

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG
PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA BIOLÓGICA**

**INFLUÊNCIA DE EVENTOS *EL NIÑO* NOS
RECRUTAMENTOS DO BIVALVE *Erodona*
mactroides BOSC 1801 NAS ENSEADAS
RASAS DA REGIÃO ESTUARINA DA LAGOA
DOS PATOS, RS - BRASIL**

CAROLINE TAVARES DA SILVA

Dissertação ao Programa de Pós-
Graduação em Oceanografia Biológica
da Universidade Federal do Rio Grande
- FURG, como requisito parcial à
obtenção do título de MESTRE.

Orientador: Dr. Leonir André Colling

RIO GRANDE
Setembro de 2016

Quando eu tinha 5 anos, minha mãe sempre me disse que a felicidade era a chave para a vida. Quando eu fui para a escola, me perguntaram o que eu queria ser quando crescesse. Eu escrevi "feliz". Eles me disseram que eu não entendi a pergunta, e eu lhes disse que eles não entendiam a vida.

(Jhon Lennon)

AGRADECIMENTOS

Começo agradecendo à toda espiritualidade pela oportunidade de realizar essa etapa com saúde. Aos grandes mestres Jesus e Buda. Agradeço aos meus pais que foram fundamentais para que este mestrado fosse possível, me incentivando, me apoiando financeiramente. Agradeço também à Andiara pelas palavras de incentivo e por suportar a tensão na etapa de escrita da dissertação (não é fácil, eu sei). Aos meus irmãos, especialmente a Viviane, que participou de duas saídas comigo, uma inclusive de inverno. Entrar na água no inverno é dureza.

Agradeço aos meus amigos Robson, Lessandro e e Kellen pela amizade e torcida. Destaco o Wellington e o Douglas, que também encararam a deliciosa água gelada da Lagoa dos Patos no inverno para me ajudar. Isso que é amigo!

Agradeço também à minha amiga de sempre, da graduação, dos cafés, das alegrias, das tristezas, do bar, da cerveja, das conversas malucas, da sociedade decadente, companheira de disciplinas, de trabalho, de congressos, Danielle Ortiz.

Aos meus colegas do Laboratório de Bentos: Dunga, Raphael, Fabi e Lucas, pelas conversas, ajuda em laboratório/campo, pelas sugestões relacionadas à dissertação. Às meninas do laboratório de Zooplâncton e o

professor Erik, pela acolhida no laboratório, pelos ensinamentos sobre cultivos, larvas de bivalve e etc.

Ao meu orientador André Colling, pela amizade e respeito aos longos dos anos, pela oportunidade de realizar esta dissertação e pelas críticas e sugestões, que com certeza foram valiosas para meu crescimento acadêmico/pessoal.

Aos grandes mestres, Laercio Fonseca, Monja Coen, Osho, Chico e Divaldo, por disponibilizar seus vídeos e livros, meus companheiros nestes últimos anos, de onde tirei importantes ensinamentos de vida, me proporcionando ser uma pessoa melhor, mais consciente, amorosa e harmoniosa com o mundo. Com essas pessoas aprendi a dar valor ao que realmente é importante na vida.

Aos membros da Banca Examinadora: Sérgio Netto, Maurício e Erik, pelas importantíssimas sugestões e críticas que deram a este trabalho.

Ao CNPQ e o projeto PELD, pelo auxílio financeiro à pesquisa. À FURG, professores da PPGOB e todos os seus funcionários. Por fim, agradeço à todas as pessoas que torceram por mim nestes anos de pesquisa.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS	15
CAPÍTULO 1. DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE <i>Erodona mactroides</i> BOS 1801 EM DIFERENTES ENSEADAS RASAS DO ESTUÁRIO DA LAGOA DOS PATOS.....	21
1. INTRODUÇÃO	22
2. MATERIAL E MÉTODOS	25
2.1 PARÂMETROS AMBIENTAIS	25
2.2 PARÂMETROS BIOLÓGICOS	27
2.3 ANÁLISE DOS DADOS	28
3. RESULTADOS	30
4. DISCUSSÃO	34
5. REFERÊNCIAS	40
6. TABELAS E FIGURAS	48
CAPÍTULO 2. RECRUTAMENTOS DO BIVALVE <i>Erodona mactroides</i> BOS 1801 ASSOCIADOS A DOIS EVENTOS <i>El Niño</i> DISTINTOS EM UM ESTUÁRIO SUBTROPICAL DO EXTREMO SUL DO BRASIL	58
1. INTRODUÇÃO	59
2. METODOLOGIA.....	64
2.1 PARÂMETROS AMBIENTAIS	64
2.2 PARÂMETROS BIOLÓGICOS	65
2.3 ANÁLISE DOS DADOS	66
3. RESULTADOS	67
3.1 RESULTADOS DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS	67
3.2 RESULTADOS DOS PARÂMETROS BIOLÓGICOS	69
4. DISCUSSÃO	72
5. REFERÊNCIAS	76
6. TABELAS E FIGURAS	85
CONCLUSÕES	95

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1.

Tabela 1. Resultados da Análise de variância (ANOVA, uma via, $\alpha < 0,05$), evidenciando as variações temporais e espaciais dos parâmetros ambientais e densidades de *E. mactroides* (Ind.m⁻²) durante o período de estudo. Os valores em negrito referem-se aos valores de p (p-valor) significativo. As letras em negrito referem-se aos resultados dos testes de post-hoc. GL = Graus de liberdade; F = F de Fisher; p = p-valor; M.O = matéria orgânica; % Finos = silte + argila; S1 = Ilha das pombas; S2 = Saco do Justino; S3 = Ilha dos Marinheiros; S4 = Laranjal; *** ausência de teste post-hoc quando $\alpha > 0,05$. . 48

Tabela 2. Resultados obtidos das correlações de Spearman (ρ) e Pearson (r^2), entre as variáveis e densidades de *E. mactroides* observadas no setor S1. Os valores destacados em negrito referem-se às correlações significativas..... 49

CAPÍTULO 2.

Tabela 1. Resultados da Análise de Variância interanual (ANOVA, uma via, $\alpha = 0,05$) e teste Post-Hoc, comparando as densidades de *E. mactroides* entre as estações pareadas. P/02 = primavera/02; P/03 = primavera/2003; P/14 = primavera/2014, P/15 = primavera/2015; V/03 = verão/2003; V/15 = verão/2015; O/03 = outono/2003; O/15 = outono/2015; I/03 = inverno/2003; I/15 = inverno/2015. F = F de Fisher; GL = Graus de Liberdade; p = p – valor..... 875

Tabela 2. Resultados das correlações de Pearson (r^2) e Spearman (ρ) entre as variáveis ambientais e as densidades de *E. mactroides* nos 2002-2003 e 2014-2015 analisados. P.C.D. = profundidade da coluna d'água; Finos = percentual de sedimentos finos. Os números em negrito destacam as correlações significativas.....86

Tabela 3. Resultados da Análise de Variância interanual (ANOVA, uma via, $\alpha = 0,05$) e teste Post-Hoc, comparando as densidades de *E. mactroides* entre as estações pareadas. P/02 = primavera/02; P/03 = primavera/2003; P/14 = primavera/2014, P/15 = primavera/2015; V/03 = verão/2003; V/15 = verão/2015; O/03 = outono/2003; O/15 = outono/2015; I/03 = inverno/2003; I/15 = inverno/2015. F = F de Fisher; GL = Graus de Liberdade; p = p – valor.....87

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1.

Figura 1. Mapa com os setores amostrais S1 (Ilha das Pombas), S2 (Saco do Justino), S3 (Ilha dos Marinheiros) e S4 (Laranjal), distribuídos ao longo da região estuarina da Lagoa dos Patos (Rio Grande do Sul, Brasil). 50

Figura 2. Valores de temperatura (A) salinidade (B), profundidade da coluna d'água (C) e vazão (D) durante o período de estudo. As linhas pontilhadas representam os valores diários, e as contínuas as médias mensais. P/14. = primavera/2014; V/15. = verão/2015; O/15. = outono/2015; I/15. = inverno/2015. 51

Figura 3. Percentuais de sedimentos registrados nas estações do ano, para os Setores: S1 (A); S2 (B); S3 (C) e S4 (D). P/14. = primavera/2014; V/15. = verão/2015; O/15. = outono/2015; I/15 = Inverno/2015; P/15 = primavera/2015.. 52

Figura 4. Médias sazonais de matéria orgânica (%) observados nos setores amostrais S1 (A), S2 (B), S3 (C) e S4 (D). P/14. = primavera/2014; V/15. = verão/15; O/15. = outono/2015; I/15. = Inverno/2015, P/15 = primavera/2015. As barras verticais representam os desvios padrão..... 53

Figura 5. Densidades médias sazonais (Ind.m^{-3}) de larvas de Bivalve encontradas nos setores amostrais durante o período de estudo. As barras verticais representam os desvios padrão. P/14 = primavera/2014; V/15 = verão/2015; O/15 = outono/2015; I/15 = inverno/2015; P/15 = primavera/2015. 54

Figura 6. Densidades (Ind.m^{-2}) de *E. mactroides* registradas nos setores S1 (Ilha das Pombas), S2 (Justino), S3 (Ilha dos Marinheiros) e S4 (Laranjal). As barras verticais representam os intervalos de confiança. As barras verticais representam os erros padrão. 55

Figura 7. Densidades médias de *E. mactroides* observadas nos setores S1 (A), S2 (B), S3 (C) e S4 (D) nas estações analisadas. P/14 = primavera/2014; V/15 = verão/2015; O/15 = outono/2015; I/15 = inverno/2015; P/15 = primavera/2015. As barras verticais representam erros padrão.. 56

Figura 8. Gráficos ilustrando as distribuições de classes de tamanho (em mm) de *E. mactroides* encontradas no setor S1 (Ilha das Pombas) durante o período de estudo. 57

CAPÍTULO 2.

- Figura 1. Mapa da área de estudo, destacando a Ilha das Pombas e a transversal de 450 m..... 88
- Figura 2. Dados de salinidade (A, B), profundidade da coluna d'água (C, D) e vazão (E, F) obtidos nos dois períodos (2002-2003, 2014-2015, respectivamente). As linhas pretas correspondem a médias mensais e as pontilhadas correspondem a valores de diários..... 89
- Figura 3. Médias mensais e desvio padrão (linhas verticais) dos percentuais de silte e argila obtidos durante os períodos 2002-2003 (A) e 2014-2015 (B). P = primavera; V = verão; O = outono; I = inverno. 90
- Figura 4. Resultados das análises de regressão realizadas entre os parâmetros ambientais no período de 2002-2003 (A – C) e 2014-2015 (D – F).. 91
- Figura 5. Densidades médias sazonais (ind.m^{-2}) de *E. mactroides* registrados nos períodos 2002-2003 (A) e 2014-2015. 92
- Figura 6. Gráfico ilustrando as densidades médias (Ind.m^2) de *E. mactroides* encontradas nos períodos 2002-2003 e 2014-2015. As barras brancas indicam o desvio padrão. Pri. = primavera; Ver. = verão; Out. = outono; Inv. = inverno. 93
- Figura 7. Distribuição de frequência das classes de tamanho de *E. mactroides*, obtidos ao longo das estações analisadas no presente estudo.....94

RESUMO

O presente estudo investigou a influência do fenômeno *El Niño* nos recrutamentos do bivalve *E. mactroides* nas enseadas do estuário da Lagoa dos Patos, relacionando-os com as características hidrológicas e do substrato. Em um primeiro momento foram avaliadas diferenças espaciais e temporais das densidades de *E. mactroides* em 4 enseadas rasas (Laranjal, Ilha dos Marinheiros, Saco do Justino e Ilha das Pombas). Este estudo ocorreu através de amostragens mensais entre a primavera/2014 e primavera/2015 da macrofauna bentônica, do zooplâncton e sedimento, além de registros diários de temperatura da água, salinidade, profundidade da coluna d'água e vazão. Em um segundo momento, comparou-se os recrutamentos de *E. mactroides* em dois períodos distintos (2002-2003 e 2014-2015) relacionados à ocorrência de diferentes eventos *El Niño* em uma enseada rasa situada na Ilha das Pombas. Este estudo contou com amostragens mensais da macrofauna bentônica e de sedimento, além de registros diários de salinidade, profundidade da coluna d'água e vazão, entre a primavera/2002 – primavera/2003 e primavera/2014 – primavera/2015. A avaliação espacial mostrou diferenças significativas, onde recrutamentos importantes ocorreram apenas no setor localizado na Ilha das Pombas. Esta diferença nas densidades da espécie entre os setores foi atribuída a diferenças no tamanho dos grãos e hidrodinâmica das enseadas estuarinas, que podem ter influenciado o aporte larval e, conseqüentemente, os posteriores recrutamentos. Os recrutamentos observados na Ilha das Pombas ocorreram após um período de elevada vazão

e salinidade baixa associada à influência do evento *El Niño*/2015-2016 na Lagoa dos Patos. A comparação dos recrutamentos ocorridos nos períodos 2002-2003 e 2014-2015, mostraram ausência (período 2002-2003) e baixas densidades (período 2014-2015) do bivalve associados às baixas salinidades, maiores fluxos de vazante e percentuais de silte e argila no substrato. Este cenário foi seguido por recrutamentos significativos, associados a salinidades elevadas, menores fluxos de vazante e percentual de silte e argila no substrato. Dessa forma, o presente estudo mostrou, através da abordagem espaço/temporal, a influência do evento *El Niño*/2015-2016 nos recrutamentos de *E. mactroides* nas enseadas estuarinas, e que estes ocorrem em regiões específicas, relacionados às características intrínsecas locais. Além disso, através da comparação entre dois eventos *El Niño*, foi possível observar a importância deste fenômeno climático de larga escala nos recrutamentos da espécie na região estuarina da Lagoa dos Patos, e que estes ocorrem de forma recorrente.

Palavras chaves: estuário, macrozoobentos, enseadas, Lagoa dos Patos, *El Niño*, *Erodona mactroides*.

Abstract

The influence of *El Niño* events in the recruitments of *E. mactroides* in shallow embayments of the Patos Lagoon estuary were investigated, linking them with the hydrological and substrate characteristics. First, there were assessed spatial and temporal differences of *E. mactroides* densities in 4 shallow embayments (Laranjal, Ilha dos Marinheiros, Saco do Justino and Ilha das Pombas). Monthly samplings from spring/2014 to spring/2015 of the macrofauna, zooplankton and sediment were executed, and daily records of water temperature, salinity, water level and estuarine freshwater discharge were measured. In the second moment, the recruitments of *E. mactroides* observed in a shallow embayment located on the Ilha das Pombas were compared, at two distinct periods (2002-2003 and 2014-2015) related to *El Niño* events. For this study, monthly samplings of the benthic macrofauna and the sediment were executed, as well daily records of salinity, water level and freshwater discharge from spring/2002 to spring/2003 and spring/2014 to spring/2015. Significant spatial differences in densities of the *E. mactroides* were observed, and dense recruitments were registered in the sector located on the Ilha das Pombas. This difference in densities among sectors was attributed to the hydrodynamics of estuarine embayments, which also influenced the larval supply and consequently the subsequent recruitment, as well the grain size. The recruitments observed in the Ilha das Pombas occurred after a period of highest freshwater discharge and lower salinity associated with the influence of *El Niño*/2015-2016 in the Patos Lagoon. The comparison of recruitments in the

periods of 2002-2003 and 2014-2015, showed absence (2002-2003) and low densities (period 2014-2015) of bivalves associated with lower salinities, highest freshwater discharge and percentage of silt and clay. In both periods, this situation was followed by strong recruitments that coincided with highest salinity values, lower freshwater discharge and lower percentage of silt and clay. Thus, the present study showed through a spatio-temporal approach, the influence of *El Niño*/2015-2016 in the recruitments of *E. mactroides* in estuarine embayments of the Patos Lagoon. Also, there were highlighted that recruitments occurs in specific regions related to local intrinsic characteristics. Moreover, through comparisons of different periods under the influence of *El Niño*, there was possible to observe the importance of large-scale events in the recruitments of *E. mactroides* in estuarine region of the Patos Lagoon, and they occur recurrently.

Key-words: estuary, macrozoobenthos, embayments, Patos Lagoon, *El Niño*, *Erodona mactroides*.

INTRODUÇÃO GERAL

Os moluscos bivalves são organismos exclusivamente aquáticos, caracterizados pela presença de duas valvas de carbonato de cálcio que protegem sua estrutura corporal mole. Este grupo é considerado bem-sucedido e diverso, apresentando aproximadamente 7500 espécies que podem ser encontradas em ambientes de água doce, marinhos e estuarinos (Bogan 2008; Hallan *et al.* 2013).

O hábito cavador é comum nos bivalves, os quais utilizam o pé para escavar o substrato inconsolidado e assim obter maior proteção. O contato com a superfície é mantido através dos sifões inalante e exalante (Gosling 2004). Assim, algumas espécies que se enterram nas camadas superficiais do substrato apresentam sifões curtos, outras enterram-se nas camadas mais profundas e apresentam sifões mais longos (Zwarts & Wanink 1989).

Quanto ao modo de alimentação, os bivalves podem ser detritívoros ou suspensívoros, podendo em alguns casos alternar de acordo com a disponibilidade de alimento (Ward & Shumway 2004). No entanto, a maioria das espécies apresenta hábito alimentar filtrador: a água ingressa pelo sifão inalante circula pelas brânquias, onde é filtrado o material em suspensão (fitoplâncton), e expelida pelo sifão exalante (Gosling 2004).

Os bivalves desempenham importante papel nas comunidades bentônicas dos ecossistemas estuarinos (Cortelezzi *et al.* 2007; Wong *et al.* 2010; Arocena & Rodriguez 2011), influenciando na hidrodinâmica local (Sgro *et al.* 2005; Ciutat *et al.* 2007), servindo como fonte de alimento e como

agentes de processos bioquímicos na coluna d'água através da ciclagem de nutrientes (Peterson & Heck 2001). Além disso, as espécies de bivalves infaunais de fundos inconsolidados, modificam as características físico-químicas do substrato, aumentando a oxigenação de camadas mais profundas do sedimento e promovendo desestabilização do sedimento (Gray & Elliot 2009).

O bivalve *Erodona mactroides* pertencente à família Erodonidea Winkworth 1932 e habita substratos inconsolidados de zonas mixohalinas. Sua distribuição é restrita à América do Sul, ocorrendo em estuários desembocaduras de rios, lagunas e arroios no sul do Brasil (Fonseca & Netto 2006; Colling *et al.* 2010), Uruguai (Jorcín 1996; Giménez *et al.* 2014) e Argentina (Darrigran 1999).

Sobre o aspecto de sua morfologia externa, apresenta lado anterior arredondado, posterior rostrado e valva direita maior que a esquerda (Rios 2009). Esta espécie de sífão curto habita os primeiros 5 cm do substrato e alimenta-se de matéria orgânica em suspensão na coluna d'água, apresentando hábito alimentar suspensívoro. Este processo de alimentação dá origem a um importante fluxo de energia entre a coluna d'água e o sistema bentônico (Bemvenuti & Colling 2010). Este bivalve apresenta um importante papel ecológico na Lagoa dos Patos, servindo de alimento para espécies de importante valor comercial (Capítoli & Ortega 1993; Ferreira *et al.* 2011) e como substrato para a fauna epibionte nos planos lamosos (Capítoli *et al.* 1978), principalmente para as cracas *Amphibalanus improvisus*.

Os primeiros registros de *E. mactroides* na Lagoa dos Patos foram realizados pelo naturalista alemão Herrmann Von Ihering, o qual se refere ao bivalve como *Corbula (Azara) labiata* (Von Ihering 1885). Closs (1962), em seu estudo sobre a distribuição de foraminíferos e tecamebas, cita a presença desta espécie na porção sul da laguna.

Levantamentos sobre a distribuição da macrofauna bentônica, mostram a ampla distribuição de *E. mactroides* na Lagoa dos Patos, sendo a espécie encontrada em quase todo corpo lagunar, com a presença de indivíduos de todas as classes de tamanho na região norte e central da laguna (Bemvenuti & Netto 1998). As densidades mais elevadas nesta região ocorrem nos fundos arenosos entre 1 e 3 m de profundidade (Bemvenuti *et al.* 1978).

Na região sul do estuário são encontrados exemplares juvenis de *E. mactroides*, que raramente ultrapassam um ano de vida (Bemvenuti *et al.* 1978; Bemvenuti 1998; Colling *et al.* 2010). Maiores densidades do bivalve nesta região foram observadas nas enseadas rasas (Bemvenuti 1998; Colling *et al.* 2007; 2010) e associados a pradarias de fanerógamas submersas (Asmus 1984). Os recrutamentos observados no sul do estuário originam-se das larvas geradas na porção norte, as quais são transportadas pela vazão em direção às enseadas dessa região (Bemvenuti *et al.* 1978; Bemvenuti 1998). Massivas mortalidades foram observadas no fim do outono na porção sul estuarina, relacionadas a eventos de deposição de silte e argila (Colling *et al.* 2010), os quais podem entupir as estruturas filtradoras da espécie (Bemvenuti *et al.* 1978).

Durante acompanhamento temporal da macrofauna bentônica e da espécie na região estuarina, foi observada a ocorrência de densos recrutamentos do bivalve em uma enseada do Saco do Arraial, região estuarina da Lagoa dos Patos (Colling *et al.* 2007; 2010). Estes recrutamentos foram associados às elevadas vazões na laguna, devido à ocorrência do fenômeno *El Niño*.

