>	273,2	171,9	1,58	22°59'S; 14°24'E	Tr	Laudien, Brey e Arntz (2003)
<i>D. spiculum</i>	0,87	0,08	10,29	9°42'N; 76°20'E	Tr	Ansell et al. (1978)
<i>D. striatus</i>	2,87	0,56	5,11	20°05'N; 77°34'W	Tr	Ocaña (2015)
<i>D. striatus</i>	6,11	1,76	3,47	20°05'N; 77°34'W	Tr	Ocaña (2015)
<i>D. trunculus</i>	18,98	15,42	1,23	45°56'N; 1°40'E	Te	Ansell e Agardère (1980)
<i>D. trunculus</i>	39,99	39,35	1,02	45°56'N; 1°40'E	Te	Ansell e Agardère (1980)
<i>D. trunculus</i>	96,66	92,95	1,04	40°19'N; 27°37'E	Te	Çolakoğlu (2014)
<i>D. sordidus</i>	0,38	0,21	1,78	33°57'57'S; 25°40'E	Tr	McLachlan e Van de Host (1979)
<i>D. sordidus</i>	0,15	0,1	1,56	33°57'57'S; 25°40'E	Tr	Mclachlan (1979)
<i>D. sordidus</i>	0,13	0,12	1,03	33°57'57'S; 25°40'E	Tr	Mclachlan (1979)
<i>D. variabilis</i>	1,96	0,26	7,64	33°41'N; 78°53'W	Te	Wilson (1999)
<i>D. vittatus</i>	0,6	0,29	2,1	51°41'N; 4°28'W	Te	Warwick, George e Davies (1978)
<i>D. vittatus</i>	12,33	7,66	1,61	45°53'N; 1°40'E	Te	Ansell e Agardère (1980)
<i>D. vittatus</i>	17,33	10,43	1,66	45°53'N; 1°40'E	Te	Ansell e Agardère (1980)

3.5 EL NIÑO

O El Niño ocorre irregularmente em intervalos de 2 a 7 anos, com uma média de 3 a 4 anos, este evento climático é caracterizado quando os ventos sopram com menos força em todo o centro do Oceano Pacífico, resultando numa diminuição da ressurgência de águas profundas e na acumulação de água mais quente que o normal na costa oeste da América do Sul e, conseqüentemente, na diminuição da produtividade primária e das populações de peixe (SILVA, 2000; FOLEY; BOTTA; COE, 2002; BARBALHO; BARROS; SILVA, 2013).

Os ventos alísios ao soprar no sentido leste-oeste, resfriam a superfície do mar próxima ao litoral do Peru e, deslocando as águas mais quentes na direção contrária, caracterizando uma diferença de temperatura entre as duas regiões. Então, na região de águas mais quentes ocorre à evaporação mais rápida da água e a formação de nuvens. O ar quente sobe ao mesmo tempo em que o ar mais frio desce na região oposta, ocorrendo uma inversão na célula de circulação equatorial de Walker. A grande porção de água aquecida vai se expandindo de 5°N a 5°S e aprofundando a termoclina, inibindo o movimento de ressurgência de águas mais frias e ricas em nutrientes até a superfície, afetando drasticamente os níveis da cadeia alimentar, inviabilizando a pesca comercial naquela região. Com a inversão da circulação, estabelecem-se os movimentos convectivos próximos à costa peruana, mudando toda situação anterior do clima (SILVA, 2000; BARBALHO; BARROS; SILVA, 2013).

Na região Amazônica de um modo geral, o El Niño é mais seco e quente do que o normal (FOLEY et al., 2002). A bacia amazônica tem aquecido em 0,5 ° C desde 1980, com

um aquecimento mais forte durante a estação seca. Juntamente com o aquecimento, a última década experimentou duas grandes secas em um período muito curto, levantando preocupações sobre a resiliência das florestas tropicais a secas extremas e impactos do aquecimento global sobre este bioma. Os eventos climáticos extremos sobre a Amazônia estão ligados principalmente ao El Niño-Oscilação Sul (ENSO), as condições climáticas no Pacífico tropical e também às anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico tropical ou a uma combinação de ambos. A ocorrência desses eventos gera problemas sobre o equilíbrio das populações, bem como a ciclagem de água e carbono das extensas florestas tropicais (MARENGO et al., 2008; GLOOR et al., 2015; MARENGO; ESPINOZA, 2016) .

Os eventos de ENSO quentes estão associados à secas periódicas na Amazônia por causa da supressão da convecção e assim precipitação na Amazônia setentrional, oriental e ocidental. Para Jiménez-Muñoz et al. (2016) o El Niño-Oscilação Sul é o principal condutor de extremos climáticos interanuais na Amazônia e em outras regiões tropicais. Espera-se que o atual evento de 2015/2016 seja tão forte como o que ocorreu em 1997/98, com calor extremo e seca sobre a maior parte das florestas tropicais amazônicas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a vila de Ajuruteua localizada na mesorregião nordeste do Estado do Pará, possui cerca de 2,5 km de extensão e está localizada a 36 km da cidade de Bragança, sendo circundada por manguezais, pela Baía de Caeté e Baía do Maiaú (Figura 2). Por apresentar esta localização, sua peculiar hidrodinâmica e ação erosiva do mar, a área da vila vem diminuindo progressivamente. Como consequência, há tentativas de ocupação de áreas de manguezais e campo de dunas, fato que infringe a legislação federal vigente (PEREIRA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2011).

O clima da área é equatorial, quente e úmido, e está caracterizado por uma estação muito chuvosa entre os meses de dezembro e maio, e uma estação seca, nos demais meses do ano. A pluviosidade média anual é de 2.500 a 3.000 mm/ano, com umidade relativa do ar entre 80 e 91 %, alcançando uma temperatura média do ar de 25,7 °C, podendo variar entre 20,4 °C e 32,8 °C. Por outro lado, na região predomina o regime de macromarés semidiurnas (4-6 m), apresentando uma praia com características dissipativas de 200 a 300 m de largura durante as marés baixas (MARTORANO et al., 1993; OLIVEIRA et al., 2011).

Segundo Pereira et al. (2006) a maioria da população possui como principais ocupações a pesca e o comércio. A renda familiar média é baixa, por causa do atraso tecnológico das práticas utilizadas na pesca artesanal e à baixa escolaridade e qualificação profissional. A ocupação territorial na zona costeira ocorreu de maneira rápida e desordenada a partir da década de 1980, e os serviços de infraestruturas são escassos ou inexistentes.

A ocupação das casas ocorreu de forma rápida e desordenada, nos primeiros 700 m do continente, em cinco ruas, incluindo a beira-mar. A maior concentração de casas está localizada no setor NW (área mais erosiva), sobre campos de dunas. No setor mais estável da praia (SE), as casas foram construídas respeitando as dunas frontais. Nas áreas não ocupadas por edificações pode ser observada uma clara zonação da vegetação costeira, restinga e vegetação de mangue (SOUZA-FILHO, 2001).

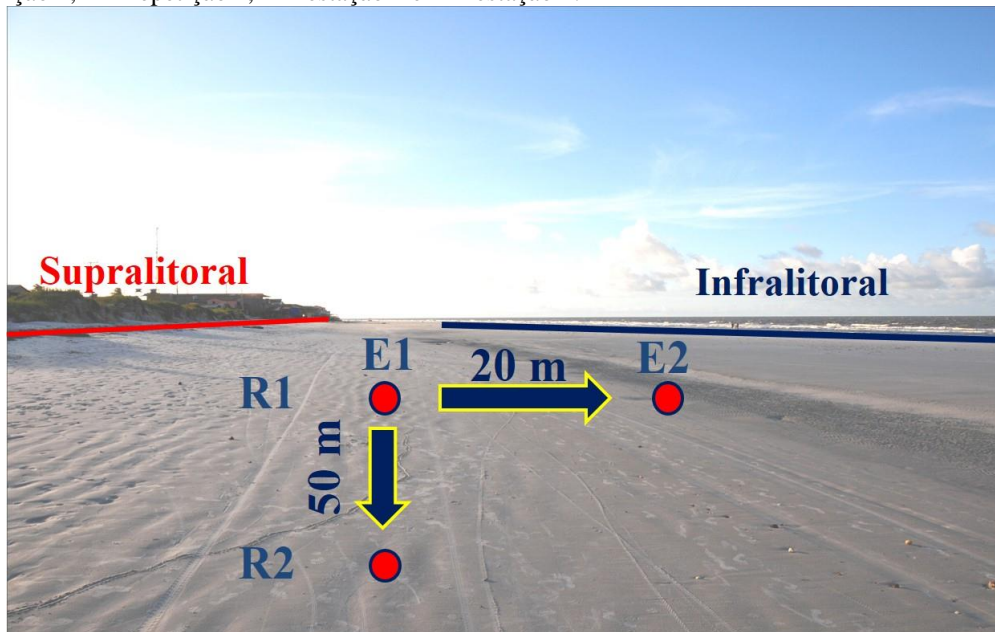
Os intensos processos erosivos, principalmente no setor NW, vêm destruindo muitos estabelecimentos (bares, casas e pousadas). Estudos realizados por Souza Filho et al. (2003) revelam que cerca de 2,21 m/mês de linha de praia são recuados neste setor, enquanto no setor SE a linha de praia cresce 1,46 m/mês.

4.2 COLETA DE DADOS

As amostragens de *D. striatus* foram realizadas na praia de Ajuruteua ($00^{\circ} 49' 57,74159''$ S e $46^{\circ} 36' 01,20959''$ W) localizado no município de Bragança, no estado do Pará, durante as marés baixas de sizígia, no período de março de 2015 a abril de 2016. Nos mês de maio/2015 foram capturados 40 indivíduos de *D. striatus*, transportados vivos para o laboratório sediado na Universidade Federal Rural da Amazônia a fim de se obter o índice de conversão da massa úmida para a massa seca livre de cinzas (MSLC).

Para as amostras quantitativas de *D. striatus*, a praia foi dividida em 3 transectos perpendicular à linha da costa, tendo um espaçamento entre eles de 50 m, ao longo do transecto foram realizados uma série de estações com intervalo de 20 m, sendo a primeira estação sempre na faixa onde se localizava a dispersão do banco de *D. striatus*, seguindo para zona do infralitoral até o limite da maré baixa de sizígia (Figura 4). Em cada estação foram realizados 4 réplicas, através de um amostrador cilíndrico de $0,0253 \text{ m}^2$ de superfície, escavando-se até uma profundidade de 15 cm, posteriormente o sedimento retirado foi tamisado em uma peneira de aço de malha de 1 mm, em seguida os organismos foram inclusos em recipiente hermeticamente fechado devidamente identificado e fixados em Álcool 70%.

Figura 4- Método de estudo por transecto, seguindo em direção ao infralitoral, na praia Ajuruteua, Pará, onde R1- repetição 1, R2- repetição 2, E1- estação 1 e E2- estação 2.



Para análise de produção, os indivíduos capturados pelo amostrador cilindro foram complementados com capturas manuais e aleatórias ao longo da praia, não havendo padronização da quantidade de indivíduos entre os meses. Ainda em campo, mensurou-se o comprimento ântero-posterior, a largura e a altura da concha com um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm, enquanto, o peso total com uma balança digital de 0,1 gramas de precisão. Dentre as amostras capturadas, retirou-se uma subamostra de 30 indivíduos procurando-se cobrir todas as faixas de tamanho para análise reprodutiva, onde se procedeu à abertura da concha e a fixação dos órgãos da cavidade do manto em solução de Davidson salino durante 24 horas, para posterior procedimento histológico.

4.2.1 Parâmetros Ambientais

Simultaneamente as coletas foram mensuradas os parâmetros ambientais, sendo a temperatura superficial da água (TSM) com um termômetro digital com precisão de 0,1 °C, enquanto, a salinidade com o uso de refratômetro portátil com escala de 1/100. Com uma garrafa de polietileno foi coletado 200 ml de água da praia para análise de clorofila-*a*, sendo armazenada em freezer até o momento da análise. Os dados de precipitação pluviométrica (mm) foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia, devido à inexistência de uma estação de coleta no município de Bragança, esses dados foram obtidos da estação do município de Tracateua. Além dessas variáveis ambientais, coletou-se sedimento em um recipiente plástico hermeticamente fechado e mantido sob refrigeração para posterior análise de matéria orgânica conforme indicado em 4.3.2.

4.3 PROCEDIMENTO EM LABORATÓRIO

4.3.1 Massa Seca Livre de Cinzas

Para se obter a massa seca livre de cinzas dos indivíduos capturados, utilizou-se a metodologia de Brey (1985), onde, as amostras foram secas em estufa por 12h a 55 °C, e posteriormente inflamadas num forno mufla a 550 °C durante 24h e pesadas em balança digital de 0,001 g de precisão. O índice de conversão (IC) da massa úmida sem concha (MU) para a massa seca sem concha livre de cinzas (MSLC) de *D. striatus* foi calculado segundo a seguinte fórmula:

$$IC = \frac{MSLC}{MU}$$

4.3.2 Análise Biológica e Química

- Clorofila-*a*

As amostras foram filtradas com o auxílio de uma bomba de vácuo (Marca Primatec 131A), através de microfiltro fibra de vidro tipo GF-3 (marca Carvalhaes com diâmetro de 47 mm e porosidade de 0,45 µm).

Para extração dos pigmentos clorofilianos, seguiu-se a metodologia indicada por Cetesb (2014), sendo colocado o filtro em tubo de ensaio para ser macerado até a dissolução do mesmo, e logo em seguida as amostras foram refrigeradas por 24 horas. Decorrido este período, as amostras foram centrifugadas a uma rotação de 3000 rpm por 10 minutos e o material sobrenadante colocado em cubetas, para fazer as leituras de absorvâncias nos comprimentos de ondas: 630, 645, 665 e 750nm em um espectrofotômetro de marca biospectro SP-22. Para os cálculos da clorofila-*a*, aplicou-se a equação apresentada por Strickland e Parsons (1972):

$$CL = \frac{C1 \times D665 - (C2 \times D645 + C3 \times D630 + D750) \times v}{V \times L}$$

Onde:

CL = clorofila a (mg/m³);

C1 = 11,6;

C2 = 1,31;

C3 = 0,14;

v = volume de acetona a 90% (10 ml);

V = volume de água que foi filtrada (litro);

L = Caminho óptico da cubeta (1 cm);

D665= leitura da absorvância da luz 665 nm;

D645= leitura da absorvância da luz 645 nm;

D630= leitura da absorvância da luz 630 nm;

D750= leitura da absorvância da luz 750 nm.

- **Matéria orgânica do sedimento**

Para análise de matéria orgânica do sedimento, empregou-se a metodologia por ignição relatada por Dean (1974), onde foram pesados 5g de cada sedimento em triplicata, para se obter o peso seco as amostras foram submetidas à secagem em estufa a 90 °C durante 1h 30min, posteriormente, pesados em balança digital de 0,001g de precisão e colocados em forno de mufla a 550 °C durante 1h 30min, após arrefecimento em temperatura ambiente foram novamente pesados. A diferença entre este peso e o peso seco é o teor de matéria orgânica incinerada.

4.3.3 Reprodução

- **Protocolo Histológico**

Antes de iniciar o procedimento histológico das gônadas, aferiu-se o peso úmido das partes moles sem concha em balança digital de 0,001 gramas de precisão, a fim de se obter a massa úmida (MU) e a sua conversão em massa seca livre de cinzas (MSLC) através do fator de conversão calculado em 4.3.1, em seguida retiraram-se os sifões, brânquias e borda do manto, iniciando o protocolo histológico modificado de Junqueira e Junqueira (1983), passando por uma série de diafanização em xilol (10 min.) e desidratação em álcool absoluto (8 min.), álcool 90° (3 min.), álcool 80° (2 min.), álcool 70° (1 min.) até a inclusão em parafina. Cortes transversais foram realizados em micrótomo manual em espessuras de 5 µm, sendo estes submetidos aos corantes Hematoxilina (40 seg.) e Eosina (3 min.).

- **Diferenciação Sexual e Caracterização dos Estágios de Maturação Gonadal**

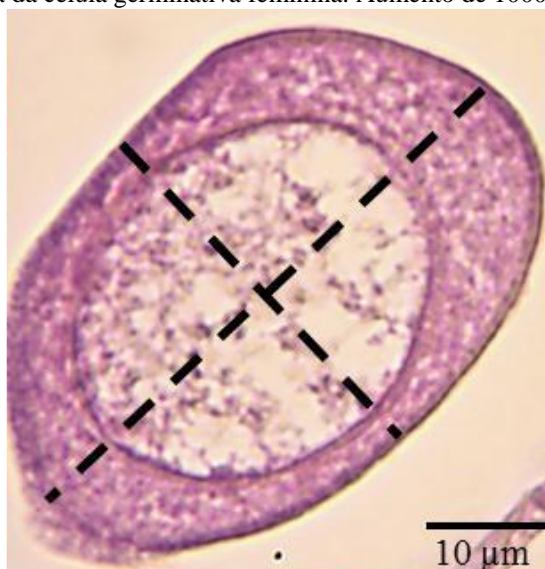
Para diferenciar sexualmente as gônadas e os estágios de maturação de machos e fêmeas seguiu-se o padrão descrito por Hermann et al. (2009) que descreveram as estruturas sexuais para bivalves deste gênero. Para visualizar as estruturas gonadais, se utilizou um Microscópio Binocular INALH, Modelo MBE-215T, com ocular de 10X.

- Abundância e Morfometria dos Ovócitos

Com as imagens histológicas das gônadas femininas previamente capturadas pela câmera Moticom 5.0 MP, acoplada ao microscópio Moticom BA410 com objetiva de 10X, foi efetuado a contagem do número de ovócitos presentes na imagem, identificando-se assim os meses com maior abundância desses gametas.

Enquanto para estimar o tamanho dos ovócitos ao longo do período estudado, os mesmos tiveram seus diâmetros mensurados, como algumas células não possuem formato definido, mediu-se a altura e a largura, em seguida calculou-se a média destes comprimentos para se obter o diâmetro (Figura 4). Os ovócitos foram contados e mensurados com o software Image Tool 3.0.

Figura 5- Esquema de medida da célula germinativa feminina. Aumento de 1000X.



4.4 ANÁLISE DOS DADOS

4.4.1 Densidade, biomassa e produção secundária

A densidade (ind.m⁻²) foi estimada multiplicando-se o n° de indivíduos pela superfície do amostrador. Para elucidar o tipo de distribuição da comunidade de *D. striatus* calculou-se o índice de Morisita (Ip) segundo a seguinte fórmula:

$$ID = N \left[\frac{\sum X^2 - \sum X}{(\sum X)^2 - \sum X} \right]$$

Onde, N = número total de amostras e X = somatório do número de indivíduos da mesma espécie em todas as amostras. Sendo, $ID= 0$: aleatório, $ID>0$: agregado, $ID<0$: uniforme, $ID= -1$: uniformidade máxima e $ID= +1$: agregação máxima, posteriormente, para testar a significância do resultado se aplicou o teste F (MORISITA, 1959).

Para estimar a produção e a biomassa média seguiu-se a metodologia de Chapman (1978). A produção foi calculada pela equação:

$$P = \sum N_i M_i G_i \text{ (g MSLC yr}^{-1}\text{)}$$

Onde, N_i e M_i são o número de animais e a média MSLC individual na classe de comprimento i , respectivamente, e G_i é o parâmetro de crescimento instantâneo em peso.

$$G_i = \ln(W_{t+1}/W_t)$$

A biomassa média é calculada como:

$$\bar{B} = \sum N_i M_i \text{ (g MSLC)}$$

e a taxa de turnover anual P/\bar{B} é dada pela produção total anual P e biomassa média anual \bar{B} .

O teste de Kolmogorov-Smirnov foi realizado para validar a normalidade dos dados, diante da anormalidade dos mesmos, aplicou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis para identificar diferenças temporais na densidade e biomassa de *Donax striatus*.

Enquanto, o teste não-paramétrico de Mann-Whitney foi utilizado para identificar diferença de densidade e biomassa entre os períodos seco e chuvoso. Para elucidar as relações entre os dados de densidade, biomassa e produção e as variáveis ambientais (TSM, salinidade, precipitação, clorofila-*a* e matéria orgânica) aplicou-se uma análise de componentes principais (ACP). Os dados foram padronizados por ranging, e após a padronização o valores de cada coluna variaram entre 0 e 1 (MILLIGAN; COOPER, 1985). A ACP foi efetuada em uma matriz de correlação, e os eixos fatoriais analisados e os loadings foram aqueles que apresentaram valores significativamente mais elevados do que os produzidos por matrizes da mesma dimensão bootstrapped 10.000 vezes (PERES-NETO et al., 2005). A correlação de Spearman foi empregada para demonstrar o quanto essas variáveis se relacionam. Ambas as análises estatísticas tiveram poder de 5% e foram realizadas no software PAST versão 3.02 (HAMMER et al., 2001).

A relação entre comprimento e massa seca livre de cinzas (MSLC) foi estimada pela função potencial $W = a L^b$, onde W é a média mensal de MSLC (g), L é o comprimento na classe de tamanho (mm), a e b são constantes.

4.4.2 Reprodução

- Proporção Sexual

A proporção sexual foi determinada a partir de amostras mensais de machos e fêmeas coletadas ao longo do estudo. Para testar a hipótese de igualdade entre os sexos, conforme descrito abaixo, aplicou-se o teste χ^2 (qui-quadrado), conforme metodologia indicada por Vazzoler (1996), utilizando-se o software Microsoft Excel 2010.

H₀: As proporções de machos e fêmeas são iguais;

H_a: As proporções de machos e fêmeas não são iguais.

Os valores calculados serão comparados com o valor tabelado de $\chi_{\text{tab}} = 3,84$, para $\alpha = 0,05$ e GL = 1. Para diminuir erro do qui-quadrado com 1 gl foi realizado o ajuste proposto por Yates (1934):

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{([O-E]-0,5)^2}{E}$$

onde:

O: Frequência observada (número de fêmeas);

E: Frequência esperada (Total de indivíduos / 2)

- Comprimento de Primeira Maturação Gonadal

Para a obtenção do tamanho de primeira maturação, empregaram-se dois métodos. O ajuste a Ogiva de Galton, segundo metodologia relatada por Vazzoler (1996) e Fonteles-Filho (2011), onde, estes descrevem que o tamanho médio de início de primeira maturação (L₅₀) pode ser definido como o comprimento a partir do qual 50% dos indivíduos estão sexualmente maduros. Os animais classificados como adultos (sexualmente maduros) foram aqueles que através de exame microscópico das gônadas, se encontraram nos seguintes estágios de maturação: Em Maturação (II), Maduro (III), Em Eliminação (IV) e Eliminado (V), já os indivíduos jovens consistirão naqueles que se apresentarem no estágio imaturo (I). Os dados obtidos foram ajustados à seguinte curva logística:

$$L_{50} = \exp (\ln[-\ln(1-0,5)]-\ln(a)/b)$$

Os mesmo autores descrevem o segundo método, a extrapolação gráfica, que consiste em plotar a frequência de maduros (Y) contra a classe de comprimento (X), gerando uma sigmoide, onde foi traçado uma abcissa no ponto que correspondeu a 50% até este interceptar

a curva, este ponto de encontro corresponde no eixo X ao intervalo de tamanho de primeira maturação (L_{50}). Para estimar e plotar a curva (sigmoide) de primeira maturação empregou-se o software Sigmaplot 11.

