

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

**VARIABILIDADE DE CURTO, MÉDIO E
LONGO PRAZO DAS ASSOCIAÇÕES DE
MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM
UMA ENSEADA ESTUARINA DA LAGOA
DOS PATOS, RS – BRASIL**

LEONIR ANDRÉ COLLING

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia
Biológica da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial à
obtenção do título de DOUTOR.

Orientador: Dr. Carlos Emílio Bemvenuti

RIO GRANDE
Maio de 2011

ÍNDICE

RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	4
INTRODUÇÃO GERAL.....	7
OBJETIVOS.....	13
ÁREA DE ESTUDO.....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
CAPÍTULO 1 – VARIABILIDADE DE CURTO PRAZO DAS ASSOCIAÇÕES DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM UMA ENSEADA ESTUARINA DA LAGOA DOS PATOS, RS – BRASIL	
INTRODUÇÃO.....	24
HIPÓTESES.....	30
OBJETIVOS.....	31
MATERIAL E MÉTODOS.....	32
RESULTADOS.....	37
DISCUSSÃO.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
TABELAS.....	61
FIGURAS.....	64
CAPÍTULO 2 – VARIABILIDADE DE MÉDIO PRAZO DAS ASSOCIAÇÕES DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM UMA ENSEADA ESTUARINA DA LAGOA DOS PATOS, RS - BRASIL	
INTRODUÇÃO.....	79
HIPÓTESES.....	84
OBJETIVOS.....	85
MATERIAL E MÉTODOS.....	87
RESULTADOS.....	96
DISCUSSÃO.....	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120
TABELAS.....	129
FIGURAS.....	132

CAPÍTULO 3 – VARIABILIDADE DE LONGO PRAZO DAS ASSOCIAÇÕES DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM UMA ENSEADA ESTUARINA DA LAGOA DOS PATOS, RS – B RASIL	
INTRODUÇÃO.....	144
HIPÓTESES.....	147
OBJETIVOS.....	148
MATERIAL E MÉTODOS.....	147
RESULTADOS.....	152
DISCUSSÃO.....	160
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	173
TABELAS.....	181
FIGURAS.....	184
CONCLUSÕES.....	192
ANEXOS.....	195

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1) Datas em que foram desenvolvidas as amostragens de campo.....61

Tabela 2) Resultados da Análise de Variância ($p < 0,05$) para os percentuais de sedimentos finos no substrato, peso do sedimento depositado nos coletores dos experimentos de deposição sedimentar, e percentuais de sedimentos finos depositados nos coletores. SQ: soma dos quadrados; GL: graus de liberdade; SM: soma das médias; F: estatística de Fischer; p: nível de significância.....61

Tabela 3) Peso médio dos sedimentos depositados nos coletores dos experimentos de deposição, e taxas de deposição calculadas para os períodos dos experimentos. Etapa 1 (Outono), Etapa 2 (Inverno), Etapa 3 (Primavera) e Etapa 4 (Verão).....62

Tabela 4) Espécies coletadas durante as Etapas do trabalho. Célula branca: ausência da espécie; célula cinza clara: densidade entre 1 e 1.000 ind.m⁻²; célula cinza escura: densidade entre 1.001 e 10.000 ind.m⁻²; célula preta: densidade maior de 10.001 ind.m⁻².
.....63

Capítulo 2

Tabela 1) Resultados do teste de Análise de Variância para os parâmetros ambientais durante a Etapa 1. GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; F: estatística de Fischer; p: nível de significância.....129

Tabela 2) Espécies do macrozoobentos registradas durante o período amostral da Etapa 1. M: Mollusca; C: Crustacea; A: Annelida. Célula branca: ausência da espécie; célula cinza clara: densidade entre 1 e 1.000 ind.m⁻²; célula cinza escura: densidade entre 1.001 e 10.000 ind.m⁻²; célula preta: densidade maior de 10.001 ind.m⁻².
.....129

Tabela 3) Resultados do teste estatístico de Análise de Variância para as densidades totais da macrofauna, de *Erodona mactroides* e *Kalliapseudes schubarti*. GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; F: estatística de Fischer; p: nível de significância.
.....130

Tabela 4) Resultados dos testes estatísticos ANOSIM e SIMPER para as interações entre os períodos (sazonais) da primeira etapa do trabalho.....130

Tabela 5) Resultados da Análise de Correlação Canônica (ACC) e Teste de Permutação de Montecarlo aplicada às variáveis ambientais com maior influência significativa sobre a fauna.....131

Tabela 6) Espécies do macrozoobentos registradas durante o período amostral da segunda etapa. M: Mollusca; C: Crustacea; A: Annelida. Célula branca: ausência da espécie; célula cinza clara: densidade entre 1 e 1.000 ind.m⁻²; célula cinza escura: densidade entre 1.001 e 10.000 ind.m⁻²; célula preta: densidade maior de 10.001 ind.m⁻²131

Tabela 7) Resultados da Análise de Correlação Canônica (CCA) entre os parâmetros ambientais e biológicos da segunda etapa do trabalho.....131

Capítulo 3

Tabela 1) Resultados da Análise de Variância (ANOVA, uma via, p<0,05), entre as médias sazonais das variáveis ambientais vazão, salinidade e nível da coluna de água. SQ: soma dos quadrados; GL: graus de liberdade; SM: soma das médias; F: estatística de Fischer; p: nível de significância.....181

Tabela 2) Resultados da Análise de Correlação de Pearson entre os parâmetros ambientais da coluna de água.....181

Tabela 3) Espécies do macrozoobentos registradas durante o período amostral ISV: Inverno sem vegetação; ICV: Inverno com vegetação; VSV: Verão sem vegetação; VCV: verão com vegetação. M; Mollusca; C: Crustacea; A: Annelida. Célula branca: ausência da espécie; célula cinza clara: densidade entre 1 e 1.000 ind.m⁻²; célula cinza escura: densidade entre 1.001 e 10.000 ind.m⁻²; célula preta: densidade maior de 10.001 ind.m⁻²182

Tabela 4) Resultados da Análise de Correlação de Spearman entre as densidades totais da macrofauna, principais espécies e os parâmetros ambientais.....183

LISTA DE FIGURAS

Introdução Geral

Figura 1) Figura 1. Mapa da área de estudo no estuário da Lagoa dos Patos, com detalhe para a área amostral (pontos pretos).....14

Capítulo 1

Figura 1) Modelo de armadilha para captura de sedimento em suspensão utilizada para os experimentos de deposição de sedimentos.....64

Figura 2) Leituras diárias do nível da coluna de água (Etapa 1/Outono – a; Etapa 2/Inverno – c; Etapa 3/Primavera – e; Etapa 4/Verão – g) e de salinidade (Etapa 1/Outono – b; Etapa 2/Inverno – d; Etapa 3/Primavera – f; Etapa 4/Verão – h) durante os quatro períodos de estudo. As barras cinza representam os dias de amostragem.....65

Figura 3) Análises de Regressão Linear entre as leituras diárias de salinidade e profundidade da coluna de água para todas Etapa 1/Outono (a), Etapa 2/Inverno (b), Etapa 3/Primavera (c) e Etapa 4/Verão (d).....66

Figura 4) Intensidades máximas de vento (km.h^{-1}) registradas durante os períodos anteriores às amostragens biológicas durante o curto prazo de Outono (Etapa 1). Ventos antecedentes às amostragens do dia 07/5 (a), 12/5 (b), 19/5 (c), 24/5 (d), 31/5 (e) e 05/6 (f) de 2007.....67

Figura 5) Intensidades máximas de vento (km.h^{-1}) registradas durante os períodos anteriores às amostragens biológicas durante o curto prazo de Inverno (Etapa 2). Ventos antecedentes às amostragens do dia 23/8 (a), 28/8 (b), 06/9 (c), 11/9 (d) e 17/9 (e) de 2007.....67

Figura 6) Intensidades máximas de vento (km.h^{-1}) registradas durante os períodos anteriores às amostragens biológicas o curto prazo de Primavera (Etapa 3). Ventos antecedentes às amostragens do 20/11 (a), 28/11 (b), 06/12 (c), 13/12 (d), 19/12 (e) e 22/12 (f) de 2007.....68

Figura 7) Intensidades máximas de vento (km.h^{-1}) registradas durante os períodos anteriores às amostragens biológicas do curto prazo de Verão (Etapa 4). Ventos antecedentes às amostragens do 12/2 (a), 20/2 (b), 25/2 (c), 01/3 (d), e 07/3 (e) de 2008.68

Figura 8) Leituras dos níveis topográficos (cm) durante a Etapa 1/Outono (a), Etapa 2/Inverno (b), Etapa 3/Primavera (c) e Etapa 4/Verão (d), no Ponto 1 (linha preta), Ponto 2 (linha cinza), Ponto 3 (linha preta pontilhada) e Ponto 4 (linha cinza pontilhada).....69

Figura 9) Percentuais médios (desvios padrão) de sedimentos finos no substrato durante as quatro etapas do trabalho: Etapa 1/Outono (a), Etapa 2/Inverno (b), Etapa 3/Primavera (c) e Etapa 4/Verão (d).....	70
Figura 10) Médias e desvios padrão do peso dos sedimentos (linhas pretas) e percentual médio de sedimentos finos (linhas pontilhadas) depositados nos experimentos de deposição de material sedimentar durante a Etapa 1/Outono (a), Etapa 2/Inverno (b), Etapa 3/Primavera (c) e Etapa 4/Verão (d).....	71
Figura 11) Densidades médias (Ind.m ⁻² e desvio padrão) da macrofauna total durante a Etapa 1/Outono (a), Etapa 2/Inverno (b), Etapa 3/Primavera (c) e Etapa 4/Verão (d).....	72
Figura 12) Análise de escalonamento multidimensional (MDS) (a), e de classificação (Cluster) (b) da macrofauna bentônica durante as amostragens do período de Outono-2007 (Etapa 1).....	73
Figura 13) Análise de escalonamento multidimensional (MDS) da macrofauna bentônica durante as amostragens do período de Inverno-2007 (Etapa 2).....	74
Figura 14) Densidades médias (Ind.m ⁻² ± desvio padrão) das densidades médias de <i>Kupellonura sp</i> (a) e <i>Heleobia australis</i> (b) durante as amostragens de Inverno-2007 (Etapa 2).....	74
Figura 15) Análise de escalonamento multidimensional (MDS) da macrofauna bentônica durante as amostragens do período de Primavera-2007 (Etapa 3).....	75
Figura 16) Densidades médias (Ind.m ⁻² ± desvio padrão) de <i>Erodona mactroides</i> (a), <i>Heleobia australis</i> (b), <i>Kupellonura sp.</i> (c) e <i>Sphaeromopsis mourei</i> (d) durante as amostragens de Primavera (Etapa 3).....	76
Figura 17) Análise de escalonamento multidimensional (MDS) (a) da macrofauna bentônica durante as amostragens do período de Verão-2008 (Etapa 4).....	77

Capítulo 2

Figura 1) Modelo de armadilha para captura de sedimento em suspensão utilizada para os experimentos de deposição de sedimentos.....	132
Figura 2) Valores diários (linhas cinza) e médias quinzenais (linhas pretas) de temperatura (a), vazão(b), salinidade (c) e nível da coluna de água (d) no período de estudo da Etapa 1. A área hachurada indica as duas estações do ano anteriores ao início das amostragens.....	133

Figura 3) Percentuais de sedimentos finos (silte + argila, linha preta) e de matéria orgânica (linha cinza) no período de estudo, durante a primeira etapa.....	134
Figura 4) Densidades médias mensais (ind.m ⁻² e desvio padrão) da macrofauna total (a), de <i>Erodona mactroides</i> (b) e <i>Kalliapseudes schubarti</i> (c) durante os meses de estudo da primeira etapa.....	135
Figura 5) Resultado da Análise de Escalonamento Multidimensional (nMDS) aplicada aos dados biológicos da primeira etapa do período de estudo.....	136
Figura 6) Representação bidimensional dos resultados da Análise de Correlação Canônica (ACC), onde se observam as amostras biológicas em relação aos eixos que respondem aos parâmetros ambientais com influência significativa.....	137
Figura 7) Resultados dos experimentos de tolerância a salinidade de <i>Kalliapseudes schubarti</i> . Tratamento de salinidade 0 (a), salinidade 2 (b), salinidade 6 (c), salinidade 15 (d) e salinidade 30 (e). Cada linha representa o número de organismos nas quatro réplicas dos tratamentos (aquários).....	138
Figura 8) Valores diários (linhas cinza) e médias quinzenais da temperatura (a), salinidade (b) e nível da coluna de água (c) durante a segunda etapa do período de estudo.....	139
Figura 9) Percentuais médios mensais e desvios padrão de sedimentos finos (linha preta) e matéria orgânica (linha cinza) durante a segunda etapa do período de estudo.....	140
Figura 10) Densidades médias mensais (ind.m ⁻² e desvio padrão) da macrofauna total (a), de <i>Kalliapseudes schubarti</i> (b), <i>Heleobia australis</i> (c) e <i>Erodona mactroides</i> (d) durante a segunda etapa do período de estudo.....	141
Figura 11) Resultado da Análise de Escalonamento Multidimensional (nMDS) para as amostras biológicas referentes às estações da segunda etapa do período de estudo.....	142
Figura 12) Resultado da Análise de Correlação Canônica entre as variáveis ambientais com influência significativa nos parâmetros biológicos, para os meses da segunda etapa do período de estudo.....	142
 Capítulo 3	
Figura 1) Médias quinzenais de vazão (a), salinidade (b) e nível da coluna de água (c) durante o período de estudo. A área em cinza representa os períodos sob influência do <i>El Niño</i>	184

Figura 2) Regressão linear entre nível da coluna de água e vazão (a); regressão logarítmica entre salinidade e vazão (b); regressão logarítmica salinidade e nível da coluna de água (c).....	185
Figura 3) Densidades médias (ind.m ⁻²) ± desvio padrão da macrofauna total e número de espécies; número de espécies encontrada (sobre as barras) (a); de <i>Kalliapseudes schubarti</i> (b); <i>Heleobia australis</i> (c); <i>Erodona mactroides</i> (d), Peracarida (e) durante os verões (barras cinza) e invernos (barras listradas) durante o período de agosto 1996 a março-2008. As setas indicam períodos com presença de vegetação submersa.....	186
Figura 4) Análise de Escalonamento Multidimensional (nMDS) entre os Verões e Invernos (a), períodos de <i>El Niño</i> e Sem <i>El Niño</i> (b), e períodos Vegetados e Não Vegetados (c).....	187
Figura 5) Gráficos de “bubble plots” para os períodos de Verão e Inverno, das espécies <i>Erodona mactroides</i> (a), <i>Heleobia australis</i> (b) e <i>Uromunna peterseni</i> (c).....	188
Figura 6) Gráficos de “bubble plots” para os períodos de <i>El Niño</i> e Sem <i>El Niño</i> , das espécies <i>Erodona mactroides</i> (a), <i>Heleobia australis</i> (b) e <i>Laonereis acuta</i> (c).....	189
Figura 7) Gráficos de “bubble plots” para os períodos Vegetados e Não Vegetados, das espécies <i>Heleobia australis</i> (a), <i>Kalliapseudes schubarti</i> (b) <i>Erodona mactroides</i> (c).....	190
Figura 8) Resultado da Análise de Classificação (Cluster) para os períodos de Inverno e Verão. ISV: Inverno sem vegetação; ICV: Inverno com vegetação; VSV: Verão sem vegetação; VCV: Verão com vegetação.....	191

RESUMO

A identificação de escalas de variabilidade temporal em comunidades faunísticas é um pré-requisito para a compreensão de fatores e processos que caracterizam os ecossistemas. A compreensão dessas variações torna-se uma ferramenta indispensável na interpretação de como as entidades ecológicas podem integrar, durante períodos subsequentes, as contínuas influências dos parâmetros ambientais. O objetivo desse trabalho é avaliar a variabilidade temporal de curto (dias), médio (meses, sações) e longo prazo (anos) das associações de macroinvertebrados bentônicos em uma enseada estuarina da Lagoa dos Patos (RS - Brasil) e a possível influência dos parâmetros ambientais da coluna de água e do substrato em cada escala de tempo. Para as avaliações de curto prazo (primeiro capítulo) foram coletadas 12 amostras da macrofauna bentônica em intervalos de quatro a sete dias durante um mês de cada estação entre o outono de 2007 e o verão de 2008, além de amostras sedimentares para análises granulométricas e de deposição, medidas de topografia e leituras diárias da direção e intensidade dos ventos, salinidade, temperatura e profundidade da coluna de água. O estudo de médio prazo (segundo capítulo) foi desenvolvido em duas etapas: (a) durante a primeira etapa foram coletadas 18 amostras biológicas mensais entre outubro de 2002 e setembro de 2004, 12 amostras mensais para determinação de granulometria e percentual de matéria orgânica do substrato, leituras quinzenais da topografia e experimentos de deposição de sedimentos finos, e avaliadas leituras diárias de vazão, salinidade, profundidade da coluna de água e temperatura; (b) durante a segunda etapa foram coletadas 12 amostras biológicas mensais durante o período de fevereiro 2007 a fevereiro 2008, 12 amostras para granulometria e matéria orgânica, e avaliadas leituras

diárias de salinidade, temperatura e profundidade da coluna de água. Para a abordagem desse capítulo também foram desenvolvidos experimentos de sobrevivência, em laboratório, do tanaidáceo *Kalliapseudes schubarti* sob diferentes tratamentos de salinidade (0, 2, 6, 15 e 30). Para a avaliação da variabilidade temporal de longo prazo (terceiro capítulo) foram desenvolvidas amostragens biológicas semestrais, compostas por 12 amostras de Inverno e 12 de Verão, entre o período do Inverno 1996 ao Verão 2008. Para o mesmo período foram avaliados dados diários de temperatura, salinidade, profundidade da coluna de água e vazão; e a presença de macrófitas durante as amostragens. A avaliação de curto prazo mostrou a ocorrência de processos de dinâmica do substrato, quantificados através das variações topográficas e deposição de sedimentos e provavelmente influenciados pela hidrodinâmica da região rasa estudada causada pelos regimes de ventos. Nessa escala temporal a macrofauna total não apresentou modificações temporais significativas em composição e densidade como resposta à dinâmica sedimentar. Durante alguns períodos foram identificadas variações de densidades dos organismos epifaunais *Heleobia australis*, *Kupellonura* sp. e *Sphaeromopsis mourei*, assim como do bivalvo subsuperficial *Erodona mactroides*, sendo essas variações não claramente relacionadas às características do substrato. Os resultados mostram que as espécies aparentemente utilizam sua capacidade de resistência e resiliência durante e após perturbações, sendo também importante o tipo de relação com o substrato (espécies infaunais ou epifaunais). Na avaliação da variabilidade de médio prazo, durante o período de 2002-2004 foram identificadas diferenças nos parâmetros da coluna de água, do substrato, em composição e abundância do macrozoobentos entre ENSO - *El Niño Southern Oscillation* - e pós-*El Niño*, principalmente em relação aos recrutamentos tardios dos principais componentes

da macrofauna. De forma destacada os recrutamentos do bivalve *E. mactroides* foram associados às menores vazões após a influência do fenômeno. Os resultados de longo prazo evidenciaram a influência do ENSO - *El Niño* (fenômenos 1997-98 e 2002-03) e a presença de fundos de macrófitas submersas (*Ruppia maritima* e *Ulva* sp.) como os principais fatores estruturadores na dinâmica temporal do macrozoobentos. O desenvolvimento de estratégias amostrais de dias (curto prazo), mensais (médio prazo) e semestrais (longo prazo) apresentou-se adequado para a avaliação dos parâmetros ambientais relevantes em cada escala assim como para a variabilidade temporal do macrozoobentos de enseadas rasas na região estuarina da Lagoa dos Patos.