O *El Niño* é um fenômeno climático natural que ocorre em intervalos de 2 a 7 anos (Collins *et al.* 2010). Este fenômeno está relacionado ao aquecimento da temperatura superficial do mar (TSM) no Pacífico tropical, em associação ao enfraquecimento dos ventos alísios (Timmermann *et al.* 1999), apresentando impactos no clima global (Cai *et al.* 2014). Durante o *El Niño* é observado um aumento significativo na precipitação no sul da América do Sul e Brasil (Grimm *et al.* 2000). Na Lagoa dos Patos, este fenômeno é responsável por um aumento significativo na vazão, relacionado às elevadas descargas d'água dos principais rios que compõem a bacia de drenagem (Marques & Möller 2012). Estes períodos de elevadas vazões também são relacionados ao aumento do nível da laguna e por salinidades próximas de 0 até a região da desembocadura da Lagoa dos Patos (Fernandes *et al.* 2002).

Um período sob condições límnicas na região estuarina devido à influência do evento *El Niño*/2002-2003, foi associado à ausência da *E. mactroides*, maiores percentuais de sedimentos finos (silte e argila) e menores percentuais de matéria orgânica. Um cenário distinto foi caracterizado pela predominância de condições mixohalinas e recrutamentos do bivalve,

relacionados à menores percentuais de finos e maiores percentuais de matéria orgânica no substrato (Colling *et al.* 2010).

Baseado na informação de que os recrutamentos da espécie na região estuarina da Lagoa dos Patos são influenciados pelo aumento da vazão, relacionados e associados a eventos *El Niño*, a presente dissertação foi dividida em dois capítulos. O primeiro caracteriza as condições hidrológicas desta região no período entre 2014-2015, associado à ocorrência do *El Niño*/2015-2016 e avalia o aporte de larvas do bivalve em 4 setores distintos, localizados nas enseadas rasas estuarinas. Além disso, avalia possíveis diferenças de densidades da *E. mactroides* nos diferentes setores e as relacionam aos parâmetros ambientais da coluna d'água e do substrato.

O segundo capítulo compara as condições hidrológicas da região estuarina da Lagoa dos Patos em dois períodos distintos (2002-2003 e 2014-2015) influenciados pelo fenômeno *El Niño*. Além disso, explora as relações entre as densidades e estrutura de tamanhos de *E. mactroides* em uma mesma enseada rasa situada no Saco do Arraial, durante os períodos influenciados pelo fenômeno *El Niño*/2002-2003 e *El Niño*/2015-2016.

REFERÊNCIAS

- AROCENA & RODRIGUEZ. 2011. Small-scale structure of macrophytes and macrobenthos in coastal 'Laguna de Rocha'. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 6 (2): 148-160.
- ASMUS, M.L. 1984. Estrutura da comunidade associada a *Ruppia maritima* no estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. Dissertação de Mestrado. Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Rio Grande, RS - Brasil. 154 p.
- BEMVENUTI, C.E. Invertebrados Bentônicos. 46-51. *In*: SEELIGER, U., ODEBRECHT, C. & CASTELLO, J.P (Eds). Os ecossistemas costeiro e marinho do Extremo Sul do Brasil. Rio Grande: Ecoscientia, 1998. 341 p.
- BEMVENUTI, C.E & NETTO, S.A. 1998. Distribution and seasonal patterns of the sublittoral benthic macrofauna of Patos Lagoon (South Brazil). *Revista Brasileira de Biologia*, 58 (2): 211-221.
- BEMVENUTI, C.E. & COLLING, L.A. 2010. Relações tróficas na comunidade bentônica da região estuarina da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. *Cadernos de Ecologia Aquática*, 5: 1-8.
- BEMVENUTI, C.E., CAPÍTOLI, R.R & GIANUCA, N.M. 1978. Estudos de Ecologia Bentônica na Região Estrutural da Lagoa dos Patos II – Distribuição Quantitativa do Macrobentos Infralitoral. *Atlântica*, 3: 23-32.
- BOGAN, E.A. 2008. Global diversity of freshwater mussels (Mollusca, Bivalvia) in freshwater. *Hidrobiologia*, 595: 139-147.

- CAI, W., BORLACE, S., LENGAIGNE, M., RENSCH, P., COLLINS, M., VECCHI, G., TIMMERMANN, A., SANTOSO, A., McPHADEN, M.J., WU., ENGLAND, M.H, WANG, G., GUILYARDI, E. & JIN, F. 2014. Increasing frequency of extreme *El Niño* events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change*, doi: 10.1038/NCLIMATE2100.
- CAPÍTOLI, R.R. & ORTEGA, E.L. 1993. Contribuição ao conhecimento do espectro trófico de *Cyrtograpsus angulatus* Dana nas enseadas vegetadas de águas rasas da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. *Nauplius*, 1: 81-87.
- CAPÍTOLI, R.R., BEMVENUTI, C.E. & GIANUCA, N.M. 1978. Estudos de ecologia bentônica na região estuarial da Lagoa dos Patos, I. Comunidades bentônicas. *Atlântica*, 3: 5-21.
- CIUTAT, A., WIDDOWS, J. & POPE, N.D. 2007. Effect of *Cerastoderma edule* density on near-bed hydrodynamics and stability of cohesive muddy sediments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 346: 114-126.
- CLOSS, D. 1962. Foraminíferos e tecamebas da Lagoa dos Patos. *Boletim da Escola de Geologia de Porto Alegre*, 11: 1-130.
- COLLING, L.A., BEMVENUTI, C.E. & GANDRA, M.S. 2007. Seasonal variability on the structure of sublittoral macrozoobenthic association in the Patos Lagoon estuary, southern Brazil. *Iheringia Série Zoologia*, 97:257-263.

- COLLING, L.A. BEMVENUTI, C.E & PINOTTI, R.M. 2010. Temporal variability of the bivalvo *Erodona mactroides* BOSCH, 1802 during and after the *El Niño* phenomenon (2002/2003) in a subtropical lagoon, southern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 22 (4): 410-423.
- COLLINS, M., NA, S., CAI, W., GANACHAUD, A., GUILYARDI, E., JIN, F., JOCHUM, M., LENGAINNE, M., POWER, S., TIMMERMANN, A., VECCHI, G. & WITTENBERG. 2010. The impact of global warming on the tropical Pacific Ocean and *El Niño*. *Nature Geoscience*, doi: 10.1038/ngeo868.
- CORTELEZZI, A., CAPÍTULO, A.R., BOCCARDI, L. & AROCENA, R. 2007. Benthic assemblages of a temperate estuarine system in South America: Transition from a freshwater to an estuarine zone. *Journal of Marine Systems*, 68: 569-580.
- DARRIGRAN, G.A. 1999. Spatial and temporal changes of the malacofauna from a sandy shore in the Río de La Plata, Argentina. *Malacological Review*, 31/32 (2): 101 – 115.
- FERNADES, E.H.L., DYER, K.R., MÖLLER, NIENCHESKI, L.F.H. 2002. The Patos Lagoon hydrodynamic during an *El Niño* event (1998). *Continental Shelf Research*. 22: 1699-1713.

- FERREIRA, L.S. BARROS, A., BARUTOT, R.A. & D'INCAO, F. 2011. Comparação da dieta natural do siri-azul *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Crustacea: Decapoda: Portunidae) em dois locais no estuário da Lagoa dos Patos, Rs, Brasil. *Atlântica*, 33 (2): 115-122, doi: 10.5088/atl.2011.33.2.115.
- FONSECA, G. & NETTO, S.A. 2006. Shallow sublittoral benthic communities of the Laguna estuarine system, south Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 54: 41-54.
- GIMÉNEZ L., VENTURINI, N., KANDRATAVICIUS, N., HUTTON, M., LANFRANCONI, A., RODRÍGUEZ, M., BRUGNOLI, E. & MUNIZ, P. 2014. Macrofaunal patterns and animal–sediment relationships in Uruguayan estuaries and coastal lagoons (Atlantic coast of South America). *Journal of Sea Research*, 87 (2014): 46-55.
- GOSLING, E. 2004. Bivalve Molluscs: Biology, Ecology and Culture. Fishing News Books, Oxford, 443 p.
- GRAY, J. S. ELLIOTT, M. 2009. Ecology of Marine Sediments. New York, Oxford University Press. 225 p.
- GRIMM, A.L., BARROS, V.R. & DOYLE, M.E. 2000. Climate variability in Southern South America Associated with *El Niño* an *La Niña* events. *American Meteorological Society*, 13: 35-58.

- HALLAN, A., COLGAN, D.J., ANDERSON, L.C., GARCÍA, A. & CHIVAS, A.R. 2013. A single origin for the limnetic-euryhaline taxa in the Corbulidae (Bivalvia). *The Norwegian Academy of Science and Letters*, 42 (3): 278-287.
- JORCÍN, A. 1996. Distribucion, abundancia y biomassa de *Erodona mactroides* DAUDIN 1801 (Mollusca, Bivalvia) en la Laguna de Rocha (Dpto. De Rocha, Uruguay). *Revista Brasileira de Biologia*, 56: 152-162.
- MARQUES, W.C. MÖLLER, O.O. 2012. The temporal variability of the freshwater discharge and water levels at the Patos Lagoon, Brazil. *International Journal of Geosciences*, 3: 758-766.
- PETERSON, B.J. & HECK, J.K.L. 2001. An experimental test of the mechanism by which suspension-feeding bivalves elevate seagrass productivity. *Marine Ecology Progress Series*, 218: 115-125.
- RIOS, E. Compendium of brazilian sea shells. Rio Grande, Evangraf, 2009. 668 p.
- SGRO, L., MISTRI, M. & WIDDOWS, J. 2005. Impact of the infaunal Manila clam, *Ruditapes philippinarum*, on sediment stability. *Hidrobiologia*, 550: 175-182.
- TIMMERMANN, A., OBERHUBER, J., BACHER, A., ESCH, M., LATIF, M. & ROECKNER, E. 1999. Increased *El Niño* frequency in a climate model forced by future greenhouse warming. *Nature*, 398: 694-397.
- VON IHERING, H.F.A. 1885. Die Lagoa dos Patos. *Deutsche Geographische Blatter*, 2: 164-203.

- WARD, J.E. & SHUMWAY, S.E. 2004. Separating the grain from the chaff: particle selection in suspension- and deposit-feeding bivalves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 300: 83-130.
- WONG, W.H., RABALAIS, N.N. & TURNER, R.E. 2010. Abundance and ecological significance of the clam *Rangia cuneata* (Sowerby, 1831) in the upper Barataria Estuary (Louisiana, USA). *Hydrobiology*, 651: 305-3015.
- ZWARTS, L. & WANINK. 1989. Siphon size and burying depth in deposit- and suspension-feeding benthic bivalves. *Marine Biology*, 100:227-249.

CAPÍTULO 1

DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DE *Erodona mactroides* BOSC 1801 EM DIFERENTES ENSEADAS RASAS DO ESTUÁRIO DA LAGOA DOS PATOS

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas estuarinos são conhecidos por apresentarem baixo grau de previsibilidade e grande variabilidade dos parâmetros ambientais, resultando em uma baixa riqueza de espécies (Elliot & Quintino 2007). Nos estuários, o tempo e a magnitude da descarga de água doce podem afetar a salinidade, o nível d'água e as características do substrato, apresentando importante papel na distribuição espaço-temporal das comunidades bentônicas (Norkko *et al.* 2001; Xu & Wu. 2006; Wilson & Fleeger 2013).

Os ecossistemas estuarinos são influenciados pelas interações entre as condições climáticas, descargas continentais e características oceanográficas (Kjerfve *et al.* 2001). No estuário do Rio Amazonas, por exemplo, as condições hidrodinâmicas/ físico-químicas da água e a dinâmica sedimentar são controladas por fluxos sazonais da bacia de drenagem, marés e correntes oceânicas (Kineke & Sternberg 1995). Da mesma forma, no estuário do Rio da Prata, as condições hidrológicas da bacia de drenagem, regime de ventos, além dos processos oceanográficos que ocorrem na zona costeira adjacente, são as principais forçantes controladoras das condições estuarinas (Piedra-Cueva & Fossati 2007).

Situada no extremo sul do Brasil, a Lagoa dos Patos caracteriza-se pela presença de uma região estuarina que conecta a laguna com a região costeira adjacente. A direção e intensidade dos ventos, além das taxas de precipitação, determinam a hidrodinâmica, condições físico-químicas e dinâmica de sedimentos. (Costa *et al.* 1988). A ação das altas taxas de precipitação e o conseqüente aumento da descarga fluvial determinam o

transporte de expressivas concentrações de silte e argila para região estuarina (Calliari *et al.* 2009).

A descarga de água doce e o regime de ventos são responsáveis por controlar as condições de salinidade no estuário da Lagoa dos Patos (ELP). De modo geral, as menores salinidades ocorrem no inverno e na primavera, relacionadas a períodos de maior aporte fluvial e ventos do quadrante N. As maiores salinidades são observadas no verão e outono, associadas ao menor aporte de água doce e ventos do quadrante S (Costa *et al.* 1988).

A variabilidade interanual da pluviosidade e da descarga de água continental acima da média, está associada à ocorrência dos fenômenos climáticos como o *El Niño* - Southern Oscillation, ENSO (Möller *et al.* 2009; Marques *et al.* 2014). Durante eventos de *El Niño* ocorre um aumento significativo da precipitação no verão e outono, influenciando a estrutura da comunidade zooplânctônica (Muxagata *et al.* 2012), bentônica (Colling *et al.* 2007) e da ictiofauna (Garcia *et al.* 2004) no ELP.

O bivalve *Erodona mactroides* Bosc 1801 é um habitante de regiões mixohalinas que ocorre estritamente na costa da América do Sul (Rios 2009), em estuários, desembocaduras de rios, lagoas e arroios na costa do Brasil (Colling *et al.* 2010), Uruguai (Scarabino *et al.* 2016) e Argentina (Cortelezzi *et al.* 2007). Na Lagoa dos Patos ocorre no infralitoral até a borda dos canais (até 6 m de profundidade), em praticamente todo o corpo lagunar, com exceção da região do Rio Guaíba, ao norte da laguna (Bemvenuti & Netto 1998).

Esta espécie possui habito superficial, ocupando os primeiros 5 cm do substrato, e utiliza o seu sifão curto para filtrar matéria orgânica e fitoplâncton

em suspensão (Bemvenuti & Netto 1998; Rosa & Bemvenuti 2006). No ELP esta espécie desempenha um importante papel ecológico, servindo de alimento para espécies de peixes (Garcia *et al.* 2007) e crustáceos (Oliveira *et al.* 2006; Ferreira *et al.* 2011), além de atuar como substrato duro para o epibionte *Amphibalanus improvisus* nos fundos lamosos da região (Capítoli *et al.* 1978). Os assentamentos de *A. improvisus* sobre as conchas de *E. mactroides* também são observados no Arroio Pando no Uruguai (Passadore *et al.* 2007)

Nas zonas límnicas e pré-límnicas a montante do ELP todas as classes de tamanho (Bemvenuti *et al.* 1978; Capítoli *et al.* 1978). Elevadas densidades na região estuarina são observadas associadas a regimes de vazante, onde é notada a presença de organismos juvenis, que raramente ultrapassam 1 ano de vida devido a eventos de mortalidade associados à intensa deposição de silte e argila, responsável pelo entupimento das estruturas filtradoras do bivalve (Bemvenuti 1998; Geraldi 2002; Colling *et al.* 2010). Em amostragens mensais desenvolvidas durante o *El Niño* e pós- *El Niño* 2002/2003, foram observadas associações entre a diminuição da descarga de água doce, aumento da salinidade e ocorrência de recrutamentos de juvenis da espécie no bentos (Colling *et al.* 2010).

A hipótese do presente estudo é de que, considerados os recrutamentos que ocorrem associados a eventos de alta vazão no estuário da Lagoa dos Patos, as colonizações do bivalve no ambiente bentônico ocorrem homogeneamente nas distintas enseadas rasas desta região estuarina. Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo: (1) caracterizar as condições hidrológicas e sedimentares no ELP associadas ao evento *El Niño*/2015-2016;

(2) avaliar as densidades de larvas de bivalves no zooplâncton do baixo estuário; (3) avaliar as possíveis diferenças de densidade de *E. mactroides* em distintas enseadas rasas do baixo estuário.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido em quatro setores distribuídos no ELP, sendo três localizados no Saco do Arraial, ao sul da região estuarina (S1 - Ilha das Pombas, S2 - Saco do Justino e S3 - Ilha dos Marinheiros), e um setor situado na porção norte do estuário (S4 - Laranjal) (Fig. 1). As amostragens ocorreram em uma transversal de aproximadamente 450 m (Fig. 1).

2.1 PARÂMETROS AMBIENTAIS

A caracterização das condições hidrológicas do ELP durante os períodos 2014-2015 ocorreu através da avaliação de dados de temperatura (termômetro), salinidade (refratômetro ótico) e profundidade da coluna d'água (régua graduada - cm) coletados na localidade de Porto Rei (Próximo ao setor S1), adquiridos junto ao Banco de Dados do projeto "Estudos de longa duração para avaliação de impactos naturais e antrópicos no Estuário da Lagoa dos Patos e Costa Adjacente", PELD – Programas Ecológicos de Longa Duração, para o período setembro/2014 a novembro/2015. Dados de vazão, entre setembro/2014 e setembro/2015, dos principais tributários (Jacuí, Taquari, Sinos e Camaquã) foram obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA 2015). O *Oceanic Niño Index* (ONI), disponibilizado pela agência *National*

Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA (NOAA 2015), e o *Southern Oscillation Index* (SOI), disponibilizado pela *Australian Government Bureau of Meteorology – BOM* (BOM 2015), foram verificados para confirmar a ocorrência de anomalias na região *Niño* 3.4 (5° N-5° S; 120°-170° W).

Inicialmente foram previstas amostragens a partir de outubro/2014 (primavera/2014) até setembro/2015 (inverno/2015) nos setores S1, S2, S3, posteriormente foi adicionado mais um ponto amostral ao norte do ELP, o setor S4. Dessa forma, as amostragens nesse setor começaram em novembro/2014. Devido à ausência de recrutamentos consistentes nos setores S2, S3 e S4, optou-se por pelo encerramento das amostragens no inverno/2015 (agosto/2015). Já no setor S1, durante o processo de triagem das amostras, foram observados recrutamentos de *E. mactroides* a partir do final do verão/2015, e optou-se pelo acompanhamento temporal até o fim da primavera/2015 (dezembro/2015), com exceção do mês de setembro/2015, o que possibilitou observar o desenvolvimento dos recrutas por um período maior do inicialmente planejado. Devido a esta peculiaridade em relação aos demais pontos, os resultados observados no setor S1 serão apresentados com maior detalhe.

Em cada mês, foram coletadas 4 amostras de sedimento por setor para análises granulométricas, com auxílio de um tubo de PVC com 10 cm de diâmetro, enterrado até a profundidade de 10 cm no interior do substrato. Com uma alíquota de 100 g de sedimento foram avaliadas as frações de areia, através do peneiramento (> 0,062 mm de diâmetro), e finos (silte + argila), por pipetagem (< 0,062 mm de diâmetro), seguindo o método de Suguio (1973).

Das mesmas amostras foram separadas alíquotas de aproximadamente 30 g para a determinação do teor de matéria orgânica, que consiste na secagem dos sedimentos em uma estufa a 60 °C. Quando livres de umidade, os sedimentos foram levados à mufla à temperatura de 550 °C por 5 horas, posteriormente pesados e a diferença de peso representou o conteúdo de matéria orgânica volatilizada (Davies 1974).

2.2 PARAMÊTROS BIOLÓGICOS

Seguindo a mesma estratégia temporal de amostragem, foram coletadas 12 réplicas em cada um dos setores amostrais, com auxílio de um tubo de PVC com 10 cm de diâmetro, posteriormente peneiradas com uma malha de 300 µm de abertura e fixadas em formaldeído 4%. Em laboratório os exemplares de *E. mactroides* foram identificados com auxílio de um microscópio estereoscópico e separados do sedimento para posterior medição. As medições foram realizadas com auxílio de uma escala milimétrica (0,5 mm de exatidão) sob uma Placa de Petry em microscópio estereoscópico, onde foram tomadas medidas do comprimento anteroposterior da valva direita. Foram considerados juvenis recém-assentados os organismos entre 0,5 mm e 3 mm de tamanho, seguindo Colling *et al.* (2010).

Foram desenvolvidas amostragens mensais do meroplâncton em cada setor, mediante arrasto horizontal, com auxílio de uma rede do tipo Bongo de 0,3 m de diâmetro de abertura e malha de 90 e 200 µm, providas de fluxômetros calibrados. Os arrastos ocorreram sob uma área de aproximadamente 90 m, com o volume filtrado de aproximadamente 2 m³ (100

revoluções no fluxômetro). Os organismos coletados *in situ* foram preservados em garrafas de 1 L (previamente identificadas) com formaldeído 4% e levados para triagem no Laboratório de Zooplâncton (IO - FURG) e identificados até o nível de Bivalvia e considerados *E. mactroides*.

2.3 ANÁLISE DOS DADOS

Para os cálculos de densidade e posterior representação gráfica das larvas de Bivalvia encontradas no presente estudo, foram utilizados os organismos obtidos na rede com malha de 90 μm , pois esta apresentou maior eficiência na captura dos indivíduos, quando comparada à malha de 200 μm .

Uma média da profundidade da coluna d'água dos últimos dez anos (entre janeiro/2005 e novembro/2015) foi calculada para registrar possível anomalia do nível d'água na Lagoa dos Patos no período de estudo.

Dados diários das variáveis ambientais salinidade, altura da coluna d'água e vazão foram classificados em estações do ano e utilizados para Análises de Variância (ANOVA, uma via, $\alpha < 0,05$) para testar possíveis diferenças sazonais, quando encontradas foram submetidos a teste *Post - Hoc* (Tukey, N-desigual). Diferenças nos teores de silte e argila e matéria orgânica no substrato foram testados entre os setores, bem como entre as estações do ano dentro de cada setor, através da Análise de Variância (ANOVA, uma via, $\alpha < 0,05$), quando encontradas foram submetidos a teste *Post Hoc* (N-desigual). Para isso os meses foram agrupados para compor as estações do ano da seguinte forma: primavera/2014 (outubro a dezembro/2014), verão/2015

(janeiro a março/2015), outono/2015 (abril a junho/2015), inverno/2015 (julho a agosto/2015) e primavera/2015 (outubro a dezembro/2015).