- Determinação do Período Reprodutivo

Para a inferência do período reprodutivo, se utilizou a metodologia descrita por Vazzoler (1996). Sendo calculada a frequência relativa (%) mensal dos estágios de maturação. Christo (2006) e Boehs et al. (2008) sugerem que para estimar o índice ou fator de condição pode se empregar o cálculo de rendimento (R), que consisti basicamente no peso úmido das partes moles separadamente (PPM) em relação ao peso úmido total com a concha (PT), sendo utilizada a fórmula:

$$R = (PPM/PT) \times 100$$

Segundo Christo (2006) este método pode fornecer informações relacionadas aos processos de conversão de glicogênio em gametas, período de maturação sexual e eliminação de gametas.

A partir dos dados de diâmetro das células germinativas femininas se calculou a média e os desvios médios das modas do diâmetro de cada estágio gametogênico, e as frequências absolutas correspondentes a cada mês. Com estes resultados e as observações histológicas, se associou o intervalo de valores do diâmetro ovocitário correspondente a cada estágio de maturação gonadal, e se estabeleceu intervalos de valores dos diâmetros dos ovócitos com a frequência de ocorrência dos mesmos. Herrmann et al. (2009) relatam que este método é útil para o estudo do período reprodutivo em fêmeas, pois demonstram fracos e fortes eventos gonadais a partir da distribuição mensal dos diâmetros dos ovócitos.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. C. Z.; RIZZO, A. E.; ARRUDA, E. P. **Manual de Identificação dos invertebrados marinhos da região sudeste-sul do Brasil**. São Paulo: EDUSP, 2005, 288 p.
- ARAÚJO, C. M. **Biologia reprodutiva do berbigão *Anomalocardia brasiliana* (Mollusca: Bivalvia, Veneridae) na Reserva Extrativista Marinha do Pirajubaé (REMAPI), Estado de Santa Catarina**. 2001. 203 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) – Universidade de São Paulo, Florianópolis, 2001.
- ARNTZ, W. E.; BREY, T.; TARAZONA, J.; ROBLES, J. Changes in the structure of Shallow sandy beach community in Peru during an El Niño event. In: PAYNE, A.I.L.; GULLAND, J. A.; BRINK, H. K. (orgs.). *The Benguela and Comparable Ecosystems*. **S. Afr. J. Mar. Sci.**, v. 5, p. 645-658, 1987.
- ARNTZ, W. E.; VALDIVIA, E.; ZEBALLOS, J. Input of El Niño 1982-83 on the commercially exploited invertebrates of the Peruvian shore. **Meeresforsch**, v. 32, p. 3-22, 1988.
- BARBALHO, E. D.; BARROS, J. D.; SILVA, F. M. Comportamento da produção pesqueira norte-rio-grandense em anos de El Niño e La Niña. **Sociedade e Território**, v. 25, n. 2, edição especial, p. 55-66, 2013.
- BAYED, A. Variabilité de la croissance de *Donax trunculus* sur le littoral marocain. **Cahiers Options Méditerranéennes**, v. 35, p. 11-23, 1998.
- BEASLEY, C. R., FERNANDES, C. M.; GOMES, C. P.; BRITO, B. A.; SANTOS, S. M. L. DOS; TAGLIARO, C. H. Molluscan diversity and abundance among coastal habitats of Northern Brazil. **Ecotropica**, v. 11, p. 9–20, 2005.
- BOEHS, G.; ABSHER, T. M.; CRUZ-KALED, A. C. Ecologia populacional de *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791) (Bivalvia, Veneridae) na Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 34, n. 2, p. 259-270, 2008.
- BORCEM, E. R.; FURTADO JÚNIOR, I.; ALMEIDA, I. C. DE; PALHETA, M. K. S.; PINTO, I. A. A atividade pesqueira no município de Marapanim-Pará, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v.54, n.3, p.189-201. 2011.
- BORGES-AZEVEDO, C. M. S.; MOURA NETO, E. L.; SILVA, J. S. Densidade populacional de *Donax striatus* Linnaeus, 1767 (Bivalvia: Donacidae) na praia de Tibau, Grossos, Rio Grande do Norte. **Caatinga**, v. 7, p. 63 – 75, 1990.
- BORREGO, F. A. O.; FERNÁNDEZ, A.; SILVA, A.; GONZÁLEZ, P.A.; GARCÍA, Y. Estructura poblacional de *Donax striatus* (Bivalvia, Donacidae) en playa las balsas, Gibara, Cuba. **Rev. Mar. Cost.**, v. 2, p. 27–38, 2010.
- BREY, T. Formalin and formaldehyde-depot chemicals: Effects on dry weight and ash free dry weight of two marine bivalve species. **Meeresforsch**, v. 31, n. 1, p. 52-57, 1986.
- BROWN, A. C.; MCLACHLAN, A. **The Ecology of Sandy Shores**. 2ª edição, Amsterdam: Elsevier, 2006.

CARDOSO, S.; VELOSO, G. Population dynamics and secondary production of the wedge clam *Donax hanleyanus* (Bivalvia: Donacidae) on a high-energy, subtropical beach of Brazil. **Marine Biology**, v. 142, p. 153–162, 2003.

CASTILLA, J. C.; DEFEO, O. Latin American benthic shellfisheries: emphasis on co-management and experimental practices. **Reviews in Biology and Fisheries**, v. 11, p. 1-30. 2001.

CETESB. **Determinação de Clorofila a e Feofitina a: método espectrofotométrico**. 3ª Edição, 2014, 14 p.

CHANAME, J.; TEJADA, E.; ALVITRES, V.; FUPUY, J. Estructura del macrozoobentos de la playa arenosa de la caleta San José (Lamayequé - Perú) junio 1995 julio 1998 In: Memorias IV Congreso Latinoamericano de Ecología y II Congreso Peruano de Ecología, 1998, Arequipa Perú, **Anais...** Arequipa Perú: Universidad San Agustín, 1998, p. 7-12.

CHAPMAN, D.W. Production. In: **Methods for the Assessment of Fish Production in Fresh Waters**. BAGENAL, T. (org). Blackwell Scientific Publisher: Oxford, 1978, p. 202-217.

CHRISTO, S. W. **Biologia reprodutiva e ecologia de ostras do gênero *Crassostrea* (Sacco, 1897) na Baía de Guaratuba (Paraná – Brasil): um subsídio ao cultivo**. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Ciências Biológicas, área de concentração Zoologia), Universidade Federal do Paraná, 146 p., 2006.

ÇOLAKOĞLU, S. Population Structure, Growth and Production of the Wedge Clam *Donax trunculus* (Bivalvia, Donacidae) in the West Marmara Sea, Turkey. **Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 14, p. 221-230, 2014.

DEAN, W. E. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 44, n. 1, p. 242-248.1974.

DEFEO, O.; CARDOSO, R. S. Macroecology of population dynamics and life history traits of the mole crab *Emerita brasiliensis* in Atlantic sandy beaches of South America. **Marine Ecology Progress Series**, v. 239, p. 169–179, 2002.

DELGADO, J. G.; GODOY, A. R.; REVEROL, Y. M.; SEVEREYN, H. J. Fluctuaciones poblacionales de los moluscos bivalvos *Donax striatus* (Linné, 1767) y *Tivela mactroides* (Born, 1778) en dos playas arenosas de Venezuela. **Biol. Venez.**, v. 23, n. 1, p. 33-35, 2003.

DONN, J. R. T. E. Zonation patterns of *Donax serra* Riiding (Bivalvia: Donacidae) in southern Africa. **Journal of Coastal Research**, v. 6, p. 903-11, 1990.

DOWNING, J. A. Assessment of secondary production: the first step. In: DOWNING, J. A.; RIGLER, F. H. (orgs.). **A Manual on Methods for the Assessment of Secondary Productivity in Fresh Waters**. London: Blackwell Scientific Publications, 1984, p. 1-18.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª ed., Rio de Janeiro: Interciência, 1998, 226 p.

FOLEY, J. A.; BOTTA, A.; COE, M. T.; COSTA, M. H. El Niño–Southern oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 16, n. 4, p. 1-17, 2002.

FONTELES FILHO, A. A. **Oceanografia, biologia e dinâmica populacional de recursos pesqueiros**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2011, 460 p.

GARCIA, N.; PRIETO, A.; ALZOLA, R.; LODEIROS, C. Crecimiento y distribución de tallas de *Donax denticulatus* (Mollusca: Donacidae) en playa brava, Península de Araya, estado sucre, Venezuela. **Revista Científica**, v. 13, p. 464-470, 2003.

GASPAR, M. B.; CHICHARO, L. M.; VASCONCELOS, P.; GARCIA, A.; SANTOS, A. R.; MONTEIRO, C. C. Depth segregation phenomenon in *Donax trunculus* (Bivalvia: Donacidae) populations of the Algarve coast (southern Portugal). **Scientia Marina**, v. 66, n. 2, p. 111-121, 2002.

GIL, G. M.; THOMÉ, J. W. Morfometria da concha em *Donax hanleyanus* Philippi, 1847 (Mollusca, Bivalvia, Donacidae) e sua relação com as zonas de praia. **Acta Biologica Leopoldensia**, v. 22, n.2, p. 161-170, 2000.

GIL, G. M.; TRONCOSO, J. S.; THOMÉ, J. W. **Manual para manejo e otimização na exploração comercial de moluscos bivalves**. Porto Alegre: Edição do Autor. 2007.

GLOOR, M. J.; BARICHIVICH, G.; ZIV, R.; BRIENEN, J.; SCHÖNGART, P.; PEYLIN, B.; BARCANTE LADVOCAT CINTRA, T.; FELDPAUSCH, O.; PHILLIPS, J. B. Recent Amazon climate as background for possible ongoing and future changes of Amazon humid forests. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 29, p. 1384–1399. 2015.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RIAN, P. D. **Past: Palaeontological statistics software package for education and data analysis**. 2001.

HERRERA, A.; BONE, D. Influence of riverine outputs on sandy beaches of Higuerote, central coast of Venezuela. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 39, n. 1, p. 56–70, 2011.

HERRMANN, M.; BARREIRA, C. A. R.; ARNTZ, W. E.; LAUDIEN, J.; PENCHASZADEH, P. E. Testing the habitat harshness hypothesis: reproductive biology of the wedge clam *Donax hanleyanus* (Bivalvia: Donacidae) on three Argentinean sandy beaches with contrasting morphodynamics. **Journal of Molluscan Studies**, v. 76, n. 1, p. 33-47. 2009.

INAPAQUÉ, T. J.; BALMACEDA, J. Impacto biológico del evento "El Niño" sobre el macrozoobentos del intermareal arenoso "La Esmeralda" Colán - Paita. Agosto 1997 - Agosto 1998. In: Memorias IV Congreso Latinoamericano de Ecología y II Congreso Peruano de Ecología, 1998, Arequipa Perú, **Anais...** Arequipa Perú: Universidad San Agustín, 1998, E- 8.

JUNQUEIRA, L. C.; JUNQUEIRA, L. M. M. S. **Técnicas básicas de citologia e histologia**. São Paulo: Livraria e Editora Santos. 1983, 123 p.

LAUDIEN, J.; BREY, T.; ARNTZ, W. E. Population structure , growth and production of the surf clam *Donax serra* (Bivalvia , Donacidae) on two Namibian sandy beaches. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 58S, p. 105–115, 2003.

LINNAEUS, C. **Systema naturae sive regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis**. 12 ed, Laurentii Salvii: Holmiae. v. 1, 1767.

MARCANO, J. S.; PRIETO, A.; LÁREZ, A.; SALAZAR, H. Crecimiento de *Donax denticulatus* (Linné 1758) (Bivalvía: Donacidae) em la ensenada La Guardia, isla de Margarita, Venezuela. **Zootecnia Tropical**, v. 21, n. 3, p. 237-259, 2003.

MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L. C.; CÉZAR, E. G. M.; PEREIRA, I. C. B. **Estudos climáticos do Estado do Pará: classificação climática (Koppen) e deficiência hídrica (Thornhtwhite, Mather)**. Belém: Sudam/Embrapa/SNLCS. 1993.

MARENGO, J. A.; OYAMA, M. D.; OLIVEIRA, G. S. de; OLIVEIRA, R. de; CAMARGO, H.; ALVES, L. M.; FOSTER, B.I. The Drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, n. 3, p. 495–516. 2008.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **Journal of Climate**, v. 36, p. 1033–1050. 2016.

MAZÉ, R. A.; LABORDA, A. J. Aspectos de la dinámica de población de *Donax trunculus* (Linnaeus, 1758) (Bivalvia: Donacidae) en la ría de El Barquero (Lugo, NO España). **Scientia Marina: Investigacion Pesquera**, v. 52. p. 299–312, 1988.

McLACHLAN, A. Sandy beach ecology - a review. In: MCLACHLAN, A.; ERASMUS, T. (orgs). **Sandy beaches as ecosystems**. The Hague: Dr. W. Junk Publishers, 1983. p. 321-380.

McLACHLAN, A.; DUGAN, J. E.; DEFEO, O.; ANSELL, A. D.; HUBBARD, D. M.; JARAMILLO, E.; PENCHASZADEH, P. E. Beach Clam Fisheries. **Oceanography and Marine Biology: an Annual Review**, v. 34, p. 163-232. 1996.

McLACHLAN, A.; BROWN, A. **Sandy beaches as ecosystems**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 2006.

MILLIGAN, G. W.; COOPER, M. C. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. **Psychometrika**, v. 50, n. 2, p. 159-179, 1985.

MORISITA, M. Measuring of interspecific association and similarity between communities. **Memoirs of the Faculty of Science Kyushu University**, v. 3, p. 65–80, 1959.

OCAÑA, F. A.; FERNÁNDEZ, A. Dos playas de Cuba oriental shell morphometry of *Donax striatus* and *Donax denticulatus* from two. **Revista Marinha Costeira**, v. 3, p. 67–75, 2011.

OCAÑA F. A.; APÍN, Y. C.; CALA, Y. Population dynamic of *Donax denticulatus* (Bivalvia: Donacidae) at Carenero Beach, Southeastern Cuba. **Revista de Biología Tropical**, v. 61, n. 4, p.1637-1646, 2013.

OCAÑA, F. A. Growth and production of *Donax striatus* (Bivalvia: Donacidae) from Las Balsas beach, Gibara, Cuba. **Revista de Biología Tropical**, v. 63, n. 3, 2015.

OLIVEIRA, S. M. O.; PEREIRA, L. C. C.; VILA-CONCEJO, A.; GORAYEB, A.; SOUSA, R. C. de; SOUZA-FILHO, P. W. M.; COSTA, R. M. da. Natural and anthropogenic impacts on a macrotidal sandy beach of the Brazilian Amazon (Ajuruteua, Pará): guidelines for coastal management. **Journal of Coastal Research**, v. 64 especial, p. 1385-1389. 2011.

PALACIOS, J.; CRUZ, R.; URPI, O. P. Estructura poblacional y cuantificación de *Donax dentifer* Hanley, 1843 (Pelecypoda: Donacidae) em Playa Garza, Puntarenas, Costa Rica. **Revista Biología Tropical**, v.31, n. 2, p. 251-255, 1983.

PASSOS, F. D.; MAGALHÃES, F. T. A comparative study of the Bivalvia (Mollusca) from the continental shelves of Antarctica and Brazil A comparative study of the Bivalvia (Mollusca) from the continental shelves of Antarctica and Brazil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 1, p. 143–156, 2011.

PENCHASZADEH, P. E.; OLIVIER, S. R. Ecología de una población de 'berberecho' (*Donax hanleyanus*) en Villa Gesell, Argentina. **Malacologia**, v. 15, p. 133-146, 1975.

PEREIRA, L. C. C.; RIBEIRO, M. J. S.; GUIMARÃES, D. O.; SOUZA FILHO, P. W. M.; COSTA, R. M. Formas de uso e ocupação na praia de Ajuruteua-Pará (Brasil). **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 13, p. 19-30. 2006.

PERES-NETO, P. R. Introdução a análises morfométricas. In: PERES-NETO, P. R.; VALENTIN, J. L.; FERNANDEZ, F. A. S. (orgs). **Tópicos em tratamentos de dados biológicos**. Volume 2, Rio de Janeiro: Oecologia Brasiliensis, 1995, p. 57-89.

PERES-NETO, P. R.; JACKSON, D. A.; SOMERS, K. M. How many principal components? stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. **Computational Statistics and Data Analysis**. v. 49, p. 974-997, 2005.

PHILANDER, S. G. **El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation**. Academic Press: San Diego, 1990.

RAMÓN, M.; ABELLÓ, P.; RICHARDSON, C. A. Population structure and growth of *Donax trunculus* (Bivalvia: Donacidae) in the western Mediterranean. **Marine Biology**, v. 121, p. 665–671, 1995.

RASMUSSEN, E. M.; CARPENTER, T. H. The relationship between eastern equatorial Pacific sea surface temperatures and rainfall over India and Sri Lanka. **Monthly Weather Review**, v. 111, p. 517–528, 1983.

RIASCOS, J. M.; URBAN, H. J. Dinámica poblacional de *Donax dentifer* (Veneroidea: Donacidae) en Bahía Málaga, Pacífico colombiano durante el fenómeno “ El Niño ” 1997 / 1998. **Revista Biología Tropical**, v. 50, n. 3/4, 2002.

RIOS, E. C. **Seashells of Brazil**. Rio Grande do Sul: Editora da Fundação Universidade do Rio Grande, 2009.

ROCHA-BARREIRA, C. A.; BATISTA, W. F.; MONTEIRO, D. O.; FRANKLIN-JÚNIOR, W. Aspectos da estrutura populacional de *Donax stratus* (Linnaeus, 1758) (Molusca: Donacidae) na praia do futuro, Fortaleza/CE. **Arquivos de ciências do mar**, v. 35, p. 51-55, 2002.

SASTRE, M. P. Aggregated patterns of dispersion in *Donax denticulatus*. **Bulletin of Marine Science**, v. 36, p. 220-224, 1985.

SARDÁ, R.; PINEDO, S.; DUESO, A. Estimating secondary production in natural populations of polychaetes: some general constraints. **Bulletin of marine Science**, v. 67, n. 1, p. 433-447, 2000.

SILVA, J. F. da. **El Niño, o fenômeno climático do século**. Brasília: Theasaurus, 2000.

SILVA, L. S. da; TAGLIARO, C. H.; BEASLEY, C. R. How precise are estimates of intertidal macroinfaunal density and spatial dispersion when converted to larger areas?. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 9, n. 2, p. 112-125. 2014.

SILVEIRA, L. F.; KLEIN, A. H. F.; TESSLER, M. G. Classificação morfodinâmica das praias do estado de Santa Catarina e do litoral Norte do Estado de São Paulo utilizando sensoriamento remoto. **Braz. Journal Aquatic Sci. Technol.**, v. 15, n. 2, p. 13-28. 2011.

SOUZA-FILHO, P. W. M. **Impactos naturais e antrópicos na planície costeira de Bragança (NE do Pará)**. In: PROST, M. T.; MENDES, A. C. (eds.). *Ecosistemas costeiros: Impactos e gestão ambiental*. Belém Museu Paraense Emílio Goeldi. 2001. p. 133-144.

SOUZA FILHO, P. W. M.; TOZZI, H. A. M.; EL-ROBRINI, M. Geomorphology, land-use and environmental hazards in Ajuruteua macrotidal sand beach, Northern Brazil. **Journal of Coastal Research**. SI 35: 580-589. 2003.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A practical handbook of seawater analysis**. 2ª Edição, Bulletin 167, Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, 1972.

THIPPESWAMY, S.; JOSEPH, M. M. Allometry in the wedge clam, *Donax incarnatus* (Gmelin) from Panambur beach, Mangalore. **Indian journal of marine sciences**, v. 21, p. 161-163, 1992.

TUMBILOLO, M. L; DOWNING, J. A. An empirical model for the prediction of secondary production in marine benthic invertebrate populations. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v. 114, p. 165-174, 1994.

WADE, B. A. On the taxonomy, morphology, and ecology of the beach clam, *Donax striatus* Linné. **Bulletin of marine Science**, v. 17, n. 87, p. 723-740, 1967.

WATERS, T. F. Secondary production in inland waters. **Adv. Ecol. Res.**, v. 10, p. 91-164, 1977.

VAZZOLER, A. E. A. **Biologia da Reprodução de Peixes Teleósteos: Teoria e Prática**. Paraná: EDUEM, 1996. 169 p.

VELARDE, A. A.; AGUILAR, J. M. Crecimiento y producción de *Donax obesulus* Reeve, 1854 (Bivalvia: Donacidae) en playa sarapampa, Asia, Lima. **Ecología Aplicada**, v. 7, n. 1,2, p.63-70, 2008.

VELOSO, V. G.; CARDOSO, R. S. Effect of morphodynamics on the spatial and temporal variation of macrofauna on three sandy beaches, Rio de Janeiro State, Brazil. **Journal of the Marine Biological**, n. 81, p. 369–375. 2001.

CAPITULO 2

Artigo sob as normas da revista Estuarine, coastal and shelf science

Estrutura populacional e produção secundária de *Donax striatus* em um ecossistema de praia de areia tropical

Ewertton Souza Gadelha^{a*}, Shirley Amaral Rafael^{ab}, Elton Alex Correia da Silva^{ac}, Rosana Esther Oliveira da Silva^{ad}, Fábio Campos Pamplona Ribeiro^e, Nuno Filipe Alves Correia de Melo^{af}

*Autor correspondente: ewerttoo@yahoo.com.br

^aUniversidade Federal Rural da Amazônia, Avenida Tancredo Neves, 2501, Montese, 66077-830, Belém, Pará, Brasil

^bshirley_rafael@outlook.com

^celtonpesc@gmail.com

^dnanarsa21@hotmail.com

^efbpamplona@yahoo.com.br

^fnuno.melo@ufra.edu.br

RESUMO

Este trabalho objetivou elucidar os padrões de densidade e de produção de *Donax striatus* em um ecossistema de praia arenosa na região amazônica, em meio às condições particulares do evento do El Niño (2015/2016). As coletas foram realizadas durante os meses de Março/2015 a Março/2016, durante a maré baixa de sizígia, para as amostragens de densidade, a praia foi dividida em 3 transectos perpendiculares à linha da costa, com espaçamento entre eles de 50 m e 20 m de intervalo entre as estações, sendo o sedimento retirado com um amostrador cilíndrico de 0,025 m² de superfície, escavando-se uma profundidade de 15 cm, enquanto as amostragens para a análise de produção secundária os indivíduos foram capturados manualmente e aleatoriamente ao longo da praia. A população de *D. striatus* apresentou uma densidade média de 50±18 ind.m⁻². A relação entre o comprimento e a massa seca livre de cinzas (MSLC) foi definida pela equação $M_{(MSLC)} = 0,00001L^{2,8469}$, tendo uma biomassa média anual de 8,44 g MSLC. Enquanto a produção anual somática foi de 1,99 g MSLC ano⁻¹ e uma relação produção/biomassa (P/\bar{B}) de 0,23 g MSLC ano⁻¹. A densidade sofreu maior influência positiva da concentração de matéria orgânica ($r_{sp} = 0,42$, $p < 0,05$) e negativamente da TSM ($r_{sp} = -0,57$, $p < 0,05$), a biomassa possui uma correlação positiva com a pluviosidade ($r_{sp} = 0,61$, $p < 0,05$) e uma relação inversa com a temperatura superficial do mar ($r_{sp} = -0,5$, $p < 0,05$). Por outro lado, a produção sofre maior influência da clorofila-*a* ($r_{sp} = 0,67$, $p < 0,05$). A população de *D. striatus* possui o período provável de recrutamento nos meses de Março/15 e Maio/15 onde houve as maiores densidades de recrutas, enquanto os adultos tiveram as menores densidades, isso pode ter ocorrido devido à ausência de pluviosidade nos meses de Setembro/15 a Dezembro/15, obrigando-os a escavarem profundidades maiores no sedimento em busca de conforto ambiental. Apesar deste trabalho não ter focado o El Niño, imputa-se que ele possa ter influenciado secundariamente a diminuição de densidade e de P/B . Contudo, a biomassa anual foi relativamente alta, assumindo-se o pressuposto que em praias tropicais há uma alta disponibilidade de alimento o ano todo, o que foi evidenciado pela baixa variação de clorofila-*a* e matéria orgânica no sedimento, portanto essas variáveis se mostraram como importantes fatores reguladores populacionais.