Palavras chave: Macrozoobentos, estuário, Lagoa dos Patos, *El Niño*, longo prazo, salinidade, curto prazo, variabilidade temporal.

ABSTRACT

Identifying scales of temporal variability in faunal communities is the first step for the understanding of factors and processes that characterize the ecosystems. The understanding of these variations becomes an indispensable tool in the interpretation of how the ecological entities may integrate the continuous influence of environmental parameters during subsequent periods. The aim of this study is to evaluate the short- (days), medium- (months, seasons) and long-term (years) temporal variability of macrozoobenthic associations within an estuarine embayment at the Patos Lagoon (RS - Brazil) as well as the possible influence of environmental parameters from the water column and substrate in each time scale. For short-term evaluations (first chapter), 12 macrobenthic samples were collected at 4-7 days intervals during a month of each season from autumn 2007 to summer 2008, as well as sedimentary samples for particle size and deposition analysis; topography measurements and daily records of wind intensity and direction, salinity, temperature and depth of the water column. The medium-term study (second chapter) was executed in two phases: (a) during the first one, 18 biological samples were taken monthly from October 2002 to September 2004, besides 12 sedimentary samples monthly collected for determination of particle size and organic matter percentage, fortnightly topography measurements, fortnightly experiments on fine sediments deposition and daily records of water flow, salinity, depth and temperature; (b) during the second phase, 12 biological samples were collected monthly from February 2007 to February 2008 in addition to 12 sedimentary samples monthly taken for grain size and organic matter analysis; and daily records of

salinity, temperature and depth of the water column. For this chapter, survival experiments in the laboratory have also been developed with the tanaid *Kalliapseudes schubarti* under different salinity treatments (0, 2, 6, 15 and 30). For the long-term temporal variability evaluation (third chapter) , biological samplings were performed twice a year comprising 12 winter samples and 12 summer samples between winter 1996 and summer 2008, being evaluated for the same period daily data of temperature, salinity, water column depth and flow as well as the presence of seagrass beds during sampling. Short-term evaluation showed the occurrence of dynamic processes on the substrate, quantified by topographical variations and sediment deposition, being probably influenced by the hydrodynamics of the shallow studied region due to the wind patterns. On this temporal scale, total macrofauna showed no significant temporal changes in composition and density as response to sedimentary dynamics. During some periods there were variations in densities of epifaunal species like *Erodona mactroides*, *Heleobia australis*, *Kupellonura* sp. and *Sphaeromopsis mourei* not clearly related to the characteristics of the substrate. Results show that the species apparently use their resistance and resilience capacities during and after disturbances, being also important their relationship with the substrate (epifaunal or infaunal species). On the medium-term evaluation, between 2002 and 2004, there were differences in the water column parameters, on the substrate, in macrozoobenthic composition and abundance, all related to *El Niño* and post *El Niño* periods and mainly associated to late recruitments of the major macrofaunal components. The recruitments of the bivalve *E. mactroides* were clearly associated with lower flow rates after the influence of the phenomenon. The long-term results evidenced the influence of ENSO - *El Niño* (1997-98 and 2002-03 phenomena) and the presence of submerged macrophyte vegetation (*Ruppia maritima*

and *Ulva* sp.) as the main factors that structures the macrozoobenthic temporal dynamics. The development of daily (short-term), monthly (medium-term) and semiannual (long-term) sampling strategies were found suitable for the evaluation of those relevant environmental parameters at each time scale as well as to assess the temporal variability of the macrobenthic fauna within the shallow embayments of the Patos Lagoon estuarine region.

Key-words: Macrozoobenthos, estuary, Patos Lagoon, *El Niño*, long term, salinity, short term, temporal variability.

INTRODUÇÃO GERAL

A identificação de relevantes escalas de variabilidade temporal em comunidades faunísticas é um pré-requisito para a compreensão de fatores e processos que caracterizam os ecossistemas (Levin, 1992; Thrush *et al.*, 1997). Avaliações em diferentes escalas temporais são extremamente importantes na identificação da dinâmica intra-interespecífica e dos processos ecológicos (de Angelis & Waterhouse, 1987; Kube *et al.*, 1997; Warwick *et al.*, 2002), assim como das influências antrópicas como poluição e clima (Clark & Fried, 2000; Eleftheriou & McIntyre, 2005). A compreensão da variabilidade temporal, desta forma, torna-se uma ferramenta indispensável na interpretação de como as entidades ecológicas – associações, comunidades, ecossistemas - podem integrar, durante períodos subsequentes, as contínuas influências dos parâmetros ambientais (Davolut *et al.*, 1998).

Associações de macroinvertebrados bentônicos compreendem várias espécies de moluscos, poliquetas e crustáceos, entre outros *taxa* com mais de 1 mm de tamanho, que apresentam uma relação direta com o fundo, o que resulta em certa uniformidade de modos de vida apesar das suas distintas origens filogenéticas (Day *et al.*, 1989). Esses organismos estão sujeitos a influência de flutuações temporais e perturbações que se manifestam em diferentes escalas de tempo (Gray & Christie, 1983).

A discussão central dos trabalhos de variabilidade temporal da macrofauna bentônica mostra a necessidade de um levantamento de dados adequado, o que é essencial para a compreensão de mudanças ecológico-ambientais e suas causas (Currie

& Small, 2005). Desta forma, a periodicidade amostral a ser utilizada é dependente do objetivo proposto (Raffaelli & Hawkins, 1996).

Em trabalhos que avaliam processos e eventos de curta duração sobre o macrozoobentos, observa-se a utilização de frequências amostrais que geralmente variam entre escalas de horas (Hunter & Naylor, 1993; Daleo *et al.*, 2003), dias (Bouma *et al.*, 2001; Elías *et al.*, 2005; Boström *et al.*, 2010), a poucos meses (Sardá *et al.*, 1998; Ysebaert *et al.*, 2005), além de manipulações experimentais em laboratório (Wildish & Miyares, 1990; Miller *et al.*, 1992; Hentschel, 2004) ou *in situ* (Dernie *et al.*, 2003; Ritter *et al.*, 2005), também mantidas a curtos períodos.

Os acompanhamentos de médio prazo, também mencionados como avaliações da dinâmica sazonal e interanual, possuem diversas estratégias em sua frequência amostral, das quais se destacam escalas de amostragem mensal (Francesco & Isla, 2004; Martin *et al.*, 2004), sazonal (Bachelet *et al.*, 2000; Alfaro, 2006; Vázquez-Luis *et al.*, 2009) e anual (Boyd *et al.*, 2003; Carvalho *et al.*, 2005). Como propriedade comum desses estudos, observa-se a abordagem sazonal das respostas biológicas e parâmetros ambientais, e por vezes a integração desses por anos subsequentes, por períodos geralmente menores que uma década.

Estudos de longo prazo, por sua vez, demandam menor frequência de amostragens (Raffaelli & Hawkins, 1996), sendo necessária ao menos uma década de observações para a compreensão de modificações e tendências temporais (Likens, 1988). Estratégias na aquisição de dados para estudos das flutuações de longo prazo da macrofauna bentônica podem variar entre sazonais (e.g. quatro amostragens em regiões subtropicais; duas amostragens em regiões temperadas) (Currie & Small, 2005; Carrasco & Moreno, 2006; Chainho *et al.*, 2010; Kröncke & Reiss, 2010) e anuais

(Tapp *et al.*, 1993; van der Meer *et al.*, 2000). Entretanto, a integração de dados adquiridos em distintas estratégias de frequência temporal nas amostragens é comum na elaboração de estudos em grandes escalas temporais (Warwick *et al.*, 2002; Frid *et al.*, 2009), o que possibilita a criação de séries mais longas.

Além da periodicidade das amostragens como característica das pesquisas e monitoramentos, outra propriedade importante são as variáveis ambientais relevantes em cada escala temporal, as quais estão associadas aos parâmetros bio-ecológicos (diversidade, densidade, biomassa) e eventos populacionais (reprodução, recrutamentos, migração, mortalidade). Estudos de curto prazo do macrozoobentos geralmente associam a variabilidade dos organismos a parâmetros ambientais como estresse superficial do substrato, dinâmica da camada sedimentar induzida pelas marés, frentes meteorológicas e tempestades (Boesch *et al.*, 1976; Eckman, 1983; Posey *et al.*, 1996; Norkko *et al.*, 2006), ou perturbações antrópicas como pesca de arrasto e dragagens portuárias (Wirth *et al.*, 1996; Drabsch *et al.*, 2001; Thrush & Dayton, 2002; Elias *et al.*, 2005; Netto & Pereira, 2009).

A variabilidade da macrofauna a médio prazo está relacionada à influência de diversos fatores, entre os quais se destacam temperatura, salinidade, características granulométricas (Quijón & Jaramillo, 1996; Munari *et al.*, 2005; Passadore *et al.*, 2005; Ysebaert *et al.*, 2005), níveis de anoxia, matéria orgânica, ciclos sazonais de aporte de nutrientes e material em suspensão associados a fluxos de descarga em estuários (Mouni *et al.*, 2000; Ysebaert *et al.*, 2005). Temperatura e salinidade exercem especial influência em comunidades bentônicas de estuários e zonas costeiras de regiões subtropicais e temperadas, onde ocorrem marcadas flutuações sazonais nas comunidades bentônicas (Gray & Elliott, 2009).

Por sua vez, efeitos de eventos como ENSO (*El Niño Southern Oscillation*), NAO (*North Atlantic Oscillation*) e do desenvolvimento de fundos vegetados (Kröncke *et al.*, 1998; Schiewer, 1998; Wieking & Kröncke, 2001; Lucero *et al.*, 2006; Sellanes *et al.*, 2007), além da influência antrópica através de poluição ou mudanças climáticas (Dippner & Ikauniece, 2001; Patrício *et al.*, 2006) se tornam mais evidentes através de acompanhamentos de longo prazo.

A grande maioria dos trabalhos sobre variabilidade temporal e influência dos parâmetros ambientais sobre a fauna bentônica foram desenvolvidos em escalas temporais de curta e média duração. Este fato é relacionado ao tempo de desenvolvimento de trabalhos de graduação, mestrado e doutorado que se desenvolvem geralmente de um a três anos (Weatherhead, 1986). Por outro lado, são menos frequentes trabalhos que avaliam séries temporais de dados biológicos e ambientais, que demandam maior logística, recursos financeiros, manutenção de certa periodicidade amostral e persistência durante diversos anos ou décadas.

O primeiro trabalho com longas séries contínuas quantitativas de populações bentônicas foi desenvolvido na região do Limfjord, norte da Dinamarca, iniciado em 1909 por C.G.J. Petersen (Pearson & Barnett, 1987). Essas pesquisas avaliaram biomassas das principais espécies infaunais durante os anos de 1909 a 1950 (Boysen-Jensen, 1919; Blegvad, 1951; *in* Pearson & Barnett, 1987), e informações sobre distribuição e flutuações de organismos epifaunais predadores entre 1927 e 1950 (Poulsen, 1951; *in* Pearson & Barnett, 1987). Seguindo essa tendência, as pesquisas de longa escala temporal em comunidades zoobentônicas são destacadamente mais desenvolvidas na região européia, como no estuário de Tamar-Plymouth (Crisp & Southward, 1958; Southward, 1967; Kaiser & Spence, 2002), estuário do Rio Tees

(Shilabeer & Tapp, 1990; Tapp *et al.*, 1993) na Inglaterra, e no Wadden Sea (Reise, 1982; Beukema, 1988; Reise *et al.*, 1989; de Vooy & van der Meer, 2010). No continente americano, acompanhamentos de longo prazo são encontrados para a macrofauna da Baía de Corpus Christi, Texas (Flint & Younk, 1983) e Baía de Chesapeake (Holland *et al.*, 1987; Dauer & Alden, 1995; Seitz *et al.*, 2009), por exemplo.

Uma das estratégias observadas para a criação de grupos de estudo de longas séries temporais é a criação de redes de pesquisa, as quais facilitam a criação de equipes, sítios e aquisição de financiamentos para o desenvolvimento de investigações consistentes no tempo. Entre as redes internacionais para estudos de longa duração, destaca-se a *International Long Term Ecological Research* (ILTER), associada à *National Science Foundation* (NSF), que se constitui em um programa que tem por objetivo documentar, analisar e compreender os processos ecológicos, padrões e fenômenos de largas escalas temporais e espaciais. Essa rede possui como missão fornecer à comunidade científica, esfera política e sociedade conhecimentos e informações necessários para a atuação na conservação, proteção e manejo de ecossistemas, sua biodiversidade e serviços relacionados.

No Brasil, o Programa Brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD), é uma iniciativa da comunidade de pesquisadores em Ecologia juntamente com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) iniciado em novembro de 1999, inserido no *International Long Term Ecological Research Program* - ILTER. Possui como objetivo uma agenda de pesquisas integradas de longa duração, composta por uma rede de sítios que representam vários ecossistemas brasileiros (Seeliger *et al.*, 2002). Contemplando ecossistemas de regiões costeiro-estuarinas, o

PELD Site 8 – Estuário da Lagoa dos Patos e Costa Adjacente – sediado na Universidade Federal do Rio Grande, FURG - iniciou o registro de variáveis ambientais e parâmetros biológicos em junho de 1996, ainda antes do estabelecimento da rede nacional. Inseridos nos estudos desse bioma, encontram-se os Subprojetos “Batimetria das Zonas Rasas e Canais e Dinâmica Sedimentar das Margens no Estuário da Lagoa dos Patos”, e “Estrutura das Comunidades de Macroinvertebrados Bentônicos em Águas Rasas no Estuário da Lagoa dos Patos”, os quais serão abordados na presente tese.

OBJETIVOS

Tendo em vista os parâmetros ambientais e os eventos em diferentes escalas temporais a que as associações macrozoobentônicas de enseadas rasas estuarinas estão submetidas, apresentam-se como objetivos dessa tese:

(1) Analisar a variabilidade temporal de curto prazo (diária e semanal) das associações de macroinvertebrados bentônicos, relacionando essas associações às variáveis ambientais como erosão, ressuspensão, influência de ventos e entradas de frentes meteorológicas, em uma enseada rasa estuarina da Lagoa dos Patos;

(2) Analisar a variabilidade temporal de médio prazo (sazonal e interanual) das associações de macroinvertebrados bentônicos avaliando, sua relação a fatores abióticos como variações sazonais da salinidade, temperatura, características do substrato e nível da coluna de água, em uma enseada rasa estuarina da Lagoa dos Patos;

(3) Analisar a variabilidade temporal de longo prazo (12 anos) das associações de macroinvertebrados bentônicos avaliando a influência dos principais fatores ambientais que as condicionam: fundos de macrófitas submersas e fenômenos estocásticos como ENSO-*El Niño*, em uma enseada rasa estuarina da Lagoa dos Patos.

ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa dos Patos está localizada na planície costeira do sul do Brasil, sendo considerada a maior laguna estrangulada do mundo (Kjerfve, 1986), com cerca de 250 km de extensão e 60 km de largura, e uma área aproximada de 10.360 km². O extremo sul da laguna possui características estuarinas com aproximadamente 971 km² (aproximadamente 10%), na qual existe uma troca de água com o oceano Atlântico através de um canal com 20 km de comprimento e 0,5-3 km de largura (Asmus, 1998). A baixa amplitude das marés astronômicas, a forte influência da pluviosidade e da ação dos ventos no nível da água na região estuarina (Kantin, 1983), originam planos entremarés irregularmente inundados e enseadas com extensos planos de águas rasas (Bemvenuti, 1998).