Para analisar a variabilidade de *E. mactroides* no espaço/tempo, médias mensais foram consideradas réplicas das estações, seguindo o mesmo agrupamento dos meses para formação de estações para os parâmetros abióticos. Possíveis diferenças nas densidades da *E. mactroides* entre os setores amostrais e sazões foram testadas através da ANOVA (uma via, $\alpha < 0,05$). Quando encontradas diferenças significativas foram realizados testes de *Post Hoc* (N-desigual).

Análises de correlação foram executadas entre as variáveis ambientais e as densidades da *E. mactroides* encontradas no setor S1 (onde foram observadas maiores densidades médias e recrutamentos da espécie). Os dados paramétricos foram submetidos à correlação de Pearson ($\alpha < 0,05$) e os não paramétricos à correlação de Spearman ($\alpha < 0,05$). Para as correlações entre a profundidade da coluna d'água, salinidade, percentual de finos, percentual de matéria orgânica e densidades médias de *E. mactroides* foram utilizadas médias mensais entre outubro/2014 e novembro/2015. As correlações da vazão com as demais variáveis foram realizadas com médias mensais de outubro/2014 a setembro/2015 (último registro mensal obtido).

3. RESULTADOS

A temperatura da coluna d'água mostrou um padrão sazonal, sendo a média sazonal mais baixa registrada no inverno/2015 ($\bar{x} = 16,3 \text{ } ^\circ\text{C}; \pm 2$), e a mais alta no verão/2015 ($\bar{x} = 26,3 \text{ } ^\circ\text{C}; \pm 1,9$) (Fig. 2A).

Os valores de salinidade, profundidade da coluna d'água e vazão variaram significativamente entre as estações durante o período de estudo (Tab. 1). As salinidades mais baixas foram registradas na primavera/2014 ($\bar{x} = 0,8 \pm 1,6$) e primavera/2015 ($\bar{x} = 0,0 \pm 0,0$) (Fig. 2B). Valores mais elevados foram encontrados no verão/2015 ($\bar{x} = 2,6 \pm 3,2$) e outono/2015 ($\bar{x} = 8,2 \pm 6,6$) (Fig. 2B).

A média da profundidade da coluna d'água entre 2005 e 2015 foi de 40,6 cm. Valores abaixo da média da última década foram encontrados no verão/2015 ($\bar{x} = 39,9 \text{ cm} \pm 17,4$) e outono/2015 ($\bar{x} = 34 \text{ cm} \pm 18,3$), quando também ocorreram as menores médias de vazão: $1.513,8 \text{ m}^3.\text{s}^{-1} (\pm 1.182,6)$ e $967,4 \text{ m}^3.\text{s}^{-1} (\pm 697,5)$, respectivamente (Fig. 2C; 2D). Os registros diários da profundidade da coluna d'água mostram valores mais elevados no inverno/2015 ($\bar{x} = 74,9 \text{ cm} \pm 30,3$) e primavera/2015 ($\bar{x} = 101,4 \text{ cm} \pm 36,6$), acima da média histórica (Fig. 2C). As maiores vazões ocorreram na primavera/2014 ($\bar{x} = 2.737,2 \text{ m}^3.\text{s}^{-1} \pm 2215,7$) e Inverno/2015 ($\bar{x} = 2.160,8 \text{ m}^3.\text{s}^{-1} \pm 2.046,1$) (Fig. 2D).

O sedimento dos setores S1, S2 e S3 apresentou características granulométricas semelhantes, composto principalmente por areia e finos (silte/argila) (Fig. 3A, 3B, 3C, respectivamente). Por sua vez, às análises

granulométricas indicaram que o setor S4 é composto principalmente de sedimentos grossos e areias (Fig. 3D). Diferenças espaciais no percentual de finos foram encontradas entre os setores (Tab. 1). Diferenças sazonais significativas dos percentuais de finos foram observadas no S1 e S3 (Tab. 1).

Nos setores S1 e S2 as menores porcentagens de sedimentos finos ocorreram no outono/2015 ($\bar{x} = 6,4 \%$; $\pm 1,8$) e primavera/2014 ($\bar{x} = 4,1 \%$; $\pm 1,6$), sendo as mais elevadas na primavera/2014 ($\bar{x} = 11,6 \%$; $\pm 3,1$) e verão/2015 ($\bar{x} = 8,4 \%$; $\pm 4,8$) (Fig. 3A; 3B, respectivamente). Já o setor S3 apresentou menor registro de finos no verão/2015 ($\bar{x} = 9,2 \%$; ± 4) e mais elevado no inverno/2015 ($\bar{x} = 13,9 \%$; $\pm 2,6$) (Fig. 3C). Menores porcentagens de finos foram registradas no setor S4, sendo a mais baixa observada no outono/2015 ($\bar{x} = 0,8 \%$; $\pm 0,6$) e a mais elevada no inverno/2015 ($\bar{x} = 1,9 \%$; $\pm 0,9$) (Fig. 3D).

Já a matéria orgânica variou significativamente entre as estações apenas nos S1 e S2 (Tab. 1). No S1 o valor mínimo observado ocorreu no primavera/2014 ($\bar{x} = 0,1 \%$ $\pm 0,0$) e inverno/2015 ($\bar{x} = 0,1 \%$ $\pm 0,1$) e o mais elevado no outono/2015 ($\bar{x} = 1,2 \%$; $\pm 0,4$) (Fig. 4A). No S2 a menor porcentagem ocorreu na primavera/2014 ($\bar{x} = 0,2 \%$ $\pm 0,1$) e a maior no outono/2015 ($\bar{x} = 1 \%$; $\pm 0,1$), enquanto que no S3 a mais baixa ocorreu no inverno/ 2015 ($0,3 \%$ $\pm 0,5$) e a maior no verão/2015 ($\bar{x} = 1,5 \%$; $\pm 0,8$) (Fig.4B, 4C, respectivamente). O setor S4 apresentou o menor percentual de matéria orgânica no inverno/2015 ($\bar{x} = 0,0 \%$; ± 0) e maior no verão/2015 ($\bar{x} = 1,5 \%$; $\pm 1,9$) (Fig. 4D).

O setor S1 caracterizou-se pelas maiores densidades na verão/2015 ($\bar{x} = 1.012 \text{ ind.m}^{-3} \pm 1.117$) e primavera/2015 ($\bar{x} = 1.131 \text{ ind.m}^{-3} \pm 1.405$) e ausência no inverno/2015 (Fig. 5). No setor S2 foi registrado a presença de larvas de *Bivalvia* somente no verão/2015 ($\bar{x} = 117,5 \text{ ind.m}^{-3} \pm 203,5$) (Fig. 5). Nos setores S3 e S4 as maiores densidades também ocorreram durante a primavera/2014 ($\bar{x} = 137 \text{ ind.m}^{-3}$; $39 \text{ ind.m}^{-3} \pm 220$; 57 , respectivamente), a partir desta estação não foi registrada a presença de larvas no setor S4 (Fig. 5). No S3 a ausência de larvas se deu a partir do verão/2015, quando foi registrada a menor média deste setor ($\bar{x} = 30 \text{ ind.m}^{-3} \pm 53$) (Fig. 5).

Foram coletados 7.541 exemplares de *E. mactroides* em todos os setores amostrais. As densidades médias variaram significativamente, de modo que baixas densidades foram encontradas no S2 ($\bar{x} = 7 \text{ ind.m}^{-2} \pm 43$), S3 ($\bar{x} = 60 \text{ Ind.m}^{-2} \pm 148$) e S4 ($\bar{x} = 189 \text{ ind.m}^{-2} \pm 198$), quando comparadas às maiores do S1 ($\bar{x} = 4.872 \text{ Ind.m}^{-2} \pm 6.326$) (Tab. 1) (Fig. 6)

Diferenças significativas das densidades médias entre as estações do ano foram observadas no S1 (Tab. 1; Fig. 7). Neste setor, as densidades médias mais baixas ocorreram entre a primavera/2014 ($\bar{x} = 140 \text{ Ind.m}^{-2} \pm 226$) e verão/2015 ($\bar{x} = 2.642 \text{ Ind.m}^{-2} \pm 4620$) (Fig. 7). As densidades mais elevada do bivalve ocorreram no outono/2015 ($\bar{x} = 12.425 \text{ Ind.m}^{-2} \pm 9.038$) e inverno/2015 ($\bar{x} = 6.341 \text{ Ind.m}^{-2} \pm 2.664$) (Fig. 7A).

No setor S2 as densidades não variaram significativamente entre as estações, sendo observada a ocorrência da espécie apenas no verão/2015 ($\bar{x} = 18 \text{ ind.m}^{-2} \pm 76$) e outono/2015 ($\bar{x} = 11 \text{ ind.m}^{-2} \pm 67$) (Fig. 7B). No S3, as

densidades médias do bivalve foram mais elevadas na primavera/2014 ($\bar{x} = 132 \text{ ind.m}^{-2} \pm 135$) e menores no outono/2015 ($\bar{x} = 14 \text{ ind.m}^{-2} \pm 67$) (Fig. 7C).

No setor S4 a espécie foi encontrada ao longo de todas as estações e suas densidades médias não variaram sazonalmente (Fig. 7), sendo a densidade média mais baixa registrada no inverno/2015 ($\bar{x} = 134 \text{ Ind.m}^{-2} \pm 171$) e a maior no verão/2015 ($\bar{x} = 239 \text{ Ind.m}^{-2} \pm 171$) (Fig. 7D).

A análise das distribuições de frequência de comprimento de *E. mactroides* obtidos no setor S1 mostraram que a maioria dos indivíduos que ocorreram no verão/2015 e outono/2015 foram classificados entre 0,5 a 2 mm e 0,5 a 3 mm (Fig. 8A, 8B, respectivamente). Um deslocamento das classes de tamanho dos organismos foi observado no inverno/2015, quando organismos menores que 1 mm não foram observados, sendo a maioria nesta estação classificados entre 2 e 5 mm (Fig. 8C). Na primavera/2015 que apresentou indivíduos, em sua maioria, entre 3,5 – 6,5 mm (Fig. 8D).

Correlações significativas foram encontradas entre as variáveis ambientais e biológicas, sendo a profundidade da coluna d'água positivamente correlacionada com a vazão ($r^2 = 0,44$; $p = 0,017$) e negativamente correlacionada com a salinidade ($\rho = -0,81$; $p = 0,000$) (Tab. 2). A vazão apresentou correlação negativa com a salinidade ($\rho = -0,58$; $p = 0,048$). As densidades da *E. mactroides* estiveram negativamente correlacionadas com os percentuais de sedimentos finos ($\rho = -0,755$; $p = 0,002$) e diretamente com os teores de matéria orgânica no substrato ($\rho = 0,578$; $p = 0,039$) (Tab. 2).

4. DISCUSSÃO

Durante o estudo, o estuário da Lagoa dos Patos caracterizou-se por longos períodos de baixa salinidade (da primavera/2014 até o verão/2015 e do inverno/2015 à primavera/2015) quando ocorreram elevadas vazões e profundidade da coluna d'água acima da média histórica. Este cenário foi associado ao evento *El Niño*/2015-2016 na região, o qual apresentou influência nas condições hidrológicas do ELP a partir da primavera/2014, período em que ainda estava em formação (MCTI 2014). O estabelecimento do fenômeno *El Niño* ocorreu no verão/2015, porém com forte intensidade no inverno e primavera/2015 (NOAA 2015). Na Lagoa dos Patos o fenômeno *El Niño* é responsável por um aumento nas descargas dos rios e de ventos de NE, acarretando em um forte fluxo de vazante em direção à desembocadura do estuário, podendo persistir por vários meses (Möller & Fernandes 2010; Marques *et al.* 2014).

No presente estudo, os sedimentos do setor S4 (à montante da região estuarina) apresentaram características distintas em relação aos demais, composto principalmente por frações de areia e sedimentos grossos, com baixo percentual de finos. Localizado na costa noroeste do estuário da Lagoa dos Patos, o S4 está situado em uma praia estuarina, a qual apresenta em sua porção infralitoral sedimentos compostos principalmente por areias grossas, médias e finas, com pequenas porcentagens de silte e argila. Esta área está submetida à intensa ação hidrodinâmica, sendo influenciada pelo regime de ventos (Fisher & Calliari 2011).

Já os setores localizados no baixo estuário (S1, S2 e S3) apresentaram características sedimentológicas semelhantes. A região do baixo estuário é caracterizada pela presença das enseadas rasas protegidas, com reduzida hidrodinâmica que se desenvolvem nas margens das Ilhas (Costa 1998). Estes ambientes apresentam sedimentos compostos principalmente por frações de finos, uma vez que estes encontram nas enseadas rasas condições hidrodinâmicas menos intensas que permitem sua deposição (Calliari 1998; Souza-Vieira & Hartmann 2008). Maiores percentuais de finos ocorreram no S1 e S3.

As maiores concentrações de sedimentos finos no substrato ocorreram quando as vazões foram mais elevadas, evidenciando a relação entre essas duas variáveis. A distribuição de sedimentos finos está relacionada ao transporte e posterior deposição por perda de competência das correntes geradas pela circulação local (De Oliveira 2015). Normalmente, maior transporte de sedimento em suspensão são observadas em épocas de maior vazão nos estuários (Dyer 1986). No caso da Lagoa dos Patos o transporte de finos está associado ao aumento das taxas pluviométricas da bacia de drenagem do sistema Patos-Mirim (Calliari, 1998). Em períodos de *El Niño* a carga de sedimentos em suspensão é, em média, de 70 mg/l, podendo aumentar significativamente em ocasiões de descarga máxima (Calliari *et al.* 2010).

No presente estudo maiores densidades de *E. mactroides*, larvas de Bivalvia e recrutamentos consistentes foram observados no setor S1. As variações de densidades da espécie entre os setores, no presente estudo,

podem estar ligadas a condições hidrodinâmicas específicas dos locais analisados, afetando o suprimento larval e os posteriores assentamentos. A distribuição dos bivalves é influenciada pela hidrodinâmica local, além de estar relacionada a padrões de dispersão larval (Vaughn & Taylor 2000; Gosling 2004; Jowett 2003; Morales *et al.* 2006). As densidades de larvas de bivalves podem variar consideravelmente em pequena escala espacial (dezenas de metros) e serem submetidas a variações diárias e sazonais (de Vooy 1999; Arnold *et al.* 2005; Larsen *et al.* 2007), relacionadas com os ciclos e estratégias reprodutivas de cada espécie (Vance 1973). Além disso, estas variações espaço-temporais podem estar associadas a condições hidrodinâmicas, como ondas, marés, correntes e vazão, que atuam no processo de transporte destes organismos (Connoly & Roughgarden 1999; Bohn *et al.* 2013; Larsen *et al.* 2007). Mesmo com a grande importância dos bivalves para a dinâmica das populações, comunidades e ecologia dos ecossistemas marinhos e estuarinos, poucos trabalhos abordam a dinâmica espaço-temporal destes indivíduos em seus estágios larvais, pois a identificação em nível de espécie nos primeiros estágios de vida é muito difícil e requer um extenso esforço amostral e respectiva identificação taxonômica (Garland & Zimmer 2002).

O setor S4 (praia do laranjal) foi caracterizado pela baixa densidade de larvas de Bivalvia, presença de organismos adultos de *E. mactroides* e baixas densidades de juvenis (*Obs. pess.*). Este setor representa o setor norte da região estuarina da Lagoa dos Patos, local onde são encontrados extensos bancos de adultos com a presença de organismos de até 30 mm, associados a presença de sedimentos grossos com baixos percentuais de silte argila

(Bemvenuti *et al.* 1978; Bemvenuti & Netto 1998; Geraldi 2002). Sabe-se que locais com menores quantidades de sedimentos finos e baixa hidrodinâmica são propícias para o desenvolvimento da espécie na Lagoa dos Patos (Geraldi 2002), pois bivalves de sifão curto, como a *E. mactroides*, estão sujeitos ao entupimento do aparato filtrador durante eventos de deposição de sedimentos finos (Barnes 1994; Colling 2010). Mesmo tendo o setor S4 apresentando sedimentos adequados para o desenvolvimento da espécie, o fato de ser uma área de margem com elevada hidrodinâmica (Fisher & Calliari 2011), parece ter dificultado o suprimento larval, dificultando os assentamentos de organismos juvenis no período analisado.

Os estoques adultos da região norte estuarina e central da laguna são responsáveis pelo suprimento larval durante os eventos reprodutivos que ocorrem entre a primavera e verão (Geraldi 2002). Estas larvas são transportadas pelos fluxos de vazante e originam os recrutamentos da *E. mactroides* nas enseadas do baixo estuário. Nestas enseadas, expressivas mortalidades foram relacionadas a eventos de deposição de finos. No presente estudo, região do baixo estuário foi representada pelos setores S1, S2 e S3.

Baixas densidades da *E. mactroides* e de larvas de Bivalvia, caracterizaram o setor S2 durante o período de estudo. O fato de este setor estar localizado em uma enseada semi-fechada, com hidrodinâmica reduzida (De Oliveira 2015), pode ter influenciado negativamente na entrada das larvas de bivalve e os recrutamentos da *E. mactroides* no setor.

No setor S3, também foram observadas baixas densidades da espécie. A falha nos recrutamentos observadas neste setor pode estar relacionada a

hidrodinâmica da enseada do Saco do Arraial, a qual pode ter dificultado o suprimento larval e os assentamentos de *E. mactroides* neste local. Durante os maiores fluxos de vazão no Saco do Arraial as partículas em suspensão apresentam maior velocidade e tendem a sair da enseada (Giordano 2008). Esta situação no presente estudo coincidiu com o maior suprimento de larvas de *Bivalvia* no setor S3, mas a hidrodinâmica elevada pode ter dificultado o assentamento destas no substrato por perda de competência.

Quando os fluxos de vazão diminuem e os fluxos de enchente (água marinha) dominam, as partículas em suspensão acessam à enseada do Saco do Arraial pelo Sul com menores velocidades (região próxima ao setor S1), ficando concentradas no entorno dessa região (Giordano 2008). Este fato pode ter beneficiado a presença de larvas de *Bivalvia* em torno do setor S1 durante o período de baixa vazão e maiores salinidades, originando os posteriores assentamentos da *E. mactroides* no local.

Os períodos de menores densidades de *E. mactroides* no S1, coincidiram com os maiores percentuais de sedimentos finos e menores taxas de matéria orgânica no substrato. Neste mesmo período ocorreram as maiores vazões, e profundidade da coluna d'água, associadas a menores salinidades. O início dos recrutamentos, caracterizados pela presença de organismos juvenis, começou no verão/2015 e intensificados no outono/2015, período que coincide com um enfraquecimento da influência do fenômeno *El Niño*/ 2015-2016 na Lagoa dos Patos, quando foram detectadas as menores vazões e menores percentuais de finos, além das maiores salinidades e porcentagens de matéria orgânica.

Situação semelhante já foi reportada na Ilha das Pombas (onde está localizado o setor S1). A ausência do bivalve durante períodos de condições límnicas, maiores percentuais de finos e menores percentuais de matéria orgânica no decorrer do *El Niño*/2002-2003. Após estas condições, foi observada uma modificação no cenário de águas com características mixohalinas devido ao enfraquecimento do *El Niño*, quando ocorreram recrutamentos associados a maiores densidades do bivalve após um período de elevada vazante, com menores percentuais de finos e maiores percentuais de matéria orgânica. As densidades de *E. mactroides* encontradas naquela ocasião chegaram a 14.000 ind.m² (Colling *et al.* 2010). Estes resultados e os encontrados no presente estudo mostram a relação entre os recorrentes recrutamentos observados no ELP e a vazão. Além disso, que os recrutamentos do bivalve ocorrem de forma distinta nas enseadas rasas estuarinas frente a um mesmo processo de larga escala, como o fenômeno *El Niño*.

Assim, conclui-se que, através da ampliação dos pontos amostrais desenvolvida no presente trabalho, destaca-se a variação espacial e temporal das densidades da *E. mactroides* nas enseadas do ELP, mostrando que os recrutamentos observados na região ocorrem em lugares específicos, relacionados com as características do substrato e hidrodinâmica. Evidenciando distintas respostas do evento *El Niño*/2015-2016 nos recrutamentos da espécie nas enseadas estuarinas, mostrando que estes dependem das características locais intrínsecas.

5. REFERÊNCIAS

- ANA, 2015. Hidroweb, Sistemas Informações Hidrológicas. Agência Nacional das Águas. 20/07/2016. <http://hidroweb.ana.gov.br/>
- ARNOLD, W.S., HITCHCOCK, G.L., FRISCHER, M.E., WANNINKHOF, R. & SHENG, Y.P. 2005. Dispersal of an introduced larval cohort in a coastal lagoon. *Limnology and Oceanography*, 50: 587–597.
- BARNES, R.S.K. 1994. Macrofaunal community structure & life histories in costal lagoons. Costal Lagoons Processes. *In*: Kjerfve, B. New York, NY-USA, Elsevier Science Publishers. Vol. 60. 574 p.
- BEMVENUTI, C.E & NETTO, S.A. 1998. Distribution and seasonal patterns of the sublittoral benthic macrofauna of Patos Lagoon (South Brazil). *Revista Brasileira de Biologia*, 58 (2): 211-221.
- BEMVENUTI, C.E. Invertebrados Bentônicos 1998. 46-51. *In*: SEELIGER, U., ODEBRECHT, C. & CASTELLO, J.P (Eds). Os ecossistemas costeiro e marinho do Extremo Sul do Brasil. Rio Grande: Ecoscientia. 341 p.
- BEMVENUTI, C.E., CAPÍTOLI, R.R & GIANUCA, N.M. 1978. Estudos de Ecologia Bentônica na Região Estrutural da Lagoa dos Patos II – Distribuição Quantitativa do Macrobentos Infralitoral. *Atlântica*, 3: 23-32.
- BOHN, K., RICHARDSON, C.A. & JENKINS. 2013. The importance of larval supply, larval habitat selection and post-settlement mortality in determining intertidal adult abundance of the invasive gastropod *Crepidula fornicata*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 440 (2013): 132-140.