Introdução

Os moluscos bivalves do gênero *Donax* pertencem a um grupo mundialmente dominante na comunidade de invertebrados em praias arenosas, sendo que das 64 espécies que foram descritas até presente momento, cerca de 75% encontram-se em águas tropicais, em torno de 22% vivem em áreas temperadas e uma quantidade muito pequena habita regiões de ressurgência costeira (MCLACHLAN; BROWN, 2006).

Estes bivalves possuem um importante papel no ecossistema praiial, pois contribuem significativamente para filtração do fitoplâncton, bactérias e matéria orgânica, movimentação de sedimento e dinâmica dos nutrientes. Parte da produção secundária deste molusco é consumida por caranguejos, aves e peixes (COCKCROFT; MCLACHLAN, 1993, VAUGHN; HAKENKAMP, 2001). De acordo com os trabalhos de Turra et al. (2014) e Petracco et al. (2014) estes moluscos possuem uma relação denso-dependente entre a densidade e a biomassa, e também entre o crescimento e a mortalidade devido a competição intraespecífica.

Portanto, o conhecimento da distribuição e características da história de vida e a contribuição desta espécie para a produtividade da comunidade da macrofauna, são fundamentais para entender e gerir adequadamente o ecossistema praiial (CARDOSO; VELOSO, 2003).

Bivalves de praias arenosas são expostos a diferentes fatores que influenciam na sua dinâmica populacional, tais como temperatura, salinidade, correntes, morfodinâmica da praia. Estes fatores influenciam nos padrões de distribuição, densidade, crescimento e reprodução desses organismos. Entretanto, sabe-se que a temperatura em ambientes tropicais apresenta pouco efeito, uma vez que é quase constante. Adicionalmente, a disponibilidade de alimento é outro importante fator limitante, constituindo como variável agregada aos demais fatores, agindo localmente sobre as populações (DEFEO; CARDOSO, 2002; CARDOSO et al., 2007). Diante do exposto, busca-se elucidar os padrões de densidade e de produção que são essenciais para a compreensão da ecologia e da produtividade de *Donax striatus* na praia de Ajuruteua.

Material e métodos

Área de estudo e amostragem

Os indivíduos de *Donax striatus* foram coletados na praia de Ajuruteua localizada no nordeste do Estado do Pará, Brasil, sob as coordenadas 00°49" S e 46°36' W (Figura 1). O clima da região apresenta uma estação chuvosa entre os meses de dezembro e maio, e uma

estação seca, nos meses de junho a novembro. O sistema é dominado por um regime de macromarés semidiurnas (4-6 m) e características dissipativas, com granulometria fina e ondas com forte energia (MARTORANO et al., 1993; ALVES; EL-ROBRINI, 2006; OLIVEIRA et al., 2011).

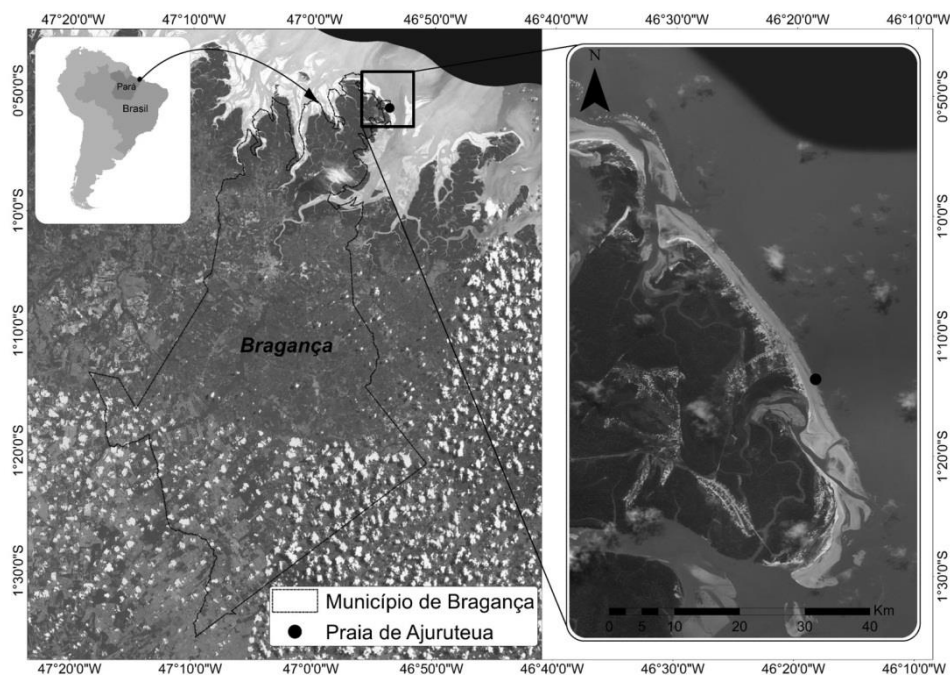


Figura 1. Mapa da área de estudo praia de Ajuruteua, município de Bragança, estado do Pará, Brasil.

As amostragens foram realizadas mensalmente no período de março de 2015 a março de 2016, durante a maré baixa de sizígia, o espaço amostral foi escolhido aleatoriamente, sendo a praia dividida em 3 transectos perpendiculares à linha da costa, com espaçamento entre eles de 50 m. Ao longo de cada transecto foram delimitadas estações com intervalo de 20 m. A primeira estação sempre foi delimitada na faixa de dispersão do banco de *D. striatus*, seguindo em direção à zona do infralitoral até o limite da maré baixa. Em cada estação foram realizadas 4 réplicas, através de um amostrador cilíndrico de 0,025 m² de superfície, escavando-se até uma profundidade de 15 cm. Posteriormente, o sedimento foi retirado e separado em uma peneira de aço de malha de 1 mm. Os bivalves tiveram o seu comprimento medidos com um paquímetro de 0,01 e foram categorizados em três classes de acordo com Defeo e de Alava (1995): recrutas (0–5 mm), juvenis (5–15 mm) e adultos (>15 mm), enquanto, o peso foi mensurado com uma balança digital de 0,01 gramas de precisão. A densidade (média ± desvio padrão) foi utilizada para extrapolar o número de bivalves obtidos em cada estação.

Para análise de produção secundária, os indivíduos foram capturados manualmente e aleatoriamente ao longo da praia. O peso da massa úmida foi convertido em massa seca livre de cinzas (MSLC) através da secagem dos espécimes em estufa durante 12 h a 55 °C, posteriormente foram submetidos à queima em mufla a 550 °C durante 24 h e novamente pesados.

Variáveis ambientais

Simultaneamente às coletas, foram mensuradas as variáveis ambientais da água e do sedimento da praia, sendo a temperatura superficial do mar (TSM) medida através de termômetro digital com precisão de 0,1 °C, a salinidade com refratômetro portátil com escala de 1/100, e os dados de precipitação foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia. Para a análise de matéria orgânica do sedimento foi utilizada a metodologia por ignição descrita por Dean (1974). A água adjacente à praia foi coletada em uma garrafa de polietileno de 200 ml e mantida sob refrigeração para posterior análise de clorofila-*a*, no qual se seguiu a metodologia indicada por Cetesb (2014).

Produção secundária

Para estimar a produção e a biomassa média seguiu-se a metodologia de Chapman (1978). A produção foi calculada pela equação:

$$P = \sum N_i M_i G_i \text{ (g MSLC ano}^{-1}\text{)}$$

Onde, N_i e M_i são o número de animais e a média MSLC individual na classe de comprimento i , respectivamente, e G_i é o parâmetro de crescimento instantâneo em peso.

$$G_i = \ln(W_{t+1}/W_t)$$

A biomassa média é calculada como:

$$\bar{B} = \sum N_i M_i \text{ (g MSLC)}$$

e a taxa de renovação anual P/\bar{B} é dada pela produção total anual P e biomassa média anual \bar{B} .

A relação entre comprimento e a massa seca livre de cinzas (MSLC) foi estimada pela função potencial $W = a L^b$, onde W é a média mensal de MSLC (g), L é o comprimento na classe de tamanho (mm), a e b são constantes.

Análise Estatística

Para identificar diferenças temporais na densidade e biomassa de *Donax striatus* aplicou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis. A partir dos dados de densidade média

mensal foi calculado o índice de Morisita (I_p) para avaliar o tipo de distribuição da comunidade de *D. striatus*, onde, $I_p = 0$: aleatório, $I_p > 0$: agregado, $I_p < 0$: uniforme, $I_p = -1$: uniformidade máxima e $I_p = +1$: agregação máxima, posteriormente, para testar a significância do resultado se aplicou o teste F (MORISITA, 1959).

Enquanto, o teste não-paramétrico de Mann-Whitney foi utilizado para identificar diferença de densidade e biomassa entre os períodos seco e chuvoso. Para elucidar as relações entre os dados de densidade, biomassa e produção e as variáveis ambientais (TSM, salinidade, precipitação, clorofila-*a* e matéria orgânica) aplicou-se uma análise de componentes principais (ACP). Os dados foram padronizados por ranging, e após a padronização os valores de cada coluna variaram entre 0 e 1 (MILLIGAN; COOPER, 1985). A ACP foi efetuada em uma matriz de correlação, e os eixos fatoriais analisados foram aqueles que apresentaram valores significativamente mais elevados do que os produzidos por matrizes da mesma dimensão bootstrapped 10.000 (PERES-NETO et al., 2005). Adicionalmente a ACP, a correlação de Spearman foi empregada para demonstrar o quanto essas variáveis se relacionam. Ambas as análises estatísticas utilizaram o nível de significância de 5% e foram realizadas no software PAST versão 3.02 (HAMMER et al., 2001).

RESULTADOS

Densidade

A densidade média para o período de estudo foi de 50 ± 18 ind.m⁻², variando entre os meses de 39 a 118 ind.m⁻², não havendo diferença significativa entre os meses ($p > 0,05$). As menores densidades médias foram observadas nos meses de outubro/15, novembro/15 e fevereiro/16 (39 ind.m⁻²) e a maior no mês de março/15 (118 ± 79 ind.m⁻²), contudo no mês de setembro/15 não foi encontrado nenhum indivíduo, conforme ilustrado na figura 2a. Apesar da densidade média de *D. striatus* ser maior na estação chuvosa ($50,54 \pm 16,99$ ind.m⁻²) do que na seca ($44,38 \pm 17,26$ ind.m⁻²) não houve diferença significativa ($p > 0,05$). De acordo com o índice de Morisita esses bivalves possuem um padrão de distribuição agregada ($i_d = 1,27$), o que foi significativo através do teste F ($p < 0,05$).

A densidade de recrutas diferiu entre os meses ($p < 0,05$), sendo mais abundantes em março/15 e maio/15 (Figura 3b), enquanto os juvenis e adultos não tiveram diferença significativa entre os meses ($p > 0,05$) (Figura 3c-d), não tendo também diferença de densidade entre as classes de tamanho estudadas ($p > 0,05$).

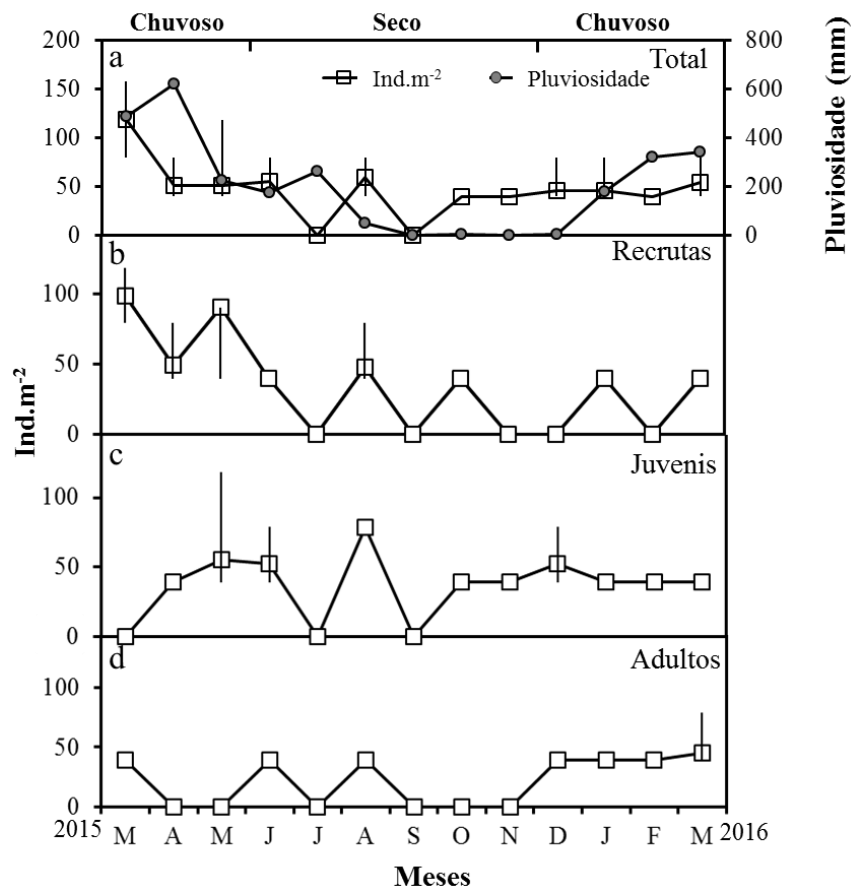


Figura 2. Variação mensal da densidade média (ind.m⁻²; Média±erro padrão) de *Donax striatus* e da pluviosidade no período de março/15 a março/16, onde, a- total, b- recrutas, c- juvenis e d- adultos.

Biomassa e produção

A relação entre o comprimento e o MSLC foi definida pela equação $M_{(MSLC)} = 0,00001L^{2,8469}$ ($r^2 = 0,92$, $N = 1649$). A biomassa (\bar{B}) média variou mensalmente de 2,24 a 28,02 g MSLC, sendo mais elevada no mês de maio/2015 (chuvoso) e menor em outubro/2015 (seco) (Figura 4), significativamente o período chuvoso ($0,087 \pm 0,045$ g) foi superior ao seco ($0,083 \pm 0,039$ g) ($p < 0,05$). Enquanto a massa seca livre de cinzas individual mostrou seu maior valor no comprimento de 28,99 mm (0,17 g MSLC ind.) (Figura 5a), tendo uma biomassa média anual de 8,44 g MSLC. A produção anual somática de *Donax striatus* foi de $1,99$ g MSLC ano⁻¹, os adultos (intervalo de tamanho de 22 a 26 mm) possuem a maior produtividade, uma vez que estes são dominam o ambiente, podendo ser observado na figura 5b. Enquanto, a relação da produtividade com a biomassa (P/\bar{B}) foi de $0,23$ g MSLC ano⁻¹. A fim de converter a massa húmida (MH) em MSLC pode ser usada a relação empírica $MSLC = 0,028MH$.

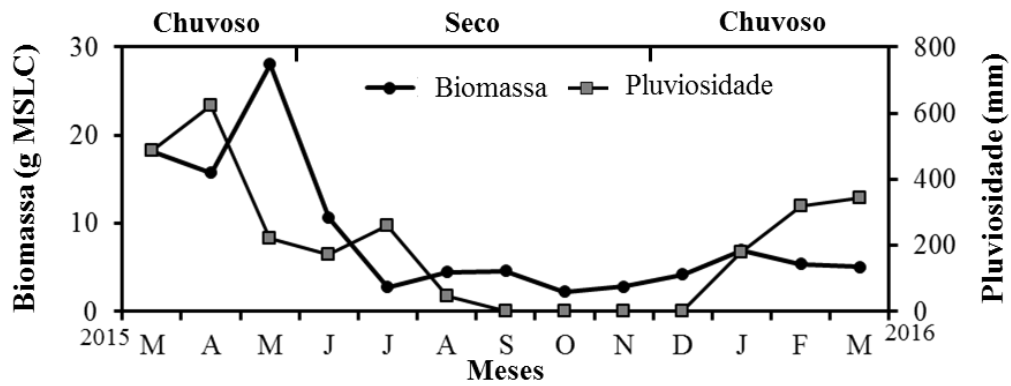


Figura 3. Variação mensal da biomassa seca livre de cinzas (g MSLC ind.) de *Donax striatus* e da pluviosidade no período de março/15 a março/16.

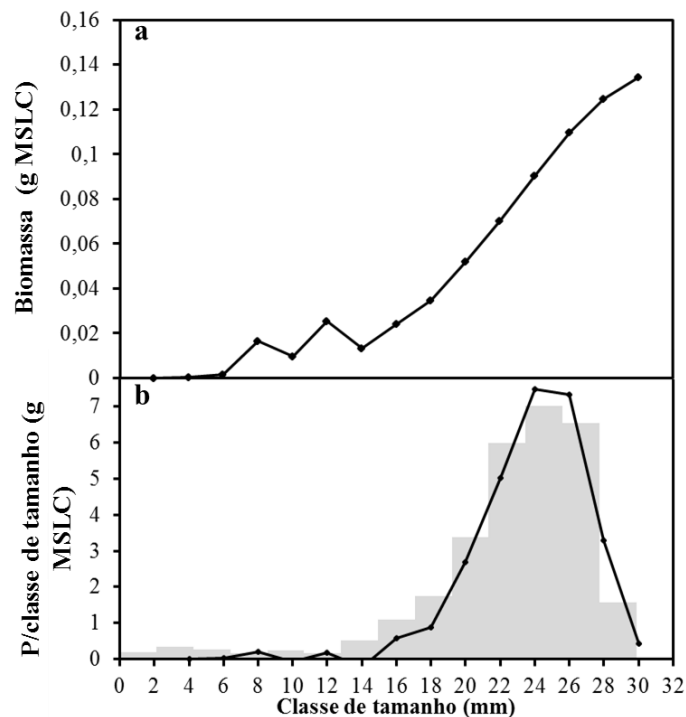


Figura 4. Distribuição da biomassa individual (g MSLC) (a) e da produção anual somática (b) por classe de tamanho. Área acinzentada demonstra a abundância de indivíduos de *Donax striatus* para diferentes classes de tamanho.

Influência das Variáveis Ambientais na Estrutura Populacional

Durante o período de estudo a temperatura superficial do mar (TSM) da praia variou de 29 °C a 36 °C, a salinidade de 15 a 35, matéria orgânica de 0,19 % a 2,58 %, clorofila-*a* de 0,38 mg/m³ a 3,75 mg/m³. Em relação à pluviosidade, esta mostrou amplitude de variação de 0 mm a 621 mm, entretanto, quando se compara a média histórica de pluviosidade entre os anos de 1990-2014 com os anos de 2015-2016 (ano de ocorrência de El Niño) não houve forte influência do El Niño, no entanto, ressalta-se que nos meses de Setembro/15 a Dezembro/15 não houve chuva, o que se contrapõem a média histórica onde sempre ocorre a presença de

chuvas (Figura 6a-e). As variáveis TSM e clorofila-*a* não obtiveram diferença significativa entre os períodos seco e chuvoso ($p>0,05$), enquanto a pluviosidade e a matéria orgânica são significativamente superiores no período chuvoso, ocorrendo o padrão inverso para a salinidade ($p<0,05$).

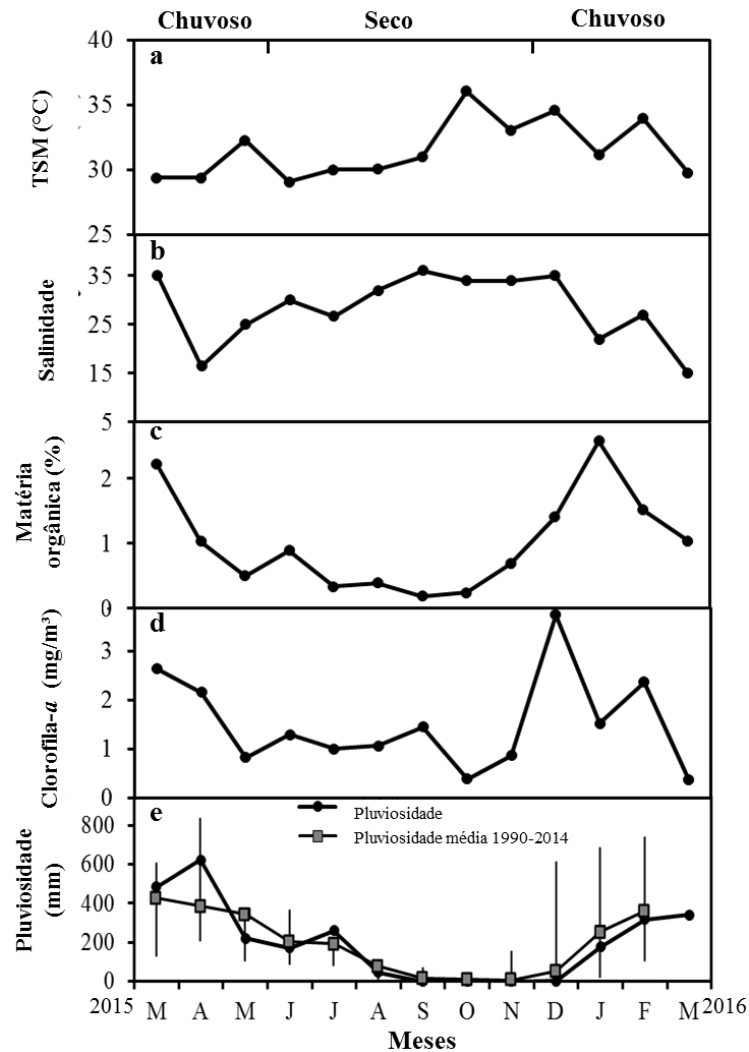


Figura 5. Variação de março/15 a março/16 dos parâmetros ambientais da praia de Ajuruteua. a - temperatura superficial do mar - TSM (°C), b - salinidade, c - matéria orgânica (%), d - clorofila-*a* (mg/m³) e e - pluviosidade (mm).

A ACP demonstrou que a sazonalidade possui forte influência sobre a estrutura populacional de *D. striatus*, onde se observa dois grupos distintos de amostras, que se referem aos períodos seco e chuvoso. Apenas o eixo 1 foi significativo e concentrou 39,01% da variância total, sendo que este foi principalmente positiva e significativamente correlacionado com as variáveis pluviosidade, biomassa e densidade. Portanto, no período chuvoso estas variáveis apresentaram seus maiores valores (Figura 7). Embora, a clorofila-*a*, matéria

orgânica e produtividade não tenham sido significativas na explicação do gradiente sazonal, estas também apresentaram seus maiores valores em amostras no período chuvoso. Por outro lado, a TSM e a salinidade mostraram seus maiores valores em amostras no período seco.