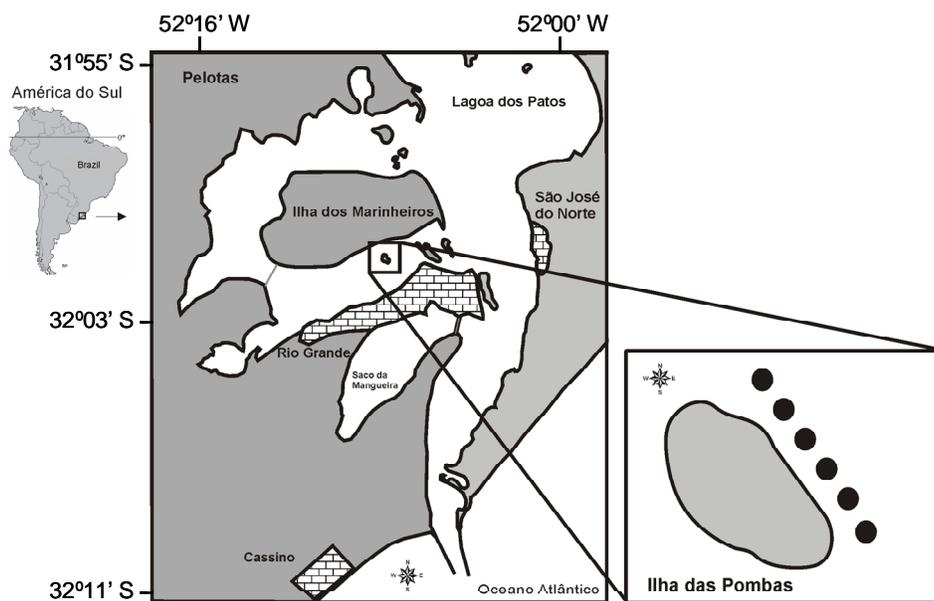


Figura 1. Mapa da área de estudo no estuário da Lagoa dos Patos, com detalhe para a área amostral (pontos pretos).

As zonas rasas marginais, representadas por baixios e enseadas protegidas, ocupam cerca de 420 km² da área estuarina, formando ambientes com hidrodinâmica reduzida próximos às margens das ilhas (Costa *et al.*, 1997). Essa tese foi desenvolvida em uma transversal de 450 m localizada na enseada Saco do Arraial, em um plano raso (< 1 m) protegido em frente à margem leste da Ilha das Pombas (Fig. 1), município de Rio Grande, RS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, A.C., 2006. Benthic macro-invertebrate community composition within a mangrove/seagrass estuary in northern New Zealand. *Est. Coast. She. Scien.*, 66: 97-110.
- Bachelet, G.; Montaudouin, X. & Auby, I., 2000. Seasonal changes in macrophyte and macrozoobenthos assemblages in three coastal lagoons under varying degrees of eutrophication. *J. Mar. Scien.*, 57: 1495-1506.
- Beukema, J.J., 1988. An evaluation of the ABC-method (abundance/biomass comparison) as applied to macrozoobenthic communities living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Mar. Biol.*, 99:425-433.
- Blegvad, H., 1951. Fluctuations in the amounts of food animals of the bottom of the Limfjord with in 1928-1950. Rep. *Dan. Biol. Stn.*, 53:3-16.
- Boesch, D.F.; Diaz, R.J. & Virnstein, R.W., 1976. Effects of tropical storm Agnes on soft-bottom macrobenthic communities of the James & York estuaries and the lower Chesapeake Bay. *Chesapeake Sci.*, 17: 246-259.
- Boström, C.; Törnroos, A. & Bonsdorff, E., 2010. Invertebrate dispersal and habitat heterogeneity: expression of biological traits in a seagrass landscape. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 390: 106-117.
- Bouma, H.; Duiker, J.M.C; Vries, P.P.; Herman, P.M.J. & Wolff, W.J., 2001. Spatial pattern of early recruitment of *Macoma balthica* (L.) and *Cerastoderma edule* (L.) in relation to sediment dynamics on highly dynamic intertidal sandflat. *J. Sea Res.*, 45: 79-93.
- Boyd, S.E.; Limpenny, D.S.; Rees, H.L.; Cooper, K.M & Campbell, S., 2003. Preliminary observations of the effects of dredging intensity on the re-colonisation of dredged sediments off the southeast coast of England (Area 222). *Est. Coast. S. Scien.*, 57: 209-223.
- Boysen-Jensen, P., 1919. Valuation of the Limfjord. Rep. *Dan. Biol. Stn.*, 26:1-44.
- Carrasco, F.D. & Moreno, R.A., 2006. Long-term dynamics (1990 to 2004) of the polychaete fauna from the sublittoral soft-bottoms off Punta Coloso (Antofagasta), northern Chile. *Sci. Mar.*, 70S3: 169-178.

- Carvalho, S.; Moura, A.; Gaspar, B. & Pereira, P., 2005. Spatial na inter-annual variability of the macrobenthic communities within a coastal lagoon (Óbidos lagoon) and its relationship with environmental parameters. *Acta. Oecol.*, 27: 143-159.
- Chainho, P., Silva, G., Lane, M., Costa, J.L., Pereira, T., Azeda, C., Almeida, P.R., Metelo, I. & Costa, M.J., 2010. Long-term trends in intertidal and subtidal benthic communities in response to water quality improvement measures. *Est. Coas.*, 33: 1314-1326.
- Clark, R.A. & Fried, C.L.J., 2000. Long term changes in the North Sea. A two model system? Environment, plankton, fish linkages. ICES CM/M:05.
- Crisp, D.J. & Southward, A.J., 1958. The distribution of intertidal organisms along the coasts of the English Channel. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 37:157-208.
- Currie, D.R. & Small, K.J., 2005. Macrobenthic community responses to long-term environmental change in an east Australian sub-tropical estuary. *Est. Coast. She. Scien.*, 63: 315-331.
- Daleo, P.; Ribeiro, P. & Iribarne, O., 2003. The SW Atlantic burrowing crab *Chasmagnathus granulatus* Dana affects the distribution and survival of the fiddles crab *Uca uruguayensis* Nobili. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 291: 255-267.
- Dauer, D.M. & Alden, R.W., 1995. Long-term trends in the macrobenthos and water quality of the lower Chesapeake Bay (1985-1991). *Mar. Poll. Bull.*, 30(12): 840-850.
- Davolut, D.; Dewarumez, J. & Migné A., 1998. Long-term changes (1979-1994) in two coastal benthic communities (English Channel): analysis of structural developments. *Oce. Acta*, vol. 21, no. 609-617(9).
- Day, J.W., Jr.; Hall, C.A.S.; Kemp, W.M. & Yáñez-Yaranciba, A. 1989. The estuarine bottom and benthic subsystem, chapter 9, *In: Estuar. Ecol.*, John Wiley & Sons, New York, pp 338-376.
- de Angelis, D.L. & Waterhouse, J.C., 1987. Equilibrium and non-equilibrium concepts in ecological models. *Ecol. Monog.* 57: 1-21.
- De Vooy, C.G.N. & van der Meer, J., 2010. The whelk (*Buccinum undatum* L.) in the western Dutch Wadden Sea in the period 1946-1970: assessment of population characteristics and fishery impact. *J. Sea Res.*, 63:11-16.

- Dernie, K.M.; Kaiser, M.J.; Richardson, E.A. & Warwick, R.M., 2003. Recovery of soft sediment communities and habitats following physical disturbance. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 285-286: 415-434.
- Dippner, J.W. & Ikauniece, A., 2001. Long-term zoobenthos variability in the Gulf of Riga in relation to climate variability. *Jour. Mar. Sys.*, 30: 155-164.
- Drabsch, S.L.; Tanner, J. E. & Connell S.D., 2001. Limited infaunal response to experimental trawling in previously untrawled areas. *ICES J. Mar. Sci.*, 58: 1261-1271.
- Eckman, J.E., 1983. Hydrodynamic processes affecting benthic recruitment. *Limnol. Oceanogr.* 28(2), 241-257.
- Eleftheriou, A. & McIntyre, A., 2005. Methods for the study of marine benthos. Blackwell Science, 418 p.
- Elías, R.; Palacios, J.R.; Rivero, M.S. & Vallarino, E.A., 2005. Short-term responses to sewage discharge and storms of subtidal sand-bottom macrozoobenthic assemblages off Mar del Plata City, Argentina (SW Atlantic). *J. Sea Res.*, 53: 231-242.
- Flint, R.W. & Younk, J.A., 1983. Estuarine benthos: long-term community structure variations, corpus Christi Bay, Texas. *Estuar.*, 6(2): 126-141.
- Francesco, C.G. & Isla, F.I., 2004. The life cycle and growth of *Heleobia australis* (D'Orbigny, 1835) and *H. conexa* (Gaillard, 1974) (Gastropoda: Risssooidea) in Mar Chiquita Coastal Lagoon (Argentina). *J.Moll. Stud.*, 70: 173-178.
- Frid, C.L.J.; Garwood, P.R. & Robinson, L.A., 2009. Observing change in a North Sea benthic system: a 33 year time series. *J. Mar. Syst.*, 77:227-236.
- Gray, J.S. & Christie, H., 1983. Predicting long-term changes in marine benthic communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 13: 87-94.
- Gray, J.S. & Elliott. M., 2009. Ecology of Marine Sediments. From Science to Management. Oxford University Press, Second Edition, 225 pg.
- Hentschel, B.T., 2005. Sediment resuspension and boundary layer flow dramatically increase the growth rates of interface-feeding spionid polychaetes. *J. Mar. Syst.*, 49: 209-224.

- Holland, A.F.; Shaughnessy, A.T. & Hiegel, H., 1987. Long-term variation in mesohaline Chesapeake Bay macrobenthos: spatial and temporal patterns. *Estuar.*, 10:227-245.
- Hunter, E. & Naylor, E., 1993. Intertidal migration by the shore crab *Carcinus maenas*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 101: 131-138.
- Kaiser, M.J. & Spence, F.E., 2002. Inconsistent temporal changes in the megabenthos of the English Channel. *Mar. Biol.*, 141:321-331.
- Kröncke, I; Dippner, J.W.; Heyen, H & Zeiss, B., 1998. Long-term changes in macrofaunal communities off Norderney (East Frisia, Germany) in relation to climate variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 167: 25-36.
- Kröncke, I. & Reiss, H., 2010. Influence of macrofauna long-term natural variability on benthic indices used in ecological quality assessment. *Mar. Poll. Bull.*, 60: 58-68.
- Kube, J.; Gosselck, F.; Powilleit, M. & Warzocha, J., 1997. Long term changes in the benthic communities of the Pomeranian Bay (Southern Baltic Sea). *Helg. Meeres.*, 51: 399-416.
- Levin, S., 1992. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, 73(6): 1943-1967.
- Likens, G. E., 1988. Long-term studies in ecology: Approaches and alternatives. Springer-Verlag, 214 p.
- Lucero, C.H.; Cantera, J.R. & Romero I.C., 2006. Variability of macrobenthic assemblages under abnormal climatic conditions in a small scale tropical estuary. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 68: 17-26.
- Martin, J.P.; Bastida, R. & Trassens, M., 2004. Polychaete assemblages of intertidal mixohaline flats of Bahía Samborombón (La Plata river estuary – Argentina). *Thal.*, 20(2): 39-53.
- Miller, D.C.; Bock, M.J. & Turner, E.J., 1992. Deposit and suspension feeding in oscillatory flows and sediment fluxes. *J. Mar. Res.*, 50: 489-520.
- Mouni, P.; Dauvin, J. & Zouhiri, S., 2000. Benthic boundary layer fauna from the Seine Estuary (eastern English Channel, France): spatial distribution and seasonal changes. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 80: 959-968.

- Munari, C.; Rossi, R. & Mistri, M., 2005. Temporal trends in macrobenthos community structure and redundancy in a shallow coastal lagoon (Valli di Comacchio, Northern Adriatic Sea). *Hydrobiol.*, 550: 95-104.
- Netto, S.A. & Pereira, T.J., 2009. Benthic community response to a passive fishing gear in a coastal lagoon (South Brazil). *Aquat. Ecol.*, 43: 521-538.
- Norkko, J., Hewitt, J.E. & Thrush, S.F., 2006. Effects of increased sedimentation on the physiology of two estuarine soft-sediment bivalves, *Austrovenus stutchburyi* and *Paphies australis*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 333: 12-26.
- Passadore, C.; Giménez, L. & Acuña, A., 2005. Composition and intra-annual variation of the macroinfauna in the estuarine zone of the Pando Stream (Uruguay). *Braz. J. Biol.*, 67(2): 197-202.
- Patrício, J.; Neto, J.M.; Teixeira, H.; Salas F. & Marques, J.C., 2006. The robustness of ecological indicators to detect long-term changes in the macrobenthos of estuarine systems. *Mar. Env. Res.*, 68: 25-36.
- Pearson, T.H. & Barnett, P.R.O., 1987. Long-term changes in benthic populations in some west European coastal areas. *Estuar.*, 10(3): 220-226.
- Posey, M.H.; Lindberg, W.; Alphin, T & Vose, F., 1996. Influence of storm disturbance on an offshore benthic community. *Bull. Mar. Sci.*, 59: 523-529.
- Poulsen, E.M., 1951. Changes in the frequency of larger bottom invertebrates in the Limfjord in 1927-50. Rep. *Dan. Biol. Stn.*, 53:17-33
- Quijón, P. & Jaramillo, E., 1996. Seasonal vertical distribution of the intertidal macroinfauna in an estuary of South-central Chile. *Est. Coas. She. Sci.*, 43: 653-663.
- Raffaelli, D. & Hawkins, S.J., 1996. Intertidal Ecology. Chapman & Hal, 296 pg.
- Reise, K., 1982. Long-term changes in the macrobenthic invertebrate fauna of the Wadden Sea: are polychaetes about to take over? *Neth. J. Sea Res.*, 16:29-36.
- Reise, K.; Herre, E. & Sturm, M., 1989. Historical changes in the benthos of the Wadden Sea around the island of Sylt in the North Sea. *Helgol. Meeres.*, 43:417-433.
- Ritter, C.; Montagna, P.A. & Applebaum, S., 2005. Short-term succession dynamics of macrobenthos in a salinity-stressed estuary. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 323:57-69.

- Sardá, R.; Foreman, K.; Werme, C.E. & Valiela, I., 1998. The impact of epifaunal predation on the structure of macroinfaunal invertebrate communities of tidal saltmarsh creeks. *Est. Coas. Shelf Sci.*, 46: 657-669.
- Schiewer, U., 1998. 30 years' eutrophication in shallow brackish waters – lessons to be learned. *Hydrobiologia*, 363: 73-79.
- Seeliger, U.; Cordazzo, C. & Barbosa, F., 2002. Os sites e o Programa Brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração. MCT – CNPq, 184 p.
- Seitz, R.D.; Dauer, D.M.; Llansó, R.J. & Long, W.C., 2009. Broad-scale effects of hypoxia on benthic community structure in Chesapeake Bay, USA. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 381:S4-S12.
- Sellanes, J.; Quiroga, E.; Neira, C. & Gutiérrez, D., 2007. Changes of macrobenthos composition under different ENSO cycle conditions on the continental shelf off central Chile. *Cont. She. Res.*, 27: 1002-1016.
- Shillabeer, N. & Tapp, J.F., 1990. Long-term studies of the benthic biology of Tees bay and Tees estuary. *Hydrobiol.*, 195:63-78.
- Southward, A.J., 1967. Recent changes in abundance of intertidal barnacles in South-West England: a possible effect of climatic deterioration. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 47:81-95.
- Tapp, J.F., Shillabeer, N. & Ashman, C.M., 1993. Continued observations of the benthic fauna of the industrialized Tees estuary, 1979-1990. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 172: 67-80.
- Thrush, S. & Dayton, P.K., 2002. Disturbance to marine benthic habitats by trawling and dredging: implications for marine biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 33: 449-473.
- Thrush, S.F., Schneider, D.C., Legendre, P., Whitlatch, R.B., Dayton, P.K., Hewitt, J.E., Hines, A.H., Cummings, V.J., Lawrie, S.M., Grant, J., Pridmore, R.D., Turner, S.J. & McArdle, B.H., 1997. Scaling-up from experiments to complex ecological systems: Where to next? *Jour. Exper. Mar. Biol. Ecol.*. 216, 243-254.
- van der Meer, J.; Beukema, J.J. & Dekker, R., 2000. Population dynamics of two marine polychaetes: the relative role of density dependence, predation, and winter conditions. *ICES Jour. Mar. Sci.*, 57: 1488-1494.

- Vázquez-Luis, M.; Sanchez-Jerez, P. & Bayle-Sempere, J.T., 2009. Comparison between amphipod assemblages associated with *Caulerpa racemosa* var. *Cylindracea* and those of other Mediterranean habitats on soft substrate. *Est. Coast. She. Scien.*, 84: 161-170.
- Warwick, R.M., Ashman, C.M., Brown, A.R., Clarke, K.R., Dowell, B., Hart, B., Lewis, R.E., Shillabeer, N., Somerfield, P.J. & Tapp, J.F., 2002. Inter-annual changes in the biodiversity and community structure of the macrobenthos in Tees Bay and the Tees estuary, UK, associated with local and regional environmental events. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 234: 1-13.
- Weatherhead, P.J., 1986. How unusual are unusual events? *Am. Nat.*, 128:150-154.
- Wieking, G. & Kröncke, I., 2001. Decadal changes in macrofauna communities on the Dogger Bank caused by large-scale climate variability. *Sencken. Mar.*, 31(2): 125-141.
- Wildish, D.J. & Miyares, M.P., 1990. Filtration rate of blue mussels as a function of flow velocity: preliminary experiments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 142: 213-219.
- Wirth, E.F.; Scott, G.I.; Fulton, M.H.; van Dolah, R.F.; Maier, P.P.; Hudley, N.; Daugomali, J.W. & Key, P.B., 1996. In situ monitoring of dredged water spoil sites using the oyster *Crassostrea virginica*. *Arch. Env. Contam. Toxic.*, 30: 340-348.
- Ysebaert, T.; Fettweis, M.; Meire, P. & Sas, M., 2005. Benthic variability in intertidal soft-sediments in the mesohaline part of the Schelde estuary. *Hydrobiologia*, 540: 197-216.