- BOM. 2015. Australian Government Bureau of Meteorology. Acessado em: 19/07/2016. <http://www.bom.gov.au/climate/enso/>
- CALLIARI, J.L., WINTERWERP, J.C., FERNANDES, E., CUCHIARA, D., VINZON, S.B., SPERLE, M. & HOLLAND, K.T. 2009. Fine grain sediment transport and deposition in the Patos Lagoon-Cassino beach sedimentary system. *Continental Shelf Research*, 29: 515-529.
- CALLIARI, L.J. 1998. Características Geológicas. 13-18. *In*: SEELIGER, U., ODEBRECHT, C. & CASTELLO, J.P. Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Ecoscientia, Rio Grande. 341p.
- CALLIARI, L.J., CUNHA, R.P. & ANTIQUEIRA, J.A.F. 2010. Geomorfologia e dinâmica sedimentar. 31-39. *In*: SEELIGER, U. & ODEBRECHT (Eds.). O estuário da Lagoa dos Patos, um século de transformação. Rio Grande, Ed. FURG. 179 p.
- CAPÍTOLI, R.R., BEMVENUTI, C.E. & GIANUCA, N.M. 1978. Estudos de ecologia bentônica na região estuarial da Lagoa dos Patos, I. Comunidades bentônicas. *Atlântica*, 3: 5-21.
- COLLING, L.A., BEMVENUTI, C.E. & GANDRA, M.S. 2007. Seasonal variability on the structure of sublittoral macrozoobenthic association in the Patos Lagoon estuary, southern Brazil. *Iheringia Série Zoologia*, 97:257-263.
- COLLING, L.A. BEMVENUTI, C.E & PINOTTI, R.M. 2010. Temporal variability of the bivalvo *Erodona mactroides* BOSCH, 1802 during and after the *El Niño* phenomenon (2002/2003) in a subtropical lagoon, southern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 22 (4): 410-423.

- CONNOLLY, S.R. & ROUGHGARDEN, J. 1999. Increased recruitment of northeast Pacific barnacles during the 1997 *El Niño*. *Limnology and Oceanography*, 44 (2): 466-469.
- CORTELEZZI, A., CAPÍTULO, A.R., BOCCARDI, L. & AROCENA, R. 2007. Benthic assemblages of a temperate estuarine system in South America: Transition from a freshwater to an estuarine zone. *Journal of Marine Systems*, 68: 569-580.
- COSTA, C.S.B. 1998. Marismas Irregularmente alagadas. 82-87. *In*: SEELIGER, U., ODEBRECHT, C. & CASTELLO, J.P. Os Ecossistemas Costeiros e Marinheiros do Extremo Sul do Brasil. Ecocientia, Rio Grande. 341 p.
- COSTA, C.S.B., SEELIGER, U. & KINAS, P.G. 1988. The effect of wind velocity and direction on the salinity regime in the lower Patos Lagoon estuary. *Ciência e Cultura*, 40 (9): 909-912.
- DAVIES, B.E. 1974. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, 38: 150-151.
- DE OLIVEIRA, A.O. Caracterização sedimentar e aplicação do Diagrama de Pejrup para interpretação da dinâmica em uma enseada estuarina na Lagoa dos Patos/Brasil. *Geographia Meridionalis*, 1(2): 00-00.
- DE VOOYS, C.G.N. 1999. Numbers of larvae and primary plantigrades of the mussel *Mytilus edulis* in the western Dutch Wadden Sea. *Journal of Sea Research*, 41, 189–201.

- DYER, K.R. 1986. Coastal and Estuarine Sediment Dynamics. Wiley, Chichester, 342 p.
- ELLIOT, M. & QUINTINO, V. 2007. The Estuarine Quality Paradox, Environmental Homeostasis and the difficulty of detecting anthropogenic stress in naturally stressed areas. *Marine Pollution Bulletin*, 54: 640-645.
- FERREIRA, L.S. BARROS, A. BARUTOT, R.A. & D'INCAO, F. 2011. Comparação da dieta natural do siri-azul *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Crustacea: Decapoda: Portunidae) em dois locais no estuário da lagoa dos patos, Rs, Brasil. *Atlântica*, 33 (2): 115-122, doi: 10.5088/atl.2011.33.2.115
- FISCHER, A. & CALLIARI, L.J. 2011. Variações morfodinâmicas das praias do “Saco do Laranjal”, costa noroeste do estuário da Laguna dos Patos, RS. *Pesquisas em Geociências*, 38: 283-296.
- GARCIA, A.M., HOEINGHAUS, D.J., VIEIRA, J.P. & WINEMILLER, K.O. 2007. Isotopic variation of fishes in freshwater and estuarine zones of a large subtropical coastal lagoon. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 73: 399-408.
- GARCIA, A.M., VIEIRA, J.P., WINEMILLER, K.O. & GRIMM, A.M. 2004. Comparison of 1982–1983 and 1997–1998 *El Niño* Effects on the Shallow-water Fish Assemblage of the Patos Lagoon Estuary (Brazil). *Estuaries*, 27 (6): 905-914.
- GARLAND, E.D. & ZIMMER, C.A. 2002. Techniques for the identification of bivalve larvae. *Marine Ecology Progress Series*, 255: 299-310.

- GERALDI, R.M. 2002. Distribuição espacial, recrutamento, crescimento e mortalidade de *Erodona mactroides* BOSCH, 1802 (MOLLUSCA, PELECYPODA) na Lagoa dos Patos, RS - Brasil. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande. (Tese de Doutorado em Oceanografia Biológica).
- GIORDANO, 2008. Modelagem hidrodinâmica do Saco do Arraial, Estuário da Lagoa dos Patos, RS. Universidade Federal do Rio Grande (FURG). (Dissertação de Mestrado em Oceanografia Biológica).
- GOSLING, E. 2004. Bivalve Molluscs: Biology, Ecology and Culture. Fishing News Books, Oxford, 443 p.
- JOWETT, I.G. 2003. Hydraulic constraints on habitat suitability for benthic invertebrates in gravel-bed rivers. *River Research and Applications*, 19: 495-507.
- KINEKE, G.C. & STERNBERG, R.W. 1995. Distribution of fluid muds on the Amazon continental shelf. *Marine Geology*, 125 (1995): 193-233.
- KJERFVE, B., SEELIGER, U. & LACERDA, L.D. 2001. A summary of natural and human induced variables in coastal marine ecosystems of Latin America. 341-353. *In*: SEELIGER, U., KJERFVE, B. (Eds.). Coastal Marine Ecosystems of Latin America. Heidelberg, Springer-Verlag. 366 p.
- LARSEN, J.B., FRISCHER, M.E., OCKELMANN, K.W., RASMUSSEN, L.J. & HANSEN, B.W. 2007. Temporal occurrence of planktotrophic bivalve larvae identified morphologically and by single step nested multiplex PCR. *Journal of Plankton Research*, 29 (5): 423-436.

- MARQUES, W.C., STRINGARI, C.E. & EIDT, R. 2014. The Exchange Processes of the Patos Lagoon Estuary – Brazil: A Typical *El Niño* Year versus a Normal Meteorological Conditions Year. *Advances in Water Resource and Protection*, 2: 11-20.
- MCTI. 2014. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 21/06/2016. http://www.cptec.inpe.br/~rupload/arquivo/GTPCS_Nota03_24102014.pdf
- MÖLLER, O.O.JR., CASTELLO, J.P. & VAZ, A.C. 2009. The Effect of River Discharge and Winds on the Interannual Variability of the Pink Shrimp *Farfantepenaeus paulensis* Production in Patos Lagoon. *Estuarine and Coasts*, 32: 787-796.
- MÖLLER, O. & FERNANDES, E. 2010. Hidrologia e Hidrodinâmica. Pp. 15-25. In: SEELIGER, U. & ODEBRECHT, C. (Eds). O estuário da Lagoa dos Patos, um século de transformações. Rio Grande, Ed. FURG, 179 p.
- MORALES, Y., WEBER, L.J., MYNETT, A.E. & NEWTON, T.J. 2006. Effects of substrate and hydrodynamic conditions on the formation of mussel beds in a large river. *Journal of the North American Benthological Society*, 25: 664-676.
- MUXAGATA, E. AMARAL, W.J.A. & BARBOSA, C.N. 2012. *Acartia tonsa* production in the Patos Lagoon estuary, Brazil. *ICES Journal of Marine Science*, 69 (3): 475-482.
- NOAA, 2015. National Oceanic and Atmospheric Administration, 21/06/2016. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

- NORKKO, A., CUMMINGS, V.J., THRUSH, HEWITT, J.E. & HUME, T. 2001. Local dispersal of juvenile bivalves: implications for sandflat ecology. *Marine Ecology Progress Series*. 212: 131-144.
- OLIVEIRA, A., PINTO, T.K., SANTOS, D.P.D. & D'INCAO, F. 2006. Dieta natural do siri-azul *Callinectes sapidus* (Decapoda, Portunidae) na região estuarina da Lagoa dos Patos, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia. Série Zoologia*. 96 (3): 305-313.
- PASSADORE, C., GIMÉNEZ, L. & ACUÑA, A. 2007. Composition and intra-annual variation of the macroinfauna in the estuarine zone of the Pando Stream (Uruguay). *Ecology*, 67 (2): 197:202.
- PIEDRA-CUEVA, I. & FOSSATI, M. 2007. Residual currents and corridor of flow in the Rio de la Plata. *Applied Mathematical Modelling*, 31 (2007): 564-577.
- RIOS, E. Compendium of brazilian sea shells. Rio Grande, Evangraf, 2009. 668 p.
- ROSA, L.C. & BEMVENUTI, C.E. 2006. Seasonal stratification of the estuarine macrofauna of the Patos Lagoon estuary, southern Brazil. *Thalassas*, (2): 17-23.

- SCARABINO, F., ZELAYA, D.G., ORENSANZ, J.M., ORTEGA, L., DEFEO, O., SCHWINDT, E., CARRANZA, A., ZAFFARONI, J.C., MARTÍNEZ, G., SCARABINO, V. & GÁRCIA-RODRÍGUEZ, F. 2016. Cold, warm, temperate and brackish: Bivalve biodiversity in a complex oceanographic scenario (Uruguay, southwestern Atlantic). *American Malacological Bulletin*, 33 (2): 284 -301.
- SOUZA-VIEIRA, S.R. & HARTMAN, C. 2008. Modificação marginal das ilhas estuarinas usando ferramentas de aerofotografia, sedimentologia e batimetria. *Revista Brasileira de Cartografia*, (60/40): 307-318.
- SUGUIO, K. 1973. Introdução à sedimentologia. EDUSP, São Paulo. 317 p.
- VANCE, R.R. 1973. On reproductive strategies in marine benthic invertebrates. *The American Naturalist*, 107: 339-352.
- VAUGHN, C.C. & TAYLOR, C.M. 2000. Macroecology of a host-parasite relationship. *Ecography*, 23: 11-20.
- WILSON, J.G. & FLEEGER, J.W. 2013. Estuarine Benthos. 303-325. In: DAY, J.W. JR., CRUMP, B.C., KEMP, W.M. & YÁÑEZ - ARANCIBIA, A (Eds.). *Estuarine Ecology*. New Jersey, John Wiley & Sons. 554 p.
- XU, Y.J. & WU, K. 2006. Seasonality and interannual variability of freshwater inflow to a large oligohaline estuary in the Northern Gulf of Mexico. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 68: 619-626.

6. TABELAS E FIGURAS

Tabela 1. Resultados da Análise de variância (ANOVA, uma via, $\alpha < 0,05$), evidenciando as variações temporais e espaciais dos parâmetros ambientais e densidades de *E. mactroides* (Ind.m⁻²) durante o período de estudo. Os valores em negrito referem-se aos valores de p (p-valor) significativo. As letras em negrito referem-se aos resultados dos testes de post-hoc. GL = Graus de liberdade; F = F de Fisher; p = p-valor; M.O = matéria orgânica; % Finos = silte + argila; S1 = Ilha das pombas; S2 = Saco do Justino; S3 = Ilha dos Marinheiros; S4 = Laranjal; *** ausência de teste post-hoc quando $\alpha > 0,05$.

		Variação Temporal				
Variável	Fator	GL	F	p	Post-Hoc	
Salinidade		4	80,5	0,000	P/14 a < V/15 b < O/15 c > I/15 a > P/15 d	
Prof.da coluna d'água		4	91,8	0,000	P/14 a > V/15 b > O/15 b < I/15 c < P/15 d	
Vazão		3	14,14	0,000	P/14 a > V/15 a > O/15 b < I/15 a	
% Finos	S1	4	10,14	0,000	P/14 a > V/15 b > O/15 b > I/15 b < P/15 b	
% Finos	S2	3	2,32	0,091	***	
% Finos	S3	3	3,80	0,017	P/14 a > V/15 a < O/15 a < I/15 ab	
% Finos	S4	3	2,02	0,056	***	
% M.O	S1	4	10,96	0,000	P/14 a < V/15 a < O/15 b > I/15 a < P/15 a	
% M.O	S2	3	3,22	0,035	P/14 a < V/15 a < O/15 a > I/15 a	
% M.O	S3	3	2,13	0,112	***	
% M.O	S4	3	2,45	0,083	***	
<i>E. mactroides</i>	S1	4	30,5	0,000	P/14 a < V/15 a < O/15 b > I/15 a > P/15 a	
<i>E. mactroides</i>	S2	3	1,44	0,232	***	
<i>E. mactroides</i>	S3	3	5,85	0,000	P/14 a > V/15 ab > O/15 b > I/15 b	
<i>E. mactroides</i>	S4	3	1,75	0,158	***	
		Variação espacial				
Variável	Fator	GL	F	p	Post-Hoc	
<i>E. mactroides</i>	S1 x S2 x S3 x S4	3	72,72	0,000	S1 a > S2 b < S3 b < S4 b	
% Finos	S1 x S2 x S3 x S4	3	63,97	0,000	S1 a > S2 a < S3 b > S4 c	
% M.O	S1 x S2 x S3 x S4	3	3	0,361	***	

Tabela 2. Resultados obtidos das correlações de Spearman (ρ) e Pearson (r^2), entre as variáveis e densidades de *E. mactroides* observadas no setor S1. Os valores destacados em negrito referem-se às correlações significativas.

Variável	N	ρ/r^2	p
Vazão x Salinidade	12	-0,58	0,048
Salinidade x Prof. coluna d'água	14	-0,81	0,000
Salinidade x Finos	14	0,054	0,852
Vazão x Finos	12	0,44	0,017
Vazão x Prof. coluna d'água	12	0,062	0,845
Prof. coluna d'água x Finos	13	-0,329	0,91
<i>E. mactroides</i> x Vazão	11	-0,405	0,216
<i>E. mactroides</i> x Salinidade	13	0,266	0,378
<i>E. mactroides</i> x Prof. coluna d'água	13	-0,206	0,499
<i>E. mactroides</i> x Finos	15	-0,206	0,499

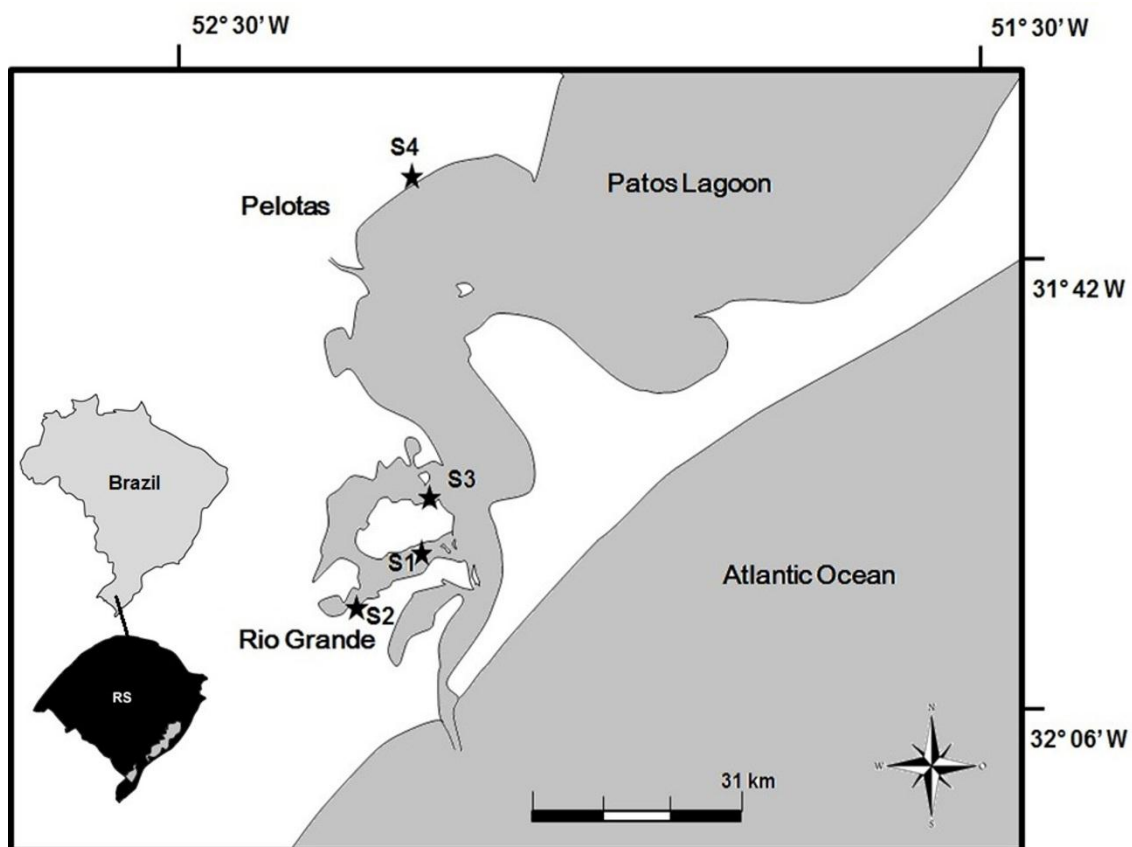


Figura 1. Mapa com os setores amostrais S1 (Ilha das Pombas), S2 (Saco do Justino), S3 (Ilha dos Marinheiros) e S4 (Laranjal), distribuídos ao longo da região estuarina da Lagoa dos Patos (Rio Grande do Sul, Brasil).

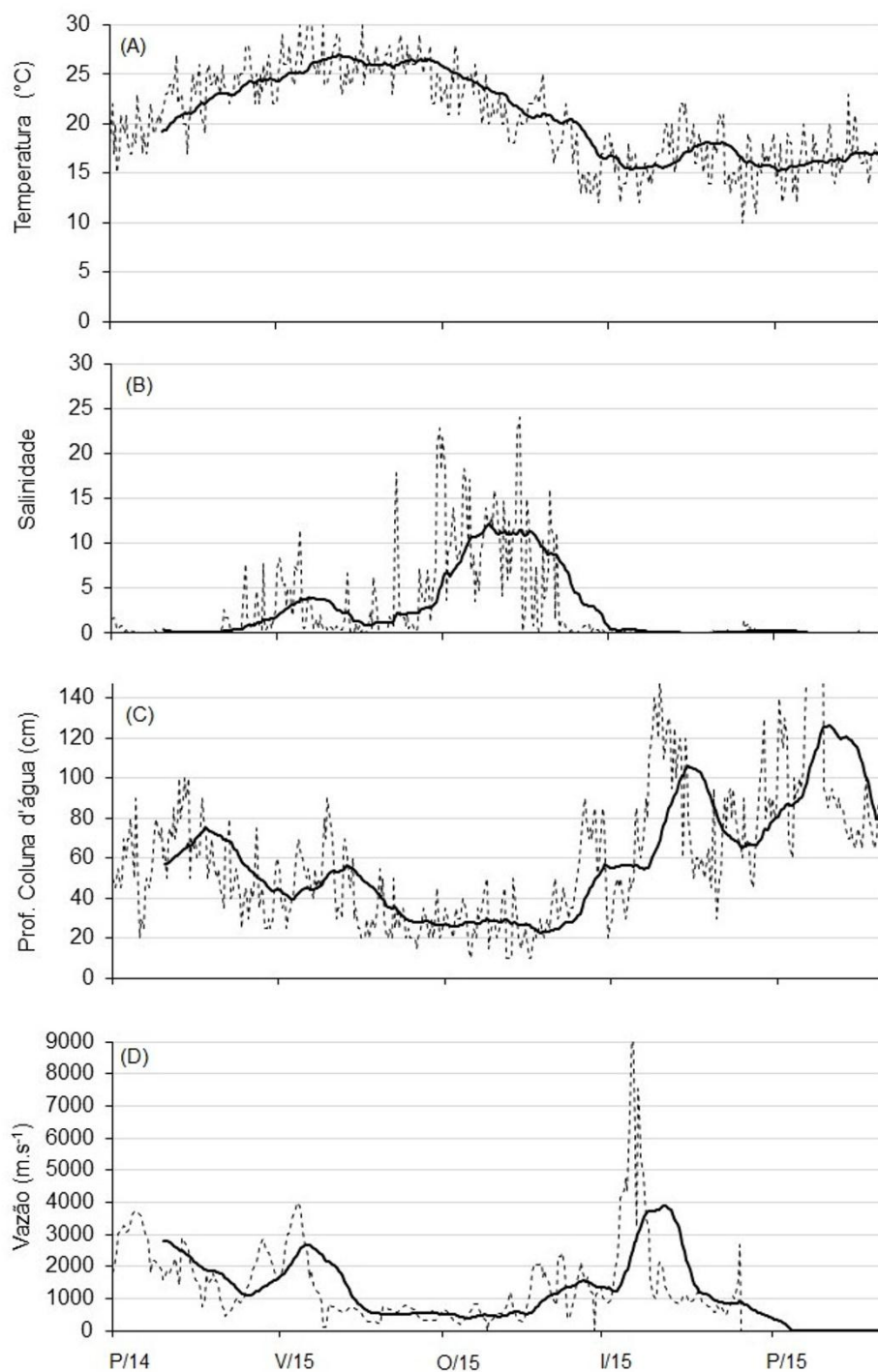


Figura 2. Valores de temperatura (A) salinidade (B), profundidade da coluna d'água (C) e vazão (D) durante o período de estudo. As linhas pontilhadas representam os valores diários, e as contínuas as médias mensais. P/14. = primavera/2014; V/15. = verão/2015; O/15. = outono/2015; I/15. = inverno/2015.