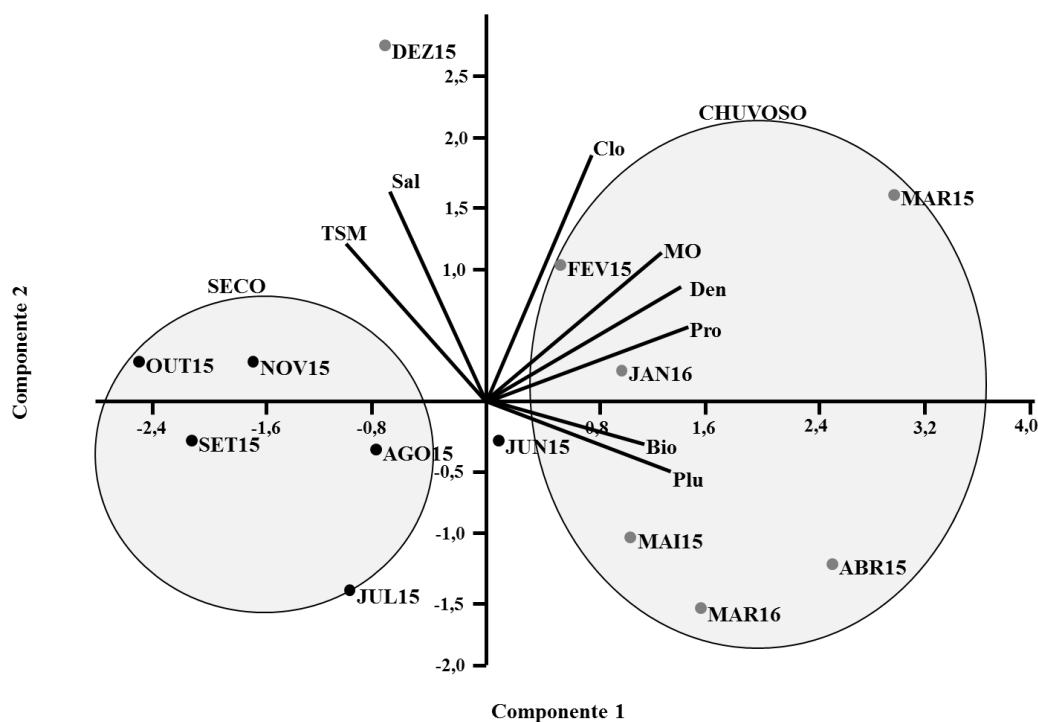


Figura 6. Representação gráfica do plano fatorial do primeiro e segundo eixo da análise de componente principal (PCA) dos dados no período de março/15 a maio/15 (estação chuvosa), junho/15 a novembro/15 (estação seca) e dezembro/15 a março/16 (estação chuvosa). As elipses em cinza representam os grupos amostrais de sazonalidade. Bio= biomassa, Clo= clorofila-*a*, MO= matéria orgânica, Plu= pluviosidade, Pro= produção, Den= densidade, TSM= temperatura superficial do mar, Sal= Salinidade.

O gradiente sazonal identificado na ACP foi corroborado pelas correlações de Spearman. Tal como, a biomassa que apresentou uma correlação positiva com a pluviosidade ($r_{sp} = 0,61$, $p < 0,05$) e uma relação inversa com a TSM ($r_{sp} = -0,5$, $p < 0,05$). Além disso, a densidade é positivamente relacionada à concentração de matéria orgânica ($r_{sp} = 0,42$, $p < 0,05$) e negativamente com a TSM ($r_{sp} = -0,57$, $p < 0,05$). Não obstante, a produção se relaciona de direta com a clorofila-*a* ($r_{sp} = 0,67$, $p < 0,05$). Portanto, todos esses fatores mostram a forte influência da chuva nas diferentes variáveis e nas suas interações.

Discussão

Densidade

A densidade média encontrada neste trabalho para *D. striatus* de 50 ind.m⁻² demonstrou ser próximo aos de outros estudos que variaram de 33 ind.m⁻² em Cuba a 34 ind.m⁻² na Venezuela (GARCIA et al., 2003; OCAÑA, 2015), assim como para outras

espécies, como *Donax serra* com densidade média de 95,5 ind.m⁻² em Namibian, na África (LAUDIEN; BREY; ARNTZ, 2003) e *D. dentifer* entre 48 ind.m⁻² a 65 ind.m⁻² em Costa Rica (PALACIOS; CRUZ; URPI, 1983; RIASCO; URBAN, 2002). Contudo, a densidade encontrada foi baixa quando comparada com *D. striatus* na Venezuela com 295,4 ind.m⁻² (DELGADO et al., 2003) e *D. denticulatus* com 146,67 ind.m⁻² no sul de Cuba (OCAÑA; APÍN; CALA, 2013), a diferença de praias e metodológicas podem explicar a diferença entre os resultados.

Apesar do El Niño não ter influenciando drasticamente o clima, constatou-se que a ausência de chuvas no período de setembro/15 a dezembro/15 estão fora do padrão normal (Figura 6e) e a elevação da temperatura a 36 °C em outubro/15, podem ter contribuído para a diminuição da densidade de *D. striatus*, decorrente de migração para zonas mais profundas no sedimento ou aumento da mortalidade, Arntz, Valdivia e Zeballos (1988) observaram que eventos climáticos geralmente resultam em mortes em massa de espécies bentônicas e migração forçada de espécies pelágicas e demersais.

Eventos climáticos como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS), podem afetar a distribuição das espécies planctônicas e bentônicas, como também provocam a morte de espécies bentônicas. Na região Amazônica de um modo geral, o El Niño altera o clima, tornando-o mais seco e quente em relação ao padrão normal (PHILANDER, 1990; FOLEY et al., 2002; MAIER, et al., 2016).

Nesse estudo a população de *D. striatus* é representada por diferentes faixas etárias, o que segundo Defeo e McLachlan (2005) pode ser caracterizado como população “fonte”, onde ocorrem altas flutuações na oferta de larvas e subsequente recrutamento. Embora a abundância de recrutas em Março/15 e Maio/15, não reflitam eventos de desova, podem indicar prováveis períodos de desova (BARBER; BLAKE, 1991).

Assim como neste trabalho, Medeiros, Fernandes e Henry-Silva (2015) constataram que *D. striatus* nas praias do Rio Grande do Norte, nordeste brasileiro, tem uma distribuição agregada. Sastre (1985) declara que este tipo de distribuição é uma estratégia típica de bivalves, a agregação acontece devido à seletividade de habitat, onde há maior preferência por locais que tenham estabilidade dos grãos de areia, fornecendo um substrato de fácil penetração, sendo que este tipo de estratégia é uma forma de defesa contra predadores naturais (WADE, 1967).

Biomassa e produção

A biomassa média (\bar{B}) de *D. striatus* (8,44 g MSLC), foi maior do que outras espécies de *Donax* de ambientes tropicais (Tabela 2), porém, esta foi muito inferior a *Donax serra* com biomassa média de 141,2 e 171,9 g MSLC (LAUDIEN; BREY; ARNTZ, 2003). A elevada \bar{B} encontrada nesse estudo pode indicar que há uma grande disponibilidade de alimento o que propicia altos incrementos em peso, apesar da baixa densidade encontrada. Em zonas temperadas Ansell e Agardère (1980) e Çolakoğlu (2014) encontraram biomassas médias superiores, uma vez que em zonas temperadas os bivalves são normalmente maiores, portanto podem armazenar mais energia. Defeo e Cardoso (2002) e Cardoso e Veloso (2003) discorrem que a alta disponibilidade de alimento é uma característica de ambientes tropicais o que propicia indivíduos menores quando comparados aos de ambientes temperados, uma vez que estes últimos utilizam mais energia para crescimento, e por isso comumente são encontrados indivíduos maiores em zonas temperadas.

Espécie	P	\bar{B}	P/ \bar{B}	Local	Área climática	Autor
<i>D. dentifer</i>	1,21	1,22	0,98	4°05'N; 77°16'W	TrEl	Riasco e Urban (2002)
<i>D. dentifer</i>	0,33	0,21	1,6	4°05'N; 77°16'W	TrEl	Riasco (2006)
<i>D. dentifer</i>	0,54	0,23	2,33	4°05'N; 77°16'W	TrLn	Riasco (2006)
<i>D. dentifer</i>	0,75	0,62	1,21	4°05'N; 77°16'W	Tr	Riasco (2006)
<i>D. denticulatus</i>	12,4	0,47	26,38	20°05'N; 77°34'W	Tr	Ocaña, Apin e Cala (2013)
<i>D. denticulatus</i>	31,39		5,84	10°34'N; 64°15'W	Tr	Vélez et al. (1985)
<i>D. denticulatus</i>	64,63			10°34'N; 64°15'W	Tr	Vélez et al. (1985)
<i>D. hanleyanus</i>	13,56	3,45	3,9	32°20'S; 52°W	Tr	Gianuca (1985)
<i>D. hanleyanus</i>	0,76	0,48	1,59	23°03'S; 43°34'W	Tr	Cardoso e Veloso (2003)
<i>D. hanleyanus</i>	3,67	2,53	1,45	23°03'S; 43°34'W	Tr	Cardoso e Veloso (2003)
<i>D. hanleyanus</i>	0,44	0,20	2,18	36°32'S; 56°41'W	Te	Herrmann et al. (2009)
<i>D. hanleyanus</i>	0,07	0,04	1,83	36°32'S; 56°41'W	Te	Herrmann et al. (2009)
<i>D. hanleyanus</i>	0,19	0,16	1,18	37°19'S; 57°00'W	Te	Herrmann et al. (2009)
<i>D. hanleyanus</i>	0,14	0,16	0,87	37°19'S; 57°00'W	Te	Herrmann et al. (2009)
<i>D. hanleyanus</i>	0,98	1,32	0,74	37°29'S; 57°07'W	Te	Herrmann et al. (2009)
<i>D. hanleyanus</i>	0,78	0,96	0,81	37°29'S; 57°07'W	Te	Herrmann et al. (2009)
<i>D. incarnatus</i>	1,08	0,18	5,88	9°42'N; 76°20'E	Tr	Ansell et al. (1978)
<i>D. serra</i>	166,9	141,2	1,18	22°47'S; 14°33'E	Tr	Laudien, Brey e Arntz (2003)
<i>D. serra</i>	273,2	171,9	1,58	22°59'S; 14°24'E	Tr	Laudien, Brey e Arntz (2003)
<i>D. spiculum</i>	0,87	0,08	10,29	9°42'N; 76°20'E	Tr	Ansell et al. (1978)
<i>D. striatus</i>	2,87	0,56	5,11	20°05'N; 77°34'W	Tr	Ocaña (2015)
<i>D. striatus</i>	6,11	1,76	3,47	20°05'N; 77°34'W	Tr	Ocaña (2015)
<i>D. striatus</i>	1,99	8,44	0,23	0°49'S; 46°36'W	TrEl	Presente estudo

<i>D. trunculus</i>	18,98	15,42	1,23	45°56'N; 1°40'E	Te	Ansell e Agardère (1980)
<i>D. trunculus</i>	39,99	39,35	1,02	45°56'N; 1°40'E	Te	Ansell e Agardère (1980)
<i>D. trunculus</i>	96,66	92,95	1,04	40°19'N; 27°37'E	Te	Çolakoğlu (2014)
<i>D. sordidus</i>	0,38	0,21	1,78	33°57'57"S; 25°40'E	Tr	McLachlan e Van de Host (1979)
<i>D. sordidus</i>	0,15	0,1	1,56	33°57'57"S; 25°40'E	Tr	McLachlan (1979)
<i>D. sordidus</i>	0,13	0,12	1,03	33°57'57"S; 25°40'E	Tr	McLachlan (1979)
<i>D. variabilis</i>	1,96	0,26	7,64	33°41'N; 78°53'W	Te	Wilson (1999)
<i>D. vittatus</i>	0,6	0,29	2,1	51°41'N; 4°28'W	Te	Warwick, George e Davies (1978)
<i>D. vittatus</i>	12,33	7,66	1,61	45°53'N; 1°40'E	Te	Ansell e Agardère (1980)
<i>D. vittatus</i>	17,33	10,43	1,66	45°53'N; 1°40'E	Te	Ansell e Agardère (1980)

Tabela 2. Comparação da produção secundária (P , g MSLC ano⁻¹), biomassa (\bar{B} , g MSLC) e taxa de renovação (P/\bar{B}) de várias espécies de *Donax* a partir de diferentes regiões geográficas. Tr- tropical, Te- temperado, El- El Niño, Ln- La Nina.

No entanto, os valores encontrados neste estudo para produção de 1,99 g MSLC ano⁻¹ e taxa de renovação (P/\bar{B}) (0,23 g MSLC ano⁻¹), foram relativamente baixos para bivalves de ambientes tropicais. É postulado por Cardoso e Veloso (2003) e Herrmann et al. (2009) que é esperado que P/\bar{B} aumente de ambientes temperados (altas latitudes) para ambientes tropicais (baixas latitudes) (Figura 8a), no entanto, esse padrão é descontinuado, pelo presente estudo (Figura 8b), isso deve ter ocorrido pela baixa densidade de organismos encontrado, Riasco e Urban (2002) e Riasco (2006) também encontraram baixos valores de produção e P/\bar{B} no Pacífico Colombiano, os mesmo indicaram que isso ocorreu devido a influência do El Niño e La Niña.

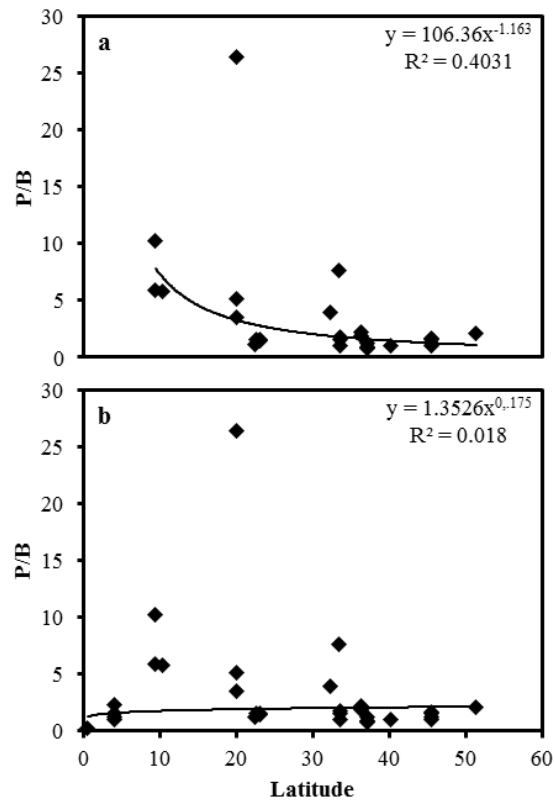


Figura 7. Relação entre a taxa de renovação (P/B) e latitude de várias espécies de *Donax*, onde, a- relação de P/B sem influência de anomalias climáticas e b- relação de P/B com influência de anomalias climáticas. Fonte de dados na tabela 2.

Influência das Variáveis Ambientais na Estrutura Populacional

Conforme demonstrado pela ACP, a densidade, biomassa e produção de *D. striatus* sofre influência da sazonalidade, sendo que essas variáveis foram maiores na estação chuvosa. O mesmo padrão foi relatado por Beasley et al. (2005) na Península de Ajuruteua, estado do Pará, Brasil e por Mazé e Laborda (1988) em *Donax trunculus* em zona temperada na Baía de El Barquero, na Espanha. Assim como neste estudo, Medeiros, Fernandes e Henry-Silva (2015) também encontraram as menores densidades de *D. striatus* no período seco (outubro/2010 - 18 ind.m⁻²) no Rio Grande do Norte, Brasil, portanto, pode se induzir que essa espécie diminui sua ocorrência durante o período seco tropical.

Os valores elevados de densidades e biomassa no período chuvoso devem ocorrer provavelmente devido ao aumento da disponibilidade de alimento, uma vez que as maiores concentrações de clorofila-*a* foram medidas nesse período juntamente com matéria orgânica no sedimento. Ressalta-se ainda que a clorofila-*a* teve uma forte correlação com a produção ($r_s = 0,67$, $p = <0,05$). Pamplona, Paes e Nepomuceno (2013) também observaram maiores concentrações de clorofila-*a* no período chuvoso em um estuário localizado na região do salgado paraense, região amazônica.

No entanto, Delgado et al. (2003) discorre que na Venezuela ocorre um padrão inverso com *D. striatus* mostrando maior densidade no período seco ao invés do chuvoso. De acordo com Neuberger-Cywiak, Achituv e Mizrahi (1990) a diminuição de densidade no período chuvoso se deve a diminuição de salinidade e temperatura, no entanto, no período chuvoso amazônico tropical não há uma diminuição drástica de temperatura.

A população de *D. striatus* parece ter grande sucesso no desenvolvimento larval, evidenciado pela representação de todas as faixas etárias na praia, sendo que o período provável de recrutamento seja os meses de Março/15 e Maio/15 onde houve as maiores densidades de recrutas, enquanto os adultos tiveram as menores densidades, quando comparados às demais classes de tamanho, no período que não houve pluviosidade estes foram ausentes, esse evento pode ter ocasionado estresse ambiental, obrigando os adultos a escavarem profundidades maiores no sedimento em busca de conforto ambiental. Apesar deste trabalho não ter focado o El Niño e este evento ter sido fraco na região bragantina, imputa-se que ele possa ter influenciado secundariamente a diminuição de densidade e de *P/B*, devido à ausência de pluviosidade nos meses de setembro/15 a dezembro/15. Contudo, a biomassa anual foi relativamente alta, assumindo-se o pressuposto que em praias tropicais há uma alta disponibilidade de alimento o ano todo, o que foi evidenciado pela baixa variação de clorofila-a e matéria orgânica no sedimento, portanto essas variáveis se mostraram como importantes fatores reguladores populacionais e não limitantes.

REFERÊNCIAS

- ANSELL, A. D.; MCLUSKY, D. S.; STIRLING, A.; TREVALLION, A. Production and energy flow in the macrobenthos of two sandy beaches in south west India. **Proceedings of the Royal Society of Edinburgh (Biol)**, v. 76, p. 269–296, 1978.
- ANSELL, A. D.; LAGARDÈRE, F. Observations on the biology of *Donax trunculus* and *Donax vittatus* at Ile d'Ole'ron (French Atlantic coast). **Marine Biology**, v. 57, p. 287–300, 1980.
- ALVES, M. A. M. S.; EL-ROBRINI, M. Morphodynamics of a Macrotidal Beach: Ajuruteua, Bragança - North Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. SI 39, p. 1848-1850, 2006.
- BARBER, B.; BLAKE, N. **Reproductive physiology**. In: SHUMWAY, S. (ed) *Scallops: biology, ecology and aquaculture*. Developments in aquaculture and fisheries science. Amsterdam: Elsevier, 1991, 377–393 pp.

BEASLEY, C. R., FERNANDES, C. M.; GOMES, C. P.; BRITO, B. A.; SANTOS, S. M. L. DOS; TAGLIARO, C. H. Molluscan diversity and abundance among coastal habitats of Northern Brazil. **Ecotropica**, v. 11, p. 9–20, 2005.

CARDOSO, S.; VELOSO, G. Population dynamics and secondary production of the wedge clam *Donax hanleyanus* (Bivalvia: Donacidae) on a high-energy, subtropical beach of Brazil. **Marine Biology**, v. 142, p. 153–162, 2003.

CETESB. **Determinação de Clorofila a e Feofitina a: método espectrofotométrico**. 3ª Edição, 2014, 14 p.

COCKCROFT, A. C.; MCLACHLAN, A. Nitrogen budget for a high energy ecosystem. **Marine Ecology Progress Series**, v. 100, p. 287–299, 1993.

ÇOLAKOĞLU, S. Population Structure, Growth and Production of the Wedge Clam *Donax trunculus* (Bivalvia, Donacidae) in the West Marmara Sea, Turkey. **Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 14, p. 221-230, 2014.

CHAPMAN, D.W. Production. *In: Methods for the Assessment of Fish Production in Fresh Waters*. BAGENAL, T. (ed). Blackwell Scientific Publisher: Oxford, 1978, p. 202-217.

DEAN, W. E. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 44, n. 1, p. 242-248.1974.

DEFEO, O.; CARDOSO, R. S. Macroecology of population dynamics and life history traits of the mole crab *Emerita brasiliensis* in Atlantic sandy beaches of South America. **Marine Ecology Progress Series**, v. 239, p. 169–179, 2002.

DELGADO, J. G.; GODOY, A. R.; REVEROL, Y. M.; SEVEREYN, H. J. Fluctuaciones poblacionales de los moluscos bivalvos *Donax striatus* (Linné, 1767) y *Tivela mactroides* (Born, 1778) en dos playas arenosas de Venezuela. **Biol. Venez.**, v. 23, n. 1, p. 33-35, 2003.

FOLEY, J. A.; BOTTA, A.; COE, M. T.; COSTA, M. H. El Niño–Southern oscillation and the climate, ecosystems and rivers of Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 16, n. 4, p. 1-17, 2002.

GARCIA, N., PRIEO, A., ALZOLA, R., LODEIROS, C. Growth and size distribution of *Donax denticulatus* (Mollusca: Donacidae) in Playa Brava, Peninsula de Araya, Sucre State, Venezuela. **Revista Científica FacMais**, v. 13, p. 464-470, 2003.

GIANUCA, N. M. **The ecology of sandy beach in southern Brazil**. PhD thesis, University of Southampton, Southampton, 330 p., 1985.

HAMMER, O.; HARPER, D. A. T.; RIAN, P. D. **Past: Palaeontological statistics software package for education and data analysis**. 2001.

HERRMANN, M.; BARREIRA, C. A. R.; ARNTZ, W. E.; LAUDIEN, J.; PENCHASZADEH, P. E. Testing the habitat harshness hypothesis: reproductive biology of

the wedge clam *Donax hanleyanus* (Bivalvia: Donacidae) on three Argentinean sandy beaches with contrasting morphodynamics. **Journal of Molluscan Studies**, v. 76, n. 1, p. 33-47. 2009.

LAUDIEN, J.; BREY, T.; ARNTZ, W. E. Population structure , growth and production of the surf clam *Donax serra* (Bivalvia , Donacidae) on two Namibian sandy beaches. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 58S, p. 105–115, 2003.

MAIER, E. L.; COSTI, J.; BARREIRA, S.A.; SIMÕES, J. C. Precipitação na América do Sul: Médias Climáticas e Padrões da Variabilidade no Período entre 1979 e 2008. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1. 2016.

MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L. C.; CÉZAR, E. G. M.; PEREIRA, I. C. B. **Estudos climáticos do Estado do Pará: classificação climática (Koppen) e deficiência hídrica (Thornhtwhite, Mather)**. Belém: Sudam/Embrapa/SNLCS. 1993.

MAZÉ, R. A.; LABORDA, A. J. Aspectos de la dinámica de población de *Donax trunculus* (Linnaeus, 1758) (Bivalvia: Donacidae) en la ría de El Barquero (Lugo, NO España). **Scientia Marina: Investigacion Pesquera**, v. 52. p. 299–312, 1988.

MCLACHLAN, A. Growth and production of the *Donax sordidus* Hanley (Mollusca, Lamellibranchia) on an open sandy beach in Algoa Bay. **South African Journal of Zoology**, v. 14, p. 61–66, 1979.

MCLACHLAN, A.; VAN DER HORST, G. Growth and reproduction of two molluscs from an exposed sandy beach. **South African Journal of Zoology**, v. 14, p. 194–201, 1979.

MCLACHLAN, A.; BROWN, A. C. **The Ecology of Sandy Shores**. Academic express: Amsterdam, 392 p., 2006.

MCLACHLAN, A; DORVLO, A. Global patterns in sandy macrobenthic communities. **Journal Coast Research**, v. 21, p.674–687, 2005.

MEDEIROS, E. L.; FERNANDES, G. V.; HENRY-SILVA, G. G. Distribution and density of the mollusk *Donax striatus* (Linnaeus, 1767) in a tropical estuarine region in the Brazilian semi-arid. **Brazilian Journal Biology**, v. 75, n. 4, p. 914-919. 2015.