CAPÍTULO I

VARIABILIDADE DE CURTO PRAZO DAS ASSOCIAÇÕES DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM UMA ENSEADA ESTUARINA DA LAGOA DOS PATOS, RS, BRASIL

INTRODUÇÃO

As regiões estuarinas apresentam grandes variações sazonais, mensais e diárias de seus parâmetros ambientais, que são perceptíveis através das modificações na concentração de material em suspensão, nível da água e correntes (Dyer, 1979). Nesses ambientes estuarinos, os fatores abióticos exercem um importante papel estruturador, formando um complexo de gradientes que podem determinar a distribuição e abundância das comunidades animais (Day *et al.* 1989, Levinton, 1995).

Com exceção dos maiores sistemas fluviais que deságuam diretamente na plataforma continental, os fluxos terrestres de material em suspensão passam primeiro através dos estuários (Dyer, 1995). Genericamente nos estuários a mistura entre a água doce e salgada ocorre em grande parte devido à ação das ondas, correntes costeiras e pelo fluxo de marés. O material em suspensão nesses ambientes sedimenta quando em contato com a água salgada, devido a dois fatores: redução no fluxo e aos processos de floculação das partículas (Postma, 1980). O material suspenso na coluna de água é controlado pelas variações temporais e espaciais de salinidade e velocidades de corrente, que controlam os processos de sedimentação, erosão, deposição e floculação (Nichols & Biggs, 1985). Os processos deposicionais e de ressuspensão regular de material fino (silte + argila) resultam muitas vezes em depósitos de lama fluida (Allen *et al.*, 1980), em função das variações dos regimes de vazantes e enchentes do estuário.

O material em suspensão nos estuários pode ser influenciado pelo aporte de sedimentos com menor tamanho de grão carregados através dos fluxos de vazão ou águas costeiras, assim como pela ressuspensão dos sedimentos no substrato (Uncles & Smith, 2005). Processos naturais de sedimentação e ressuspensão possuem como propriedades

as suas escalas de tempo que são relacionadas às suas forças, e ocorrem principalmente via ventos, ondas e marés (Komar, 1976).

A variação temporal na erodibilidade e transporte sedimentar de regiões entremarés e planos rasos submareais é um assunto bastante abordado (Underwood & Paterson, 1993; Widdows *et al.*, 2000; Andersen, 2001), a qual é responsável pela caracterização da sazonalidade dos processos de sedimentação e erosão, frequentemente observadas em fundos insoolidados (Christie *et al.*, 1999; Andersen & Pejrup, 2001).

Organismos de substratos insoolidados são extremamente dependentes das características do sedimento. Algumas propriedades importantes do substrato para esses organismos são os tamanhos médios de grão, percentual de areia, silte e argila, matéria orgânica, teor de carbonatos, entre outros (Day *et al.*, 1989; Mouny *et al.*, 2000; Ysebaert, 2005). Em áreas rasas a combinação da intensidade da ação de ondas, marés e correntes resulta em uma marcada dinâmica sedimentar nos eventos de deposição e ressuspensão, na modificação do nível topográfico do substrato e dos tamanhos de grão (Bock & Miller, 1995), como também na distribuição das espécies bentônicas (Commito *et al.*, 1995; Little, 2000; Widdicombe & Austen, 2001). Essas perturbações do substrato em regiões rasas devido à influência da hidrodinâmica podem alterar as propriedades de associações faunísticas como riqueza de espécies, diversidade e abundância numérica (Warwick & Clarke, 1993; Widdicombe & Austen, 2001), assim como processos sucessionais (Colangelo *et al.*, 1996).

Até mesmo pequenas ondas de amplitude e período podem gerar movimentos extensivos de deslocamento sedimentar, gerando também transporte de espécies da macrofauna bentônica (Emerson, 1991; Emerson & Grant, 1991; Commito *et al.*, 1995). Organismos infaunais possuem a capacidade de escavarem o substrato tanto a camadas

superiores quanto mais profundas do sedimento, mantendo assim diferentes níveis de proximidade com a interface água-sedimento, o que habilita certas espécies, grupos funcionais ou até mesmo associações a estarem adaptadas a frequentes processos naturais de movimentação do substrato, erosão assim como seu soterramento (Miller *et al.*, 2002). Organismos da infauna que habitam camadas sedimentares mais profundas, por exemplo, podem ser mais tolerantes aos processos erosivos e deposicionais devido ao seu tamanho e capacidade de enterramento (Miller & Sternberg, 1988; Tuck *et al.*, 2000). Por outro lado, os processos de ressuspensão e deposição sedimentar aumentam os níveis de sedimentos finos na coluna de água, o que pode ser prejudicial a espécies filtradoras (Bock & Miller, 1994).

Mudanças na composição da comunidade bentônica devido à dinâmica do substrato podem ocorrer tanto devido aos efeitos diretos na sobrevivência, quanto indiretos através das modificações na composição sedimentar e características relativas à capacidade de atividades de bioturbação (Grant, 1983; Brey, 1991). A instabilidade espaço-temporal da macrofauna em uma planície de maré da Nova Zelândia, por exemplo, foi atribuída às frequentes perturbações geradas por ondas, correntes de maré e forçantes hidrodinâmicas de maior escala (tempestades) em uma região rasa de substrato inconsolidado com aproximadamente 2 m de profundidade, com remoção do substrato em até 3 cm e conseqüente transporte de organismos (Hewitt *et al.*, 1997). Este mesmo estudo evidencia que os habitantes da infauna apresentam maior estabilidade em relação aos epifaunais e infaunais que ocupam a subsuperfície, e mesmo com os processos de transporte dessas espécies o habitat foi considerado com relativa estabilidade, considerando-se a sobrevivência dos organismos.

Correntes e ação de ondas geradas por maiores intensidades de vento frequentemente são os responsáveis pela movimentação da camada superficial do substrato, causando altas taxas de mortalidade e redistribuição da infauna, especialmente os cavadores superficiais, em áreas rasas da Baía de Fundy - EUA (Yeo & Risk, 1979). Por outro lado, em um estudo conduzido em Long Island (EUA), em local com 5 m de profundidade durante pré e pós-perturbação hidrodinâmica devido a ventos de intensidade máxima de 60 km.h^{-1} , não foram encontradas diferenças entre composição e densidade da macrofauna (Dobbs & Vozarik, 1983).

Além das forçantes físicas, a instabilidade e maior erodibilidade do substrato pode ocorrer devido à própria ação da macrofauna, através da desestabilização do substrato por bioperturbação, locomoção, procura por alimento, defecação e construção de tubos (Nowell *et al.*, 1981; Gerdol & Hughes, 2000; de Deckere *et al.*, 2000). Entretanto, as taxas de mobilização do substrato devido a essas atividades são muito menores em relação às geradas pelo fluxo d'água próximo ao substrato (Grant, 1983; Miller & Sternberg, 1988).

O transporte sedimentar não necessariamente causa prejuízos aos organismos bentônicos. Os processos erosivos que ocorrem no substrato podem não resultar em defaunação do substrato, assim como os processos deposicionais nem sempre exigem movimentos de escavação maiores ou causam soterramento da fauna. Desta forma, existem graus de intensidade e persistência através dos quais erosão ou deposição podem trazer consequências negativas (Miller *et al.*, 2002).

Os processos de retrabalhamento do substrato na zona entremarés e regiões rasas adjacentes sofrem ação de outros parâmetros. Ao longo da maioria das regiões costeiras, e da mesma forma para a planície costeira do Rio Grande do Sul, as variações de maré

ocorrem duas vezes ao dia, enquanto que ventos com maiores intensidades e consequentes ondulações estão associadas às passagens de frentes ou ocorrência de ciclones (Miller *et al.*, 2002).

Na maioria dos estuários, os fatores físico-químicos variam de modo bastante previsível em escalas horárias e sazonais, pois esses são, em grande parte, controlados por marés regulares ou ciclos sazonais de descargas (Wolfe & Kjerfve, 1986). Ao contrário, na região estuarina da Lagoa dos Patos, como em outras lagunas “estranguladas” e com amplitude de maré pouco pronunciada, os parâmetros físico-químicos dependem marcadamente do vento e da pluviosidade (Calliari, 1980; Costa *et al.*, 1988; Garcia, 1998).

A direção predominante dos ventos na região costeira do Rio Grande do Sul é de origem NE, devido à influência do Anticiclone Tropical do Atlântico Sul. A passagem de sistemas frontais devido ao avanço do Anticiclone Migratório Polar sobre o sul do Brasil, entretanto, causa a inversão da direção dos ventos para o quadrante sul (Braga & Krusche, 2000; Krusche *et al.*, 2002). Entre esses dois anticiclones de alta pressão, ocorre uma zona de depressão que constitui uma descontinuidade para a qual convergem o vento das massas de ar e os sistemas frontais (Krusche *et al.*, 2002). Segundo Oliveira (1986), o número mensal desses sistemas que ocorrem no inverno (6 a 7) é ligeiramente maior que os de fim do verão e início de outono (5 a 6).

Os ventos de NE são predominantes durante o ano nessa região, mas durante os meses de outono e principalmente do inverno ventos do quadrante S e, sobretudo SW ganham em importância devido à maior frequência de passagem dos sistemas frontais (Krusche *et al.*, 2002). Em um estudo que avaliou os dados meteorológicos dos anos de 1992 a 1995, as maiores intensidades dos ventos de NE foram entre 18 e 38 km.h⁻¹,

enquanto as máximas para os ventos de W, NW e SW foram de 67,3 km.h⁻¹ (Braga & Krusche, 2000). Os ciclones extratropicais, que compõem outro sistema atmosférico que influencia o sistema de ventos para a região costeira do sul do Brasil, sobre o oceano criam uma pista de vento com componente sul, da ordem de 72 km.h⁻¹ (Saraiva *et al.*, 2002).

Fenômenos estocásticos como entradas de frentes frias, os quais afetam os processos hidrológicos e sedimentares, são provavelmente responsáveis pelas mudanças na estrutura das associações macrofaunais de enseadas rasas. Efeitos episódicos de alta energia (*e.g.* tempestades) apresentam particular importância, podendo movimentar, em um curto período de tempo, uma carga sedimentar superior à verificada durante longos períodos em condições normais (Nichols & Biggs, 1985; Dyer, 1988). Na região estuarina da Lagoa dos Patos, e em especial nos planos rasos de substratos inconsolidados, as perturbações associadas a frentes meteorológicas sazonais ainda não foram foco de investigação e monitoramentos. Os únicos dados relativos à dinâmica do substrato e a macrofauna bentônica são referentes a medidas topográficas quinzenais, desenvolvidas durante um ano, período no qual foram verificadas maiores variações topográficas do fundo (região com < 1 m de profundidade) durante o período do outono, após a influência do fenômeno *El Niño*, e intensos recrutamentos do bivalve *Erodona mactroides* BOSC 1802 (Colling *et al.*, 2007).

HIPÓTESES

(1) Os parâmetros ambientais do substrato em uma enseada rasa apresentam marcada variabilidade temporal de curto prazo, influenciados pela dinâmica dos ventos e hidrodinâmica;

(2) A variabilidade de curto prazo do macrozoobentos (composição e abundância) é determinada pela dinâmica do substrato e da coluna de água;

(3) A ocorrência de variabilidade temporal de curto prazo do macrozoobentos em uma enseada rasa estuarina da Lagoa dos Patos, é influenciada pelo modo de relação das espécies com o substrato, através de seus hábitos epifaunais ou infaunais;

(4) Existem variações significativas de curto prazo nas associações macrozoobentônicas das zonas rasas que podem ser detectadas por amostragens regulares com intervalos de 4 a 7 dias.

OBJETIVOS

Devido à complexidade dos fatores que exercem influência na dinâmica dos sedimentos em curto prazo nos planos rasos de substratos inconsolidados estuarinos, amostragens de curta periodicidade podem evidenciar possíveis influências da coluna de água e características do substrato sobre a macrofauna bentônica. Dessa forma os objetivos do presente capítulo são:

(1) avaliar a variabilidade temporal de curto prazo (intervalos de quatro a sete dias) da macrofauna bentônica durante um mês de cada estação do ano (primavera, verão, outono e inverno) nos anos de 2007 e 2008, em uma enseada rasa da região estuarina da Lagoa dos Patos;

(2) avaliar a variabilidade temporal de curto prazo (intervalo de quatro a sete dias) dos parâmetros ambientais relacionados à dinâmica do substrato de uma enseada rasa;

(3) avaliar a possibilidade de identificação de variações de curto prazo dos parâmetros ambientais da coluna de água e substrato, além da macrofauna bentônica, em intervalos de quatro a sete dias.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Parâmetros atmosféricos, da coluna de água e do sedimento

Devido à marcada sazonalidade que caracteriza a região de estudo, foram escolhidos quatro períodos de trinta dias que representassem Outono, Inverno, Primavera e Verão, entre os anos de 2007 e 2008, quando foram desenvolvidas amostragens em intervalos de quatro a sete dias (Tab. 1).

Dados diários de nível da coluna de água (cm) e salinidade de superfície foram obtidos através de medições feitas na localidade do Porto Rei, região localizada na mesma enseada em que se desenvolveu o estudo. Esses registros fazem parte do Banco de Dados do projeto “Estuário da Lagoa dos Patos e Área Costeira Adjacente”, PELD – Programas Ecológicos de Longa Duração, Site 8 – FURG (www.peld.furg.br).

Foram obtidas junto ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia; www.inmet.gov.br) três leituras diárias de direção e intensidade de vento medidas na estação meteorológica de Rio Grande, localizada a aproximadamente 6 km da enseada em estudo. As intensidades máximas e direção do vento predominante nas três leituras foram plotadas em gráficos representando os quadrantes da Rosa dos Ventos, para os períodos de cinco a sete dias antecedentes às amostragens de campo.

Em cada dia de amostragem foram extraídas seis amostras de sedimento para análises granulométricas através de uma transversal de aproximadamente 450 m de comprimento, com auxílio de um tubo extrator de PVC com 10 cm de diâmetro, enterrado até a profundidade de 10 cm no interior do sedimento. As proporções de areia, silte e argila foram determinadas através do peneiramento (> 0,062 mm de diâmetro) e pipetagem (< 0,062 mm de diâmetro), conforme Suguio (1973).

Para quantificar os processos deposicionais que ocorreram nos intervalos de dias antes das amostragens foram utilizadas 12 armadilhas para captura do sedimento em suspensão, em quatro pontos amostrais. Essas armadilhas (Fig. 1) foram construídas com tubos de PVC, através de um cilindro externo com dimensões de 10 cm de diâmetro X 15 cm de altura, fixadas em uma base sólida de mesmo diâmetro, que permanece enterrado no sedimento, evitando assim que este seja deslocado por alguma perturbação. No interior do cilindro foram acomodados pequenos canos com 1 cm de diâmetro X 10 cm de altura, para conduzir o material em suspensão ao fundo do equipamento. As armadilhas foram fixadas no substrato cinco dias antes das amostragens biológicas dependendo da frequência amostral, e quando retiradas o material depositado em seu interior foi armazenado em vidros e congelado. O material depositado foi seco em estufa, pesado (peso seco total em gramas), e a granulometria foi determinada através de peneiramento ($>0,062$ mm) e pipetagem ($<0,062$ mm), seguindo protocolo de Suguio (1973). Por fim, foram estimadas taxas de deposição de sedimentos ($\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), considerando a área do amostrador, o período em que permaneceu no substrato e o peso do material depositado.

Com o objetivo de avaliar a possível instabilidade do substrato através dos processos erosivos e deposicionais, foram efetuadas medidas da topografia do fundo, com auxílio de um nível de mangueira. Este nível de mangueira é compreendido por duas estruturas com aproximadamente um metro de altura nos quais há uma marcação graduada em cm (-20 a + 20 cm), ligadas por uma mangueira nivelada preenchida com água, de aproximadamente 4 m de comprimento. Em cada dia de amostragem foram feitas leituras em quatro postes nivelados localizados na transversal em que foi desenvolvido o estudo, onde foram tomadas quatro medidas do nível topográfico (cm)

do substrato (Norte, Sul, Leste e Oeste), cada uma medida a uma distância de 2 m do poste nivelado. Dessas quatro medidas foi calculado um valor médio, o qual representa o nível do substrato no momento das medições. Desta forma, com as repetições durante o período de trinta dias de cada estação do ano, obteve-se um perfil mensal do comportamento do substrato para quatro pontos (postes nivelados), na enseada rasa em estudo.

2. Amostragem biológica

As amostragens biológicas foram executadas em quatro pontos localizados em uma transversal de 450 m, sendo em cada um extraídas três réplicas, totalizando doze amostras do macrozoobentos, por dia de amostragem, com auxílio do mesmo tubo (10 cm de diâmetro) utilizado nas amostragens para análises granulométricas, enterrado a 20 cm no interior do substrato. As amostras foram peneiradas no próprio campo com malha de 0,3 mm de abertura e fixadas com formaldeído 4%. Em laboratório, com o auxílio de um microscópio estereoscópico, os macroinvertebrados foram separados do sedimento, identificados, quantificados e conservados em álcool 70%.

3. Análise dos dados

Os valores de percentual de sedimentos finos no substrato foram testados entre os dias de amostragem dentro de cada estação do ano, através de Análise de Variância (ANOVA, uma via, $p < 0,05$), após preenchidos os pré-requisitos de Normalidade e Homogeneidade das Variâncias. Não foi necessária utilização de transformação matemática dos dados.

Foram aplicadas Análises de Variância (ANOVA, uma via, $p < 0,05$) para avaliar possíveis diferenças significativas dos pesos do material sedimentar coletado e percentuais de sedimentos finos depositados, entre os dias de amostragem de cada sazão. Para alcançar os pré-requisitos da análise, os dados do parâmetro Peso de Sedimentos foram transformados em $\log(x + 1)$.