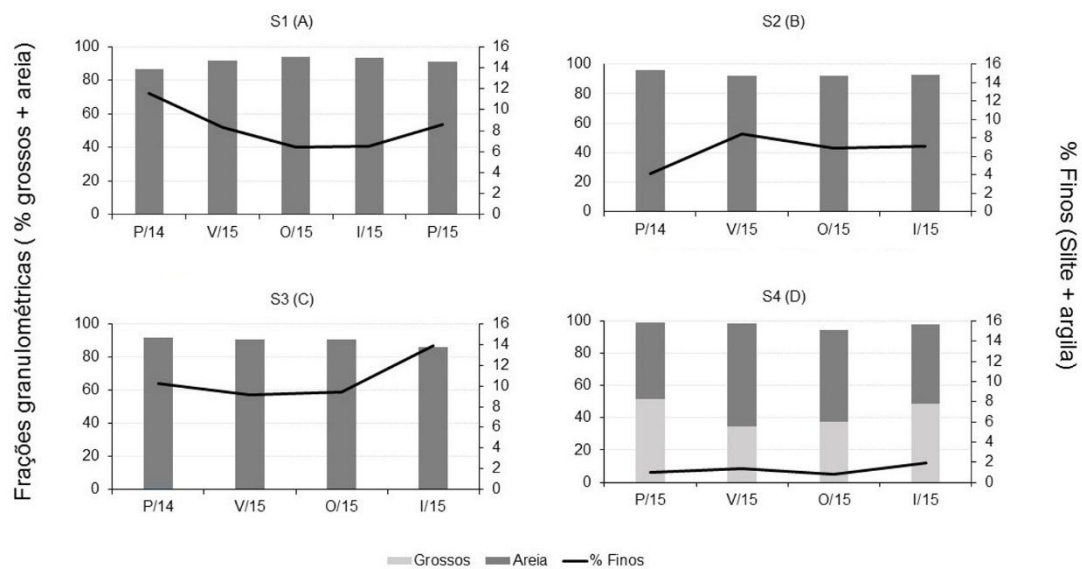


Figura 3 Percentuais de sedimentos registrados nas estações do ano, para os Setores: S1 (A); S2 (B); S3 (C) e S4 (D). P/14. = primavera/2014; V/15. = verão/2015; O/15. = outono/2015; I/15 = Inverno/2015; P/15 = primavera/2015.

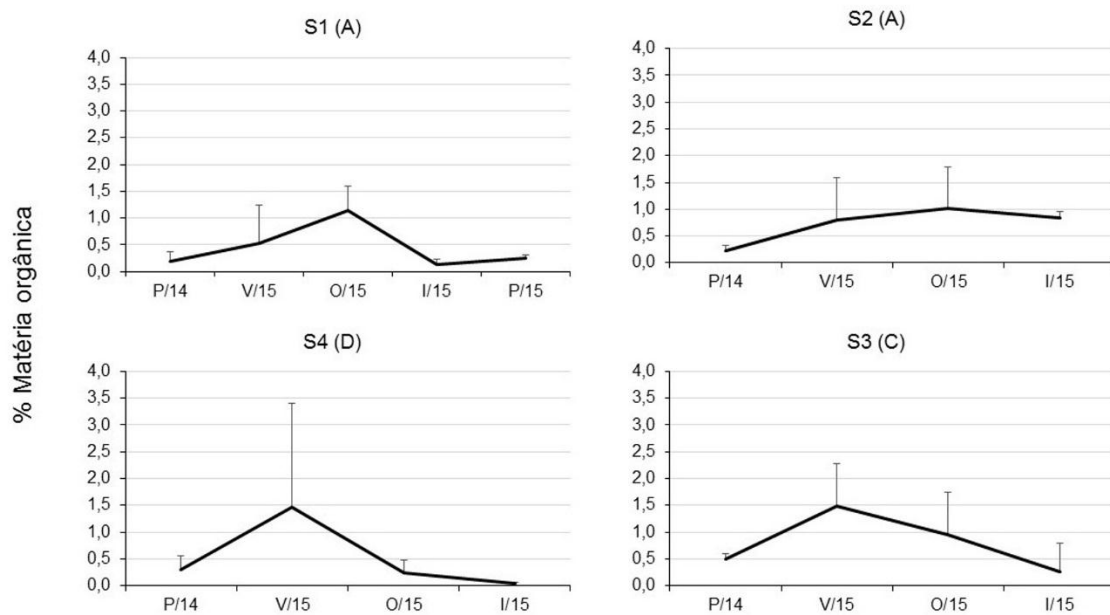


Figura 4 Médias sazonais de matéria orgânica (%) observados nos setores amostrais S1 (A), S2 (B), S3 (C) e S4 (D). P/14. = primavera/2014; V/15. = verão/15; O/15. = outono/2015; I/15. = Inverno/2015, P/15 = primavera/2015. As barras verticais representam os desvios padrão.

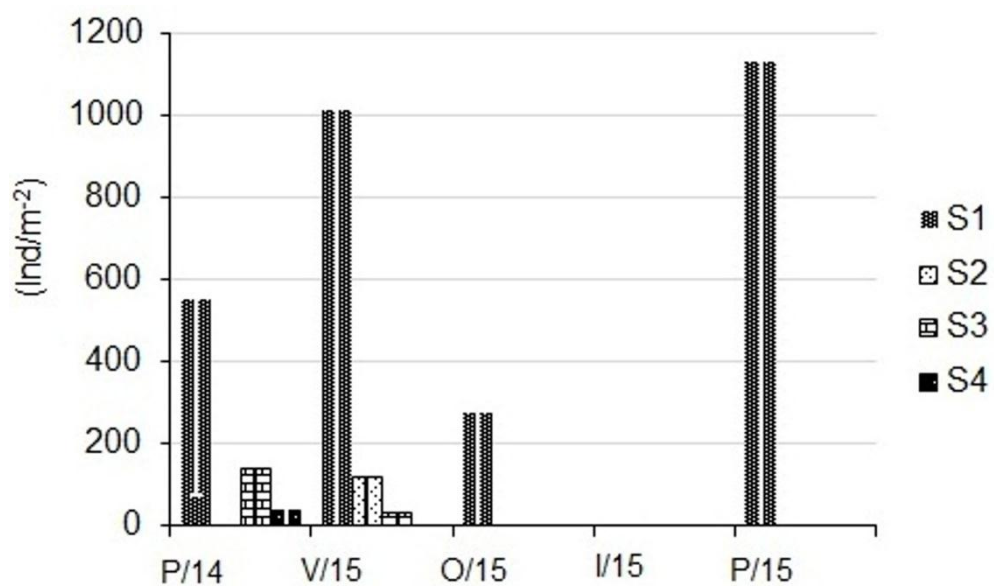


Figura 5. Densidades médias sazonais (Ind.m⁻³) de larvas de Bivalve encontradas nos setores amostrais durante o período de estudo. As barras verticais representam os desvios padrão. P/14 = primavera/2014; V/15 = verão/2015; O/15 = outono/2015; I/15 = inverno/2015; P/15 = primavera/2015.

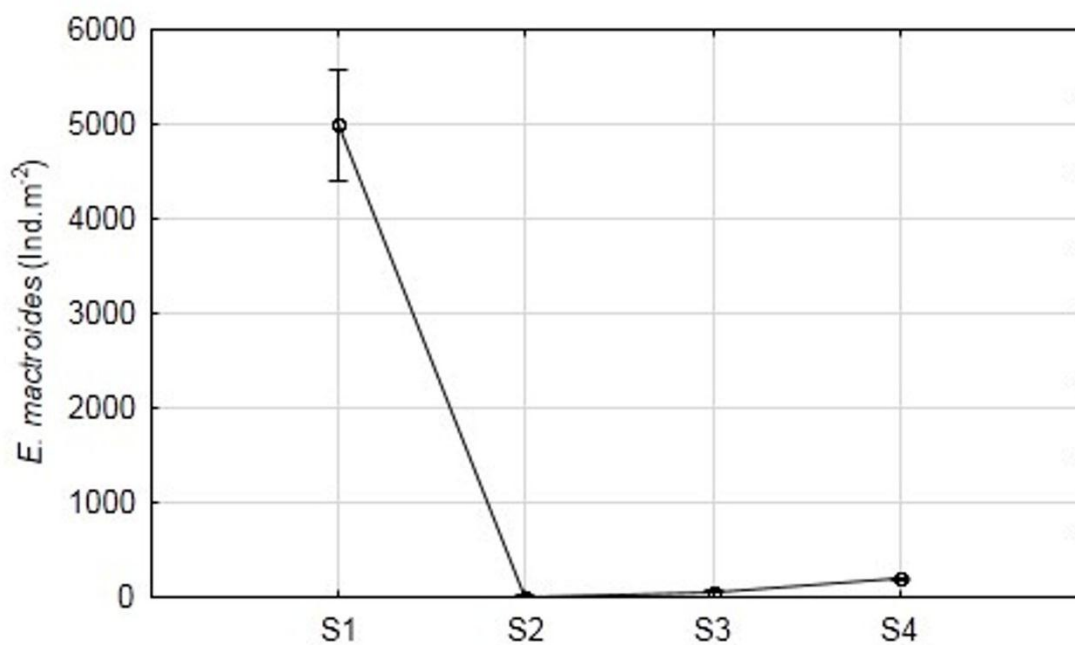


Figura 6. Densidades (Ind.m⁻²) de *E. mactroides* registradas nos setores S1 (Ilha das Pombas), S2 (Justino), S3 (Ilha dos Marinheiros) e S4 (Laranjal). As barras verticais representam os intervalos de confiança. As barras verticais representam os erros padrão.

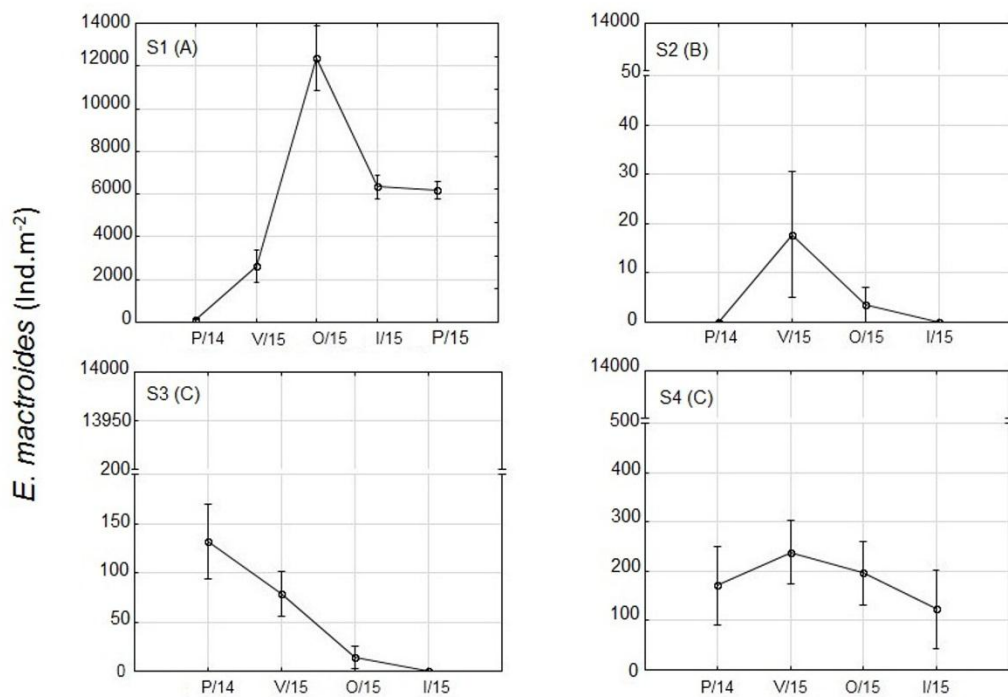


Figura 7. Densidades médias de *E. mactroides* observadas nos setores S1 (A), S2 (B), S3 (C) e S4 (D) nas estações analisadas. P/14 = primavera/2014; V/15 = verão/2015; O/15 = outono/2015; I/15 = inverno/2015; P/15 = primavera/2015. As barras verticais representam erros padrão.

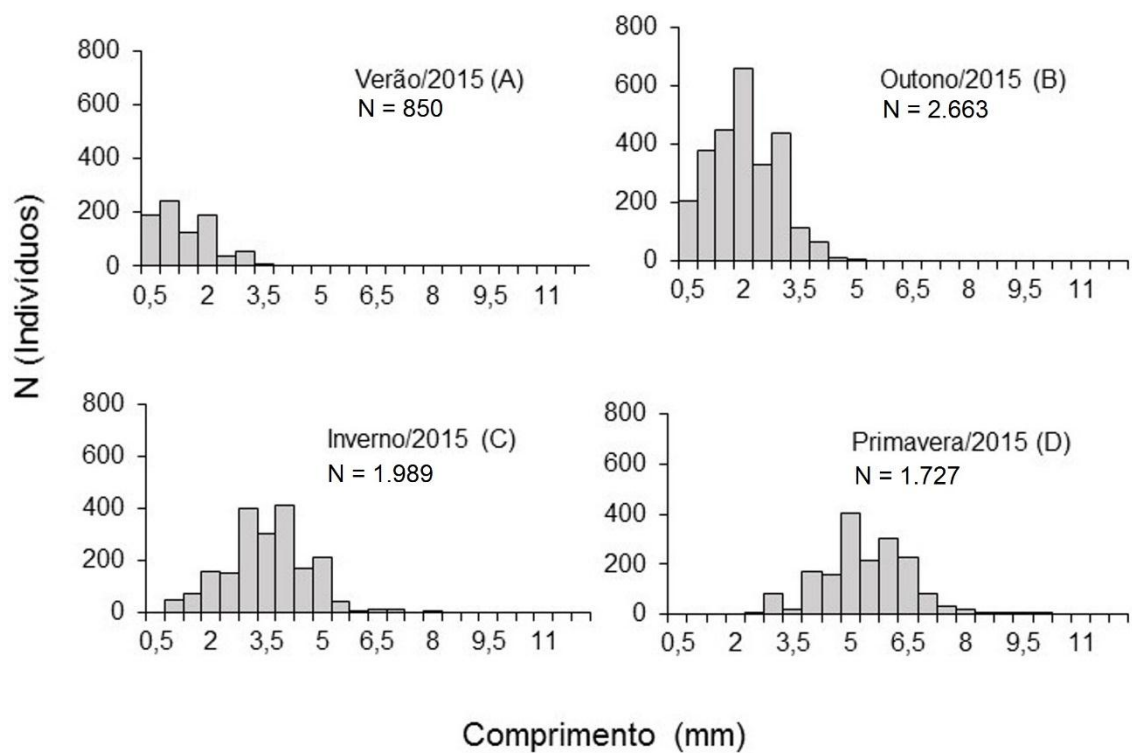


Figura 8. Gráficos ilustrando as distribuições de classes de tamanho (em mm) de *E. mactroides* encontradas no setor S1 (Ilha das Pombas) durante o período de estudo.

CAPÍTULO 2

RECRUTAMENTOS DO BIVALVE *Erodona mactroides* BOSC 1801 ASSOCIADOS A DOIS EVENTOS *EL NIÑO* DISTINTOS EM UM ESTUÁRIO SUBTROPICAL DO EXTREMO SUL DO BRASIL

1. INTRODUÇÃO

Um dos eventos de larga escala mais importantes para a variabilidade do clima em diversas regiões do planeta é o fenômeno *El Niño Southern Oscillation* (ENSO). Em um intervalo de tempo entre 2 a 7 anos a Temperatura da superfície do Mar (TSM) no leste do Oceano Pacífico varia entre condições anormalmente positivas (*El Niño*) e negativas (*La Niña*) (Collins *et al.* 2010).

Durante o *El Niño* é observado o enfraquecimento na intensidade dos ventos alísios ao longo do Pacífico Equatorial e aquecimento da TSM no Oceano Pacífico Central e próximo à Costa oeste da América do Sul (Trenberth 1997). Este fenômeno climático é responsável por períodos de secas na Austrália, Indonésia, Índia, Oeste da África, em algumas partes da América Central e Norte do Brasil (Ropelewski & Halpert 1987; Trenberth *et al.* 2002). Por outro lado, excessivas taxas de precipitação durante o *El Niño* são observadas no sul da América do Sul, como no sul do Brasil, Uruguai, norte da Argentina e Chile (Grimm *et al.* 2000).

Estudos realizados em diferentes estuários do mundo mostraram a influência do fenômeno ENSO. Elevadas taxas pluviométricas observadas durante o *El Niño* foram associadas a elevados fluxos de vazante nas regiões estuarinas da Baía de Tampa (Schmidt & Luther 2002) e da baía de São Francisco (Hestir *et al.* 2013), ambas no Estados Unidos, e do Rio de La Plata na Argentina (Nagy *et al.* 2008). No entanto, no estuário do Rio Hopkins (Austrália), a ocorrência desse fenômeno climático foi associada a fracos fluxos de vazantes e elevadas salinidades (Matthews 2006).

Situada em uma planície costeira do sul Brasil, a Lagoa dos Patos é considerada a maior laguna (aproximadamente 10.000 km²) do tipo estrangulada do mundo (Kjerfve 1986), tendo em sua porção sul uma região estuarina. A hidrodinâmica desta laguna depende principalmente das relações entre a vazão e ação do vento (Möller *et al.* 2001; Fernandes *et al.* 2002), tendo a maré um efeito secundário (Möller *et al.* 2007).

A sazonalidade dos fluxos de vazante e do vento determinam as variações de salinidade e profundidade da coluna d'água na laguna. Em anos sem influência de fenômenos ENSO, as maiores profundidades ocorrem entre o inverno e início da primavera, devido às maiores vazões e incidência dos ventos S/SW, forçando o represamento da água dentro do estuário. Entretanto, as menores profundidades ocorrem no final da primavera e no verão, quando ocorrem baixas vazões e ventos NE, facilitando os fluxos de vazão do estuário à região costeira adjacente (Möller *et al.* 2001). Já a salinidade apresenta comportamento inverso: as maiores salinidades ocorrem desde o fim da primavera até o início do outono, relacionadas às menores vazões, podendo ser intensificadas sob condições de vento S, que proporcionam a entrada de água costeira e salgada no sistema estuarino. Porém, as menores salinidades são observadas no inverno, associadas à forte descarga fluvial e ventos NE (Costa *et al.* 1988; Möller & Fernandes 2010).

Variações interanuais de vazão e vento na região são influenciadas por eventos ENSO e, conseqüentemente, influenciam o nível d'água e a salinidade no estuário da Lagoa dos Patos (ELP). Durante o *El Niño* são observadas anomalias positivas de vazão e profundidade da coluna d'água, alcançando

valores significativamente maiores quando comparados às situações normais, o que é potencializado pela incidência de ventos NE (Fernandes *et al.* 2002). Neste cenário, são observadas salinidades próximas a 0 ao longo de toda a região estuarina (Fernandes *et al.* 2002; Marques *et al.* 2014). Durante os eventos de *La Niña* a situação se inverte, uma vez que ocorrem fluxos de vazão menos intensos, que combinados com a incidência dos ventos de S-SW favorecem a intensa salinização da Lagoa dos Patos (Möller *et al.* 2009).

Os eventos *El Niño* podem ser classificados como fortes, moderados ou fracos, de acordo com a intensidade e persistência temporal de seus efeitos. Através dessa classificação, o *El Niño/2002-2003* foi considerado moderado pelos órgãos climáticos (NOAA 2015; BOM 2015). Este evento teve início durante o inverno e primavera de 2002 persistindo até o verão, e apresentando anomalias de TSM tendendo a neutras somente no início do outono/2003 (McPhaden 2004). A formação do *El Niño/2015-2016* teve início na primavera/2014, quando foram observadas anomalias positivas da TSM na região equatorial do Pacífico. Mesmo em desenvolvimento, nesta época o padrão de chuvas no sul do Brasil foi típico de anos sob influência de *El Niño* (MCTI 2014). A configuração deste evento climático foi confirmada no final do verão/2015 e intensificou-se durante o inverno/2015 e primavera/2015, quando ocorreu excesso de chuvas na região sul do Brasil, resultando num período de cheias dos rios desta região (NOAA 2015; MCTI 2015).

Estudos anteriores mostraram a influência do fenômeno *El Niño* sobre a biota do ELP. Durante estes eventos foi observado que períodos de alagamento prolongados na região estuarina, devido a elevadas vazões,

influenciam o crescimento e as interações competitivas entre as plantas de marismas (Marangoni & Costa 2012). Este fenômeno climático também é apontado como o principal fator que influencia a variabilidade interanual da comunidade fitoplanctônica (Haraguchi *et al.* 2015), além de estar associado ao aumento de espécies de copépodos, cladóceros (Muxagata *et al.* 2012) e peixes de água doce (Garcia *et al.* 2001) bem como a diminuição das densidades da macrofauna bentônica (Colling *et al.* 2007).