MILLIGAN, G. W.; COOPER, M. C. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. **Psychometrika**, v. 50, n. 2, p. 159-179, 1985.

MORISITA, M. Measuring of interspecific association and similarity between communities. **Memoirs of the Faculty of Science Kyushu University**, v. 3, p. 65–80, 1959.

NEUBERGER-CYWIAK, L.; ACHITUV, Y.; MIZRAHI, L. The ecology of *Donax trunculus* Linnaeus and *Donax semistriatus* Poli from the Mediterranean coast of Israel. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 134, p. 203-220, 1990.

OCAÑA, F. A.; APÍN, Y. C.; CALA, Y. Population dynamic of *Donax denticulatus* (Bivalvia: Donacidae) at Carenero Beach, Southeastern Cuba. **Revista de Biología Tropical**, v. 61, n. 4, p.1637-1646, 2013.

OCAÑA, F. A. Growth and production of *Donax striatus* (Bivalvia: Donacidae) from Las Balsas beach, Gibara, Cuba. **Revista de Biología Tropical**, v. 63, n. 3, 2015.

OLIVEIRA, S. M. O.; PEREIRA, L. C. C.; VILA-CONCEJO, A.; GORAYEB, A.; SOUSA, R. C. de; SOUZA-FILHO, P. W. M.; COSTA, R. M. da. Natural and anthropogenic impacts on a macrotidal sandy beach of the Brazilian Amazon (Ajuruteua, Pará): guidelines for coastal management. **Journal of Coastal Research**, v. 64 especial, p. 1385-1389. 2011.

PALACIOS, J. R.; CRUZ, O.; URPI P. Estructura poblacional y cuantificación de *Donax dentifer* Hanley, 1843 (Pelecypoda: Donacidae) en Playa Garza, Puntarenas, Costa Rica. **Revista de Biología Tropical**, v. 31, n. 2, p. 163-166, 1983.

PAMPLONA, F. C.; PAES, E. T.; NEPOMUCENO, A. Nutrient fluctuations in the Quatipuru river: A macrotidal estuarine mangrove system in the Brazilian Amazonian basin. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 133, p. 273-284, 2013.

PETRACCO, M.; CAMARGO, R. M.; TARDELLI, D. T.; TURRA, A. Population biology of the gastropod *Olivella minuta* (Gastropoda, Olividae) on two sheltered beaches in southeastern Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 150, p. 149-156, 2013.

PERES-NETO, P. R.; JACKSON, D. A.; SOMERS, K. M. How many principal components? stopping rules for determining the number of non-trivial axes revisited. **Computational Statistics and Data Analysis**. v. 49, p. 974-997, 2005.

PHILANDER, S. G. **El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation**. Academic Press: San Diego, 1990.

RIASCOS, J. M.; URBAN, H. J. Dinámica poblacional de *Donax dentifer* (Veneroidea: Donacidae) en Bahía Málaga, Pacífico colombiano durante el fenómeno “El Niño” 1997/1998. **Revista Biología Tropical**, v. 50, n. 3/4, 2002.

RIASCOS, J. M. Effects of El Niño-Southern oscillation on the population dynamics of the tropical bivalve *Donax dentifer* from Málaga bay, Colombian Pacific. **Marine Biology**, v. 148, p. 1283–1293, 2006.

SASTRE, M. P. Aggregated patterns of dispersion in *Donax denticulatus*. **Bulletin of Marine Science**, v. 36, p. 220-224, 1985.

TURRA, A.; PETRACCO, M.; AMARAL, A.C.Z.; DENADAI, M.R. Temporal variation in life-history traits of the clam *Tivela mactroides* (Bivalvia: Veneridae): density-dependent processes in sandy beaches. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 150, p. 157-164, 2013.

VAUGH, C. C.; HAKENKAMP, C. C. 2000. The functional role of burrowing bivalves in freshwater ecosystems. **Freshwater Biology**, 46: 1431-1446.

WADE, B. A. On the taxonomy, morphology, and ecology of the beach clam, *Donax striatus* Linné. **Bulletin of marine Science**, v. 17, n. 87, p. 723–740, 1967.

WARWICK, R. M.; GEORGE, C. L.; DAVIES, J. R. Annual macrofauna production in a Venus community. **Journal of the Marine Biological Association of the UK**, v. 55, p. 1–18, 1978.

WILSON, J. G. Population dynamics and energy budget for a population of *Donax variabilis* (Say) on an exposed South Carolina beach. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 239, p. 61–83, 1999.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. Prentice-Hall: Michigan, 662 p. 1996.

URBAN, H.-J. Upper temperature tolerance of ten bivalve species off Peru and Chile related to El Niño. **Marine Ecology Progress Series**, v. 107, p.139–145, 1994.

URBAN, H.-J.; TARAZONA, J. Effects of El Niño/Southern Oscillation on the population dynamics of a *Gari solida* population (Bivalvia: Psammobiidae) from Bahia Independencia, Peru. **Marine Biology**, v. 125, p. 725-734, 1996.

VÉLEZ A.; VENABLES, B. J.; FITZPATRIK, L. C. Growth production of the tropical beach clam *Donax denticulatus* (Tellinidae) in eastern Venezuela. **Caribbean Journal of Science**, v. 21, p. 63–73, 1985

Capítulo 3

Artigo submetido à revista Actapesca

Padrões reprodutivos de bivalves de regiões tropicais Reproductive patterns of bivalves from tropical regions

Ewertton Souza Gadelha^{1*}

1Pós-graduando em Aquicultura e recursos aquáticos tropicais. Universidade Federal Rural da Amazônia

*Email: ewerttooo@yahoo.com.br

Resumo- Os padrões reprodutivos dos bivalves sofrem variações conforme a sua localização geográfica, o que pode ser associado à instabilidade ambiental ou variações nos parâmetros críticos, possuindo diversas estratégias, para garantir o sucesso reprodutivo, tais como: rápida proliferação de gametas maduros, desova assíncrona e desova síncrona limitada a certos períodos de tempo. Nos últimos anos, as hipóteses ecológicas de dureza de habitat (HHH) e de Gradiente Latitudinal (LGH) têm sido utilizadas para explicar os padrões reprodutivos de bivalves de praias arenosas. Deste modo, o objetivo desta revisão é reunir e analisar os padrões reprodutivos de bivalves de regiões tropicais, levando em consideração a variedade de estratégias reprodutivas e as hipóteses existentes para explica-los. Bivalves tropicais possuem um padrão de estratégias reprodutivas que incluem ciclo reprodutivo contínuo, proporção sexual de 1:1 e tamanho de primeira maturação a partir dos 10 mm de comprimento. Esses tipos de estratégias em ambientes tropicais são associados principalmente a pouca variação de temperatura encontrado nos trópicos e a alta disponibilidade de alimento durante o ano todo, sendo considerados ambientes propícios para reprodução, uma vez que não há disputa por alimento nem baixas temperaturas que provoquem uma diminuição metabólica. Contudo, esse padrão normal pode ser quebrado por anomalias climáticas (El Niño e La Nina), parasitárias ou atividades antrópicas. A hipótese LGH parece ser a mais adequada para explicar os padrões reprodutivos de bivalves de regiões tropicais, por considerar o aspecto climático como fator que interfere na estratégia reprodutiva dos mesmos.

Palavras-chave: estratégias reprodutivas, região climática, molusco, hipóteses ecológicas.

Abstract- The reproductive patterns of bivalves vary according to their geographical location, which may be associated with environmental instability or variations in critical parameters, with several strategies to ensure reproductive success, such as: rapid proliferation of mature gametes, asynchronous spawning and synchronous spawning limited to certain periods of time. In recent years, ecological hypotheses of habitat hardness (HHH) and Latitudinal Gradient (LGH) have been used to explain the reproductive patterns of bivalves on sandy beaches. Thus, the objective of this review is to gather and analyze the reproductive patterns of bivalves from tropical zones, taking into account the variety of reproductive strategies and the hypotheses to explain it. Tropical bivalves have a pattern of reproductive strategies that include continuous reproductive cycle, sexual ratio of 1: 1 and size of first maturation to from 10 mm in length. These types of strategies in tropical environments are associated mainly with the low temperature variation found in the tropics and the high availability of food

throughout the year and are considered favorable environments for reproduction, since there is no contest for food or low temperatures that cause a Metabolic decline. However, this normal pattern can be broken by climatic anomalies (El Niño and La Nina), parasitic or anthropic activities. The LGH hypothesis seems to be the most adequate to explain the reproductive patterns of bivalves from tropical zones, considering the climatic aspect as a factor that interferes with their reproductive strategy.

Key-Word: reproductive strategies, climatic region, mollusk, ecological hypotheses.

Introdução

Os padrões reprodutivos dos bivalves sofrem variações conforme a sua localização geográfica (região climática), o que pode ser associado à instabilidade ambiental ou variações nos parâmetros críticos, fazendo com os mesmos se utilizem de diversas estratégias para otimizar a reprodução, tais como: rápida proliferação de gametas maduros, desova assincrônica e desova sincrônica limitados a certos períodos de tempo (Cárdenas & Aranda, 2000).

Portanto, o padrão temporal de reprodução em populações é frequentemente caracterizado por um agrupamento temporal acentuado de nascimentos. Há muito tempo se suspeita de que este fenômeno não é causado apenas por sazonalidade climática, mas que a sincronia reprodutiva representa uma estratégia que os indivíduos adotam para maximizar o sucesso reprodutivo. As hipóteses clássicas preveem uma vantagem adaptativa de sincronia reprodutiva incorporando ambas as explicações biológicas e ecológicas. No entanto, novas análises teóricas e empíricas têm mostrado que a vantagem prevista de sincronia reprodutiva depende da definição ecológico em que as populações se reproduzem (Ims, 1990).

Nos últimos anos, a hipótese ecológica de dureza de habitat (HHH) tem sido usada para explicar os padrões reprodutivos de bivalves de praias arenosas, explicitando a influência da morfodinâmica da praia sobre as características reprodutivas (Defeo, Gómez & Lercari, 2001; Malvarez, Navas & Jackson, 2004; Defeo & McLachlan, 2005; McLachlan & Dorvlo, 2005). No entanto HHH possui uma fragilidade por deixar de considerar a forte interferência dos padrões latitudinais na estrutura populacional dos organismos bentônicos, tais padrões foram estudados por Defeo & Cardoso (2002) que posteriormente lançaram a Hipótese de Gradiente Latitudinal (LGH). Deste modo, o objetivo desta revisão é reunir e analisar os padrões reprodutivos de bivalves de regiões tropicais, levando em consideração a variedade de estratégias reprodutivas e as hipóteses existentes para explica-los.

Proporção Sexual

Diversos estudos revelam comum na zona tropical a proporção de machos e fêmeas serem igualitárias (tabela 1), parece que a proporção igualitária é uma estratégia reprodutiva em um ambiente com alta disponibilidade de alimento, em que a proporção 1:1 (macho:fêmea) é suficiente para manter a estabilidade populacional.

Tabela 1. Proporção sexual de bivalves tropicais.

Espécie	Proporção sexual (M:F)	País	Autor
<i>Anadara tuberculosa</i>	1:1	Costa Rica	Cruz-Soto (1984)
<i>Anomalocardia flexuosa</i>	1:1	Brasil	Grotta & Lunetta (1980) Barreira & Araújo (2005) Luz & Boehs (2011) Corte, Yokoyama & Amaral (2014)
<i>Chione pubera</i>	1:1	Brasil	Borzzone, Vargas, Pezzuto & Tavares (2001)
<i>Donax hanleyanus</i>	1,1:1	Brasil	Gil & Thomé (2004b)
<i>Iphigenia brasiliana</i>	1,1:1	Brasil	Silva, Peso-Aguiar & Ribeiro (2012)
<i>Leukoma antiqua</i>	1:1	Chile	Lozada & Bustos (1984)
<i>Mesodesma donacium</i>	1:1	Chile	Peredo, Parada & Valdebenito (1987)
<i>Mytella guyanensis</i>	1:1	Costa Rica	Cruz & Villalobos (1993)
<i>Tagelus plebeius</i>	1,06:1	Brasil	Ceuta & Boehs (2012)
<i>Tivela mactroides</i>	1:1	Venezuela	Prieto (1980)

A proporção sexual igualitária diverge do que foi postulado por Defeo & Cardoso (2002) de que as fêmeas são mais numerosas do que os machos em regiões tropicais, devido alcançarem maior tamanho, no entanto, outros estudos corroboram com o autor anteriormente mencionado como, Lenz & Boehs (2011) para *Crassostrea rhizophorae*, no Nordeste do Brasil, encontrou uma proporção sexual de 1:1,9 (macho:fêmea) e Freitas et al. (2010) para *Anadara notabilis*, na Venezuela foi de 1:1,32 com predominância significativa de fêmeas. A

ocorrência de dominância de fêmeas pode está ligado ao comportamento típico de reversão sexual protândrica (Mzighani, 2005).

Enquanto Riasco & Urban (2002) encontraram para *Donax dentifer*, na Colômbia, predominância dos machos com 1,7:1, o mesmo relatado por Gadelha (2015) para *Leukoma pectorina* no Brasil com sex ratio de 1,3:1 (Macho:fêmea). Saucedo & Southgate (2008) explicam que a dominância dos machos está ligada a altas densidades, que geram condições estressantes que favorecem a canalização da reserva energética para produzir o sexo que é “energeticamente mais barato”, nesse caso o macho.

As doenças parasitárias são um dos fatores que provocam a desigualdade sexual, uma vez que aumenta o índice de mortalidade no banco de bivalves. Para Aitken-Ander & Levin (1985) e Osorio & Castillo (1984) estudaram a *Crepidula convexa* e a *Venus antiqua*, respectivamente, descobriram que as fêmeas são hospedeiras preferenciais, ocasionando alta mortalidade de fêmeas, ocorrendo uma predominância de machos, o mesmo padrão foi observado por Gadelha (2015) no norte do Brasil em *L. pectorina*. Deste modo, a infestação parasitária pode ocasionar a desigualdade sexual em bancos de bivalves.

Tamanho de primeira maturação

Silva, Peso-Aguiar & Ribeiro (2012) estudaram o Donacidae *I. brasiliiana* capturado na Baía de Todos os Santos, na Bahia, estado brasileiro e concluíram que esta matura pela primeira vez com 11,4 mm. Enquanto, o Donacidae *D. hanleyanus*, no Rio Grande do Sul, estado brasileiro atinge a maturidade sexual, com comprimento de concha entre 12,28 mm e 12,60 mm (Gil & Thomé, 2004b). No estado do Pará, Brasil, Gadelha (2015) relata para *Leukoma pectorina* um tamanho de 13,87 mm, Cruz & Villalobos (1993) relatam que *Mytella guyanensis* na Costa Rica alcança primeira maturação com 18 mm, para Sibaja (1986) a primeira maturação ocorre entre 20 e 25 mm.

Para Lucero-Rincón et al. (2013) o comprimento médio para a qual 50% da população de *Anadara tuberculose* desovaram pela primeira vez no Pacífico colombiano, foi de 43,50 mm. Defeo & Cardoso (2002) justificam que fêmeas de regiões tropicais e subtropicais tendem a maturar mais cedo, ou seja, em menor tamanho do que de regiões temperadas devido à taxa de mortalidade ser mais elevada.

Bayne (1973) discorre que de acordo com sua distribuição latitudinal, a maioria das espécies de bivalves usam diferentes estratégias para alocação da energia adquirida para a

reprodução. Algumas espécies seguem uma estratégia conservadora, utilizando a energia das reservas previamente armazenados nos tecidos somáticos para maturar a gônada, isso ocorre geralmente para espécies de ambientes temperados, onde o período de abundância de alimento acontece em curtos períodos.

A estratégia típica de bivalves de áreas tropicais é a oportunista, onde a energia consumida do alimento é direcionada para maturar as gônadas, em vez de ser armazenada no tecido somático (Bayne 1973; Cárdenas & Aranda, 2000). Dessa forma é explicável que o ciclo reprodutivo seja contínuo, já que o alimento sempre abundante ao longo do ano proporciona energia suficiente para maturar os gametas, portanto, bivalves de regiões tropicais iniciam a primeira maturação em um tamanho inferior aos de ambientes temperados.

Ciclo reprodutivo

O período de reprodução ou ciclo reprodutivo constituem mecanismos de adaptação de uma espécie à existência de condições adversas, principalmente alimento, que assegura a máxima sobrevivência das larvas (Fonteles Filho, 2011).

Os bivalves estudados em regiões tropicais em sua majoritariamente apresentam ciclo reprodutivo contínuo (tabela 2), o que foi explicado por Defeo & Cardoso (2002) na hipótese de Gradiente latitudinal (LGH) de que organismos bentônicos de baixas latitudes tendem a ter um longo ciclo reprodutivo, tais tendências latitudinais poderiam estar relacionadas com a baixa variação de temperatura que está correlacionada com alta disponibilidade de alimento na zona de superfície próximo da costa, constituindo-se como uma "variável agregada".

Tabela 2. Bivalves tropicais que apresentam estratégia de ciclo reprodutivo contínuo.

Espécie	País	Autor	
<i>Anadara notabilis</i>	Venezuela	Freites et al. (2010)	
	Costa Rica	Cruz-Soto (1984)	
<i>Anadara tuberculosa</i>	México	Cárdenas & Aranda (2000)	
	Colômbia	Lucero-Rincón et al. (2013)	
<i>Anomalocardia flexuosa</i>		Grotta & Lunetta (1980)	
		Barreira & Araújo (2005)	
	Brasil		Luz & Boehs (2011)
			Corte, Yokoyama & Amaral (2014)
			Ferreira Junior, Bot Neto, Kolm & Absher (2015)

		Corte (2015)
		Lavander et al. (2011)
<i>Argopecten purpuratus</i>	Peru/Chile	Uribe, Oliva, Aguilar, Yamashiro & Riasco (2012)
<i>Atactodea striata</i>	Nova Calendónia	Baron (1992)
<i>Carditamera affinis</i>	Colômbia	Riascos, Heilmaye & Laudien (2007)
<i>Chione pubera</i>	Brasil	Borzzone, Vargas, Pezzuto & Tavares (2001)
<i>Chione undetella</i>	México	Cárdenas & Aranda (2000)
<i>Crassostrea gasar</i>	Brasil	Gomes, Silva, Lopes & Melo (2014)
<i>Crassostrea rhizophorae</i>	Brasil	Lenz & Boehs (2010)
<i>Crassostrea virginica</i>	México	Aranda et al. (2014)
<i>Donax dentifer</i>	Colômbia	Riasco (2006)
<i>Donax hanleyanus</i>	Brasil	Gil & Thomé (2004a)
<i>Dosinia ponderosa</i>	México	Cárdenas & Aranda (2000)
<i>Iphigenia brasiliana</i>	Brasil	Silva, Peso-Aguiar & Ribeiro (2012)
<i>Leukoma asperrina</i>	Panamá	López, Luna, Gutierrez & Villalaz (2005)
<i>Leukoma pectorina</i>	Brasil	Gadelha (2015)
<i>Megapitaria aurantiaca</i>	México	Cárdenas & Aranda (2000)
<i>Megapitaria squalida</i>	México	Cárdenas & Aranda (2000)
	Costa Rica	Sibaja (1986)
<i>Mytella guyanensis</i>	Brasil	Cruz & Villalobos (1993)
	Brasil	Gomes et al. (2010)
<i>Mytella strigata</i>	México	Cárdenas & Aranda (2000)
<i>Perna perna</i>	Brasil	Galvão, Henriques, Pereira & Marques (2006)
<i>Ostrea iridescens</i>	Costa Rica	Fournier (1992)
<i>Tagelus plebeius</i>	Brasil	Ceuta & Boehs (2012)
	Venezuela	Prieto (1980)
<i>Tivela mactroides</i>	Brasil	Denadai et al. (2015)

Em acordo com a LGH, Giese (1959) discorre que invertebrados marinhos possuem um período de reprodução mais limitada nas regiões polares e mais longas nos trópicos, embora um padrão distinto seja encontrado para cada um. Nos trópicos, onde o alimento

planctônico presumivelmente é sempre disponível ao longo das margens, poder-se-ia esperar que a época de reprodução fosse contínua.

Diversos autores discorrem que a temperatura, quase constante de ambientes tropicais favorece uma alta disponibilidade de alimento o ano todo, sendo este o principal fator a influenciar o ciclo reprodutivo de bivalves tropicais (Narváez, Lodeiros, Freites, Núñez & Prieto, 2000; Freites et al., 2000; Urban, 2000; Gil & Thomé, 2004a). Para Gil & Thomé (2004a) a temperatura da água é um fator interveniente apenas na intensidade da atividade reprodutiva.

Bivalves que habitam praias arenosas expostas são submetidos à morfodinâmica da praia, Short & Wright (1983) as classificam em três estados morfodinâmicos, a saber: reflexivo, intermediário ou dissipativo. McLachlan (1980) define estados dissipativos como ecossistemas autossustentáveis ou semifechado, nos quais há uma alta disponibilidade de alimento, por ter uma zona de superfície extremamente rica em fitoplâncton (Campbell, 1996). Assim, para os alimentadores de suspensão, estas praias são habitats mais adequados para a alimentação do que praias reflexivas (McLachlan 1983, Defeo & Scarabino 1990), por terem uma condição ótima bivalves de praias dissipativas tendem a ter um ciclo reprodutivo contínuo.

No entanto, a morfodinâmica da praia não deve ser considerada isoladamente como o único fator que influencia o ciclo reprodutivo, como outrora comentado a variabilidade climática influencia na disponibilidade de alimento e na fisiologia reprodutiva, que por sua vez irão atuar no comportamento reprodutivo.

A estratégia reprodutiva pode variar entre mesmas espécies de diferentes localidades, uma vez que estes sofrem diferentes pressões ambientais e antrópicas. Para manter o sucesso populacional, os bivalves podem moldar o ciclo reprodutivo conforme sofrem influências exógenas. Riasco (2006) relata que *D. dentifer* possui alta plasticidade ambiental, adaptando seu ciclo reprodutivo as condições do meio, tendo uma estratégia reprodutiva oportunista, onde em condições ambientais desfavoráveis, visando alocar energia para reprodução, consegue reabsorver os gametas, maturando novamente quando o meio se tornar favorável. Urban & Tarazona (1996) encontraram uma estratégia semelhante para *Gari solida* no Peru durante El Niño 1992-1993, onde a temperatura ocasionou um desequilíbrio no padrão de desova.

Na Argentina, onde o clima é temperado, Cledón, Brichtova, Gutiérrez & Penhaszadeh, (2004) explicam que populações de *Tagelus plebeius* de diferentes locais

podem mostrar mudanças nas estratégias reprodutivas, que são por sua vez influenciados por fatores ambientais, principalmente pela temperatura, e que estas diferenças foram mais significativas quando comparando populações de diferentes latitudes.

No entanto, Uribe, Oliva, Aguilar, Yamashiro & Riascos (2012) destacam que espécies de bivalves de mesma latitude também podem manifestar estratégias reprodutivas distintas, quando submetidas a fenômenos oceanográficos, como o caso de *A. purpuratus* e *M. donacium*, que no Chile são submetidos a um ecossistema de ressurgência, possuindo ciclos reprodutivos contínuos e sazonais, respectivamente.