Para os valores de densidades da macrofauna total foram aplicados testes de Análise de Variância Não-paramétrica Kruskal-Wallis ($p < 0,05$), com o objetivo de identificar possíveis diferenças significativas entre as densidades entre os dias de cada etapa de amostragem.

Utilizou-se a Análise de Ordenação (MDS – *Multi Dimensional Scaling*), que agrupa as amostras biológicas em função de seu grau de similaridade, e Cluster, uma análise de Classificação que evidencia a formação de grupos de amostras por seus valores de similaridade (Bray Curtis). Através da soma das 3 réplicas de cada dia de amostragem, para cada um dos pontos de coleta, foi gerada uma matriz de similaridade através do Índice de Bray-Curtis, com os dados de densidade transformados em $\log(x + 1)$. Diferenças na estrutura das associações macrofaunais entre os dias amostrados dentro de cada estação do ano foram testadas através da Análise de Similaridade (ANOSIM, $p < 0,05$). Quando apontadas diferenças significativas, as espécies que contribuíram para a dissimilaridade entre os dias das estações do ano foram determinadas através da Análise de Porcentagem de Similaridade (SIMPER). Para evitar a influência das espécies raras nessas análises, espécies que ocorreram em frequências menores que 5% foram excluídas das análises.

As relações entre as características da macrofauna e os parâmetros ambientais foram avaliadas através da Análise de Correspondência Canônica (CCA) (ter Braak,

1986). Uma matriz constituída pelos parâmetros ambientais foi construída para determinar a quantidade de variação nos dados biológicos relacionados às variações ambientais. Para a realização da análise, os dados diários de salinidade, temperatura e intensidade máxima do vento anterior aos dias de amostragem foram transformados para médias do período. Para cada dia de amostragem do sedimento e dos parâmetros biológicos, foram feitas médias das réplicas das densidades da associação macrobentônica, assim como a média dos percentuais de sedimentos finos no substrato, peso do sedimento depositado e percentual de sedimentos finos depositados nos experimentos. Para testar a significância ($p < 0,05$) de cada variável ambiental no modelo, utilizou-se o teste de permutação de Monte Carlo (permutações irrestritas) onde as variáveis ambientais foram adicionadas passo a passo (*forward selection*) conforme apresentassem influência significativa sobre a matriz de dados biológicos. Espécies que apresentaram frequências menores que 5% foram excluídas das análises.

RESULTADOS

A temperatura da água durante o período em que foi desenvolvida a amostragem da Primeira Etapa (Outono - 7 de maio até 5 de junho) teve média de 16,2° C. Na Segunda Etapa (Inverno - 23 de agosto a 17 de setembro) a média foi de 19,3° C, durante a Terceira Etapa (Primavera - 20 de novembro a 22 de dezembro) 23,4° C e Quarta Etapa (Verão - 12 de fevereiro a 7 de março) de 25,1° C.

A salinidade de modo geral apresentou grande variabilidade nas leituras diárias durante os quatro períodos de estudo (Fig. 2). Nas amostragens de Outono as salinidades variaram entre 8 e 27 (média de 15,8), enquanto na de Inverno foi observada uma situação mais homogênea com características oligohalinas, com mínima de 0 e máxima de 4 (média de 1,5). Nas duas etapas seguintes foram observadas acentuadas variações com predominância de salinidades próximas a cinco durante a amostragem de Primavera com máxima de 24 e mínima de 2 (média de 6), e próximas a 20 durante a de Verão, com máxima de 31 e mínima de 5 (média de 18,3).

A profundidade da coluna de água, da mesma forma, apresentou grandes oscilações diárias nas quatro Etapas do trabalho (Fig. 2). Durante o mês de Outono amostrado foram observadas as maiores amplitudes de variação, com menor profundidade no dia 04 de maio (0 cm) e maior no dia 28 de maio (100 cm), sendo a média dessa Etapa de 50,6 cm (Fig. 2a). Nas amostragens de Inverno a coluna de água manteve-se geralmente entre 30 e 50 cm de profundidade (média de 39,6), exceto para o dia 25 de agosto quando novamente alcançou 100 cm de profundidade (Fig. 2c). Durante a Terceira Etapa acentuadas variações em períodos de poucos dias caracterizaram a coluna de água, com profundidades variando entre 25 e 70 cm

repetidamente entre os dias 23 e 27 de novembro, com média no período de 35,6 cm (Fig. 2e). Por sua vez, baixa profundidade da coluna de água caracterizou as amostragens de Verão, média de 18,2 cm chegando a 0 cm (fundo exposto) durante os dias 12, 13 e 14 de fevereiro (Fig. 2g).

Essa acentuada variabilidade observada para salinidade e profundidade da coluna de água, e a baixa relação temporal entre as duas variáveis, é refletida na nuvem de dispersão das leituras diárias dos dois parâmetros para as quatro Etapas (Fig. 3).

As maiores intensidades de vento durante a Etapa 1 foram de Sudoeste (SW) e Oeste (W) (Fig. 4), com todos os períodos anteriores às amostragens apresentando velocidades superiores a 30 km.h^{-1} originadas desses quadrantes, exceto o período anterior a 19/5, quando valores mais baixos de Sul (S), Sudeste (SE) e Leste (E) foram registrados. Na Etapa 2 as direções e intensidades foram variáveis, com velocidades próximas a 40 km h^{-1} antecedentes às amostragens de 23/8 e 17/9, e menores de 20 km h^{-1} originados de Nordeste (NE), E e SE nos demais períodos (Fig. 5). Durante a Etapa 3, de Primavera, velocidades do vento próximas a 40 km h^{-1} sopraram tanto de SW quanto NE anteriores à primeira amostragem do dia 20/11, e intensidades nunca superiores a 30 km h^{-1} variaram de SW girando a NE (Fig. 6). Por sua vez, durante a Etapa de Verão foram observados ventos de NE antes de todas as amostragens (Fig. 7), e velocidades superiores a 30 km h^{-1} originadas de S e SE foram registradas anteriores ao último dia de coletas de campo.

Os níveis topográficos apresentaram acentuadas variações principalmente durante as Etapas 1 e 4 (Fig. 8). Entre os dias 12/5 e 05/06 foi observada uma diminuição no nível topográfico do substrato de 14 cm (leituras de -4 a -18 cm no Ponto 2). No intervalo de 25/2 e 01/3 a variação na topografia foi de 10 cm (-5 a -15 cm no

Ponto 2). Por outro lado, durante as Etapas 2 e 3 não foram observadas variações topográficas acentuadas.

Não foram observadas diferenças significativas para os percentuais de sedimentos finos de cada Etapa (Tab. 2). As maiores variações nos percentuais de silte + argila foram observadas durante a Etapa 1, quando entre os dias 07/5 (5,7%) e 24/5 (11,4%) houve um aumento gradativo de finos (Fig. 9a), e durante a Etapa 2 entre os dias 23/8 e 06/9, quando houve uma redução de 10,5% para 4,3%, respectivamente (Fig. 9b). Durante as amostragens de Primavera as médias de finos se mantiveram entre 7 e 9% (Fig. 9c), enquanto que no Verão foram de 9 a 11,8% (Fig. 9d).

Os experimentos de deposição de sedimentos apresentaram diferenças significativas entre os pesos do material depositado durante as Etapas 1, 2 e 3 (Tab. 2). Foi observado um aumento no peso dos sedimentos capturados pelo coletor entre os dias 12/5 (3,84 g) e 05/06 (89,3 g) durante a Etapa 1 (Fig. 10a), um acentuado aumento no dia 17/9 (174 g) durante a Etapa 2 (Fig. 10b), assim como no dia 06/12 (85 g) da Etapa 3 (Fig. 10c). Somente durante a Etapa de Verão não foram observadas diferenças significativas entre os dias, assim como elevados pesos capturados pelos coletores, os quais sempre estiveram abaixo de 10 g (Fig. 10d). As taxas de deposição calculadas para cada dia de amostragem de todas as Etapas encontram-se na Tab. 3. Foi observada diferença significativa entre os percentuais de finos depositados somente para a Etapa 2 (Tab. 2), quando houve uma diminuição dos percentuais de silte + argila (e proporcional aumento no percentual dos grãos tamanho areia) simultânea à intensa deposição observada por meio dos pesos do material coletado.

O número de espécie do macrozoobentos encontrado nas quatro etapas foi similar, com 19 espécies na Etapa 1 (Outono), 16 na Etapa 2 (Inverno), 18 na Etapa 3 (Primavera) e 17 na Etapa 4 (Verão) (Tab. 4).

As densidades médias da macrofauna total não apresentaram diferenças significativas para os dias de cada Etapa. As densidades médias do macrozoobentos da Primeira Etapa foram menores no dia 19/5 ($11.939 \pm 3.982 \text{ ind.m}^{-2}$) e maiores em 31/5 ($20.196 \pm 9.667 \text{ ind.m}^{-2}$) (Fig. 11a). Durante a Etapa 2 as menores densidades ocorreram em 23/8 ($8.609 \pm 7.327 \text{ ind.m}^{-2}$) e maiores na amostragem seguinte do dia 28/8 ($13.619 \pm 8.867 \text{ ind.m}^{-2}$) (Fig. 11b). Uma acentuada diferença (porém não-significativa) ocorreu entre as densidades dos dias 19/12 ($10.116 \pm 7.387 \text{ ind.m}^{-2}$) e 22/12 ($21.475 \pm 9.836 \text{ ind.m}^{-2}$) durante a Etapa 3 (Fig. 11c). As maiores diferenças em densidade da Etapa 4 foram observadas entre os dias 25/2 ($25.891 \pm 14.433 \text{ ind.m}^{-2}$) e 01/3 ($20.063 \pm 13.174 \text{ ind.m}^{-2}$) (Fig. 12c).

A análise de Escalonamento Multidimensional (MDS) não mostrou a formação de grupos de amostras em função de sua similaridade, enquanto que a análise ANOSIM também não evidenciou diferenças ($p = 0,43$; $R = 0,012$) entre a composição e abundância das espécies entre os dias amostrados durante a Etapa 1, de Outono (Fig. 12a). A análise de Classificação (Cluster) mostrou que a composição e abundância das espécies no Outono estão agrupadas a um nível de similaridade superior a 75 % (Fig. 12b).

A análise MDS evidenciou, para a Etapa 2 (Inverno) a distinção entre os grupos (Fig. 13) de amostras do dia 23/8 (primeiro dia de amostragem) e 17/9 (último dia), diferença considerada como significativa pelo ANOSIM ($p = 0,034$), porém sem a formação de grupos evidentes ($R = 0,175$). A análise Simper apontou as espécies

epifaunais *Kupellonura sp.* (24,46 %) e *Helobia australis* (14,6 %) como as que mais contribuíram para a distinção desses dois dias de amostragem. Avaliando-se o comportamento temporal das densidades dessas duas espécies (Fig. 14 a,b), observa-se para a primeira sua ausência no primeiro dia de amostragem, e as maiores densidades (entretanto muito baixas) no último dia de amostragem. Por sua vez, para *H. australis* também se observou este comportamento temporal das densidades, com as menores densidades durante o primeiro dia de amostragem e as maiores (provavelmente consideradas como significativas/maiores pela análise Simper devido ao seu menor desvio padrão em relação às densidades maiores do dia 28/8) no último dia, 17/9.

O teste ANOSIM apontou diferenças significativas entre as amostras dos dias da Etapa 3 ($p = 0,032$; $R = 0,184$), com a distinção entre os grupos de amostras do primeiro dia de amostragem (20/11) para os três últimos dias (13/12; 19/12 e 22/12). Essas diferenças são visíveis nos agrupamentos formados no MDS (Fig. 15). O bivalve *Erodona mactroides* foi apontado pela análise SIMPER como o que mais contribuiu para essas diferenças (31,2 %; 28,0 % e 29,1 %, respectivamente): suas densidades foram menores de 200 ind.m^{-2} no início do período, quando se elevaram a densidades superiores a 1.500 ind.m^{-2} no fim da Primavera (Fig. 16). Foram apontados o gastrópode *H. australis* (11,6 %) e o isópode *Kupellonura sp.* (10,9 %) para a distinção entre o primeiro e último dias de amostragem, quando ambas as espécies apresentaram baixas e elevadas densidades, respectivamente (Fig. 16b, c). O também isópode *Sphaeromopsis mourei* foi também fonte de variação (10,8 %) nessa Etapa, porém com comportamento temporal distinto das demais espécies: suas densidades foram crescentes até o quarto dia de amostragem (entre 20/11 e 13/12) com posterior decréscimo até 22/12 (Fig. 16d).

Durante a Etapa de Verão não foi evidenciada a formação de grupos de amostras através dos dias de amostragem, quando também não foram apontadas diferenças significativas através do ANOSIM ($p = 0,158$; $R = 0,101$).

A Análise de Correlação Canônica não apontou influência significativa de nenhum parâmetro ambiental sobre a matriz de dados biológicos. Este resultado, devido às etapas seguidas nessa análise, não possibilita a criação de uma matriz gráfica para observação das correlações significativas formadas entre os parâmetros biológicos e ambientais.

DISCUSSÃO

A macrofauna bentônica não apresentou, de forma geral, acentuada variabilidade temporal em suas densidades em cada estação do ano avaliada. Entretanto, na Etapa 2 de Inverno e Etapa 3 de Primavera algumas espécies de organismos epifaunais contribuíram para diferenças significativas entre alguns dias de amostragem. Os parâmetros ambientais mostraram grandes amplitudes de variação em alguns períodos avaliados, refletindo a complexidade de fatores atuantes na hidrodinâmica e dinâmica sedimentar na enseada rasa em estudo.

A marcada irregularidade temporal dos parâmetros atmosféricos, profundidade da coluna de água na enseada rasa do Saco do Arraial e salinidade comprovam a ocorrência de variabilidade com escalas diárias no habitat estuarino raso da Lagoa dos Patos, em relação aos regimes impostos por esses parâmetros. Enquanto o efeito da maré (amplitude média de 0,4 m) é de importância secundária, sendo 80 % da energia da maré removida pela fricção (Möller *et al.*, 2009), a ocorrência de frentes meteorológicas representadas pela modificação dos ventos dominantes de NE para os de maior intensidade do quadrante S (Stech & Lorenzetti, 1992; Krusche *et al.*, 2002), compõe o principal forçante de circulação e hidrodinâmica estuarina, juntamente com a sazonalidade dos parâmetros de precipitação para a região.

Para a porção sul da região estuarina, ventos do quadrante S e NE na ordem de 30 km.h⁻¹ atuando sobre a desembocadura e canal ocasionam variações tanto no nível da coluna de água quanto salinidade em períodos menores de 12h (Fernandes *et al.*, 2001). Na enseada do Saco do Arraial, um estudo de caracterização morfo-sedimentar mostrou a presença preponderante de sedimentos arenosos em profundidades inferiores a 1 m

(como os locais onde foi desenvolvido o presente trabalho), devido à maior energia da coluna de água, promovendo a remoção e impedindo a deposição das frações finas. Entretanto em locais mais abrigados da enseada, se estabelecem condições de baixa energia, tornando os sedimentos de fundo progressivamente enriquecidos em silte e argila (Souza, 2002).

Durante as quatro Etapas do presente estudo não foram observadas influências de intensas descargas originadas da bacia de drenagem, que quando excedem os valores médios durante períodos influenciados pelos eventos ENSO-*El Niño*, tornam-se o principal condicionante do nível da coluna de água e salinidade da região estuarina. Desta forma, devido aos menores níveis da coluna de água em comparação àqueles observados durante esses eventos, quando podem alcançar profundidades superiores a 70 cm na enseada em estudo (Colling *et al.*, 2011) e vazantes por prolongados períodos (Fernandes *et al.*, 2002; Möller *et al.*, 2009; Möller & Fernandes, 2010), a influência dos ventos tornou-se um dos principais condicionantes à variabilidade na profundidade na área rasa em estudo.

Além da baixa coluna de água como uma das principais propriedades que determinaram os regimes temporais de hidrodinâmica e salinidade durante o período, as características locais da enseada provavelmente exerceram marcada fonte de variação em relação aos padrões de circulação na região estuarina. O Saco do Arraial compreende uma área rasa, semelhante aos demais ambientes que caracterizam aproximadamente 70 % da porção sul da região estuarina da Lagoa dos Patos (Hartmann, 1996), composto por um canal de aproximadamente 5 m de profundidade adjacente à enseada, o que lhe confere características próprias de topografia, circulação e características do substrato (Souza, 2002; Souza-Vieira & Hartmann, 2008; Giordano,

2009). Essas propriedades do local em estudo provavelmente foram determinantes para, junto às menores descargas do período (Capítulo II) e a variabilidade dos ventos durante o período, a ocorrência das baixas relações diárias entre profundidade da coluna de água e salinidade (Fig. 3).

Resultados distintos foram encontrados por Costa *et al.* (1988) para toda região estuarina, os quais evidenciaram a forte relação entre ventos predominantes e regimes de salinidade. Entretanto, os parâmetros vento e salinidade naquele trabalho foram avaliados sob foco sazonal, durante o período de um ano (setembro-1980 a agosto-1981), o que aumenta a possibilidade de observação de tendências e minimiza a influência de fatores em escala diária visualizados somente em curtos períodos, como os aqui avaliados. Os resultados encontrados no presente trabalho mostram, por sua vez, a heterogeneidade de fatores de ordem diária aos quais estão submetidas tanto as características do substrato quanto a fauna macrobentônica das enseadas rasas desse estuário.