O bivalve *Erodona mactroides* é uma espécie de hábito subsuperficial, abundante nas desembocaduras de rios, lagunas costeiras e estuários da Argentina (Darrigran 1999), Uruguai (Jorcín 1996) e sul do Brasil (Colling *et al.* 2010). Esta espécie apresenta importante papel ecológico no ELP, servindo de alimento para espécies de crustáceos (Capítoli & Ortega 1993; Ferreira *et al.* 2011) e peixes de importante valor comercial (Garcia *et al.* 2007). Na Lagoa dos Patos, organismos adultos de *E. mactroides* formam extensos bancos na porção central e norte da laguna, porém nas enseadas estuarinas são observados apenas organismos juvenis (Bemvenuti & Netto 1998). Os estoques reprodutivos de adultos da porção norte e central do corpo lagunar originam as larvas, que acompanham os fluxos de vazante em direção sul no período primavera-verão, dando origem aos recrutamentos encontrados nas enseadas protegidas do estuário. No entanto, foram observadas relações entre deposição de sedimentos finos (silte e argila) e eventos de mortalidade do bivalve nas enseadas rasas estuarinas. Estas mortalidades, que provavelmente ocorrem devido ao entupimento de seu aparato filtrador (Bemvenuti *et al.* 1978;

Colling *et al.*, 2010), devem ser as responsáveis pelas baixas densidades e populações temporalmente pouco persistentes no baixo estuário.

Durante e após a influência do fenômeno *El Niño* 2002-2003, foram observadas duas situações distintas em relação à estrutura de tamanhos e densidade de *E. mactroides* em uma enseada rasa do ELP: um primeiro período com alta vazão, com predomínio de condições límnicas e ausência do bivalve; e um segundo período caracterizado pela diminuição da influência do *El Niño*, predominância de condições mixohalinas e recrutamentos com densidades médias elevadas (Colling *et al.* 2010). Isto mostra a forte relação entre as elevadas densidades do bivalve após períodos de anomalias positivas de vazão, e o *El Niño*.

Neste sentido, a hipótese explorada no trabalho é que os intensos recrutamentos e elevadas densidades do bivalve *E. mactroides* no baixo estuário da Lagoa dos Patos estão relacionados ao aumento significativo da vazão, profundidade e finos no sedimento associados a eventos ENSO *El Niño*. Desta forma, o presente estudo objetiva: (1) caracterizar e comparar as condições hidrológicas da região estuarina da Lagoa dos Patos em dois períodos influenciados pelo fenômeno *El Niño* (2002-2003 e 2014-2015); (2) investigar as relações entre as densidades e estruturas de tamanho do bivalve em uma enseada do baixo estuário do ELP, durante os dois eventos *El Niño* (2002-2003 e 2015-2016); e (3) avaliar se as relações entre os parâmetros ambientais e densidades da espécie são recorrentes entre os dois eventos ENSO avaliados.

2. METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido na Ilha das Pombas (enseada rasa localizada no ELP) em dois períodos: de outubro/2002 a dezembro/2003 e outubro/2014 a dezembro/2015. As amostragens ocorreram em uma transversal de aproximadamente 450 m (Fig. 1). Os meses foram agrupados para compor as estações dos anos: primaveras (outubro-dezembro); verões (janeiro- março), outonos (abril-junho) e invernos (julho-agosto).

2.1 PARÂMETROS AMBIENTAIS

A caracterização das condições hidrológicas do ELP durante os períodos 2002-2003 e 2014-2015 ocorreu através da utilização de dados de salinidade (refratômetro ótico), profundidade da coluna d'água (régua graduada - cm) adquiridos através do Banco de Dados do projeto “Estudos de longa duração para avaliação de impactos naturais e antrópicos no Estuário da Lagoa dos Patos e Costa Adjacente”, PELD – Programas Ecológicos de Longa Duração. Dados de vazão dos principais tributários (Jacuí, Taquari, Sinos e Camaquã) foram obtidos junto a Agência Nacional de Águas (ANA 2015). O *Oceanic Niño Index* (ONI), disponibilizado pela agência *National Oceanic and Atmospheric Administration* - NOAA (NOAA 2015), e o *Southern Oscillation Index* (SOI), disponibilizado pela *Australian Government Bureau of Meteorology*

– BOM (BOM 2015), foram verificados para confirmar a ocorrência de anomalias na região *Niño* 3.4 (5° N-5° S; 120°-170° W).

No período entre a primavera/2002 – primavera/2003 foram coletadas mensalmente 6 amostras de sedimento para análises granulométricas, e entre o período primavera/2014 – primavera/2015 foram coletadas mensalmente 4 amostras, com exceção de setembro/2015. As amostras foram coletas com auxílio de um tubo de PVC (10 cm de diâmetro) enterrado até 10 cm no interior do substrato. Com uma alíquota de 100 g de sedimento foram avaliadas as frações de areia, silte e argila, através do peneiramento (> 0,062 mm de diâmetro) e pipetagem (< 0,062 mm de diâmetro), seguindo o método de Suguio (1973).

2.2 PARÂMETROS BIOLÓGICOS

Entre os períodos avaliados (2002-2003 e 2014-2015), foram coletadas 12 amostras biológicas mensais (exceto em setembro/2015) (Fig. 1). Para isso foi utilizado o mesmo tubo de PVC (10 cm diâmetro) utilizado para amostragem do sedimento, enterrado a 10 cm de profundidade. Posteriormente, as amostras foram peneiradas (*in situ*) em uma malha de 300 µm de abertura, guardadas em sacos plásticos identificados e fixadas em formaldeído 4%. Em laboratório, as amostras foram triadas e os exemplares de *E. mactroides* foram identificados com auxílio de microscópio estereoscópio e medidos através de uma escala milimétrica com 0,5 mm. As medidas foram tiradas entre o comprimento anteroposterior da valva direita, sendo considerados juvenis

recém-assentados os organismos entre 0,5 m e 3 mm de tamanho, seguindo Colling *et al.* (2010).

2.3 ANÁLISE DOS DADOS

Dados diários das variáveis ambientais salinidade, profundidade da coluna d'água e vazão foram classificados em estações do ano (primavera, verão, outono e inverno), seguindo os mesmos critérios citados anteriormente (Pág. 65), e utilizados para Análises de Variância (ANOVA, uma via, $\alpha = 0,05$) para testar possíveis diferenças entre as médias sazonais. Possíveis diferenças sazonais dos percentuais de sedimentos nos períodos de 2002 – 2003 e 2014 - 2015 foram testados através da Análise de Variância (ANOVA, uma via, $\alpha = 0,05$).

Possíveis diferenças nas densidades da *E. mactroides* foram testadas através de Análise de Variância (ANOVA, uma via, $\alpha = 0,05$) entre os períodos 2002-2003 e 2014-2015, e quando constatadas diferenças significativas, foram aplicados teste de post-hoc (N-desiguais). Para comparar as densidades de *E. mactroides* durante os períodos de estudo (2002-2003 e 2014-2015), as estações foram pareadas seguindo a ordem de início ao fim dos períodos de estudo: primavera/2002 x primavera/2014, verão/2003 x verão/2015, outono/2003 x outono/2015, inverno/2003 x inverno/2015 e primavera/2003 e primavera/2015.

Análises de Regressão foram aplicadas para as médias mensais de vazão, salinidade, nível da água e temperatura obtidas nos dois períodos de

estudo, utilizando a equação matemática que apresentou o melhor ajuste entre os pontos.

Foram aplicados testes de correlação (Pearson para relações paramétricas; Spearman para não-paramétricas; $\alpha < 0,05$) entre as variáveis ambientais e as densidades de *E. mactroides* para cada um dos períodos analisados, utilizando médias mensais de outubro/2002 a dezembro/2003 e outubro/2014 a novembro/2015. Para correlações entre a vazão e as demais variáveis, no período 2014-2015, foram utilizadas médias mensais de outubro/2014 a setembro/2015.

3. RESULTADOS

3.1 RESULTADOS DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS

Durante os períodos 2002-2003 e 2014-2015 as variáveis ambientais mostraram variações significativas entre as estações analisadas (Tab. 1). No período entre 2002-2003 as salinidades mais elevadas ocorreram no outono/2003 ($\bar{x} = 7,7; \pm 6,7$) e primavera/2003 ($\bar{x} = 7,5; \pm 6$), enquanto as salinidades mais baixas foram observadas na primavera/2002 ($\bar{x} = 0,8 \pm 2$) e verão/2003 ($\bar{x} = 6,1; \pm 5,4$), (Fig. 2A). Já entre 2014-2015, maiores salinidades foram registradas no verão/2015 ($\bar{x} = 2,6; \pm 3,2$) e outono/2015 ($\bar{x} = 8,2; \pm 6,6$) e as menores na primavera/2014 ($\bar{x} = 0,8; \pm 1,5$) e primavera/2015 ($\bar{x} = 0; \pm 0$) (Fig. 2B).

A profundidade da coluna d'água no período 2002-2003 apresentou médias mais elevadas na primavera/2002 ($\bar{x} = 76,7 \text{ cm} \pm 18$) e verão/2003 ($\bar{x} = 58,4 \text{ cm} \pm 16,6$) (Fig. 2C). Nas estações seguintes foram encontradas médias mais baixas, com os menores registros ocorrendo no inverno/2003 ($\bar{x} = 49,7 \text{ cm} \pm 17,6$) e primavera/2003 ($\bar{x} = 43,3 \text{ cm}; \pm 12,7$) (Fig. 2C). No início do período 2014-2015 a média de profundidade da coluna d'água foi de 57,7 cm ($\pm 20,3$), observada na primavera/2014 (Fig. 2D). Médias inferiores a esta foram registradas nas duas estações seguintes: verão/2015 ($\bar{x} = 40 \text{ cm}; \pm 17,4$) e outono/2015 ($\bar{x} = 34 \text{ cm}; \pm 18$), seguido por um período de elevação com valor máximo registrado na primavera/2015 ($\bar{x} = 101,4 \text{ cm}; \pm 36,6$) (Fig. 2D).

Os registros de vazão no período 2002-2003 evidenciaram médias mais elevadas entre a primavera/2002 ($\bar{x} = 3.708 \text{ m}^3.\text{s}^{-1} \pm 1.554$) e verão/2003 ($1.771 \text{ m}^3.\text{s}^{-1} \pm 999,4$) (Fig. 2E). Já as menores ocorreram nas estações seguintes: inverno/2003 ($\bar{x} = 1.524,8 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}; \pm 1.000$) e na primavera/2003 ($\bar{x} = 1502,3 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}; \pm 1.068,8$) (Fig. 2E). Entre 2014-2015, a vazão foi mais elevada na primavera/2014 ($\bar{x} = 2.737,2 \text{ m}^3.\text{s}^{-1} \pm 2.215,7$) em relação às estações seguintes, verão/2015 ($\bar{x} = 1.513,76 \text{ m}^3.\text{s}^{-1} \pm 1.182,6$) e outono/2015 ($\bar{x} = 967,4 \text{ m}^3.\text{s}^{-1} \pm 697,4$), aumentando novamente no inverno/2015 ($\bar{x} = 2.160,8 \text{ m}^3.\text{s}^{-1} \pm 2.046$) (Fig. 2F).

Os maiores percentuais de silte e argila no período 2002-2003 foram encontrados na primavera/2002 ($\bar{x} = 15,6 \% ; \pm 8,5$) e verão/2003 ($\bar{x} = 9,8 \% ; \pm 3,6$), reduzindo nas estações seguintes: inverno/2003 ($\bar{x} = 2,9 \% ; \pm 3,9$) e primavera/2003 ($\bar{x} = 3,9 \% ; \pm 1,5$) (Fig. 3A). No período 2014-2015, os

percentuais de silte e argila mais elevados ocorreram na primavera/2014 ($\bar{x} = 11,6 \% \pm 3,2$) e primavera/2015 ($\bar{x} = 7,6 \% \pm 0,9$), enquanto que os menores foram observados no outono/2015 ($\bar{x} = 6,2 \% \pm 1,8$) e inverno/2015 ($\bar{x} = 6,3 \% \pm 1,7$) (Fig. 3B).

As análises de regressão mostraram elevada correlação entre a vazão e a profundidade da coluna d'água ($R^2 = 0,883$) no período 2002-2003 (Fig. 4B). Da mesma forma, no período 2014-2015 correlações foram encontradas entre salinidade x profundidade da coluna d'água ($R^2 = 0,802$), vazão x profundidade da coluna d'água ($R^2 = 0,659$) (Fig. 4D, 4E, respectivamente).

A análise de Spearman evidenciou correlação positiva significativa entre a profundidade da coluna d'água e o percentual de finos no substrato ($\rho = 0,56$; $p = 0,029$) (Tab. 2) no período 2002-2003. No período 2014-2015 a vazão foi positivamente correlacionada com a profundidade da coluna d'água ($r^2 = 0,44$; $p = 0,017$) e negativamente correlacionada com a salinidade ($\rho = -0,58$; $p = 0,048$) (Tab. 2). Além disso, a salinidade foi negativamente correlacionada com a profundidade da coluna d'água ($\rho = -0,81$; $p = 0,000$) (Tab. 2).

3.2 RESULTADOS DOS PARÂMETROS BIOLÓGICOS

O início dos dois períodos de estudo foi caracterizado pela ausência do bivalve na primavera/2002 e baixas densidades médias na primavera/2014 ($\bar{x} = 131,08 \text{ Ind.m}^{-2} \pm 199,4$) (Fig. 5A; Fig. 5B, respectivamente). Comparando estas estações, não foram encontradas diferenças significativas nas densidades médias do bivalve (Tab. 3).

A presença de *E. mactroides* no período 2002-2003 foi registrada a partir do meio do verão/2003 (Fig. 6A). Nesta estação a densidade média aumentou significativamente ($4.585,99 \text{ Ind.m}^{-2}$; $\pm 6.520,86$), apresentando organismos, em sua maior parte, classificados entre 0,5 e 3 mm de tamanho (Tab. 1; Fig. 5A; Fig. 7A, respectivamente). Um aumento nas densidades médias do bivalve foi observado no final do verão/2015 (Fig. 6B). Nesta estação as foram de 3.019 Ind.m^{-2} (± 463) e a maioria dos organismos apresentaram entre 0,5 e 2 mm de comprimento (Fig. 5B; Fig. 7B, respectivamente). Comparando o verão/2002 e o verão/2015 não foram observadas diferenças significativas nas densidades médias (Tab. 3).

As maiores densidades médias nos dois períodos foram significativamente maiores no outono (Fig. 5A; Fig. 5B). No outono/2003 foram encontrados $11.656 \text{ Ind.m}^{-2}$ (± 6.990) e maioria dos organismos foram classificados entre 1 e 6 mm de comprimento (Fig. 5A; Fig. 7C, respectivamente). Durante o outono/2015 as densidades médias foram $12.425 \text{ Ind.m}^{-2}$ ($\pm 9.039,7$) e a maioria dos organismos foi classificada entre 0,5 e 3 mm (Fig. 5B; Fig. 7D, respectivamente). Entre o outono/2003 e o outono/2015 não foram observadas diferenças significativas nas densidades médias do bivalve (Tab. 3).

Não foram encontradas diferenças significativas entre as densidades médias do inverno/2003 e inverno/2015, bem como entre a primavera/2003 e Primavera/2015 (Tab. 3). No inverno/2003 foram encontrados 7.969 Ind.m^{-2} (± 4.682) (Fig. 5A). A partir desta estação foi notada a ausência de indivíduos menores que 1 mm (indivíduos recém assentados), sendo a maioria

classificada entre 2 e 7 mm (Fig. 7E). No inverno/2015 foram encontrados 6.260,7 Ind.m⁻² (\pm 2.652,5), com maioria dos indivíduos classificada entre 2 e 5 mm e organismos menores que 1 mm ausentes (Fig. 5B; Fig. 7F, respectivamente). Na primavera/03 foram encontrados 6.362 Ind.m⁻² (\pm 3.987), com organismos classificados entre 3 e 8 mm (Fig. 5A; Fig. 7G, respectivamente). Já na primavera/2015 foi registrada a média de 6.167 Ind.m⁻² (\pm 2.579,4) e a maioria dos exemplares de *E. mactroides* foram classificados entre 4 e 6,5 mm (Fig. 5B; Fig. 7H, respectivamente).

Correlações significativas foram encontradas entre as variáveis biológicas e ambientais nos dois períodos analisados (Tab. 2). Entre o período de 2002-2003 a salinidade esteve positivamente correlacionada com as densidades da *E. mactroides* ($\rho = 0,66$; $p = 0,07$) (Tab. 2). As densidades do bivalve foram negativamente correlacionadas com os teores de finos ($\rho = -0,578$; $p = 0,024$) no substrato e profundidade da coluna d'água ($\rho = -0,599$; $p = 0,023$) (Tab. 2).

Entre o período 2014-2015, correlações significativas foram encontradas entre as variáveis ambientais e biológicas. As densidades da *E. mactroides* estiveram inversamente correlacionadas com os percentuais de sedimentos finos ($\rho = -0,755$; $p = 0,002$) (Tab. 2). Não foi encontrada significância entre os demais parâmetros para este período (Tab. 2).

4. DISCUSSÃO

Mudanças nas características hidrológicas do ELP nos dois períodos (2002-2003 e 2014-2015) podem ser atribuídas à influência dos fenômenos *El Niño*/2002-2003 e *El Niño*/2015-2016. Estas modificações implicaram em recrutamentos com elevadas densidades da *E. mactroides* após elevadas vazões.

No presente estudo, baixas salinidades, elevados fluxos de vazante e maiores profundidades da coluna d'água no ELP, ocorreram na primavera/2002 e entre primavera/2014 e verão/2015, influenciadas pela ocorrência do fenômeno *El Niño*/2002-2003 e *El Niño*/2015-2016, respectivamente. Ambos os períodos foram sucedidos por águas com características mixohalinas, devido à diminuição dos fluxos de vazão. No período 2014-2015 foram observadas menores salinidades associadas a um aumento na vazão e profundidade da coluna d'água a partir do inverno/2015.

Os maiores fluxos de vazão registrados no presente estudo coincidiram com os maiores percentuais de silte e argila no substrato. De acordo com Dyer (1986), esta variabilidade temporal da concentração de sedimentos finos nos estuários está relacionada com o regime de vazão, maré, ventos e correntes. No estuário do Rio Tana (Norte do Quênia), as maiores concentrações de sedimentos finos coincidiram com os meses de maior vazão e com marés de quadratura (Kitheka *et al.* 2005). Variações temporais da concentração de finos na coluna d'água também foram observadas no estuário do Rio Changjiang

(China), sendo o seu principal agente causador as correntes geradas pelos ventos (Chen *et al.* 2006).

No ELP, a maior parte do material em suspensão é formada por silte e argila, sendo estes transportados principalmente pelos rios que compõem a bacia de drenagem (Calliari *et al.* 2009). As maiores concentrações de sedimentos finos aumentam em direção à desembocadura da laguna, onde as feições geomorfológicas e a penetração de água marinha no estuário favorecem a ressuspensão dos sedimentos depositados (Niencheski & Windom 1994).

A ocorrência de elevados teores de silte e argila no substrato foram relacionadas a baixas densidades de *E. mactroides* no presente trabalho. Em ambos os períodos esta situação precedeu recrutamentos com elevadas densidades (caracterizados pela presença de organismos entre 0,5 e 3 mm) que ocorreram simultaneamente à diminuição de finos. Além disso, estes recrutamentos ocorreram associados às maiores salinidades e diminuição dos fluxos de vazante e profundidade da coluna d'água. Ademais, através da análise de distribuições de frequência de tamanhos dos organismos que ocorreram tanto em 2002-2003 quanto em 2014-2015, foi possível observar um aumento gradativo no comprimento dos exemplares de *E. mactroides*, e ausência de novos recrutamentos a partir dos invernos.

Os recrutamentos do bivalve na porção sul do ELP, quando ocorrem, normalmente são observados no final da primavera e início do verão, podendo também ser observados até o início do inverno (Geraldi 2002; Rosa & Bemvenuti 2006; Colling *et al.* 2010). Estes recrutamentos têm origem das

larvas, originadas dos indivíduos adultos da espécie, situados na região límnic e pré-límnic do estuário, que acompanham a vazão em direção ao sul do estuário.

No baixo estuário, as densidades da espécie ao longo dos anos são caracterizadas pela ausência em determinadas épocas, com valores geralmente abaixo de 4.000 Ind.m² e recrutamentos em grandes proporções logo após períodos de elevadas vazões (Rosa & Bemvenuti 2006; Colling *et al.* 2007; 2010; 2011). Este fato mostra que o sucesso dos recrutamentos nas enseadas sul estuarinas está intimamente ligado às condições hidrológicas, sendo estes favorecidos pela vazão elevada, intensificada durante o *El Niño* (Colling *et al.* 2010). No presente estudo, os maiores fluxos de vazantes, determinados pelos eventos *El Niño*/2002-2003 e *El Niño*/2015-2016 no ELP, além dos recrutamentos que ocorreram após o enfraquecimento da vazão nos dois períodos (2002-2003 e 2014-2015) evidenciam esta relação e mostram a recorrência deste fato na região estuarina. Devido ao fato de não terem sido observados recrutamentos durante os meses de maior vazão do ENSO, não podem ser descartados os efeitos negativos dos maiores percentuais de finos sobre eventuais recrutas assentados (Colling 2010). Além disso, a perda de larvas para zonas costeiras adjacentes também é possível durante os fortes fluxos de vazante.