Considerações finais

Bivalves tropicais possuem um padrão de estratégias reprodutivas que incluem ciclo reprodutivo contínuo, proporção sexual de 1:1, tamanho de primeira maturação a partir dos 10 mm de comprimento. Esses tipos de estratégias em ambientes tropicais são associados principalmente a pouca variação de temperatura encontrado nos trópicos e a alta disponibilidade de alimento durante o ano todo, sendo considerados ambientes propícios para reprodução, uma vez que não há disputa por alimento nem baixas temperaturas que provoquem uma diminuição metabólica.

Contudo, esse padrão normal pode ser quebrado por anomalias climáticas, parasitárias ou atividades antrópicas. Anomalia climática como o El Niño e La Nina, interfere na estratégia reprodutiva por ocasionarem um desequilíbrio no padrão de chuvas e em certas regiões elevarem a temperatura além das toleráveis pelos organismos, aumentando a mortalidade e desviando a energia da reprodução para manutenção metabólica, diminuindo os períodos de reprodução. Intensas atividades parasitárias alteram a proporção sexual de uma população provocando morte mais acentuada em fêmeas, isso parece ocorrer devido a estas terem maior tamanho e atividade metabólica.

A hipótese LGH parece ser a mais adequada para explicar os padrões reprodutivos dos bivalves de regiões tropicais, por considerar o aspecto climático como fator que interfere na estratégia reprodutiva dos mesmos. Enquanto a HHH, falha apenas em afirmar que a morfodinâmicos da praia é o principal a interferir nos padrões reprodutivos, o que foi demonstrado por Herrmann, Barreira, Arntz, Laudien & Penchaszadeh (2009) que isso não pode ser considerado o único fator, uma vez que bivalves de praias de estados morfodinâmicos iguais apresentam estratégias diferentes, bem como morfodinâmicas diferentes apresentam estratégias reprodutivas iguais.

Referências

- Aranda, D., Díaz, A.M.E, Reynoso, F.L., Brulé, T., Montero, J. & Cárdenas, E.B. (2014). Reproductive strategies of the eastern oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin 1791) in tropical lagoons of the Mexican Gulf of Mexico. *Journal of Shellfish Research*, 33(1):145–152.
- Aitken-Ander, P. & Levin. N. (1985). Occurrence of adult and developmental stages of *Proctoeces maculatus* in the gastropod *Crepidula convexa*. *Transactions of the American Microscopical Society*, 104:250-260.
- Baron, J. (1992). Reproductive Cycles of the Bivalve Molluscs *Atactodea striata* (Gmelin), *Gafrarium tumidum* Röding and *Anadara scapha* (L.) in New Caledonia. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 43:393–402.
- Barreira, C.A.R. & Araújo, M.L.R. (2005). Ciclo reprodutivo de *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791) (Mollusca, Bivalvia, Veneridae) na praia do Canto da Barra, Fortim, Ceará, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 31(1):9-20.
- Bayne, B. (1973). Physiological changes in *Mytilus edulis* L., induced by temperature and nutritive stress. *J. Mar. Biol. Assoc.*, 53:39–58.
- Borzzone, C.A, Vargas, K.M., Pezzuto, P.R. & Tavares, Y.A.G. (2001). Aspectos da reprodução e dinâmica populacional de *Chione pubera* (Bory Saint-Vicent) (Bivalvia, Veneridae) no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 18(2):333-349.
- Campbell, E.E. (1996). The global distribution of surface diatom accumulations. *Rev. Chil. Hist. Nat.*, 69:495–501.
- Cárdenas, E.B. & Aranda, D.A. (2000). A Review of Reproductive Patterns of Bivalve Mollusks From Mexico. *Bulletin of Marine Science*, 66(1):13-27.
- Ceuta, L.O. & Boehs, G. (2012). Reproductive cycle of *Tagelus plebeius* (Mollusca: Bivalvia) in the estuary of the Cachoeira River, Ilhéus, Bahia, Brazil. *Braz. J. Biol.*, 72(3):569–576.

- Cledón, M., Brichtova, A.C.P., Gutiérrez, J.L. & Penhaszadeh, P.E. (2004). Reproductive cycle of the stout razor clam, *Tagelus plebeius* (Lightfoot, 1786), in the Mar Chiquita coastal lagoon, Argentina. *Journal of Shellfish Research*, 23(2):443-446.
- Corte, G.N. (2015). Reproductive cycle and parasitism in the clam *Anomalocardia brasiliana* (Bivalvia: Veneridae). *Invertebrate Reproduction & Development*, 59(2):1–15.
- Corte, G.N., Yokoyama, L.Q. & Amaral, A.C.Z. (2014). An attempt to extend the Habitat Harshness Hypothesis to tidal flats: A case study of *Anomalocardia brasiliana* (Bivalvia: Veneridae) reproductive biology. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 150:136–141.
- Cruz, R.A. & Villalobos, C.R. (1993). Shell length at sexual maturity and spawning cycle of *Mytella guyanensis* (Bivalvia: Mytilidae) from Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 41(1):89–92.
- Cruz-Soto, R.A. (1984). Algunos aspectos de la reproducción en *Anadara tuberculosa* (Pelecypoda: Arcidae) de Punta Morales, Puntarenas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 32(1):45-50.
- Defeo, O. & Scarabino, V. (1990). Ecological significance of a possible deposit-feeding strategy in *Mesodesma mactroides* (Deshayes, 1854) (Mollusca: Pelecypoda). *Atlántica* (Brazil), 12:55–65.
- Defeo, O. & Cardoso, R.S. (2002). Macroecology of population dynamics and life history traits of the mole crab *Emerita brasiliensis* in Atlantic sandy beaches of South America. *Marine Ecology Progress Series*, 239:169–179.
- Defeo, O., Gómez, J. & Lercari, D. (2001). Testing the swash exclusion hypothesis in sandy beach populations: the mole crab *Emerita brasiliensis* in Uruguay. *Marine Ecology Progress Series*, 212:159-170.
- Defeo, O. & McLachlan, A. (2005). Patterns, processes and regulatory mechanisms in sandy beach macrofauna: a multi-scale analysis. *Marine Ecology Progress Series*, 295:1-20.

Denadai, M. R. Sueur-Maluf, L.L., Marques, C.G., Amaral, A.C.Z., Adamo, I., Yokoyama, L.Q. & Turra, A. (2015). Reproductive cycle of the trigonal clam *Tivela mactroides* (Bivalvia, Veneridae) in Caraguatatuba Bay, southeastern Brazil. *Marine Biology Research*, 11(8):847–858.

Ferreira Junior, A.L. Bot Neto, R.L., Kolm, H.E. & Absher, T.M. (2015). Relationship between reproductive cycle of *Anomalocardia brasiliiana* (Mollusca: Veneridae) and the suspended particulate matter in the paranaguá estuarine complex, Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 10(1):44–54.

Fonteles Filho, A.A. (2011). *Oceanografia, biologia e dinâmica populacional de recursos pesqueiros*. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora.

Fournier, M. (1992). The reproductive biology of the tropical rocky oyster *Ostrea iridescens* (Bivalvia: Ostreidae) the Pacific coast of Costa Rica. *Aquaculture*, 101:371–378.

Freites, L., Montero, L., Arrieche, D., Babarro, J.M.F., Saucedo, P.E., Cordova, C. & García, N. (2010). Influence of environmental factors on the reproductive cycle of the eared ark *Anadara notabilis* (Röding, 1798) in northeastern Venezuela. *Journal of Shellfish Research*, 29(1):69–75.

Gadelha, E.S. (2015). *Biologia reprodutiva do bivalve, Leukoma pectorina (Lamarck, 1818) no litoral de Marapanim, Pará* [Trabalho de conclusão de curso]. Belém (PA): Universidade Federal Rural da Amazônia.

Galvão, M.S.N., Henriques, M.B., Pereira, O.M. & Marques, H.L.A. (2006). Ciclo reprodutivo e infestação parasitária de mexilhões *Perna perna* (Linnaeus, 1758). *Boletim do Instituto de Pesca*, 32(1):59-71.

Giese, A.C. (1959). Comparative physiology: annual reproductive cycles of marine invertebrates. *Annual Review of Physiology*, 21:547-576.

Gil, G.M. & Thomé, J.W. (2004a) Descrição do ciclo reprodutivo de *Donax hanleyanus* (Bivalvia, Donacidae) no sul do Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, 94(3):271–276.

Gil, G.M. & Thomé, J.W. (2004b) Proporção sexual e comprimento de concha na primeira maturação sexual em *Donax hanleyanus* Philippi (Bivalvia, Donacidae) no Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 21(2):345–350.

Gomes, P.V., Beasley, C.R., Perote, S.M.O., Favacho, A.S., Silva, L.S. da, Tagliaro, C.H., Ferreira, M. A. P. & Rocha, R. M. (2010). Quantitative evaluation of gametogenesis in the mangrove mussel *Mytella guyanensis*. *Ecotropica*, 16:125-139.

Gomes, C.H.A.M. Silva, F.C., Lopes, G.R. & Melo, C.M.R. (2014). The reproductive cycle of the oyster *Crassostrea gasar*. *Brazilian journal of biology*, 74(4):967–76.

Grotta, M. & Lunetta, J.E. (1980). Ciclo sexual de *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791) do litoral do estado da Paraíba. *Revista Nordestina de Biologia*, 3(1):5-55.

Herrmann, M., Barreira, C.A.R., Arntz, W.E., Laudien, J. & Penchaszadeh, P.E. (2009). Testing the habitat harshness hypothesis: reproductive biology of the wedge clam *Donax hanleyanus* (Bivalvia: Donacidae) on three Argentinean sandy beaches with contrasting morphodynamics. *Journal of Molluscan Studies*, 76(1):33-47.

Ims, R. A. (1990). The ecology and evolution of reproductive synchrony. *Tree*, 5(5):135–140.

Lavander, H.D., Oliveira, L.C., Oliveira, R.M., Silva Neto, S.R. da, Galvez, A. O. & Peixoto, S. R.M. (2011). *Revista Brasileira de Ciências Agrária*, 6(2):344-350.

Lenz, T. & Boehs, G. (2011). Ciclo reprodutivo del ostión de manglar *Crassostrea rhizophorae* (Bivalvia: Ostreidae) en la Bahía de Camamu, Bahia, Brasil. *Revista de Biología Tropical*, 59:137–149.

- López, I., Luna, I.G., Gutierrez, A. & Villalaz, J. (2005). Ciclo reproductivo de la almeja blanca *Protothaca asperrima* (Pelecypoda: Veneridae) en playa Bique, Arraijan. *Tecnociencia*, 7(1):43-53.
- Lozada, E. & Bustos, H. (1984). Madurez sexual y fecundidad de *Venus antiqua* King & Broderip, 1835, en la Bahía de Ancud (Mollusca-Bivalvia Veneridae). *Revista de Biología Marinho*, 20(2):91-112.
- Lucero-Rincón, C.H., Cantera, J.R. K., Gil-Agudelo, D. L., Muñoz, O., Zapata, L.A., Cortes, N., Gualteros, W.O. & Manjarres, A. (2013). Análisis espacio temporal de la biología reproductiva y el reclutamiento del molusco bivalvo *Anadara tuberculosa* en la costa del Pacífico colombiano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48(2): 321-334.
- Luz, J.R. & Boehs, G. (2011). Reproductive cycle of *Anomalocardia brasiliana* (Mollusca: Bivalvia: Veneridae) in the estuary of the Cachoeira River, Ilhéus, Bahia. *Brazilian Journal of Biology*, 71(3):679-686.
- Malvarez, G., Navas, F. & Jackson, D.W.T. (2004). Investigations on the morphodynamics of sandy tidal flats: a modeling application. *Coastal Engineering*, 51(8-9):731-747.
- McLachlan, A. (1980). Exposed sandy beaches as semi-closed ecosystems. *Mar Environ Res*, 4:59-63.
- McLachlan, A. (1983). Sandy beach ecology - a review. In: McLachlan, A. & Erasmus T (eds.) *Sandy beaches as ecosystems* (pp. 321-380). Africa: Springer Netherlands.
- McLachlan, A. & Dorvlo, A. (2005). Global patterns in sandy beach macrobenthic communities. *Journal of Coastal Research*, v. 21, p. 674-687.
- Mzighani, S. (2005). Fecundity and population structure of Cockles, *Anadara antiquata* L. 1758 (Bivalvia; Arcidae) from a sandy/muddy beach near Dar es Salaam, Tanzania. *West Indian J. Mar. Sci.* 4:77-84.

Narváez, C., C. Lodeiros, L., Freitas, M., Núñez, D. P. & A. Prieto. (2000). Abundancia de juveniles y crecimiento de *Pinna carnea* (Mytiloide: Pinnacea) en cultivo suspendido. *Rev. Biol. Trop.*, 48:785–797.

Osorio, C., & Castillo, M. (1984). Almejas comestibles (*Venus antiqua*) infectadas por tremátodos. *Parasitología*, 8:117-118.

Peredo, S., Parada, E. & Valdebenito, I. (1987). Gametogenesis and reproductive cycle of the surf clam *Mesodesma donacium* (Lamarck, 1818) (Bivalvia: Mesodesmatidae) at Queule Beach, southern Chile. *The Veliger*, 30(1):55–68.

Prieto, A. (1980). Contribución a la Ecología de *Tivela mactroides* (Born, 1778) (Mollusca: Bivalvia): Reproductivos Aspectos. *Boletim do Instituto de Oceanografía*, 29:323-328.

Riascos, V.J.M. (2006). Effects of El Niño-Southern oscillation on the population dynamics of the tropical bivalve *Donax dentifer* from Málaga bay, Colombian Pacific. *Marine Biology*, 148:1283–1293.

Riascos, J.M., Heilmayer, O. & Laudien, J. (2007). Population dynamics of the tropical bivalve *Cardita affinis* from Málaga Bay, Colombian Pacific related to La Niña 1999–2000. *Helgoland Marine Research*, 62(1):63–71.

Riascos, J. M. & Urban, H. J. (2002). Dinámica poblacional de *Donax dentifer* (Veneroidea : Donacidae) en Bahía Málaga , Pacífico colombiano durante el fenómeno “ El Niño ” 1997 / 1998. *Revista Biología Tropical*, 50(3/4).

Saucedo, P.E. & Southgate, P.C. (2008). Reproduction, development, and growth. In: Southgate, P.C. & Lucas, J.S. (eds.). *The pearl oyster: biology and culture* (pp. 129–184). Amsterdam: Elsevier Science.

Short, A.D. & Wright, L.D. (1983). Physical variability of sandy beaches. In: McLachlan, A.; Erasmus, T. (eds.). *Sandy beaches as ecosystems* (pp. 133-144). The Hague: Dr. W. Junk Publishers.

- Sibaja, W.G. (1986). Madurez sexual en el mejillón chora *Mytella guyanensis* Lamarck, 1819 (Bivalvia: Mytilidae) del manglar en Jicaral, Puntarenas, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 34(1):151-155.
- Silva, P.P., Peso-Aguiar, M.C. & Ribeiro, G. (2012). Ciclo gametogênico e comportamento reprodutivo de *Iphigenia brasiliana* (Mollusca, Bivalvia, Donacidae) no estuário do rio Subaé, Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, 102:359–369.
- Urban, H-J. (2000). Culture potential of the pearl oyster (*Pinctadda imbricata*) from the Caribbean: I. Gametogenic activity, growth, mortality and production of a natural population. *Aquaculture*, 189:361–373.
- Urban, H-J. & Tarazona, J. (1996). Effects of El Niño/Southern Oscillation on the populations dynamics of a *Gari solida* population (Bivalvia: Psammobiidae) from Bahía Independencia, Peru. *Mar Biol*, 125:725–734.
- Uribe, R.A., Oliva, M.E., Aguilar, S., Yamashiro, C. & Riascos, J.M. (2012). Latitudinal variation in the reproductive cycle of two bivalves with contrasting biogeographical origin along the Humboldt Current Upwelling Ecosystem. *Scientia Marina*, 76(4):713–720.

CAPITULO 4

Artigo sob as normas da revista Hydrobiologia

Ciclo reprodutivo e desenvolvimento gonadal do bivalve, *Donax striatus* em um ecossistema de praia de areia, norte do Brasil

Ewertton Souza Gadelha^{1*}, Elton Alex Correia da Silva¹, Rosana Esther Oliveira da Silva¹, Shirley Amaral Rafael¹, Fábio Campos Pamplona Ribeiro¹, Nuno Filipe Alves Correia de Melo¹

*Autor correspondente: ewerttoo@yahoo.com.br

¹Universidade Federal Rural da Amazônia, Avenida Tancredo Neves, 2501, Montese, 66077-830, Belém, Pará, Brasil

Resumo

O presente estudo teve por objetivo analisar o ciclo reprodutivo e o desenvolvimento gonadal de *Donax striatus*, para tanto, foram realizadas amostragens mensalmente em uma praia arenosa de Ajuruteua, região amazônica, no período de março/15 a abril/16, sendo coletados 420 indivíduos e realizadas análises histológicas nestes. Posteriormente, a partir das imagens histológicas foram contabilizados e mensurados os diâmetros dos ovócitos. A diferença entre a proporção de machos e fêmeas foi verificada pelo teste qui-quadrado. O tamanho de primeira maturação foi determinado pela Ogiva de Galton e pela curva sigmoidal, sendo que o período reprodutivo foi estimado pelos métodos de variação temporal da frequência de estágios de maturação, enquanto o método de abundância dos ovócitos e análise de coortes ovocitárias foi empregado apenas para as fêmeas. A proporção sexual foi de 1:1, com tamanho mínimo de primeira maturação para os machos de 10,94 mm e peso de 0,38 g, enquanto que as fêmeas e o sexo agrupado atingiram 8,92 mm e peso de 0,38 g e 12,45 mm e 0,38 g, respectivamente. Esses bivalves possuem desova assincrônica, tendo um período reprodutivo contínuo, com as maiores frequências de maduros no período seco, no entanto, as maiores frequências de eliminação gametogênica ocorrem nos meses chuvosos. A população é r-estrategista, gonocorísta, com proporção sexual igualitária e um ciclo reprodutivo sem influência sazonal, constatado pela ausência de correlação dos estágios de maturação com as variáveis ambientais, no entanto, as maiores frequências de maduros encontram-se no período seco e de organismos em eliminação de gametogênica no período chuvoso, portanto, as variáveis ambientais são apenas fatores que interferem na intensidade reprodutiva.

Palavras-chave: Gametogênese, Reprodução, Bivalvia e Praia arenosa tropical

Introdução

Desde o início da década de 50, os números globais de capturas de invertebrados marinhos aumentou seis vezes (Anderson et al. 2011), aumentando a necessidade de estudos sobre a reprodução dos bivalves para estabelecer planos de manejo para o repovoamento de populações (Quayle 1943, Galvão et al. 2006). Enquanto, na aquicultura as informações sobre

o ciclo reprodutivo possibilita conhecer os períodos para a colocação de coletores de sementes (Nascimento e Lunetta 1978, Galvão et al. 2006).

Segundo Macckie (1984) os ciclos reprodutivos são o resultado de interações genéticas e ambientais, podendo com base na duração da atividade reprodutiva, serem classificados como (1) tachitictics, com períodos reprodutivos curtos e limitados e (2) braditictics, com atividade reprodutiva que se estende durante a maior parte do ano (Fretter 1984).

Além disso, os padrões reprodutivos dos bivalves sofrem variações conforme a sua localização geográfica (região climática), o que pode ser atribuído à instabilidade ambiental ou a variações nos parâmetros críticos, fazendo com os mesmos se utilizem de diversas estratégias para otimizar a reprodução, tais como: rápida proliferação de gametas maduros, desova assincrônica e desova sincrônica limitada a certos períodos de tempo (Cárdenas e Aranda 2000).

Giese (1959) e Defeo e Cardoso (2002) discorrem que invertebrados marinhos possuem um período de reprodução mais limitado nas regiões polares, ao passo que são mais longas nos trópicos, embora um padrão distinto seja encontrado para cada um. Por exemplo, nos trópicos, onde o alimento planctônico é presumivelmente sempre disponível ao longo das margens, poder-se-ia esperar que a época de reprodução fosse contínua.

Dentre as espécies de moluscos bivalves, as do gênero *Donax* pertencem a um grupo mundialmente dominante na comunidade de invertebrados em praias arenosas, sendo que das 64 espécies que foram descritas até presente momento, cerca de 75% encontram-se em águas tropicais, em torno de 22% vivem em áreas temperadas e uma quantidade muito pequena habita regiões de ressurgência costeira (McLachlan e Brown, 2006).

Apesar de este gênero ser um dos organismos mais abundantes em praias arenosas, em ambientes tropicais existem poucos estudos sobre a sua biologia reprodutiva, com destaque para Gil e Thomé (2004a), Gil e Thomé (2004b), Riasco e Urban (2002) e Riasco (2006). Portanto, o presente estudo teve por objetivo descrever o ciclo reprodutivo, a gametogênese e a maturidade sexual de *Donax striatus* na praia arenosa de Ajuruteua, nordeste paraense.

Material e métodos

Área de estudo e amostragem

Donax striatus foram coletados na praia de Ajuruteua localizada no nordeste do estado do Pará, sob as coordenadas 00°49'57" S e 46°36'01" W (Fig. 1), e apresenta uma estação

chuvosa entre os meses de dezembro e maio, e uma estação seca, nos meses de junho a novembro, com regime de macromarés semidiurnas (4-6 m). Além disso, a praia apresenta características dissipativas, com 200 a 300 m de largura durante as marés baixas, sedimento com granulometria fina e ondas com forte energia (Martorano et al. 1993, Alves, El-robrini 2006).

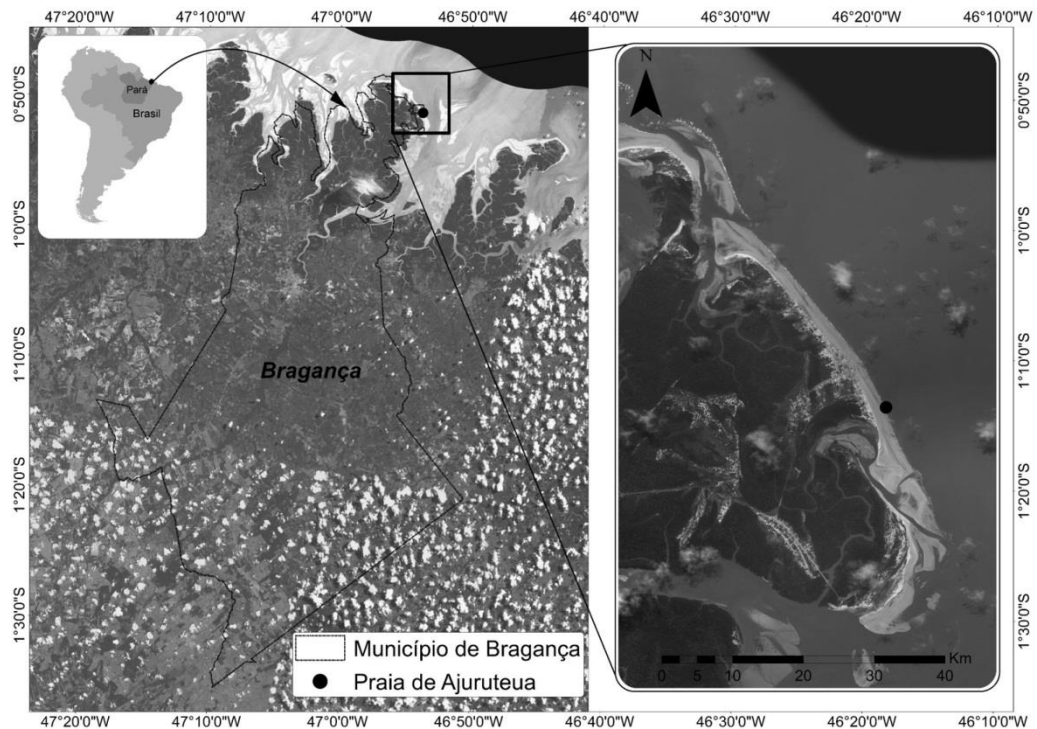


Fig. 1 Mapa da área de estudo praia de Ajuruteua, município de Bragança, estado do Pará, Brasil

As amostragens foram realizadas mensalmente no período de março de 2015 a abril de 2016, durante a maré baixa de sizígia, sendo coletados 30 indivíduos aleatoriamente ao longo da praia. Posteriormente em cada indivíduo foi mensurado o comprimento ântero-posterior com um paquímetro com limite de 150 mm, o que variou de 2,8 mm a 39,1 mm e o seu peso total e peso úmido sem concha em balança digital de 0,01 gramas. A fim de se converter o peso úmido sem concha em peso de massa seca livre de cinzas (MSLC) os espécimes foram secos em estufa durante 12 h a 55 °C, posteriormente submetidos à ignição em forno mufla a 550 °C durante 24 h (Brey 1986).