Através da avaliação da variabilidade temporal de curto prazo dos perfis topográficos, que mostra situações mais estáveis durante a Etapa 2 (Inverno) e Etapa 3 (Primavera), e variações acentuadas na ordem de $14 \text{ cm} \cdot 23 \text{ dias}^{-1}$ de erosão do substrato na Etapa 1 (Outono), é possível estabelecer relações entre topografia, profundidade e comportamento dos ventos predominantes em cada período. Apesar da acentuada variabilidade entre as leituras, a topografia instável durante a Etapa 1 está relacionada à predominância de fortes ventos de S, SW e W (Fig. 4) acima de $35 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ e profundidades abaixo de 25 cm, o que pode acentuar a influência do vento sobre os processos de erosão e deposição. Durante as Etapas 2 e 3 a profundidade no geral acima de 30 cm associada a ventos menos intensos do quadrante SE/E no Inverno e E/NE na

Primavera, provavelmente influenciaram para a ocorrência de perfis topográficos mais estáveis. Por fim, na Etapa 4 (Verão) devido à menor profundidade entre todas as Etapas, os ventos mesmo que menos intensos podem influenciar na dinâmica do substrato, fato visível através da observação dos perfis novamente instáveis de topografia no período.

Os processos deposicionais quantificados evidenciam este comportamento temporal entre as Etapas, através das maiores taxas de deposição observadas durante o Outono associado a maiores intensidades de vento, e menores no Inverno e Primavera (exceto por um evento de maior deposição em cada período) devido à menor ação dos ventos associada à maior profundidade d'água. Um interessante processo hidrodinâmico-sedimentar ocorreu durante os dois últimos dias de amostragem da Etapa 2 (Inverno), entre os dias 11/9 e 17/9: um processo de ressuspensão dos sedimentos e posterior deposição somente das frações grosseiras do tamanho areia, fato evidenciado pelo peso de 173 g de material com 80 % de frações areia (Fig. 10b), ocorreu possivelmente por decantação. Este fato ocorreu associado às condições oligohalinas durante o período, e indica a ausência dos processos de floculação, que seriam perceptíveis caso ocorressem maiores percentuais de finos nos coletores, e ocorreriam associados à água salgada. Intensas deposições de finos, provavelmente associados aos processos de floculação, foram observados durante 2003-2004, quando foram responsáveis por mortalidades do bivalve filtrador *E. mactroides*. Durante a Etapa de Verão, mesmo com os perfis topográficos apontando para uma maior dinâmica sedimentar, a quantidade de material coletado foi constantemente baixa.

Organismos de substratos inconsolidados são dependentes das características do sedimento como tamanhos médios de grão, percentual de areia, silte e argila, (Day *et*

al., 1989; Mouny *et al.*, 2000; Ysebaert, 2005) e estão sujeitos a perturbações do substrato através da ação de ondas, marés, correntes, transporte sedimentar, eventos de ressuspensão e deposição (Commito *et al.*, 1995; Little, 2000; Widdicombe & Austen, 2001). As evidências da variação de intensidade e frequência dos processos de dinâmica sedimentar encontrados, indicam a multiplicidade de fatores a que estão submetidas as espécies macrozoobentônicas desses habitats estuarinos na Lagoa dos Patos.

A composição de espécies e abundância de organismos macrozoobentônicos das regiões rasas do estuário da Lagoa dos Patos foram avaliados através de uma série de trabalhos (Bemvenuti *et al.*, 1978; Capítoli *et al.*, 1978; Bemvenuti, 1987a; Rosa & Bemvenuti, 2006; Colling *et al.*, 2007), os quais mostram a presença de organismos tanto de hábitos infaunais, epifaunais, assim como os infaunais que ocupam a camada subsuperficial do sedimento. A diversidade encontrada para esses habitats também é apresentada, e pode ser considerada baixa assim como o encontrado para a Baía de Samborombon - Argentina (Ieno & Bastida, 1998) e estuário do Rio Pamlico – EUA (Tenore, 1972), quando comparada a outros trabalhos como os desenvolvidos no estuário de Bahia Blanca – Argentina (Elias, 1995), Schelde, Bélgica (Seys *et al.*, 1994), Seine – França (Mouny *et al.*, 2000) e estuário de Tees – Inglaterra (Tapp *et al.*, 1993).

Em planícies de maré e planos rasos as perturbações do substrato são frequentes e por vezes regulares, associadas a frentes meteorológicas sazonais, onde são comuns tanto espécies oportunistas habilitadas à rápida colonização quanto taxa com capacidade de escavação e mais tolerantes à movimentação do substrato, como por exemplo os poliquetas capitelídeos (McCall, 1978; Grant, 1983; Dauer, 1984; Levin, 1984).

Os poliquetas encontrados no presente estudo foram *Laeonereis culveri*, *Heteromastus similis* e *Nephtys fluviatilis*. No caso de *L. culveri*, a espécie possui o

hábito cavador profundo, e a partir de um tubo com orientação perpendicular ao fundo, ingere diatomáceas bentônicas e o detrito depositado. O poliqueta *H. similis*, outra espécie comedora de depósito, ingere partículas finas de sedimento juntamente com a matéria orgânica no interior de intrincadas galerias, que podem atingir mais de 15 cm no interior do substrato (Bemvenuti, 1998b). Já *N. fluviatilis* é um poliqueta carnívoro-detritívoro, consumindo desde detritos até ostracodos, juvenis de *H. australis* e o poliqueta *H. similis*. A interação entre os dois poliquetas representa um importante elo trófico, pois *H. similis* vive em galerias que podem atingir até 20 cm no interior do sedimento e é dificilmente consumido por peixes e decápodos (Bemvenuti, 1987b).

Esses poliquetas possuem em comum o comportamento infaunal, que por consequência traz maior tolerância às perturbações que ocorrem na superfície do substrato, como as encontradas durante as amostragens de curto prazo. Além da menor exposição à superfície, deve-se considerar a alta resiliência desses grupos a perturbações, perceptível através da velocidade de seus processos de recolonização. Em um habitat intermareal da Baía de Tampa (EUA) os poliquetas *Heteromastus filiformis*, *Laeonereis culveri* e *Capitella capitata* apresentaram alta capacidade de recolonização após perturbação através de intensas deposições de macroalgas, com as reduções iniciadas em junho completamente superadas em agosto (Dauer, 1984).

O tanaidáceo infaunal *Kalliapseudes schubarti*, uma das espécies mais abundantes da macrofauna estuarina, possui preferência por locais rasos, distribuindo-se desde o limite inferior dos planos intermareais até a borda dos canais de navegação (Bemvenuti *et al.*, 1978; Rosa-Filho & Bemvenuti, 1998). Nesses ambientes escava tubos em forma de U, que podem atingir até 15 cm de profundidade no interior do substrato inconsolidado (Bemvenuti, 1987a). Este típico habitante do interior do

sedimento, da mesma forma que os poliquetas infaunais, não apresentou variabilidade em suas densidades através das avaliações de curto prazo durante os quatro períodos, resultado influenciado pela sua menor suscetibilidade aos processos de remobilização na camada superficial do sedimento.

Espécies com hábitos subsuperficiais ou epifaunais, por outro lado, são mais severamente afetadas por perturbações (Grant, 1983; Tamaki, 1987). As espécies apontadas pela análise SIMPER com comportamento heterogêneo entre as amostragens da Etapa 2 (*Heleobia australis*, *Kupellonura sp.*) e Etapa 3 (*Erodona mactroides*, *Heleobia australis*, *Kupellonura sp.* e *Sphaeromopsis mourei*) são habitantes da superfície do sedimento.

A família Hydrobiidae à qual pertence o gastrópode *H. australis* possui uma característica atividade migratória, que é exercida através da utilização da tensão superficial da água (Bemvenuti, 1998a; Norkko *et al.*, 2000; Orvain & Sauriau, 2002). Sua característica migração quando submetidos a condições desfavoráveis como baixas salinidades por prolongados períodos (Chomenko & Schaffer, 1984; Bemvenuti *et al.*, 1992), em escala local pode ocasionar processos de deslocamento através das enseadas rasas. Ao contrário, sua mobilidade também pode ser o responsável pelo processo inverso, o de recolonização de áreas mais favoráveis.

Essa sua capacidade de colonização e reocupação após perturbações é conhecida, quando o gastrópode mostrou-se a espécie pioneira em áreas modificadas (Netto & Lana, 1994), comportamento oportunista que habilita o gastrópode a ocupar novos habitats, nichos ou evitar condições ambientais adversas (Lana, 1986; Bemvenuti *et al.*, 1992). Essa sua habilidade é um processo de comum visualização nas enseadas rasas do estuário. Durante períodos de senescência da vegetação

submersa nas enseadas rasas, por exemplo, é recorrente o registro de sua atividade de flutuação, normalmente em regiões onde o substrato encontra-se com visíveis condições de anoxia devido à decomposição de macrófitas.

O bivalve de hábito suspensívoro subsuperficial *E. mactroides* apresentou acentuada variabilidade durante o curto prazo de Primavera, desenvolvido entre o fim de Novembro e fim de Dezembro-2007. Sua esporádica ocorrência nas duas amostragens iniciais, e aumento significativo das densidades após 06/12 (a partir do terceiro dia amostrado) possivelmente indicam o início de seus recrutamentos, característicos para as enseadas rasas estuarinas durante Primavera e início de Verão (Bemvenuti *et al.*, 1978; Bemvenuti *et al.*, 1992; Bemvenuti & Netto, 1998).

As larvas dessa espécie, provenientes dos estoques reprodutivos de adultos do norte do corpo lagunar acompanhando as vazantes de primavera-verão, originam os recrutamentos encontrados em enseadas protegidas da região estuarina (Bemvenuti & Netto, 1998). O sucesso dos recrutamentos de *E. mactroides* nas enseadas da porção sul do estuário nos períodos de primavera e início de verão (Bemvenuti *et al.*, 1978; Bemvenuti *et al.*, 1992), está intimamente ligado às condições hidrológicas, que se tornam favoráveis nos períodos de vazante (Colling *et al.*, 2007). No presente trabalho as condições encontradas referentes à salinidade durante a amostragem de curto prazo de Primavera indicam a ausência de forte vazantes, com salinidades moderadas que são produto de processos de mistura de águas de origem marinha e de água doce efluentes da bacia de drenagem da laguna. Este último corpo d'água pode carrear as larvas e quando em contato com regiões rasas e enseadas, devido à menor hidrodinâmica permitem o assentamento dos organismos (Bemvenuti, 1998a).

Outra característica do bivalve são os eventos de mortalidade que sofrem nas enseadas rasas estuarinas, devido aos eventos de maior deposição de sedimentos finos, ocasionando o entupimento de seu aparato filtrador (Bemvenuti, 1998b; Colling *et al.*, 2011). Três desses eventos de deposição foram quantificados para os anos de 2003 e 2004, através de amostragens mensais de *E. mactroides*, (Colling *et al.*, 2011, Anexo I). No presente trabalho não foram evidenciados eventos de intensa deposição de finos, nem mesmo de mortalidade dessa espécie. Ao contrário, o parâmetro populacional observado foram seus recrutamentos, através das amostragens de curto prazo de Primavera.

Uma hipótese que não pode ser descartada sobre a variabilidade em curtos períodos dessas espécies, é a possibilidade da redistribuição da macrofauna através do plano raso, devido às perturbações geradas pelo movimento da coluna de água através das correntes e ondas, assim como observado por Hewitt *et al.*, (1997) em um local raso da Nova Zelândia. Neste estudo foi encontrado que juvenis do bivalve *Macomona liliana* apresentaram grande mobilidade, tanto pela deriva na coluna de água quanto por sua remoção do substrato junto à movimentação e fluxo dos sedimentos.

Na enseada do Saco do Arraial, a ocorrência desse tipo de dispersão dos organismos, não ocasionando, entretanto suas mortalidades, poderia influenciar o macrozoobentos através de flutuações temporais de curto prazo, que via amostragens na escala aqui empregada se tornariam detectáveis pela variabilidade das densidades dentro de cada etapa. Dessa forma, as flutuações de densidades das espécies em curtos períodos poderiam ser resposta à sua redistribuição na enseada rasa, quando após ocorrida a perturbação os organismos poderiam readequar sua distribuição anterior devido às exigências dos organismos em relação a tamanho de grão, percentuais de

finos, matéria orgânica e outras características do substrato (Eckman, 1983; Ysebaert, 2005).

No caso dos crustáceos peracáridos, a ausência de fases larvais na coluna de água e a limitada capacidade de locomoção dos juvenis e adultos, determinam que a distribuição desses organismos seja bastante dependente do transporte passivo. As macroalgas filamentosas à deriva são potenciais vetores de sua distribuição, através desse processo de transporte, na região estuarina (Bemvenuti & Colling, 2010). Dessa forma, a variabilidade em curtos períodos dos peracáridos observada neste trabalho para *Kupellonura sp.* e *Sphaeromopsis mourei*, além de outras espécies sujeitas a este tipo de dispersão como *Mellita lagunae*, *Munna peterseni*, *Diastylis sympterigeae* e *Amphithoe*, por exemplo, podem estar associadas ao transporte passivo através da enseada rasa.

Os resultados aqui encontrados mostram a ocorrência de processos de dinâmica do substrato através da variação na topografia, eventos de erosão e deposição de sedimentos, provavelmente influenciados pela hidrodinâmica e ação dos ventos. Como resposta da macrofauna, a curto prazo as espécies aparentemente utilizam sua capacidade de resistência e resiliência durante e após perturbações. Além disso, é importante a heterogeneidade com que as espécies habitam o substrato, através dos seus hábitos infaunais e epifaunais: no caso das primeiras, os hábitos intersticiais e de construção de tubos/galerias permitem uma maior tolerância à dinâmica sedimentar devido à sua menor exposição à superfície do substrato, tornando-as menos sujeitas ao retrabalhamento e transporte; no caso das espécies epifaunais estas provavelmente utilizam sua capacidade de redistribuição e procura de áreas favoráveis após eventos dispersão na enseada rasa. Essas características biológicas e do habitat raso das enseadas estuarinas aqui apresentadas, constituem importantes informações sobre as

escalas temporais dos processos que ocorrem na Lagoa dos Patos, e auxiliam na compreensão da dinâmica do macrozoobentos em estuários de regiões temperadas.

A utilização de uma estratégia amostral com intervalos de quatro a sete dias se apresenta adequada na investigação dos eventos de curto prazo que ocorrem na macrofauna bentônica, características do substrato e da coluna da água. Visto que diferentes intensidades e direções de vento, assim como variações no nível da coluna de água, salinidade e processos de dinâmica do substrato ocorrem em intervalos de poucos dias, e algumas espécies epifaunais apresentam flutuações similares, a estratégia empregada enquadra-se como uma frequência amostral válida para a investigação do ambiente e biota. Apesar de não se mostrarem diretas as relações de causa e efeito entre a variação dos parâmetros ambientais em relação à variabilidade do macrozoobentos, os intervalos de tempo estabelecidos para as amostragens evidenciam a existência de variabilidade de curta duração das características do substrato, assim como da epifauna na enseada em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, G.P.; Salomon, J.C.; Bassoulet, P.; du Penhoat, Y. & de Grandpré, C.; 1980. Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries. *Sedim. Geol.* 26: 69-90.
- Andersen, T.J., 2001. Seasonal variation in erodibility of two temperate, microtidal mudflats. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 53:1-12.
- Andersen, T.J. & Pejrup, M., 2001. Suspended sediment transport on a temperate, microtidal mudflat, the Danish Wadden Sea. *Mar. Geol.*, 173:69-85.
- Bemvenuti, C.E., 1987a. Macrofauna bentônica da região estuarial da Lagoa dos Patos, RS – Brasil. *Publ. Acad. Ciên. Est. SP*, 54 (1): 428-459.
- Bemvenuti, C.E., 1987b. Predation effects on a benthic community in estuarine soft sediments. *Atlântica*, 9 (1): 5-32.
- Bemvenuti, C.E., 1998a. Invertebrados Bentônicos, *In*: Seeliger, U.; Odebrecht, C. & Castello, J.P, (Ed). Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Editora Ecocientia, Rio Grande, p. 46-51.
- Bemvenuti, C.E. 1998b. Fundos não Vegetados. *In*: Seeliger, U.; Odebrecht, C. & Castello, J.P. (Ed). Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Ecocientia : Rio Grande :87-92.
- Bemvenuti, C.E. & Netto, S.A., 1998. Distribution and seasonal patterns of the sublittoral benthic macrofauna os Patos Lagoon (South Brazil). *Rev. Bras. Biol.* 58(2): 211-221.
- Bemvenuti, C.E. & Colling, L.A., 2010. As comunidades de macroinvertebrados bentônicos. *In*: O estuário da Lagoa dos Patos, um século de transformações. Seeliger, U. & Odebrecht, C. (Eds.). EdFURG, p. 101-114.
- Bemvenuti, C.E; Capítoli, R.R. & Gianuca, N.M., 1978. Estudos de ecologia bentônica na região estuarial da Lagoa dos Patos. II. Distribuição quantitativa do macrobentos infralitoral. *Atlântica* 3: 23-32.
- Bemvenuti, C.E.; Cattaneo, S.A. & Netto, S.A., 1992. Características estruturais da macrofauna bentônica em dois pontos da região estuarial da Lagoa dos Patos, RS - Brasil. *Atlântica*, 14: 5-28.