Trabalhos realizados em diferentes estuários mostraram a importância do fenômeno ENSO na dinâmica de bivalves. Mesmo apresentando relações com eventos *El Niño*, a dinâmica da espécie *Soletellina alba* Lamarck 1818, mostrou padrões distintos quando comparados ao ELP. Este bivalve apresenta

massivas mortalidades no estuário do Rio Hopkins (Austrália) durante o inverno, período caracterizado por vazões elevadas e salinidades mais baixas. Porém, em um ano sob influência de *El Niño*, a permanência de salinidades altas em decorrência dos baixos fluxos de vazão, resultaram em maiores densidades do bivalve durante o inverno (Matthews, 2006). Maiores fluxos de vazão e salinidades baixas no estuário *Mission–Aransas* (EUA) durante o *El Niño* foram associados à baixa abundância, redução no número de recrutas e diminuição nas taxas de filtração na população do bivalve *Crassostrea virginica* Gmelin 1791 (Pollack *et al.* 2011). No estuário da Lagoa dos Patos, o bivalve límnico invasor *Limnoperna fortunei* (Dunker 1857) apresentou elevadas densidades no setor norte da região estuarina e a ocorrência, em menor densidade, de exemplares no setor sul durante as elevadas vazões do *El Niño* 2002-2003. Porém, elevadas mortalidades e ausência desta espécie na região estuarina foram atribuídas à elevada salinização após a influência deste evento (Capítoli *et al.* 2008).

A compreensão sobre a variabilidade temporal das populações de bivalves em relação às variações do clima, como as observadas durante o ENSO, evoluem como consequência da ocorrência de eventos climáticos extremos. O presente estudo integrou e comparou informações sobre as condições hidrológicas de um estuário subtropical durante dois períodos associados a anomalias de vazante, devido à influência de eventos *El Niño*, relacionando-os com os recrutamentos do bivalve *E. mactroides*. Desta forma, evidenciou-se a importância de eventos climáticos de larga escala à dinâmica de um importante componente da macrofauna bentônica estuarina, em um

ecossistema costeiro com características hidrológicas específicas, porém fortemente dependentes da pluviosidade regional. Os intensos recrutamentos do bivalve na região estuarina da Lagoa dos Patos ocorreram de forma recorrente em dois eventos *El Niño*, associados à elevada vazão, evidenciando a relação de fenômenos climáticos com variabilidade temporal da espécie neste estuário.

5.REFERÊNCIAS

- ANA, 2015. Hidroweb, Sistemas Informações Hidrológicas. Agência Nacional das Águas. 20/07/2016. <http://hidroweb.ana.gov.br/>
- BEMVENUTI, C.E & NETTO, S.A. 1998. Distribution and seasonal patterns of the sublittoral benthic macrofauna of Patos Lagoon (South Brazil). *Revista Brasileira de Biologia*, 58 (2): 211-221.
- BEMVENUTI, C.E., CAPÍTOLI, R.R & GIANUCA, N.M. 1978. Estudos de Ecologia Bentônica na Região Estrutural da Lagoa dos Patos II – Distribuição Quantitativa do Macrobentos Infralitoral. *Atlântica*, 3: 23-32.
- BOM, 2015. Australian Government Bureau of Meteorology. 20/07/2016. <http://www.bom.gov.au/climate/enso/>
- CALLIARI, L.J., WINTERWERP, J.C., FERNANDES, E., CUCHIARA, D., VINZON, S.B., SPERLE, M. & HOLLAND, K.T. 2009. Fine grain sediment transport and deposition in the Patos Lagoon-Cassino beach sedimentary system. *Continental Shelf Research*, 29: 515-529.

CAPÍTOLI, R.R. & ORTEGA, E.L. 1993. Contribuição ao conhecimento do espectro trófico de *Cyrtograpsus angulatus* Dana nas enseadas vegetadas de águas rasas da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. *Nauplius*, 1: 81-87.

- CAPÍTOLI, R.R., COLLING, L.A. & BEMVENUTI, C.E. 2008. Cenário de distribuição do Mexilhão Dourado *Limnoperna fortunei* (Mollusca - Bivalvia) sob distintas condições de salinidade no complexo lagunar Patos-Mirim, RS - Brasil. *Atlântica*, 30 (1): 35-44.
- CHEN, S.L., ZHANG, G.A., YANG, S.L. & SHI, J.Z. 2006. Temporal variations of fine suspended sediment concentration in the Changjiang River estuary and adjacent coastal waters, China. *Journal of Hydrology*, (331): 137-145.
- COLLING, L.A. 2011. Variabilidade de curto, médio e longo prazo das associações de macroinvertebrados bentônicos em uma enseada estuarina da Lagoa dos Patos, RS - Brasil. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande (FURG) (Tese de doutorado em Oceanografia Biológica).
- COLLING, L.A. BEMVENUTI, C.E & PINOTTI, R.M. 2010. Temporal variability of the bivalvo *Erodona mactroides* BOSCH, 1802 during and after the *El Niño* phenomenon (2002/2003) in a subtropical lagoon, southern Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 22 (4): 410-423.
- COLLING, L.A., BEMVENUTI, C.E. & GANDRA, M.S. 2007. Seasonal variability on the structure of sublittoral macrozoobenthic association in the Patos Lagoon estuary, southern Brazil. *Iheringia. Série Zoologia*, 97:257-263.

- COLLINS, M., NA, S., CAI, W., GANACHAUD, A., GUILYARDI, E., JIN, F., JOCHUM, M., LENGAINNE, M., POWER, S., TIMMERMANN, A., VECCHI, G. & WITTENBERG, A. 2010. The impact of global warming on the tropical Pacific Ocean and *El Niño*. *Nature Geoscience*, doi: 10.1038/ngeo868.
- COSTA, C.S.B., SEELIGER, U. & KINAS, P.G. 1988. The effect of wind velocity and direction on the salinity regime in the lower Patos Lagoon estuary. *Ciência e Cultura*, 40 (9): 909-912.
- DARRIGRAN, G.A. 1999. Spatial and temporal changes of the malacofauna from a sandy shore in the Río de La Plata, Argentina. *Malacological Review*, 31/32 (2): 101-115.
- DYER, K.R. 1986. Coastal and Estuarine Sediment Dynamics. Wiley, Chichester. 342 p.
- FERNANDES, E.H.L., DYER, K.R., MÖLLER, O.O. & NIENCHESKI, L.F.H. 2002. The Patos Lagoon hydrodynamics during an *El Niño* event (1998). *Continental Shelf Research*, 22: 1699-1713.
- FERREIRA, L.S., BARROS, A., BARUTOT, R.A. & D'INCAO, F. 2011. Comparação da dieta natural do Siri-Azul *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Crustacea: Decapoda: Portunidae) em dois locais no estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. *Atlântica*, 32 (2): 115-122.

- GARCIA, A.M., HOENGHAUS, D.J., VIEIRA, J.P. & WINEMILLER, K.O. 2007. Isotopic variation of fishes in freshwater and estuarine zones of a large subtropical coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 73: 399-408.
- GARCIA, A.M., VIEIRA, J.P. & WINEMILLER, K.O. 2001. Dynamics of the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon estuary (Brazil) during cold and warm ENSO episodes. *Journal of Fish Biology*, 59: 1218-1238.
- GERALDI, R.M. 2002. Distribuição espacial, recrutamento, crescimento e mortalidade de *Erodona mactroides* BOSCH, 1802 (MOLLUSCA, PELECYPODA) na Lagoa dos Patos, RS - Brasil. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande. (Tese de Doutorado em Oceanografia Biológica).
- GRIMM, A., BARROS, V.R. & DOYLE, M. 2000. Climate Variability in Southern South America Associated with *El Niño* and *La Niña* Events. *American Meteorological Society*, 13: 35-57.
- HARAGUCHI, L., CARSTENSEN, J., ABREU, P.C. & ODEBRECHT. 2015. Long-term changes of the phytoplankton community and biomass in the subtropical shallow Patos Lagoon Estuary, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 162: 76-87.

- HESTIR, E.L. SCHOELLHAMER, D.H., MORGAN-KING, T. & USTIN, S.L. 2013. A step decrease in sediment concentration in a highly modified tidal river delta following the 1983 *El Niño* floods. *Marine Geology*, 345: 304-313.
- JORCÍN, A. 1996. Distribucion, abundancia y biomassa de *Erodona mactroides* DAUDIN 1801 (Mollusca, Bivalvia) en la Laguna de Rocha (Dpto. De Rocha, Uruguay). *Revista Brasileira de Biologia*, 56: 152-162.
- KITHEKA, J.U., OBIERO, M. & NTHENGE, P. 2005. River discharge, sediment transport and exchange in the Tana Estuary, Kenya. *Estuarine Coastal and Science*, 63: 455-468.
- KJERFVE, B. 1986. Comparative oceanography of coastal lagoons. *In*: WOLFE, D.A. (ed). Estuarine variability. Orlando: Academic Press. p. 63-81.
- MARANGONI, J.C. & COSTA, C.S.B. 2012. Short- and Long-Term Vegetative Propagation of Two *Spartina* Species on a Salt Marsh in Southern Brazil. *Estuaries and Coasts*, 35: 763-773.
- MARQUES, W.C., STRINGARI, C.E. & EIDT, R. 2014. The Exchange Processes of the Patos Lagoon Estuary – Brazil: A Typical *El Niño* Year versus a Normal Meteorological Conditions Year. *Advances in Water Resource and Protection*, 2: 11-20.

- MATTHEWS, T.G. 2006. Spatial and temporal changes in abundance of the infaunal bivalve *Soletellina alba* (Lamarck, 1818) during a time of drought in the seasonally-closed Hopkins River Estuary, Victoria, Australia. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 66: 13-20.
- MCPHADEN, M.J. 2004. Evolution of the 2002/03 El Niño. *American Meteorological Society*. Doi: 10.1175/BAMS-85-5-677.
- MCTI, 2014. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 21/06/2016. http://www.cptec.inpe.br/~rupload/arquivo/GTPCS_Nota03_24102014.pdf
- MCTI, 2015. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 21/06/2016. www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2011/10/Relat%C3%B3rio-Reuni%C3%A3o-Climatica-MAR%C3%87O-2015-S%C3%A3o-Paulo.pdf
- MÖLLER, O.O. & FERNANDES, E.H.L. 2010. Hidrologia e Hidrodinâmica. Pp. 15-25. In: SEELIGER, U. & ODEBRECHT, C. (Eds). O estuário da Lagoa dos Patos, um século de transformações. Rio Grande, Ed. FURG, 179 p.
- MÖLLER, O.O., CASTAING, P., SALOMON, J. & LAZURE, P. 2001. The Influence of Local and Non-Local Forcing Effects on the Subtidal Circulation of Patos Lagoon. *Estuaries*, 24 (2): 297-311.
- MÖLLER, O.O., CASTAING, P., FERNANDES, E.H.L. & LAZURE, P. 2007. Tidal Frequency Dynamics of a Southern Brazil Coastal Lagoon:

- Choking and Short Period Forced Oscillations. *Estuarine and Coasts*, 30 (2): 321-320.
- MÖLLER, O.O., CASTELLO, J.P. & VAZ, A.C. 2009. The Effect of River Discharge and Winds on the Interannual Variability of the Pink Shrimp *Farfantepenaeus paulensis* Production in Patos Lagoon. *Estuarine and Coasts*, 32:787-796.
- MUXAGATA, E. AMARAL, W.J.A. & BARBOSA, C.N. 2012. *Acartia tonsa* production in the Patos Lagoon estuary, Brazil. *ICES Journal of Marine Science*, 69 (3): 475-482.
- NAGY, G.J., SEVEROV, D.N., PSHENNIKOV, V.A., SANTOS, M., LAGOMARSINO, J.J., SANS, K. & MOROZOV, E.G. 2008. Rio de la Plata estuarine system: Relationship between river flow and frontal variability. *Advances in Space Research*, 41: 1876-1881.
- NIENCHESKI, L.F.H. & WINDOM, H.L. 1994. Nutrient flux and budget in Patos Lagoon estuary. *Science of The Total Environment*, 149: (1-2): 53-60.
- NOAA, 2015. National Oceanic and Atmospheric Administration, 21/06/2016. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml
- POLLACK, J.B. KIM, H.C., MORGAN, E.K. & MONTAGNA, P.A. 2011. Role of Flood Disturbance in Natural Oyster (*Crassostrea virginica*) Population Maintenance in an Estuary in South Texas, USA. *Estuarine and Coasts*, 34: 187-197.

- ROPELEWSKI, C. & HALPERT, M. 1987. Global and regional scale precipitation associated with *El Niño*/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115: 1606–1626.
- ROSA, L. C. & BEMVENUTI, C. E. 2006. Temporal variability of the estuarine macrofauna of the Patos Lagoon, Brasil. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 41 (1): 1-9.
- SCHMIDT, N. & LUTHER, M.E. 2002. ENSO Impacts on Salinity in Tampa Bay, Florida. *Estuaries*, 25 (5): 976-984.
- SUGUIO, K. 1973. Introdução à sedimentologia. EDUSP, São Paulo. 317 p.
- TRENBERTH, K.E. 1997. The Definition of *El Niño*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78 (12): 2771-2777.
- TRENBERTH, K.E., CARON, J.M., STEPANIAK, D.P. & WORLEY, S. 2002. Evolution of El Niño–Southern Oscillation and global atmospheric surface temperature. *Journal of Geophysical Research*, 107: 5-14.

6. TABELAS E FIGURAS

Tabela 1. Resultado da Análise de Variância (ANOVA, uma via, $\alpha = 0,05$), evidenciando variações sazonais dos parâmetros ambientais e das densidades de *E. mactroides* (ind.m⁻²), nos períodos 2002-2003 e 2014-2015. As letras minúsculas, em negrito referem-se aos testes post-hoc. GL = Graus de liberdade; F = F de Fisher; p = p-valor; P.C.D. = Profundidade da coluna d'água; Finos = percentual de sedimentos finos (silte + argila); P/02 = primavera/2002; P/03 = primavera/2003; P/14 = primavera/2014; P/15 = primavera/2015 V = verão, Outono; I = inverno.

Variável	Fator	GL	F	p	Post Hoc
Salinidade	Sazonal 2002-2003	4	20,4	0,000	P/02 a < V b < O c > I bc < P/03 c
	Sazonal 2014-2015	4	80,5	0,000	P/14 a < V b < O c > I a > P/15 b
P.C.D	Sazonal 2002-2003	4	44,5	0,000	P/02 a > V b > O b > I bc > P/03 c
	Sazonal 2014-2015	4	91,8	0,000	P/14 a > V b > O b < I c < P/15 d
Vazão	Sazonal 2002-2003	4	45,5	0,000	P/02 a > V b > O b > I b > P/03 b
	Sazonal 2014-2015	3	14,14	0,000	P/14 a > V a > O b < I a
Finos	Sazonal 2002-2003	4	20,36	0,000	P/02 a > V b > O b > I c < P/03 c
	Sazonal 2014-2015	4	10,14	0,000	P/14 a > V b > O b > I b < P/15 b
<i>E. mactroides</i>	Sazonal 2002-2003	4	24,7	0,000	P/02 a < V b < O c > I d > P/03 bd
	Sazonal 2014-2015	4	30,5	0,000	P/14 a < V a < O b > I ac > P/15 c

Tabela 2 Resultados das correlações de Pearson (r^2) e Spearman (ρ) entre as variáveis ambientais e as densidades de *E. mactroides* nos 2002-2003 e 2014-2015 analisados. P.C.D. = profundidade da coluna d'água; Finos = percentual de sedimentos finos. Os números em negrito destacam as correlações significativas.

Variáveis	Fator	N	r^2/ρ	p
Vazão x Salinidade	2002-2003	15	0,132	0,182
	2014-2015	12	-0,58	0,048
Salinidade x P.C.D.	2002-2003	15	0,157	0,157
	2014-2015	14	-0,81	0,000
Salinidade x Finos	2002-2003	15	-0,503	0,055
	2014-2015	14	0,054	0,852
Vazão x P.C.D	2002-2003	15	0,008	0,737
	2014-2015	12	0,44	0,017
Vazão x Finos	2002-2003	15	0,495	0,071
	2014-2015	12	0,062	0,845
P.C.D. x Finos	2002-2003	15	0,56	0,029
	2014-2015	13	-0,329	0,91
<i>E. mactroides</i> x Vazão	2002-2003	15	-0,33	0,222
	2014-2015	11	-0,405	0,216
<i>E. mactroides</i> x Salinidade	2002-2003	15	0,66	0,007
	2014-2015	13	0,266	0,378
<i>E. mactroides</i> x P.C.D.	2002-2003	15	-0,599	0,023
	2014-2015	13	-0,206	0,499
<i>E. mactroides</i> x Finos	2002-2003	15	-0,578	0,024
	2014-2015	13	-0,206	0,499

Tabela 3. Resultados da Análise de Variância interanual (ANOVA, uma via, $\alpha = 0,05$) e teste Post-Hoc, comparando as densidades de *E. mactroides* entre as estações pareadas. P/02 = primavera/02; P/03 = primavera/2003; P/14 = primavera/2014, P/15 = primavera/2015; V/03 = verão/2003; V/15 = verão/2015; O/03 = outono/2003; O/15 = outono/2015; I/03 = inverno/2003; I/15 = inverno/2015. F = F de Fisher; GL = Graus de Liberdade; p = p – valor.

Variável	Fator	GL	F	p
<i>E. mactroides</i>	2002 -2003 x 2014 - 2015	4	23,88	0,000

Estações	Post-Hoc				
	P/14	V/15	O/15	I/15	P/15
P/02	0,998	-	-	-	-
V/03	-	0,961	-	-	-
O/03	-	-	0,95	-	-
I/03	-	-	-	0,233	-
P/03	-	-	-	-	0,905

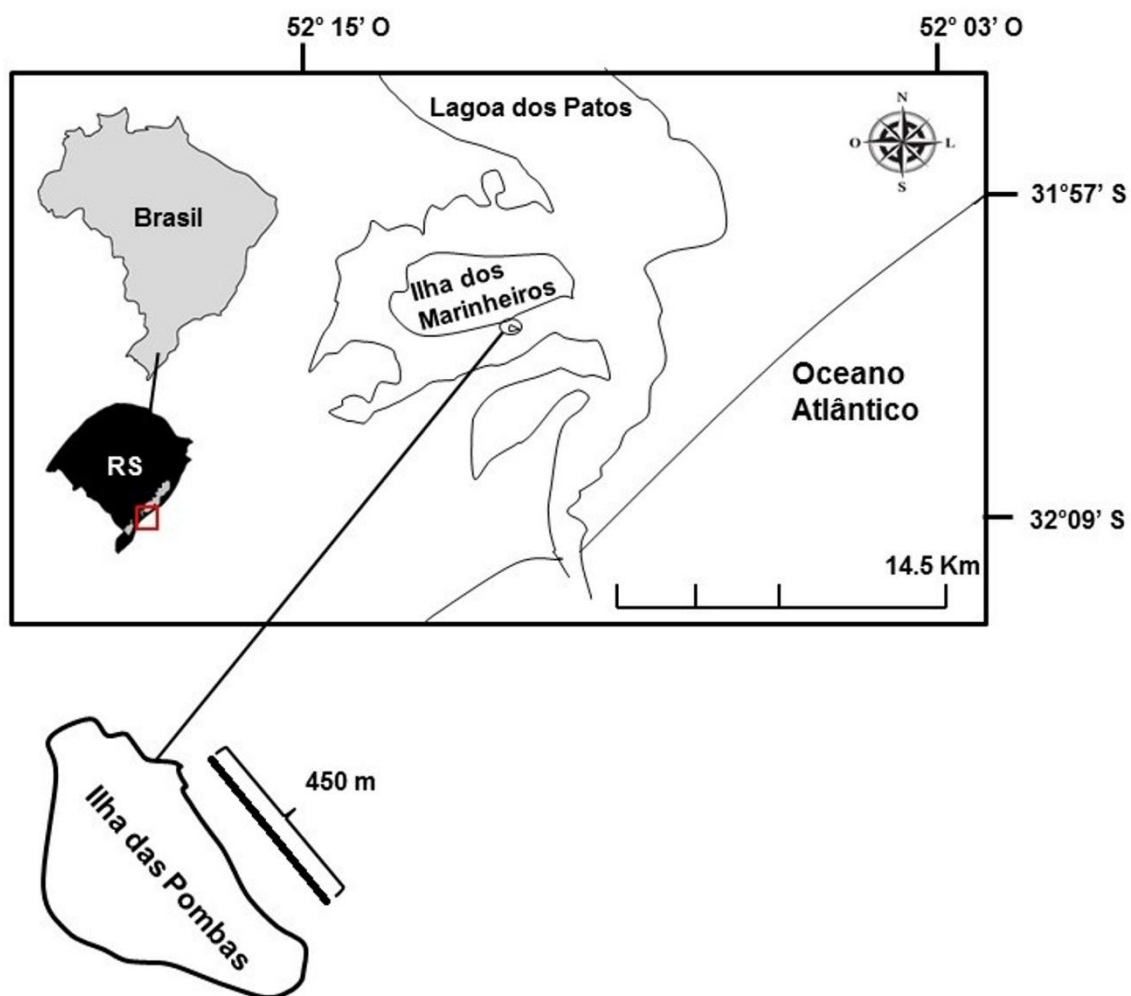


Figura 8. Mapa da área de estudo, destacando a Ilha das Pombas e a transversal de 450 m.