Simultaneamente as coletas foram mensuradas as variáveis ambientais da praia, tais como: a temperatura superficial do mar (TSM) com auxílio de termômetro digital com precisão de 0,1 °C, a salinidade com refratômetro portátil com escala de 1/100. Os dados de precipitação foram cedidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia. Para a análise de matéria

orgânica do sedimento foi utilizado a metodologia por ignição proposta por Dean (1974). A água da praia foi coletada em uma garrafa de polietileno e mantida sob-refrigeração para posterior análise de clorofila-a, no qual seguiu-se a metodologia indicada por Cetesb (2014).

Análise Histológica

Para a análise histológica retirou-se a massa visceral da concha e procedeu à imersão em solução de Davidson salino durante 24 horas. Posteriormente foi efetuado a retirada de brânquias, palpos labiais e borda do manto e a gônada foi transferida para álcool 70%. Em laboratório, utilizou-se o método histológico modificado de Junqueira e Junqueira (1983), passando por uma série de desidratação em álcool e diafanização em xilol, até a inclusão em parafina. Cortes transversais foram realizados em micrótomo manual em espessuras de 5 µm. As gônadas foram examinadas através de um Microscópio Binocular. As imagens das lâminas histológicas foram capturadas utilizando-se o Motic Image Plus 2.0, para se determinar a média de diâmetro dos ovócitos e a abundância seguiu-se a metodologia descrita por Herrmann et al. (2009), utilizando-se o programa Image Tool 3.0.

Análise dos Dados

O tamanho e a biomassa em que 50% da população estão sexualmente maduros foram estimados a partir da Ogiva de Galton, onde obteve-se a frequência acumulada de animais classificados como adultos (sexualmente maduros), nos estágios II, III, IV e V, em diferentes classes de tamanhos, posteriormente utilizou-se o método dos mínimos quadrados, considerando a equação, conforme Vazzoler (1996):

$$L_{50} = \exp(\ln[-\ln(1-0,5)] - \ln(a)/b)$$

Onde L_{50} é a proporção de fêmeas e machos, com gônadas maduras em cada classe de tamanho, e a e b são parâmetros.

Estimou-se o comprimento de primeira maturação, plotando a frequência de maduros (Y) contra a classe de comprimento ou a biomassa (X), gerando uma sigmoide, onde foi traçado uma abcissa no ponto que correspondeu a 50% até este interceptar a curva. Este ponto de encontro corresponde no eixo X ao intervalo de tamanho de primeira maturação (L_{50}). Para estimar e plotar a curva (sigmoide) de primeira maturação empregou-se o software Sigmaplot 11.

Segundo Boehs et al. (2008) o índice de condição (IC) pode fornecer informações relacionadas aos processos de conversão de glicogênio em gametas, período de maturação sexual e eliminação de gametas, sendo utilizada a fórmula:

$$R = (PPM/PT) \times 100$$

Onde, R é o rendimento de carne, PPM o peso úmido das partes moles separadamente e PT o peso úmido total com a concha.

Análise estatística

Para testar a normalidade dos dados foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov. A proporção sexual entre fêmeas e machos foi testada através do teste χ^2 (qui-quadrado). Enquanto, o teste não-paramétrico de Mann-Whitney foi utilizado para identificar diferenças de biomassa e do índice de condição entre os períodos seco e chuvoso, no entanto, como os dados de abundância de ovócitos e estágios maduro e em eliminação apresentam distribuições normais, se aplicou o teste paramétrico t-student. Para elucidar uma possível relação entre os dados de IC, biomassa, abundância de ovócitos, os estágios maduro e em eliminação com as variáveis ambientais (TSM, salinidade, precipitação, clorofila-*a* e matéria orgânica) aplicou-se uma correlação de Pearson. Ambas as análises estatísticas tiveram significância de 5% e foram realizadas no software PAST versão 3,02 (Hammer et al. 2001).

Resultados

Variáveis ambientais

Durante o período de estudo nos meses em a pluviosidade foi 0 mm (setembro a dezembro/15) a temperatura superficial do mar (TSM) da praia alcançou seu máximo a 36 °C (outubro/15), a salinidade 36 (setembro/15) e a clorofila-*a* 3,75 mg/m³ (dezembro/15), no entanto a matéria orgânica teve seu maior valor no período chuvoso em janeiro/16 com 2,58 % (Fig. 2a-e). As variáveis pluviosidade e matéria orgânica são significativamente superiores no período chuvoso, ocorrendo o inverso com a salinidade ($p < 0,05$), enquanto a TSM e clorofila-*a* não obtiveram diferença significativa entre os períodos ($p > 0,05$).

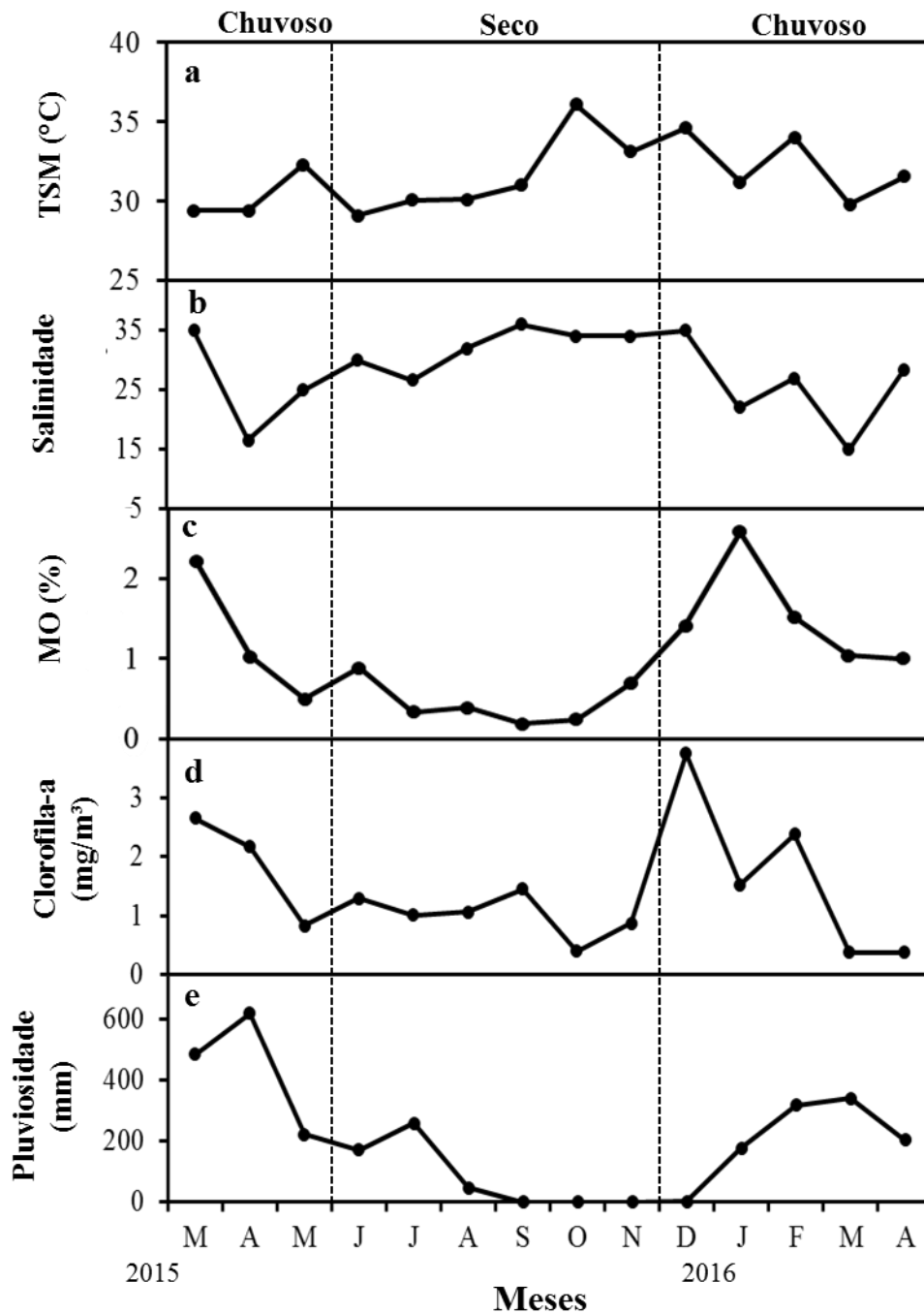


Fig. 2 Variação de Março/15 a Abril/16 dos parâmetros ambientais da praia tropical, onde, a - temperatura superficial do mar - TSM (°C), b- salinidade, c- matéria orgânica - MO (%), d- clorofila-a (mg/m³) e e- pluviosidade (mm)

Desenvolvimento gonadal

Através das visualizações microscópicas das estruturas gonadais, foi possível descrever e classificar cinco estágios de desenvolvimento gonadal de machos e fêmeas de *Donax striatus*, tais como Imaturo, Em Maturação, Maduro, Em Eliminação e Citólise.

Nas fêmeas, o estágio Imaturo caracteriza-se pela formação dos folículos ovarianos, ocorrendo aglomerados de células-mãe aderidas à parede folicular, com baixa frequência de

oócitos basófilos. Enquanto, que o estágio Em maturação apresenta diversas fases das células germinativas, com predominância de oócitos basófilos, ovócitos pré-vitelogênicos e vitelogênico, já as células maduras podem não estar presentes, enquanto que os folículos ovarianos estão bem delimitados com as paredes finas (Fig. 3a). No Estágio Maduro, continua-se a observar diferentes fases das células germinativas, contudo, há uma alta frequência de ovócitos maduros e os folículos apresentam grande diâmetro, com a parede folicular distendida, com grande quantidade de ovócitos dentro desses folículos.

No estágio Em eliminação, a parede folicular apresenta tecido interfolicular, observam-se células no estágio de pré-vitelogênese, vitelogênese e madura, ambas em números reduzidos, deixando espaços dentro dos folículos ovarianos (Fig. 3b). No entanto, o estágio citólise apresenta a parede folicular espessa e os folículos ovarianos estão vazios ou com células residual, apresentado proliferação de novas células (Fig. 3c).

Nos machos, o estágio Imaturo caracteriza-se por apresentar apenas células-mãe e o início da formação dos túbulos testiculares, apresentando gametas no estágio de espermatogônia e espermatócito (Fig. 3d). No estágio Em maturação, os túbulos testiculares já estão completamente formados, com a presença de células germinativas nas fases de espermatogônia, espermatíde e espermatócito, os espermatozoides quando presentes estão em número reduzidos e dispersos pelo lúmen testicular (Fig. 3e). Enquanto, no estágio Maduro há uma intensificação dos fenômenos gametogênicos, observando-se todas as fases das células germinativas, com predomínio de espermatozoides organizados no centro dos túbulos testiculares. Os túbulos testiculares apresentam grande diâmetro e com pouco espaço entre si (Fig. 3f).

No estágio Em eliminação, os espermatozoides estão sendo expelidos, deixando espaços vazios dentro do túbulo testicular. O diâmetro dos túbulos começa a diminuir e a parede folicular a desaparecer (Fig. 3g). No estágio Citólise, a maioria dos espermatozoides foi expelida dos túbulos testiculares, sendo observado tecido interfolicular com células-mãe ou pavimentosas e espermatogônias, por fim, as paredes dos túbulos estão bastante reduzidas (Fig. 3h).

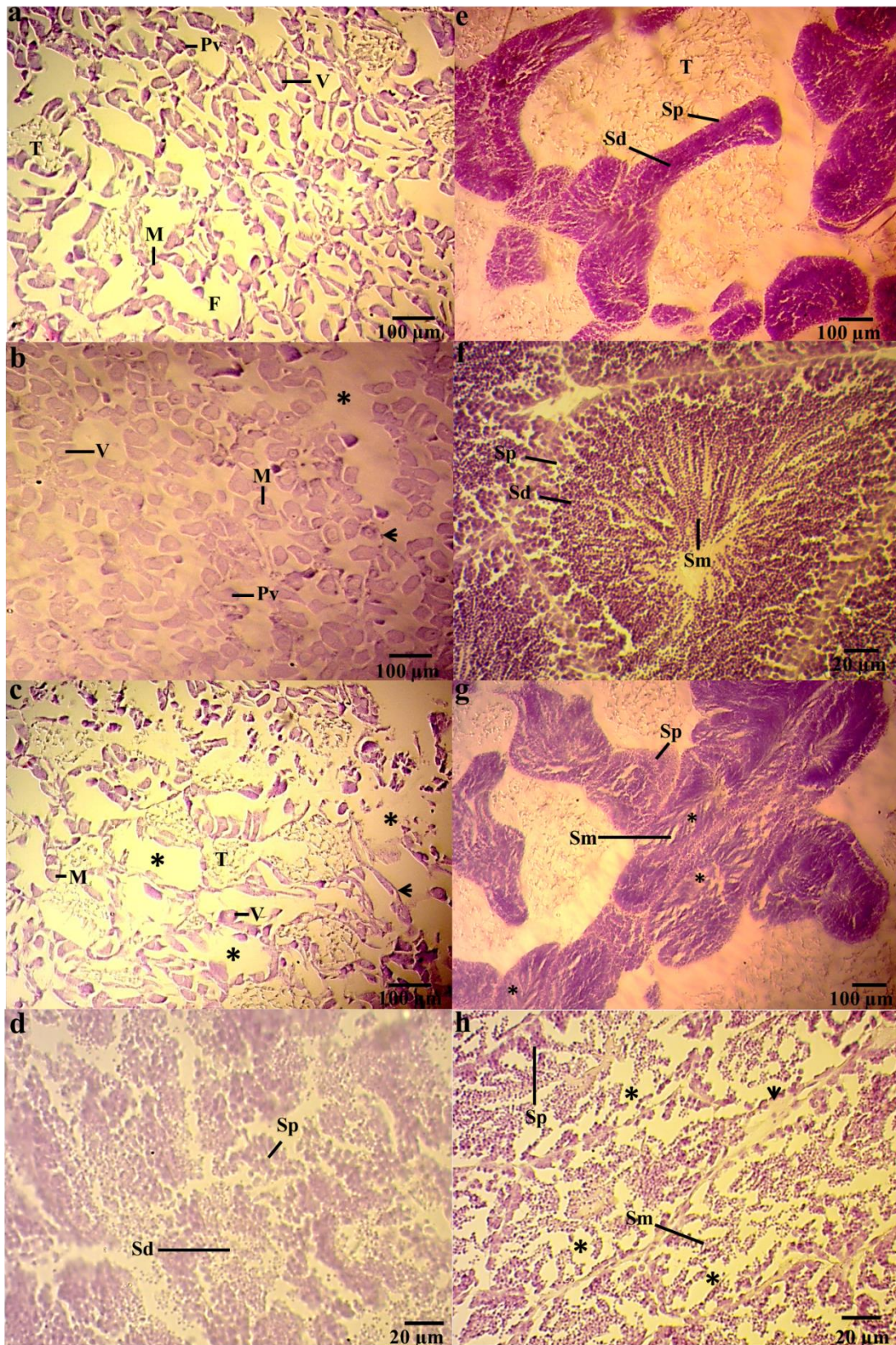


Fig. 3 Fotomicrografias das fases de desenvolvimento gonadal de *Donax striatus*. a- Fêmea Em Maturação; b- Fêmea Em Eliminação; c- Fêmea em Citólise; d- Macho Imaturo; e- Macho Em Maturação; f- Macho Maduro; g- Macho Em Eliminação; h- Macho em Citólise. Onde, PV- ovócito pré-vitelogênico, M- ovócito maduro, V- ovócito vitelogênico, F- folículo ovariano, T- tecido interfollicular, Sm- espermatozoide, Sp- espermatócito, Sd- espermátide, T- tecido interfollicular, asterisco- indica espaços vazios devido à eliminação de gametas maduros e cabeça de seta indica a parede folicular.

Proporção sexual, tamanho e peso de primeira maturidade sexual

Durante o período de estudo foram analisados 420 indivíduos, dos quais 207 eram fêmeas (52%) e 193 eram machos (48%), não havendo diferença significativa entre a proporção de machos e fêmeas ($p < 0,05$), apresentando proporção sexual de macho:fêmea de 1:1. No entanto, no mês de abril/16 as fêmeas foram significativamente superiores aos machos.

As fêmeas estão aptas a reproduzir quando atingem o comprimento ântero-posterior de 8,92 mm e peso total de 0,44 g, enquanto os machos com 10,94 mm e 0,38 g. Quando se observa o sexo agrupado estima-se que a população se reproduza com tamanho de 12,45 mm e 0,38 g. O método da curva logística confirma o resultado da regressão não-linear, apontando que *D. striatus* começam a maturar no intervalo de comprimento de 10-15 mm (Fig. 4).

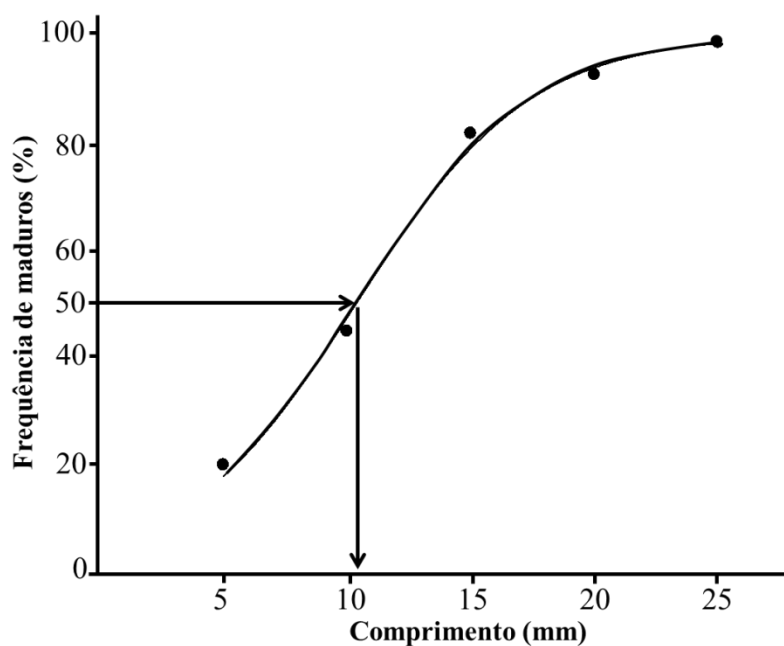


Fig. 4 Curva logística indicando o tamanho de primeira maturação para o sexo agrupado de *Donax striatus*

Ciclo reprodutivo

Na análise histológica observou-se a presença de s estágios de desenvolvimento gonadal distintos em quase todos os meses, portanto, a reprodução de *D. striatus* pode ser caracterizada como contínua. Ambos os sexos apresentaram o estágio Em eliminação ao longo de todo o período de estudo, portanto são organismos com desova assincrônica.

A maior incidência de fêmeas maduras ocorreu nos meses de agosto/15 e novembro/15, enquanto os machos de julho/15 a outubro/15, ambos no período seco. As maiores ocorrências do estágio Em eliminação para as fêmeas ocorreram em maio/15,

setembro/15, janeiro/16 e fevereiro/16, para os machos entre os meses de março/15 a maio/15 e de dezembro/15 a fevereiro/16, portanto no período chuvoso observam-se as maiores incidências de eliminação gametogênica. Enquanto os imaturos foram mais frequentes nas fêmeas nos meses de outubro/15 a novembro/15 e nos machos em maio/15, portanto nesse período deve ocorrer o provável recrutamento da espécie (Fig. 5).

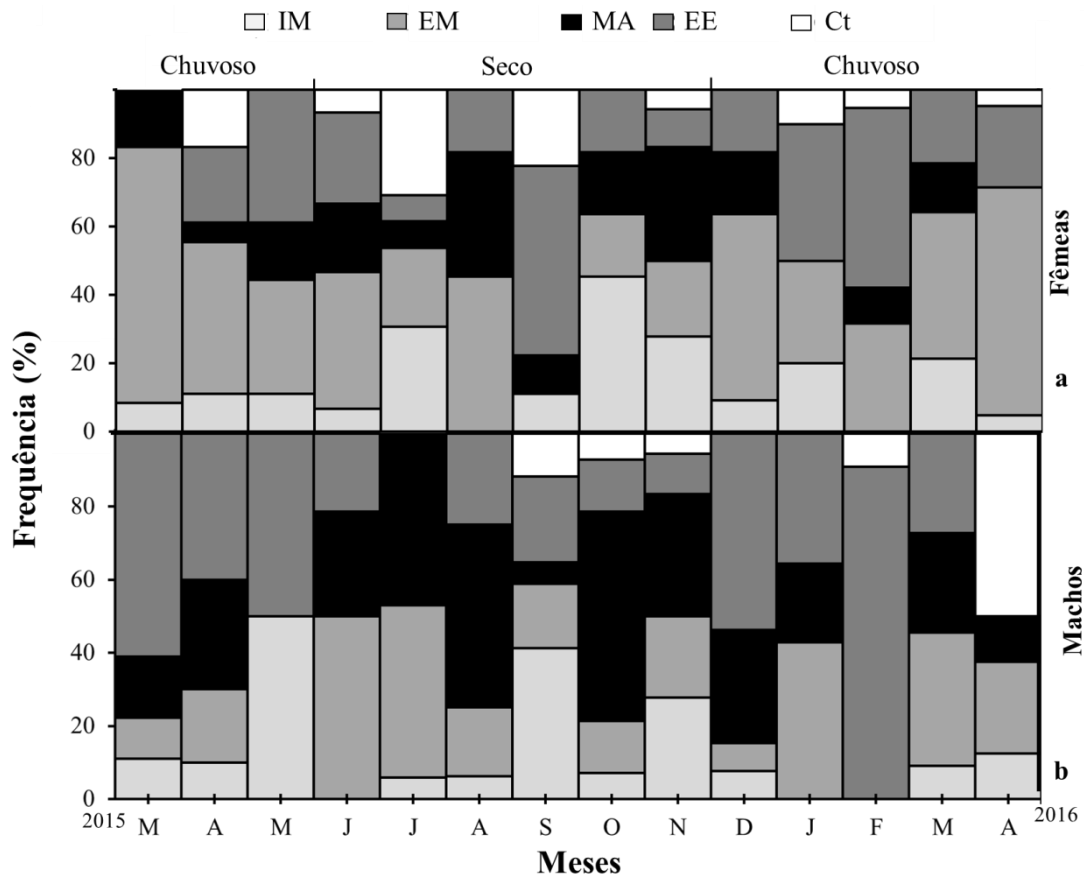


Fig. 5 Frequência dos estádios de maturação no período de Março/15 a Abril/16 de fêmeas (a) e machos (b) de *Donax striatus*, onde, IM- Imaturo, EM- Em maturação, MA- Maduro, EE- Em eliminação e CT- Citólise

As médias dos diâmetros dos ovócitos durante o período de estudo para os distintos estágios de desenvolvimento gonadal foi de 20,89 μm , 21,27 μm , 23,27 μm , 19,89 μm e 21,63 μm , respectivamente, para os estágios Imaturo, Em maturação, Maduro, Em eliminação e Citólise (Tabela 1). A proximidade dos valores médios dos diâmetros dos ovócitos entre os estágios de desenvolvimento gonadal está relacionado ao tipo de desova assincrônica, pois, a partir do estágio maduro, o folículo apresenta todas as linhagens das células germinativas femininas.