- Bock, M.J. & Miller, D.C., 1995. Storm effects on particulate food resources on an intertidal sandflat. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 187:81-101.
- Braga, M.F.S. & Krusche, N., 2000. Padrão de ventos em Rio Grande, RS, no período de 1992 a 1995. *Atlântica*, 22: 27-40.
- Brey, T., 1991. The relative significance of biological and physical disturbance: an example from intertidal and subtidal sandy bottom communities. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 33:339-360.
- Calliari, L.J., 1980. Aspectos sedimentológicos e ambientais da região sul da Lagoa dos Patos. Tese de Mestrado, UFRGS, 190p.
- 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.
- Chomenko, L.A. & Schafer, A., 1984. Interpretação biogeográfica da distribuição do gênero *Littoridina* (Hydrobiidae) nas lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Amazon.*, 9(1): 127-146.
- Christie, M.C.; Dyer, K.R. & Turner, P., 1999. Sediment flux and bed level measurements from a macro tidal mudflat. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 49(5):667-688.
- 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. *Iher. Ser. Zool.*, 97:257-263.
- Colling, L.A.; Bemvenuti, C.E. & Pinotti, R.M., 2011. Temporal variability of the bivalve *Erodona mactroides* BOSCH, 1802 during and after *El Niño* phenomenon (2002/2003) in a subtropical lagoon, southern Brazil. *Acta Limnol. Bras.*, no prelo.
- 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. *Ciênc. Cult.*, 40(9): 909-912.
- Colangelo, M.A.; Macrí, T. & Ceccherelli, V.U., 1996. A field experiment on the effect of two types of sediment disturbance on the rate of recovery of a meiobenthic community in a eutrophicated lagoon. *Hydrobiol.*, 329:57-67.

- Commito, J.A.; Thrush, S.F.; Pridmore, R.D.; Hewitt, J.E. & Cummings, V.J., 1995. Dispersal dynamics in a wind-driven benthic system. *Limnol. Oceanogr.*, 40:1513-1518.
- Dauer, D.M., 1984. High resilience to disturbance of an estuarine polychaete community. *Bull. Mar. Sci.*, 34:170-174.
- Day, J.W., Jr.; Hall, C.A.S. Kemp, W.M. & Yáñez-Arancibia, A., 1989. The estuarine bottom and benthic subsystem, *In: Estuarine ecology*, John Wiley & Sons, pp 338-376.
- de Deckere, E.M.G.T.; van de Koppel, J. & Heip, C.H.R., 2000. The influence of *Corophium volutator* abundance on resuspension. *Hydrobiol.*, 426:37-42.
- Dobbs, F.C. & Vozarik, J.M., 1983. Immediate effects of a storm on coastal infauna. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 11:273-279.
- Dyer, K.R., 1979. Estuarine hydrography and sedimentation. Cambridge University Press. London. 230p.
- Dyer, K. R., 1995. Sediment transport processes in estuaries. *In: Perillo, G. M. E. (Eds.), Geomorphology and sedimentology of estuaries. Developments in sedimentology*, 53. Elsevier Science B. V., 423-447.
- Eckman, J.E., 1983. Hydrodynamic processes affecting benthic recruitment. *Limnol. Oceanogr.* 28(2), 241-257.
- Elias, R., 1995. The subtidal macroinfauna from soft-bottom substrate of the substrate of the Blanca Bay (Argentina). *Thalassas*, 11:73-86.
- Emerson, C.W., 1991. A method for the measurement of bedload sediment transport and passive faunal transport on intertidal sandflats. *Estuaries*, 14:361-371.
- Emerson, C.W. & Grant, J., 1991. The control of soft-shell clam (*Mya arenaria*) recruitment on intertidal sandflats by bedload sediment transport. *Limnol. Oceanogr.*, 36:1288-1300.
- Fernandes, E.H.L.; Dyer, K.R. & Möller, O.O., 2001. Spatial gradients in the flow of southern Patos Lagoon. *J. Coast. Res.*, 21(4):759-769.
- 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). *Cont. Shelf Res.*, 22(11-13):1699-1713.

- Garcia, C.A.E. 1998. Características Hidrográficas. *In: Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil*. Eds: U. Seeliger; C. Odebrecht & J.P. Castello. Editora Ecoscientia. 341p.
- Gerdol, V. & Hughes, R.G., 2000. Effect of *Corophium volutator* on the abundance of benthic diatom, bacteria and sediment stability in 2 estuaries in southeastern England. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 114(1-2): 109-115.
- Giordano, P., 2008. Modelagem hidrodinâmica do Saco do Arraial. Dissertação de Mestrado, FURG. 100 pg.
- Grant, J., 1983. The relative magnitude of biological and physical sediment reworking in an intertidal community. *J. Mar. Res.*, 41:673-689.
- Hartmann, C., 1996. Dinâmica, distribuição e composição do material em suspensão da região sul da Laguna dos Patos, RS. Tese de Doutorado, UFRGS, 363 pg.
- Hewitt, J.E.; Pridmore, R.D.; Thrush, S.F. & Cummings, V.J., 1997. Assessing the short term stability of spatial patterns of macrobenthos in a dynamic estuarine system. *Limnol. Oceanogr.*, 42(2): 282-288.
- Ieno, E.N. & Bastida, R.O., 1998. Spatial and temporal patterns in coastal macrobenthos of Samborombon Bay, Argentina: a case study of very low diversity. *Estuaries*, 21: 690-699.
- Komar, P.D., 1976. Beach Process and sedimentation. New Jersey. Prentice-Hall Inc, 429 pp.
- Krusche, N.; Saraiva, J.M.B. & Reboita, M.S., 2002. Normais climatológicas provisórias de 1991 a 2000 para Rio Grande, RS. Imprensa Universitária, UFSM, 84 pg.
- Lana, P.C., 1986. Macrofauna bêntica de fundos sublitorais não consolidados da Baía de Paranaguá (Paraná). *Nerítica*, 1(3):79-89.
- Levin, L.A., 1984. Life history and dispersal patterns in a dense infaunal polychaete assemblage: community structure and response to disturbance. *Ecology.*, 65:1185-1200.
- Levinton, J.S., 1995. Marine Biology: function, biodiversity, ecology. Oxford, NY – USA, Oxford University Press. 420p.
- Little, C. 2000. The Biology of Soft Shores and Estuaries, Oxford University Press, New York, 252p.

- McCall, P.L., 1978. Spatial-temporal distributions of Long-Island infauna: the role of bottom disturbance in a nearshore marine habitat, pg.191-219. *In*: Wiley, M.L (Ed). Estuarine interactions. Plenum Press, 603 pg.
- Miller, D.C. & Sternberg, R.W., 1988. Field measurements of the fluid and sediment-dynamic environment of a benthic deposit feeder. *J. Mar. Res.*, 46:771-796.
- Miller, D.C.; Muir, C.L. & Hauser, O.A., 2002. Detrimental effects of sedimentation on marine benthos: What can be learned from natural processes and rates? *Ecol. Engineer.*, 19:211-232.
- Möller, O.O. & Fernandes, E.H.L., 2010. Hidrologia e hidrodinâmica. *In*: Estuário da Lagoa dos Patos, um século de transformações. Seeliger, U. & Odebrecht, C. (Eds). EdFURG, pg. 17-27.
- 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. *Estuar. Coas.*, 32:787-796.
- Mouny, P.; Dauvin, J. & Zouhiri, S., 2000. Benthic boundary layer fauna from the Seine Estuary (eastern English Channel, France): spatial distribution and seasonal changes. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 80:959-968.
- Netto, S.A. & Lana, P.C., 1994. Effects of sediment disturbance on the structure of benthic fauna in a subtropical tidal creek of southeastern Brazil. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 106:239-247.
- Nichols, M. M., Biggs, R. B., 1985. *In*: Davies, R. A. (Ed), Coastal Sedimentary. Springer-Verlag New York Inc, N. Y.
- Norkko, J.; Bonsdorff, E. & Norkko, A., 2000. Drifting algal mats as an alternative habitat for benthic invertebrates: Species specific responses to a transient resource. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 248(1):79-104.
- Nowell, A.R.M; Jumars, P.A. & Eckman, J.E., 1981. Effects of biological activity on the entrainment of marine sediments. *Mar. Geol.*, 42:133-153.
- Oliveira, A.S., 1986. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a Convecção da Amazônia. Dissertação de Mestrado, INPE.
- Orvain, R.J. & Sauriau, P.G., 2002. Environmental and behavioural factors affecting activity in the intertidal gastropod *Hydrobia ulvae*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 272:191-216.

- Postma, H., 1980. Sediment transport and sedimentation. In: Olausson, N.E. & Cato, I. (Eds). Chemistry and biogeochemistry of estuaries. Wiley, Chichester, p. 153-186.
- Rosa, L.C. & Bemvenuti, C.E., 2006. Temporal variability of the estuarine macrofauna of the Patos Lagoon, Brazil. *Rev. Biol. Mar. Ocean.*, 41(1):1-9.
- Rosa-Filho, J.S. & Bemvenuti, C.E., 1998. O sedimento como fator limitante para a distribuição de *Kalliapseudes schubarti* Mañé-Garzón (Crustacea – Tanaidacea) em fundos moles estuarinos. *Nauplius*, 6:119-127.
- Saraiva, J.M.B.; Bedran, C. & Carneiro, C., 2002. Monitoring of storm surges at Cassino Beach. *J. Coast. Res.* 35(SI), 323-331.
- Seyes, J.J.; Meire, P.M.; Coosen, J. & Craeymeersch, J.A., 1994. Long-term changes (1979-89) in the intertidal macrozoobenthos of the Oosterschelde estuary: are patterns in total density, biomass and diversity induced by the construction of the storm-surge barrier? *Hydrobiol.*, 282/283:251-264.
- Souza, S.R., 2002. Caracterização morfo-sedimentar do Saco do Arraial – extremo sul da Lagoa dos Patos – RS. Dissertação de Mestrado, FURG, 164 pg.
- Souza-Vieira, S.R. & Hartmann, C., 2008. Modificação marginal das ilhas estuarinas usando ferramentas de aerofotografia, sedimentologia e batimetria. *Rev. Bras. Cartog.*, 60(4): 307-318.
- Stech, J.L. & Lorenzetti, J.A., 1992. The response of the South Brazil bight to the passage wintertime cold fronts. *J. Geophys. Res.*, 97(C6):8507-9520.
- Suguio, O. K., 1973. Introdução à sedimentologia. São Paulo, EDUSP. 317p.
- Tamaki, A., 1987. Comparison of resistivity to transport by wave action in several ploychaete species on an intertidal sand flat. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 37:181-189.
- Tapp, J.F.; Shillabeer, N. & Ashman, C.M., 1993. Continued observations of the benthic fauna of the industrialised Tees estuary, 1979-1990. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 172:67-80.
- Tenore, K.R., 1972. Macrobenthos of the Pamlico River Estuary, North Carolina. *Ecol. Monog.*, 42:51-69.
- Ter Braak, C. J. F., 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67: 1167-1179.

- Tuck, I.D.; Bailey, N.; Harding, M.; Sangster, G.; Howell, T.; Graham, N. & Breen, M., 2000. The impact of water jet dredging for razor clams, *Ensis spp.*, in a shallow sandy subtidal environment. *J. Sea Res.*, 43:65-81.
- Uncles, R.J. & Smith, R.E., 2005. A note on the comparative turbidity of some estuaries of the Americas. *J. Coas. Res.*, 21(4): 845-852.
- Underwood, G.J.C. & Paterson, D.M., 1993. Seasonal changes in diatom biomass, sediment stability and biogenic stabilization in the Severn Estuary. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 73:871-887.
- Warwick, R.M. & Clarke, K.R., 1993. Increased variability as a symptom of stress in marine communities. *J. Exper. Mar. Biol. Ecol.*, 172:215-226.
- Widdicombe, S. & Austen, M.C., 2001. The interaction between physical disturbance and organic enrichment: an important element in structuring benthic communities. *Limnol. Ocenog.*, 46:1720-1733.
- Widdows, J.; Brinsley, M.; Salkeld, P.N. & Lucas, C.H., 2000. Influence of biota on spatial and temporal variation in sediment erodability and material flux on a tidal flat (Westerschelde, The Netherlands). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 194:23-37.
- Wolfe, D.A. & Kjerfve, B. 1986. Estuarine variability: an overview. In: Wolfe, S.A. (ed.) Estuarine variability, Academic Press, New York: 137-152.
- Yeo, R.K. & Risk, M.J., 1979. Intertidal catastrophes: effect of storms and hurricanes on intertidal benthos of the Minas Basin, Bay of Fundy. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 36:667-669.
- Ysebaert, T.; Fettweis, M.; Meire, P. & Sas, M., 2005. Benthic variability in intertidal soft-sediments in the mesohaline part of the Schelde estuary. *Hydrobiol.*, 540: 197-216.

TABELAS

Tabela 1. Datas em que foram desenvolvidas as amostragens de campo.

PERÍODOS	OUTONO Etapa 1	INVERNO Etapa 2	PRIMAVERA Etapa 3	VERÃO Etapa 4
DATAS DE AMOSTRAGEM	07/05/2007	23/08/2007	20/11/2007	12/02/2008
	12/05/2007	28/08/2007	28/11/2007	20/02/2008
	19/05/2007	06/09/2007	06/12/2007	25/02/2008
	24/05/2007	11/09/2007	13/12/2007	01/03/2008
	31/05/2007	17/09/2007	19/12/2007	07/03/2008
	05/06/2007		22/12/2007	

Tabela 2. Resultados da Análise de Variância ($p < 0,05$) para os percentuais de sedimentos finos no substrato, peso do sedimento depositado nos coletores dos experimentos de deposição sedimentar, e percentuais de sedimentos finos depositados nos coletores. SQ: soma dos quadrados; GL: graus de liberdade; SM: soma das médias; F: estatística de Fischer; p: nível de significância.

	SQ	GL	SM	F	p
FINOS SUBSTRATO					
Etapa 1	138,1	5	27,62	1,168	0,348
Etapa 2	47,71	4	15,9	0,672	0,579
Etapa 3	39,06	5	7,812	0,355	0,875
Etapa 4	27,11	4	9,038	0,819	0,499
PESO (g) COLETORES					
Etapa 1	3,1	5,0	0,6	10,9	0,000
Etapa 2	1015,0	4,0	507,0	11,3	0,001
Etapa 3	1570,0	5,0	3913,0	55,2	0,001
Etapa 4	51,5	4,0	17,2	1,0	0,412
FINOS (%) COLETORES					
Etapa 1	1260,0	5,0	252,1	0,7	0,603
Etapa 2	3517,0	4,0	1758,0	6,4	0,010
Etapa 3	1017,0	5,0	254,2	0,6	0,678
Etapa 4					

Tabela 3. Peso médio dos sedimentos depositados nos coletores dos experimentos de deposição, e taxas de deposição calculadas para os períodos dos experimentos. Etapa 1 (Outono), Etapa 2 (Inverno), Etapa 3 (Primavera) e Etapa 4 (Verão).

	Peso Coletado (g)	Dias	Taxa de Deposição (g. m ⁻² dia ⁻¹)
Etapa 1			
7/5/2007	30,6	5*	779
12/5/2007	3,8	5	97
19/5/2007	8,1	7	147
24/5/2007	40,3	5	1027
31/5/2007	28,2	7	512
5/6/2007	83,9	5	2137
Etapa 2			
23/8/2007			
28/8/2007	19,8	5	503
6/9/2007	21,9	6	465
11/9/2007	13,1	5	333
17/9/2007	174,5	6	3705
Etapa 3			
20/11/2007			
28/11/2007	30,9	8	491
6/12/2007	85,3	8	1358
13/12/2007	23,1	7	421
19/12/2007	22,3	6	473
22/12/2007	12,4	3	527
Etapa 4			
12/2/2008			
20/2/2008	6,9	8	109
25/2/2008	6,0	5	153
1/3/2008	9,6	4	305
7/3/2008	9,3	6	197

Tabela 4. Espécies coletadas durante as Etapas do trabalho. Célula branca: ausência da espécie; célula cinza clara: densidade entre 1 e 1.000 ind.m⁻²; célula cinza escura: densidade entre 1.001 e 10.000 ind.m⁻²; célula preta: densidade maior de 10.001 ind.m⁻².

	Etapa 1 - Outono						Etapa 2 - Inverno				
	07/05	12/05	19/05	24/05	31/05	05/06	23/08	28/08	06/09	11/09	17/09
<i>Amphipoda</i> ND											
<i>Diastylis sympterigeae</i>											
<i>Erodona mactroides</i>											
<i>Heleobia australis</i>											
<i>Heteromastus similis</i>											
<i>Kalliapseudes schubartii</i>											
<i>Kupellonura</i> sp.											
<i>Laeonereis culveri</i>											
<i>Laeonice branchiata</i>											
<i>Melita lagunae</i>											
<i>Uromunna peterseni</i>											
<i>Nephtys fluviatilis</i>											
<i>Neanthes succinea</i>											
<i>Nemertinea</i> sp.											
<i>Sphaeromopsis mourei</i>											
<i>Tagelus plebeius</i>											
<i>Amphitoe</i> sp.											
<i>Apocorophium acutum</i>											
<i>Amphilocus</i> sp.											

	Etapa 3 - Primavera						Etapa 4 - Verão				
	20/11	28/11	06/12	13/12	19/12	22/12	12/02	20/02	25/02	01/03	07/03
<i>Amphipoda</i> ND											
<i>Diastylis sympterigeae</i>											
<i>Erodona mactroides</i>											
<i>Heleobia australis</i>											
<i>Heteromastus similis</i>											
<i>Kalliapseudes schubartii</i>											
<i>Kupellonura</i> sp.											
<i>Laeonereis culveri</i>											
<i>Uromunna peterseni</i>											
<i>Nephtys fluviatilis</i>											
<i>Neanthes succinea</i>											
<i>Nemertinea</i> sp.											
<i>Sphaeromopsis mourei</i>											
<i>Tagelus plebeius</i>											
<i>Amphilocus</i> sp.											