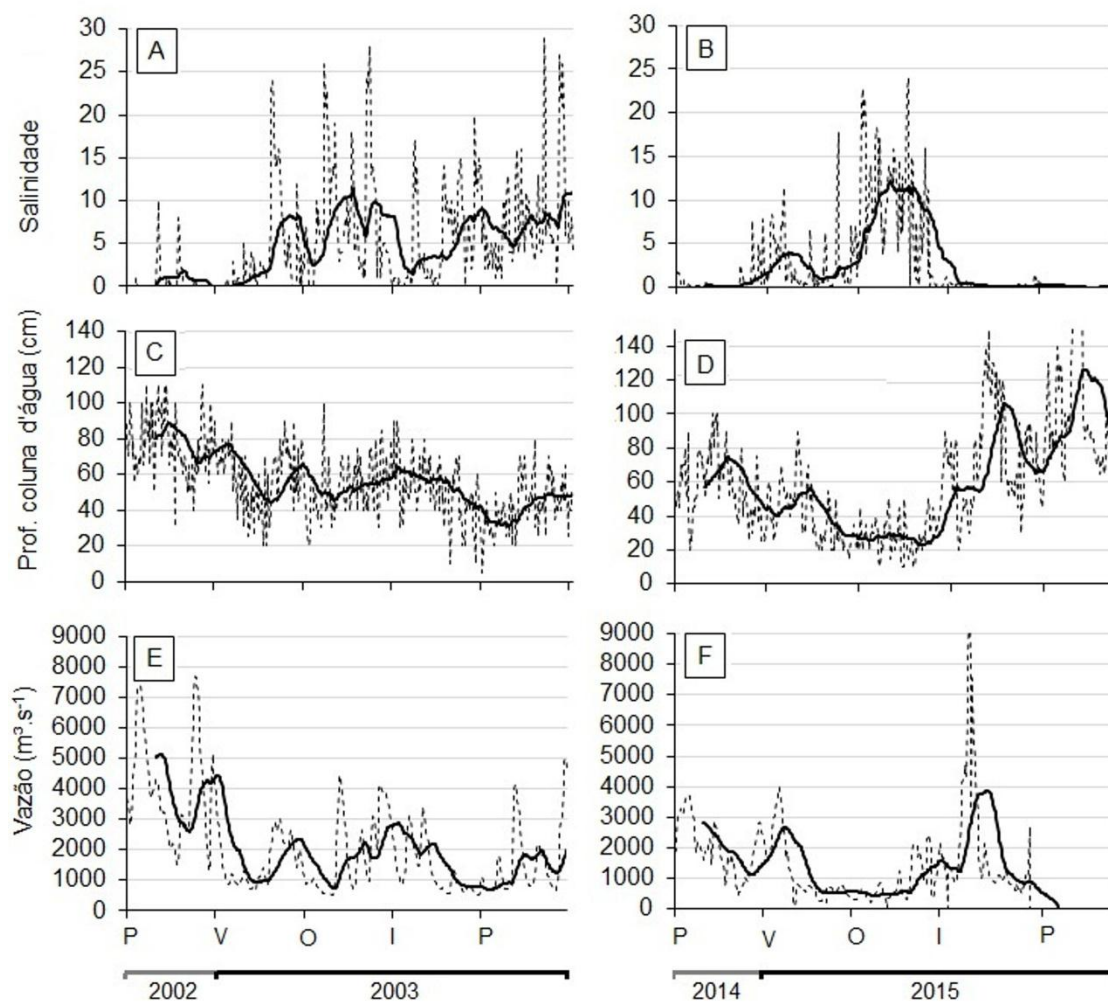


Figura 2. Dados de salinidade (A, B), profundidade da coluna d'água (C, D) e vazão (E, F) obtidos nos dois períodos (2002-2003, 2014-2015, respectivamente). As linhas pretas correspondem a médias mensais e as pontilhadas correspondem a valores de diários. P = primavera; V = verão; O = outono; I = inverno.

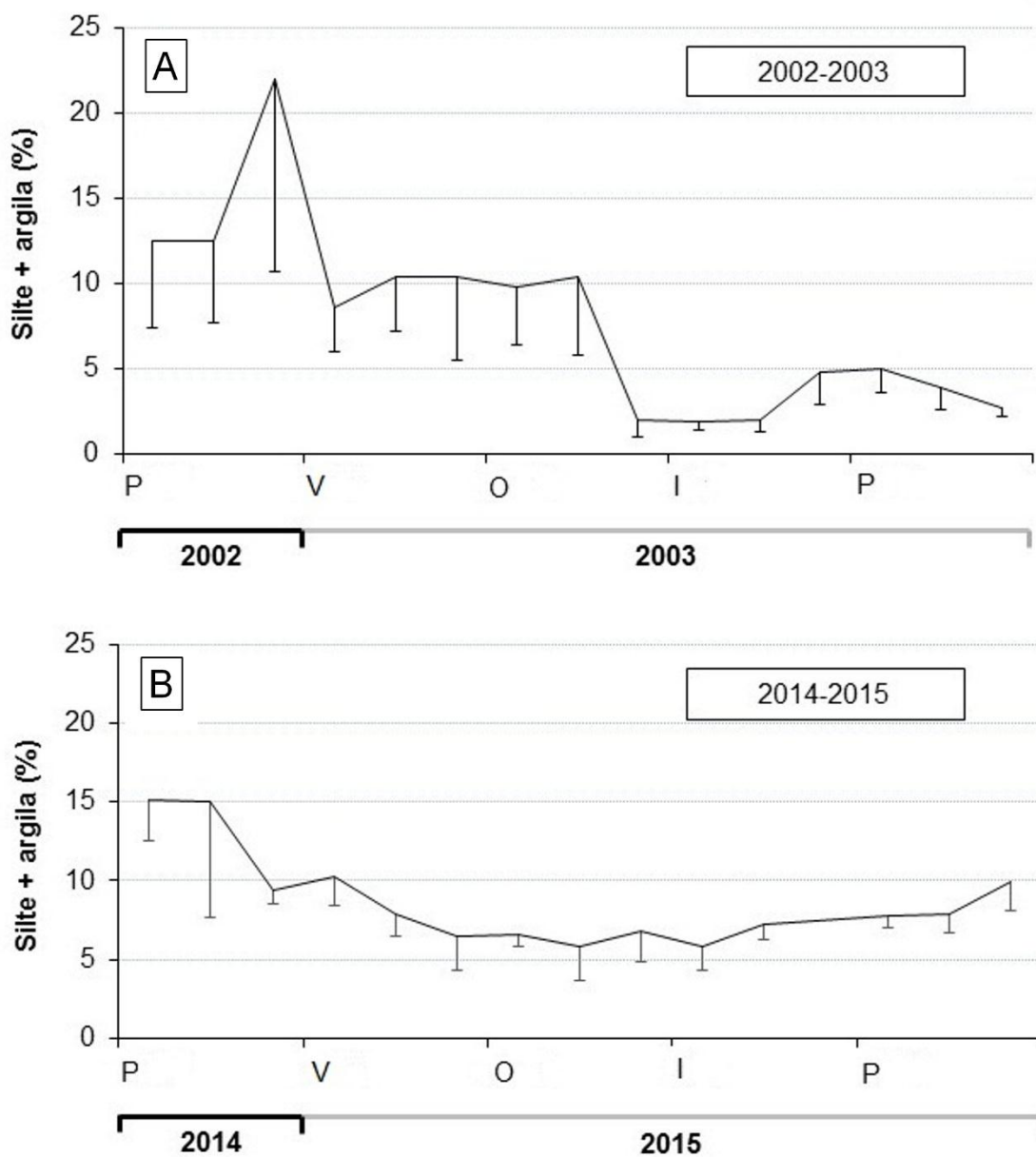


Figura 9. Médias mensais e desvio padrão (linhas verticais) dos percentuais de silte e argila obtidos durante os períodos 2002-2003 (A) e 2014-2015 (B). P = primavera; V = verão; O = outono; I = inverno.

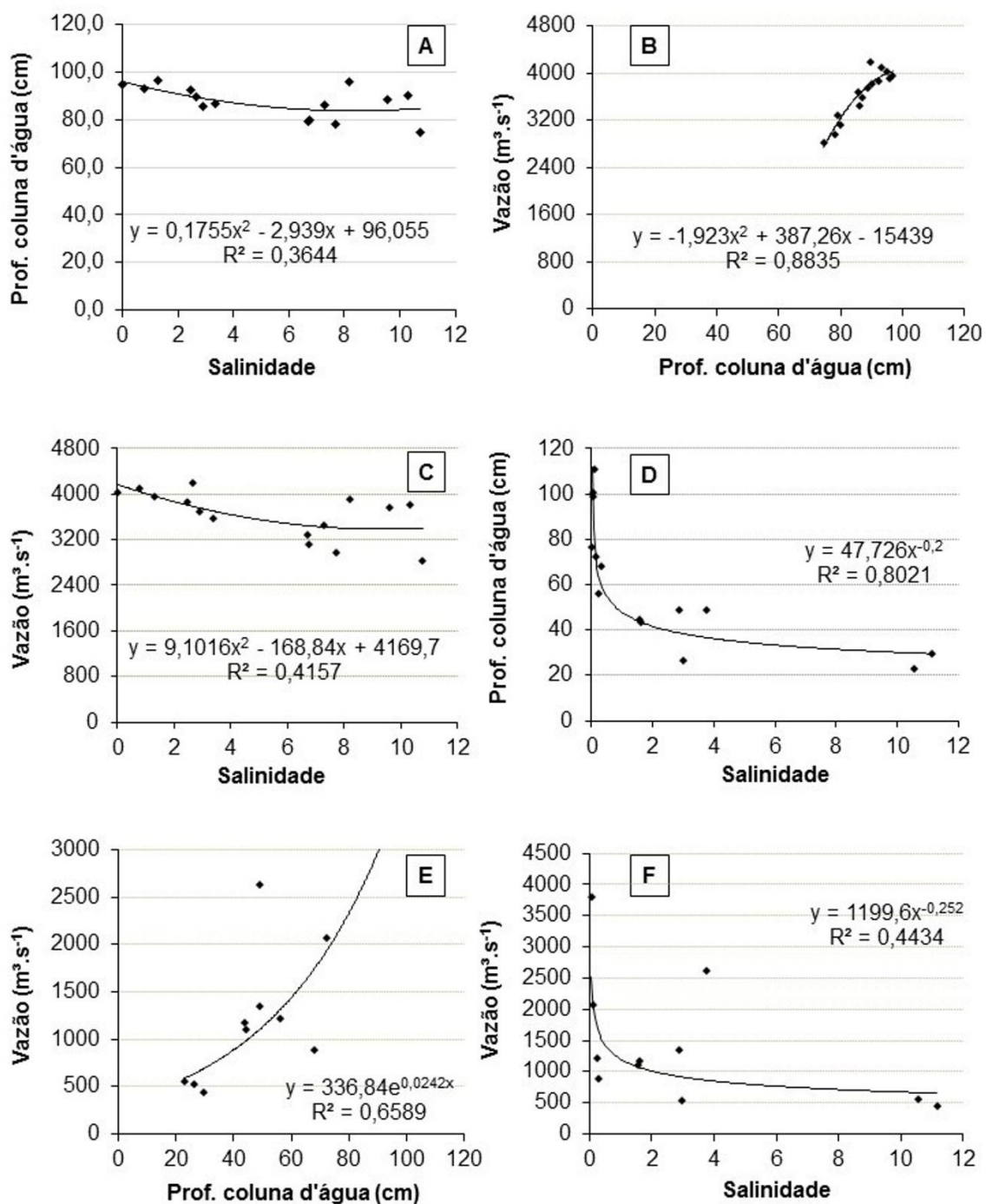


Figura 4. Resultados das análises de regressão realizadas entre os parâmetros ambientais no período de 2002-2003 (A – C) e 2014-2015 (D – F).

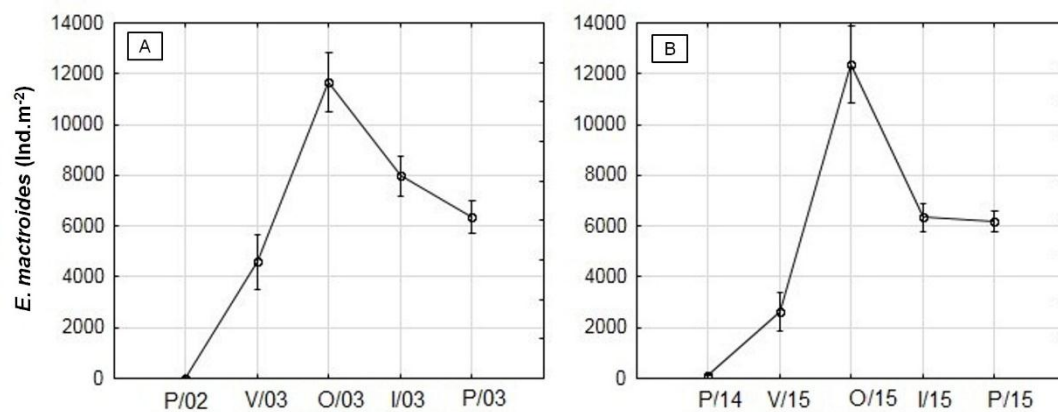


Figura 510. Densidades médias sazonais (ind.m⁻²) de *E. mactroides* registrados nos períodos 2002-2003 (A) e 2014-2015 (B).

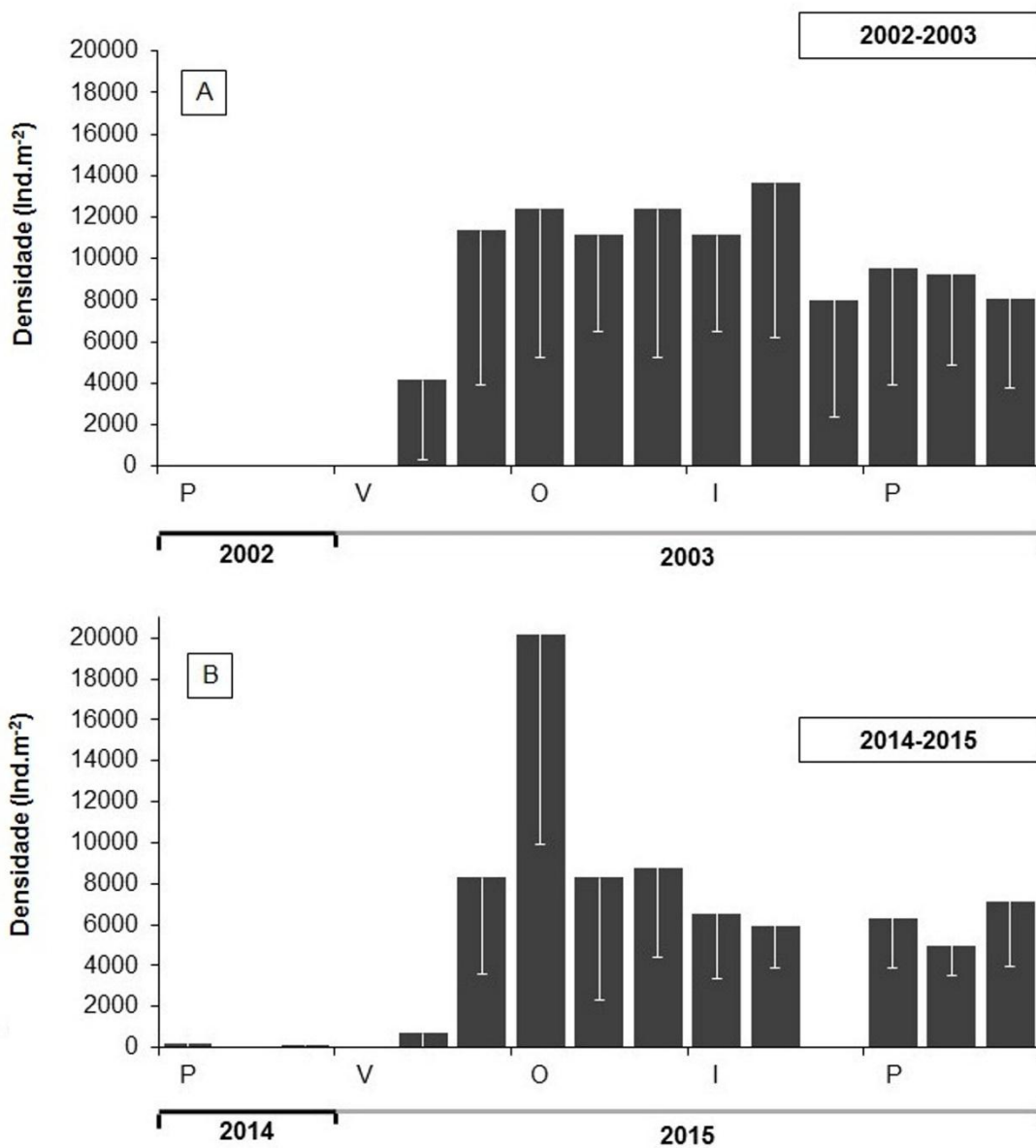


Figura 6. Densidades médias (Ind.m⁻²) de *E. mactroides* encontradas nos períodos 2002-2003 (A) e 2014-2015 (B). As barras brancas indicam o desvio padrão. P = primavera; V = verão; O = outono; I = inverno

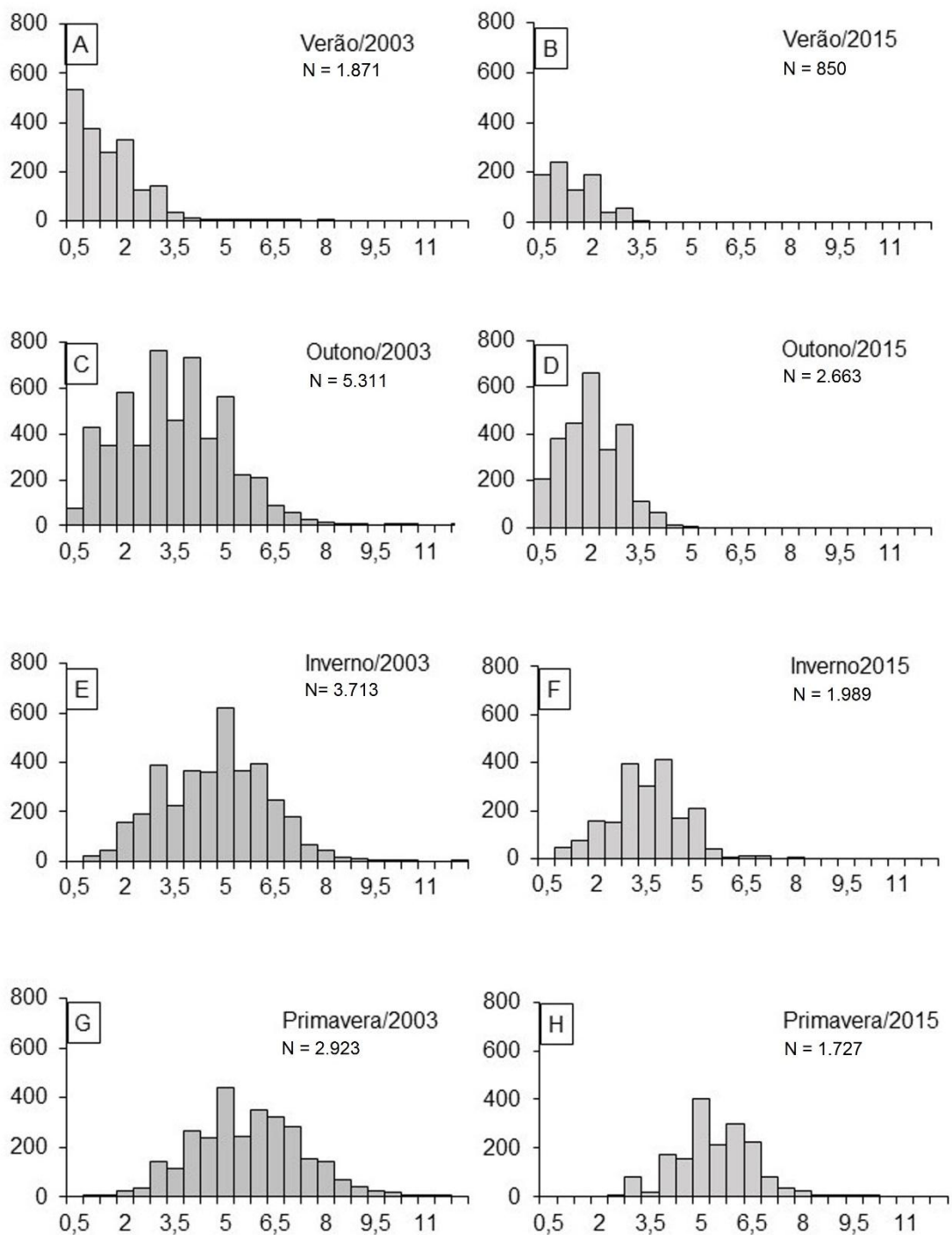


Figura 7. Distribuição de frequência das classes de tamanho de *E. mactroides*, obtidos ao longo das estações analisadas no presente estudo.

CONCLUSÕES

CAPÍTULO 1

- Os parâmetros ambientais salinidade, profundidade da coluna d'água e vazão mostraram importante variação temporal no período de estudo e foram influenciados pelo evento *El Niño*/2015-2016.

- A avaliação espacial das densidades de *E. mactroides* nas enseadas do baixo estuário mostrou que os recrutamentos da espécie ocorrem em locais com hidrodinâmica específica, a qual possibilita o suprimento larval e posteriores assentamentos.

- O acompanhamento temporal mostrou a ocorrência recrutamentos de *E. mactroides* no setor S1 (Ilha das Pombas), associados a baixos percentuais de finos e maiores percentuais de matéria orgânica, após o período de elevada vazão e profundidade da coluna d'água e salinidades baixas, devido à influência do *El Niño*/2015-2016 na região.

CAPÍTULO 2

- O presente estudo mostrou que distintos eventos *El Niño* apresentam relações distintas com os parâmetros ambientais vazão, salinidade, profundidade da coluna d'água no estuário da Lagoa dos Patos.

- Através da comparação de distintos períodos influenciados por diferentes eventos *El Niño*, mostrou-se que os recrutamentos da *E. mactroides* ocorrem de forma recorrente, evidenciando a influência de fenômenos de larga escala na dinâmica da espécie na região estuarina.