Tabela 1. Mínimo e máximo e média \pm desvio padrão dos diâmetros de ovócitos de *Donax striatus*. Onde, IM- Imaturo, EM- Em maturação, MA- Maduro, EE- Em eliminação e CT- Citólise

Ano	Mês	Tamanho do ovócito (max-min) (μm)	Média \pm Desvio padrão (μm)	Estágio de desenvolvimento
2015	Mar	11,44-41,02	25,42 \pm 7,83	IM
		3,08-57,36	17,92 \pm 8,92	EM
		5,97-66,9	25,11 \pm 9,95	MA
	Abr	16,55 \pm 38,06	22,33 \pm 7,69	IM
		8,16-41,48	21,49 \pm 6,85	EM
		15,34-37,06	24,32 \pm 5,63	MA
		9,09-39,32	22,80 \pm 7,36	EE
		9,76-34-42	21,20 \pm 6,01	CT
		8,16-41,48	22,33 \pm 16,55	IM
	Mai	8,16-41,48	21,49 \pm 6,85	EM
		15,34-37,06	24,32 \pm 5,63	MA
		9,09-39,32	22,80 \pm 9,09	EE
		9,76-34,42	21,20 \pm 6,01	CT
	Jun	5,79-40,36	20,31 \pm 7,33	EM
		8,1-47	21,15 \pm 7,77	MA
		9,06-39,31	20,94 \pm 5,8	EE
		5,99-26,95	11,53 \pm 4,75	CT
	Jul	7,08-18,79	11,25 \pm 3,80	EE
		6,16-28,39	16,17 \pm 5,93	EM
		5,76-26,99	13,03 \pm 4,74	CT
	Ago	7,61-39,33	21,26 \pm 8,01	EM
		9,14-37,26	23,29 \pm 7,79	MA
		10,64-37,11	24,47 \pm 7,5	CT
	Set	14,92-46,35	24,92 \pm 7,14	CT
16,61-37,86		28,66 \pm 5,79	EM	
Out	12,62-30,76	19,67 \pm 5,44	EM	
	14,34-52,99	25,41 \pm 6,9	CT	
	21,45-41,75	29,63 \pm 6,99	EE	
Nov	16,91-48,58	30,68 \pm 7,73	EE	
	14,33-45,53	25,37 \pm 7,89	EM	
	15,42-37,59	25,22 \pm 7,09	IM	
	14,51-37,59	25,20 \pm 7,38	EE	
Dez	9,32-39,33	25,92 \pm 7,36	EM	
	12,9-42,12	30,29 \pm 6,28	MA	
2016	Jan	17,28-34,23	26,73 \pm 4,83	EE
		10,44-46,90	22,67 \pm 6,16	EM
	Fev	17,31-41,65	26,55 \pm 6,20	MA
		11,82-44,01	25,77 \pm 6,09	CT
	Mar	15,22-36,4	25,92 \pm 5,62	EM
		5,42-45,15	22,87 \pm 7,02	EM
	Abr	5,93-48,92	22,17 \pm 7,37	EE
		7,19-29,18	16,42 \pm 5,47	CT
		10,46-32,22	19,13 \pm 7,69	IM

O tamanho dos ovócitos variou de 3 μm a 66 μm , os histogramas unimodais de tamanho dos ovócitos demonstram que os intervalos de comprimento mais incidentes são os de 18-23 μm e 23-28 μm , não havendo uma clara diminuição desses tamanhos ao longo dos meses (Fig. 6).

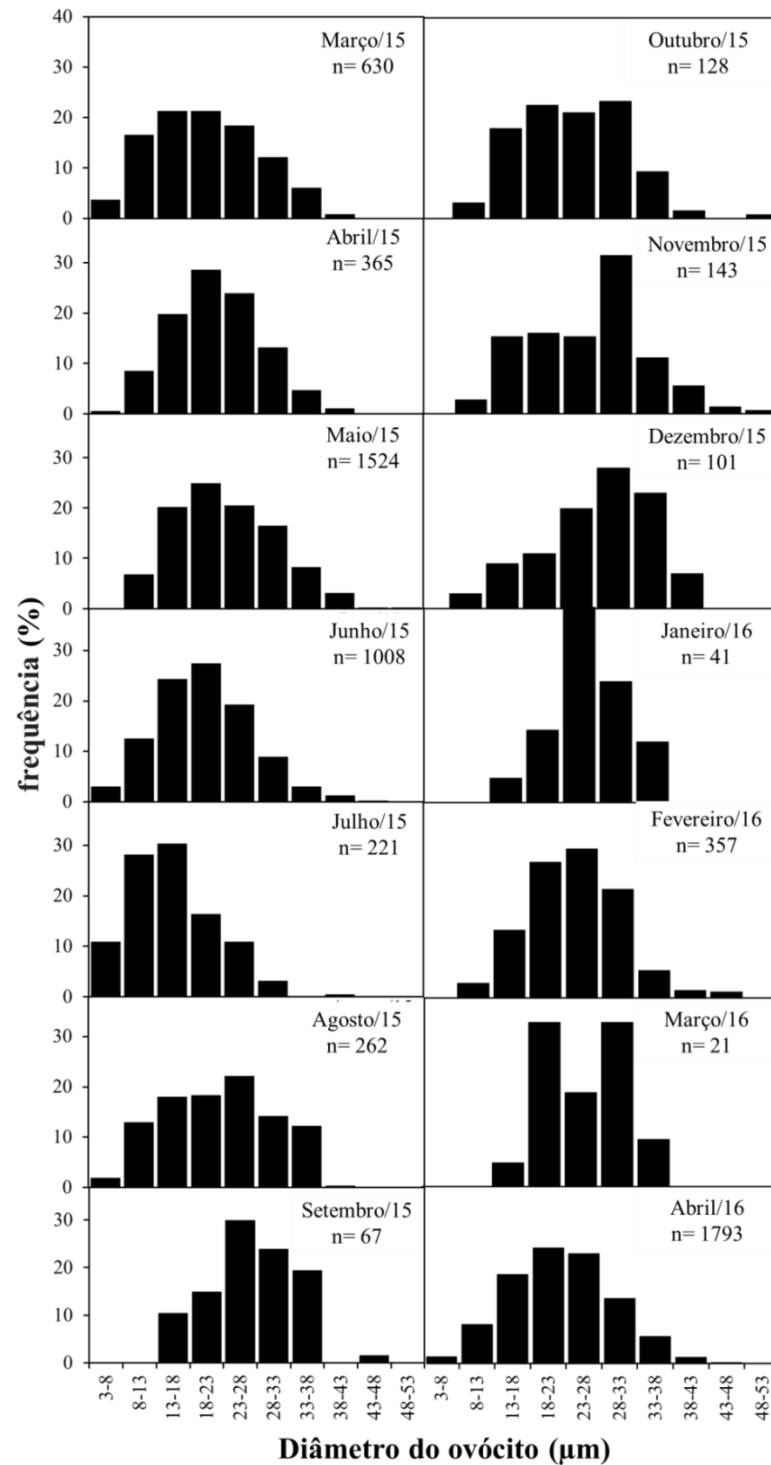


Fig. 6 Distribuição mensal da frequência absoluta dos diâmetros dos ovócitos de *Donax striatus*

A maior abundância de ovócitos ocorreu em abril/16 e a mínima no mês de outubro/15, conforme demonstrado na figura 8a. A abundância de ovócitos também não apresentou relação significativa com os parâmetros ambientais e o teste t revelou que a abundância de ovócitos não sofre influência da sazonalidade ($p > 0,05$), confirmando que o período reprodutivo é contínuo conforme demonstrado na fig. 7a.

Índice de condição e biomassa

A média mensal de IC variou de 6,88 a 15,47 % ($11,13 \pm 4,77$), enquanto a biomassa seca livre de cinzas variou de 0,005 a 0,009 g ($0,0065 \pm 0,0031$), conforme visualizado na fig. 7. Não houve correlação entre esses índices com os parâmetros ambientais e o ciclo reprodutivo ($p < 0,05$). No entanto, a biomassa obteve um leve aumento no período seco sendo significativamente superior ao período chuvoso ($p < 0,05$) o que pode ter ocorrido devido a maior frequência de indivíduos maduros. Enquanto o índice de condição não teve diferença entre os períodos ($p > 0,05$), reafirmando um ciclo reprodutivo não sazonal.

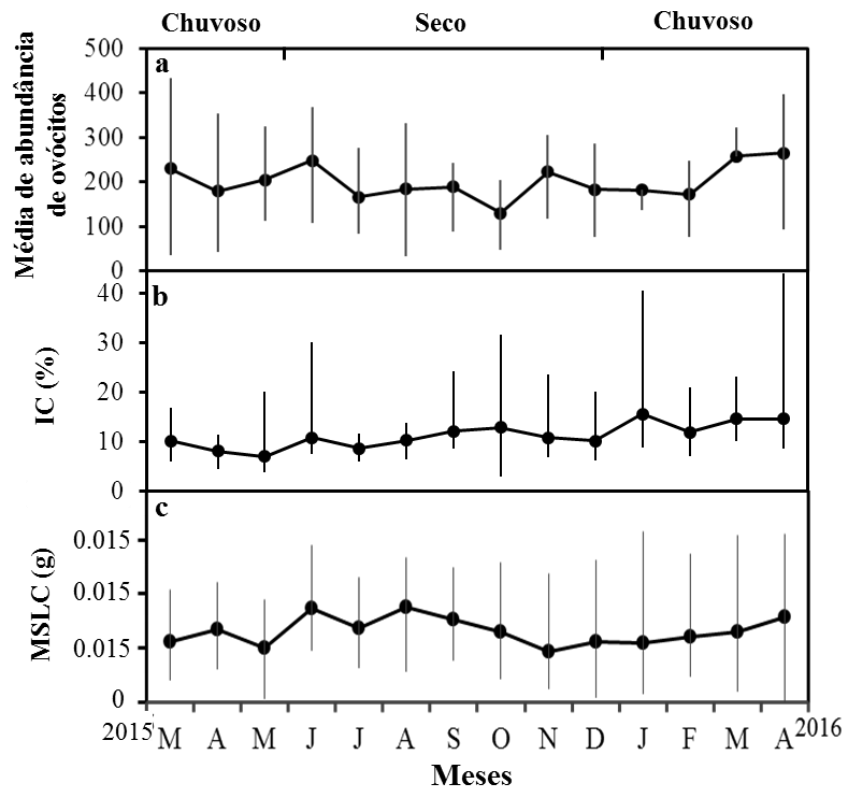


Fig. 7 a- Variação mensal da média de abundância de ovócitos; b- média do índice de condição (%); e c- média da biomassa seca livre de cinzas (g) de *Donax striatus* em uma praia tropical, no período de março/2015 a abril/2016

Discussão

A população de *Donax striatus* da praia arenosa dissipativa estudada começa a reproduzir com tamanho de 12,45 mm, tamanho muito próximo o qual foi encontrado por Gil e Thomé (2004b) em *Donax hanleyanus* no Rio Grande do Sul, no Brasil, de 12,28 mm. Em ambientes temperados Herrmann et al. (2009), na Argentina, revelaram para a mesma espécie um tamanho que variou de 8,61 (praia dissipativa) mm a 22,92 mm (praia reflectiva),

enquanto Zeichen et al. (2002), na Itália, encontraram um tamanho de 18,39 mm para *Donax trunculus*. Isso demonstra que independente do ambiente climático que esteja submetido, as espécies do gênero *Donax* começam a maturar com tamanhos próximos.

A ausência de correlação entre os estágios Maduro e Em maturação com os parâmetros ambientais analisados e a contemplação de todos os tamanhos de ovócitos ao longo dos meses indicam um ciclo reprodutivo contínuo e sem influência sazonal. Essa estratégia reprodutiva foi confirmada pelos demais métodos de análise do ciclo reprodutivo (frequência dos estágios de maturação, índice de condição, biomassa e abundância de ovócitos) indicando ainda uma desova assincrônica. O mesmo padrão de reprodução foi encontrado por Gil e Thomé (2004a) no Brasil para *Donax hanleyanus* e por Riasco (2006) na Colômbia para *Donax dentifer*. No entanto, Herrmann et al. (2009) revelaram que *Donax hanleyanus* na Argentina, apresenta dois ciclos de desova, enquanto, *Donax trunculus* na Tunísia possui ciclo e desovas anuais (Tlili et al. 2011), esses dois últimos estudos foram realizados em ambientes temperados, sendo que tais resultados corroboram com a hipótese de Giese (1959) na qual invertebrados marinhos possuem um período de reprodução mais limitado nas regiões polares e temperadas e mais longo nos trópicos.

D. striatus se apresenta como um estrategista oportunista, sendo essa característica revelada pela sua rápida entrada no estágio de maturação gonadal e sua desova assincrônica. Este fato acontece, pois, a energia consumida do alimento é logo direcionada para maturar as gônadas, em vez de ser armazenada no tecido somático (Cárdenas e Aranda 2000). Esse tipo de estratégia é explicado por Defeo e Cardoso (2002), baseados na Hipótese de Gradiente Latitudinal, na qual os organismos bentônicos de baixas latitudes tendem a ter um ciclo reprodutivo longo, tais tendências latitudinais estão relacionadas com a baixa variação de temperatura e também está correlacionada com alta disponibilidade de alimento na zona de superfície próximo da costa, constituindo-se como uma "variável agregada". Isso é evidente neste trabalho, uma vez que a temperatura superficial do mar e a clorofila-a tiveram pouca variação ao longo do estudo e explica a ausência de correlação de biomassa, do índice de condição, abundância de ovócito e dos estágios Maduro e Em maturação com estas variáveis.

No entanto, no presente estudo houve maiores frequências de indivíduos em eliminação gametogênica durante o período chuvoso, isso pode ter ocorrido devido ao aumento da disponibilidade de alimento, ocasionado pelo leve aumento de matéria orgânica e clorofila-a (Fig. 2f-g). Herrmann et al. (2009) já haviam levantado a hipótese de que a biomassa fitoplanctônica teria um impacto direto sobre o ciclo reprodutivo de bivalves.

Diversos autores discorrem que a temperatura, quase constante de ambientes tropicais favorece uma alta disponibilidade de alimento o ano todo, o que propicia um ciclo reprodutivo contínuo em bivalves tropicais (Urban, 2000; Gil e Thomé, 2004a, Corte, Yokoyama e Amaral 2014, Denadai et al. 2015, Rangel et al. 2016). Como no período chuvoso ocorreu a maior frequência de indivíduos eliminando gametas, esse fato propiciou no período seco o recrutamento da espécie (outubro/15 a novembro/15), demonstrado pela maior porcentagem de imaturos.

Em conclusão, *Donax striatus* é um bivalve que apresenta características de um r-estrategista e apresenta um sincronismo reprodutivo entre os sexos. Para conservação da espécie, recomenda-se que sua captura seja realizada após o comprimento de 13 mm. O ciclo reprodutivo contínuo e a desova assincrônica são possíveis devido à alta disponibilidade de matéria orgânica e de clorofila-a e baixa variação de temperatura. Essas características presentes nas zonas tropicais permitem que a energia metabolizável esteja sempre disponível para maturar os gametas, portanto, não sendo necessário haver uma pausa reprodutiva. A clorofila-a, pluviosidade e a matéria orgânica exercem papel de “gatilho ambiental”, uma vez que a elevação desses fatores no período chuvoso aumentou a frequência de indivíduos em eliminação gametogênica. Os métodos de investigação de abundância e tamanho dos ovócitos são eficazes para responder sobre o ciclo reprodutivo de espécies tropicais, uma vez que os mesmos, até o momento só haviam sido aplicados em zonas temperadas.

Referências

- Alves MAMS, El-Robrini M (2006) Morphodynamics of a Macrotidal Beach: Ajuruteua, Bragança - North Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 39:1848-1850
- Boehs G, Absher, TM, Cruz-kaled, AC (2008) Ecologia populacional de *Anomalocardia brasiliiana* (Gmelin, 1791) (Bivalvia, Veneridae) na Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 34, n. 2, p. 259-270
- Brey T (1986) Formalin and formaldehyde-depot chemicals: Effects on dry weight and ash free dry weight of two marine bivalve species. *Meeresforsch*, 31:52-57
- Cárdenas EB, Aranda DA (2000) A Review of Reproductive Patterns of Bivalve Mollusks From Mexico. *Bulletin of Marine Science* 66:13-27
- Cetesb (2014) Determinação de Clorofila a e Feofitina a: método espectrofotométrico.
- Corte GN, Yokoyama LQ, Amaral ACZ (2014) An attempt to extend the Habitat Harshness Hypothesis to tidal flats: A case study of *Anomalocardia brasiliiana* (Bivalvia: Veneridae) reproductive biology. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 150:136–141.

- Dean WE (1974) Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology* 44:242-248
- Defeo O, Cardoso RS (2002) Macroecology of population dynamics and life history traits of the mole crab *Emerita brasiliensis* in Atlantic sandy beaches of South America. *Marine Ecology Progress Series* 239:169-179
- Denadai MR, Sueur-Maluf LL, Marques CG, Amaral ACZ, Adamo I, Yokoyama LQ, Turra A (2015) Reproductive cycle of the trigonal clam *Tivela mactroides* (Bivalvia, Veneridae) in Caraguatatuba Bay, southeastern Brazil. *Marine Biology Research* 11:847–858
- Fretter V (1984) Prosobranchs. In: Tompa AS, Verdonk NH, den Biggelaar JAM (eds). *The Mollusca*, Academic Press, Florida, pp. 1-5
- Galvão MSN, Henriques, MB, Pereira OM, Marques HA (2006) Ciclo reprodutivo e infestação parasitária de mexilhões *Perna perna* (Linnaeus, 1758). *Boletim do Instituto de Pesca* 32:59-71
- Giese AC (1959) Comparative physiology: annual reproductive cycles of marine invertebrates. *Annual Review of Physiology* 21:547-576
- Gil GM, Thomé JW (2004a) Descrição do ciclo reprodutivo de *Donax hanleyanus* (Bivalvia, Donacidae) no sul do Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, 94:271–276
- Gil GM, Thomé JW (2004b) Proporção sexual e comprimento de concha na primeira maturação sexual em *Donax hanleyanus* Philippi (Bivalvia, Donacidae) no Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 21:345–350
- Hammer O, Harper DAT, Rian PD (2001) Past: Palaeontological statistics software package for education and data analysis
- Herrmann M, Barreira CAR, Arntz WE, Laudien J, Penchaszadeh PE (2009) Testing the habitat harshness hypothesis: reproductive biology of the wedge clam *Donax hanleyanus* (Bivalvia: Donacidae) on three Argentinean sandy beaches with contrasting morphodynamics. *Journal of Molluscan Studies* 76:33-47
- Junqueira LC, Junqueira LMMS (1983) Técnicas básicas de citologia e histologia. Livraria e Editora Santos, São Paulo
- Mackie GL (1984) Bivalves. In: Tompa AS, Verdonk NH, den Biggelaar JAM (eds). *The Mollusca*, Academic Press, Florida, pp. 305-418
- Martorano LG, Pereira LC, César EGM, Pereira ICB (1993) Estudos climáticos do Estado do Pará: classificação climática (Koppen) e deficiência hídrica (Thornhtwhite, Mather). Sudam/Embrapa/SNLCS, Pará
- McLachlan A, Brown A (2006) Sandy beaches as ecosystems. Elsevier Science Publishers, Amsterdam

Nascimento IA, Lunetta JE (1978) Ciclo sexual da ostra de mangue e sua importância para o cultivo. *Ciência e cultura* 36:736-742

Quayle DB (1943) Sex, gonad development and seasonal gonad changes in *Paphia staminea* Conrad. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 6:140-151

Rangel MS, Mendoza J, Freitas L, Tagliafico A, Silva J, Garcia N (2016) Biometric and reproductive aspects of the pen shell *Atrina seminuda* (Bivalvia: Pinnidae) in northeastern Venezuela. *Journal Molluscan Research* 1-10

Riascos JM, Urban H J (2002) Dinámica poblacional de *Donax dentifer* (Veneroidea: Donacidae) en Bahía Málaga, Pacífico colombiano durante el fenómeno “El Niño” 1997/1998. *Revista Biología Tropical* 50

Riascos VJM (2006) Effects of El Niño-Southern oscillation on the population dynamics of the tropical bivalve *Donax dentifer* from Málaga bay, Colombian Pacific. *Marine Biology* 148:1283-1293

Urban H-J (2000) Culture potential of the pearl oyster (*Pinctadda imbricata*) from the Caribbean: I. Gametogenic activity, growth, mortality and production of a natural population. *Aquaculture* 189:361–373

Tlili S, Métais I, Ayache N, Boussetta H, Mouneyra C (2011) Is the reproduction of *Donax trunculus* affected by their sites of origin contrasted by their level of contamination?. *Chemosphere* 84:1362-1370

Vazzoler AEA (1996) *Biologia da Reprodução de Peixes Teleósteos: Teoria e Prática*. EDUEM, Paraná

Zeichen MM, Agnesi S, Mariani A, Maccaroni A, Ardizzone GD Biology and population dynamics of *Donax trunculus* L. (Bivalvia: Donacidae) in the south Adriatic Coast (Italy) (2002). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 54:971-982

CAPITULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, se conclui que a comunidade de *Donax striatus* apresentou uma baixa densidade, o que pode ter ocorrido devido há um aumento de temperatura acima do tolerado pela espécie, provocando crescimento nas taxas de mortalidade. Contudo, houve uma alta biomassa, provavelmente devido à baixa variação de clorofila-a e matéria orgânica, no entanto, a baixa produtividade revela que comunidade possui baixa eficiência energética. A baixa relação P/\bar{B} encontrada nesse estudo, ficou abaixo do esperado para comunidade de *Donax* sp, quando comparados a estudos realizados em ambientes tropicais e temperados, isso pode ter ocorrido devido a presença do El Niño, que a apesar de sua baixa influência na localidade, ocasionou um período de 4 meses sem pluviosidade. Uma vez que a pluviosidade é o principal parâmetro a influenciar nas variáveis densidade, biomassa e produtividade demonstrado forte sazonalidade sobre as mesmas.

Apesar do período de El Niño mencionado anteriormente, este não influcionou o aspecto reprodutivo de *Donax striatus*, que manteve as características e estratégias típicas de bivalves tropicais, sendo um estrategista-r, iniciando a atividade reprodutiva em tamanho menor que os de ambientes temperados com 13 mm, ciclo reprodutivo contínuo e desova assincrônica. Essa estratégia reprodutiva é mantida devido à alta disponibilidade de matéria orgânica e de clorofila-a e baixa variação de temperatura, característica de zonas tropicais. Apesar de não haver uma evidente sazonalidade na atividade reprodutiva de *D. striatus*, os mesmos aumentam a frequência de eliminação gametogênica no período chuvoso, provavelmente devido ao aumento de alimento, uma vez que a biomassa foi superior no neste período.