FIGURAS

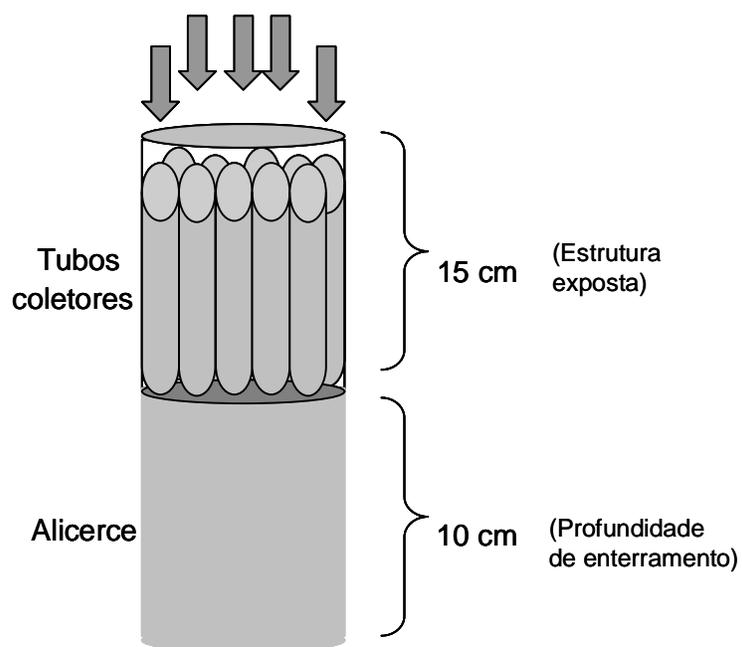


Figura 1. Modelo de armadilha para captura de sedimento em suspensão utilizada para os experimentos de deposição de sedimentos.

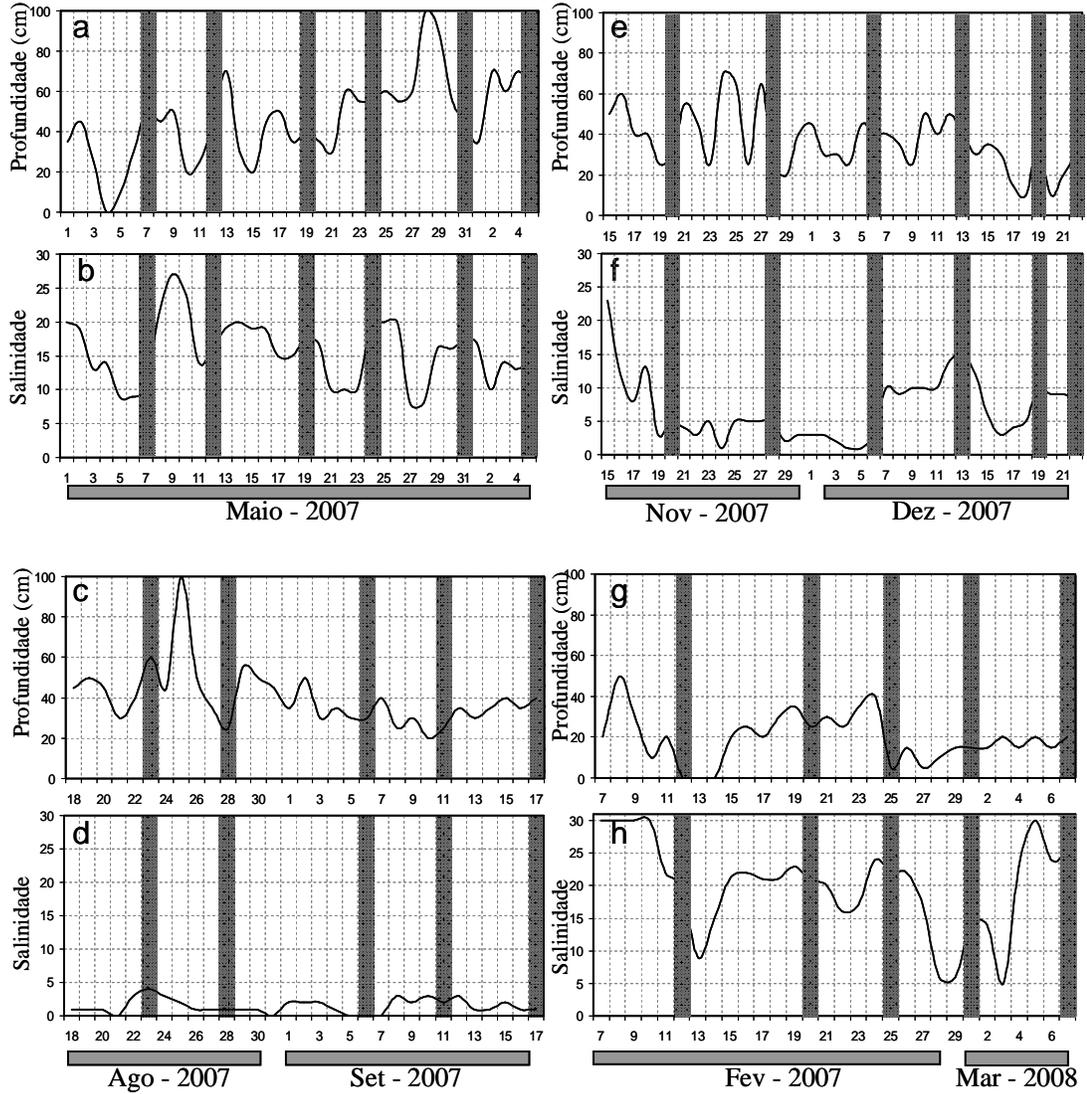


Figura 2. Leituras diárias do nível da coluna de água (Etapa 1/Outono – a; Etapa 2/Inverno – c; Etapa 3/Primavera – e; Etapa 4/Verão – g) e de salinidade (Etapa 1/Outono – b; Etapa 2/Inverno – d; Etapa 3/Primavera – f; Etapa 4/Verão – h) durante os quatro períodos de estudo. As barras cinza representam os dias de amostragem.

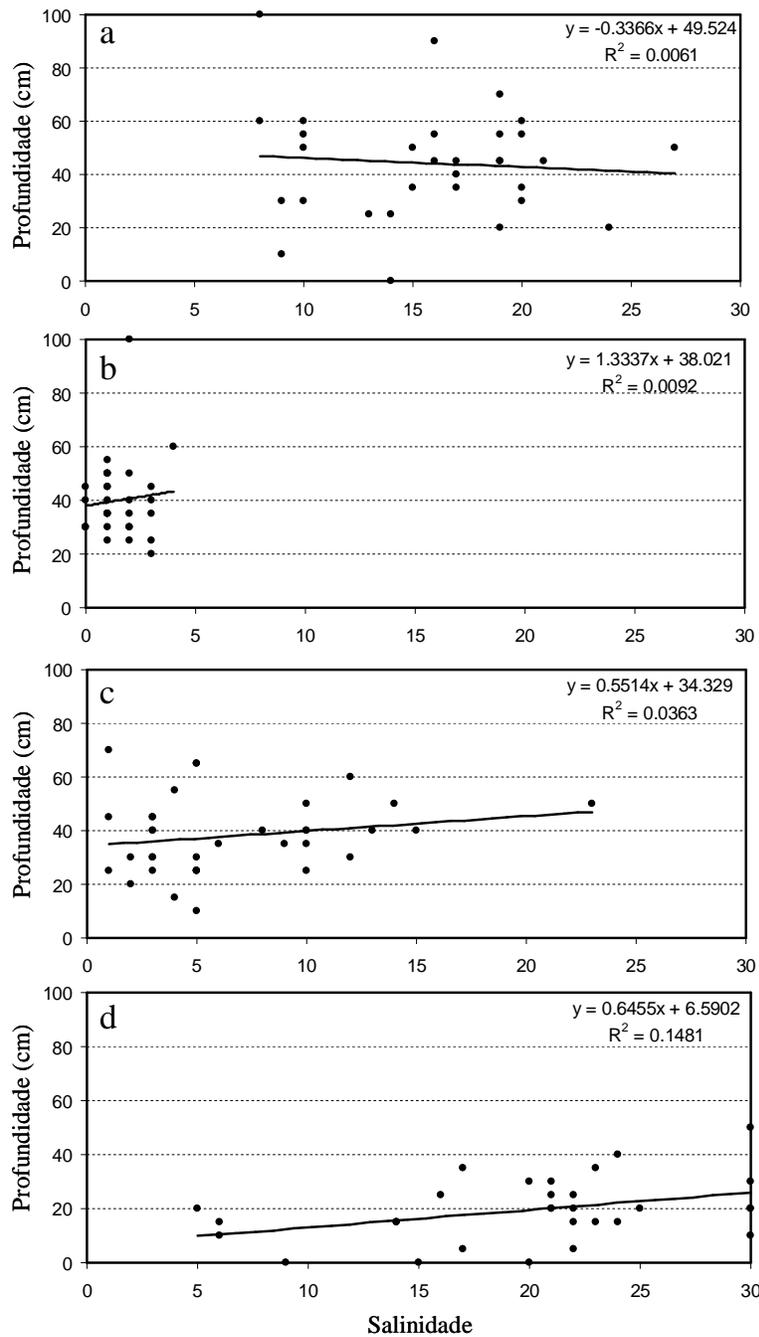


Figura 3. Análises de Regressão Linear entre as leituras diárias de salinidade e profundidade da coluna de água para todas Etapa 1/Outono (a), Etapa 2/Inverno (b), Etapa 3/Primavera (c) e Etapa 4/Verão (d).

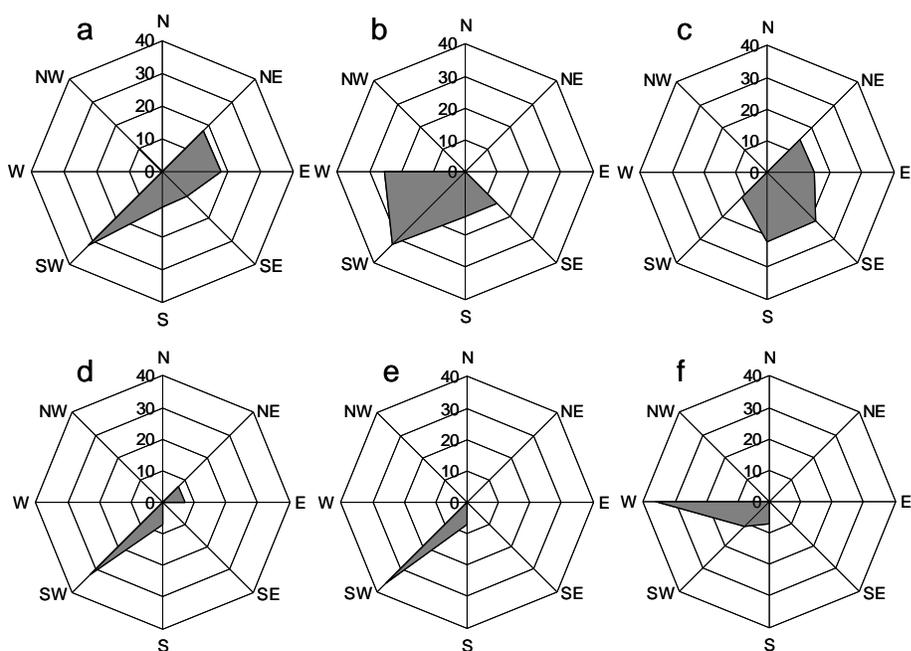


Figura 4. Intensidades máximas de vento (km.h^{-1}) registradas durante os períodos anteriores às amostragens biológicas durante o curto prazo de Outono (Etapa 1). Ventos antecedentes às amostragens do dia 07/5 (a), 12/5 (b), 19/5 (c), 24/5 (d), 31/5 (e) e 05/6 (f) de 2007.

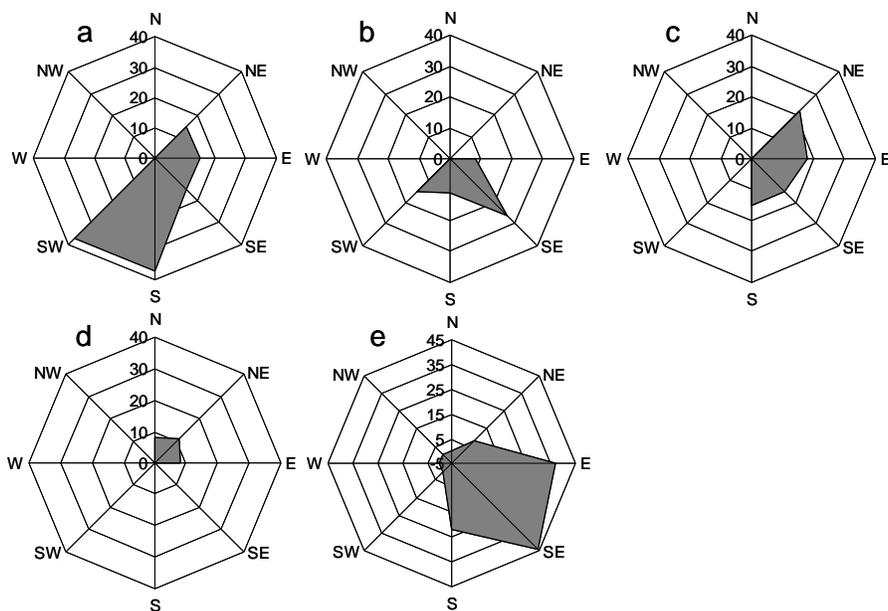


Figura 5. Intensidades máximas de vento (km.h^{-1}) registradas durante os períodos anteriores às amostragens biológicas durante o curto prazo de Inverno (Etapa 2). Ventos antecedentes às amostragens do dia 23/8 (a), 28/8 (b), 06/9 (c), 11/9 (d) e 17/9 (e) de 2007.

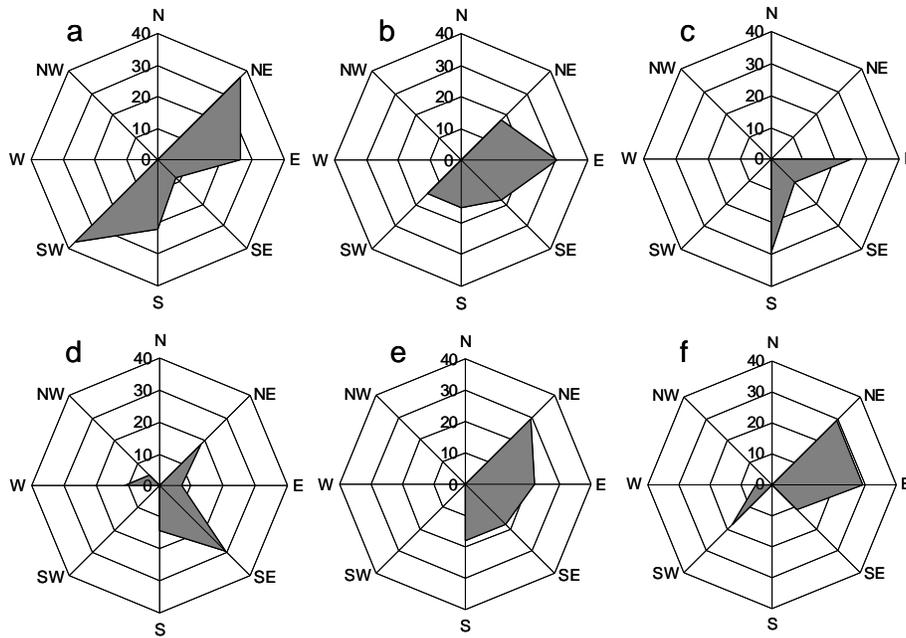


Figura 6. Intensidades máximas de vento (km.h^{-1}) registradas durante os períodos anteriores às amostragens biológicas o curto prazo de Primavera (Etapa 3). Ventos antecedentes às amostragens do 20/11 (a), 28/11 (b), 06/12 (c), 13/12 (d), 19/12 (e) e 22/12 (f) de 2007.

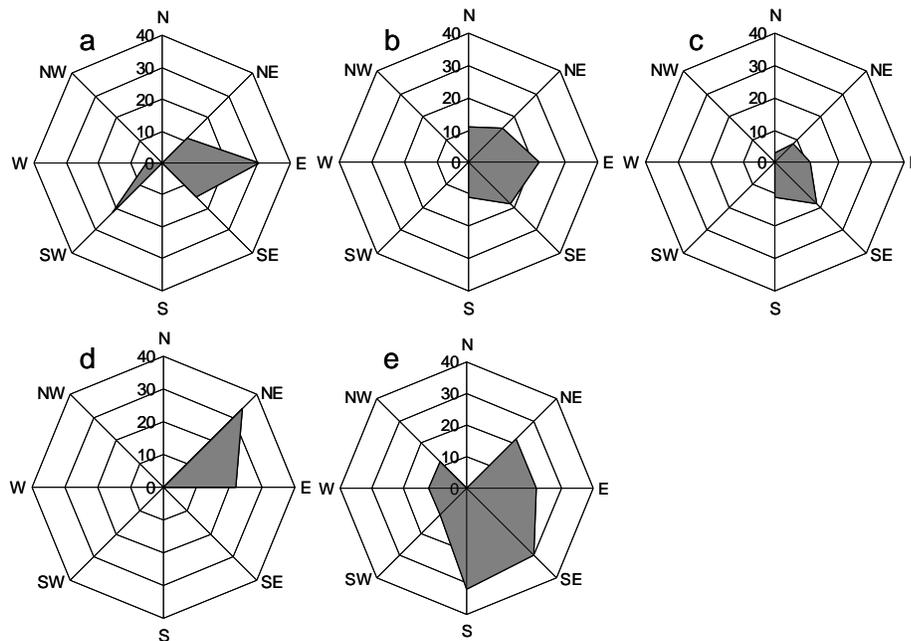


Figura 7. Intensidades máximas de vento (km.h^{-1}) registradas durante os períodos anteriores às amostragens biológicas do curto prazo de Verão (Etapa 4). Ventos antecedentes às amostragens do 12/2 (a), 20/2 (b), 25/2 (c), 01/3 (d), e 07/3 (e) de 2008.

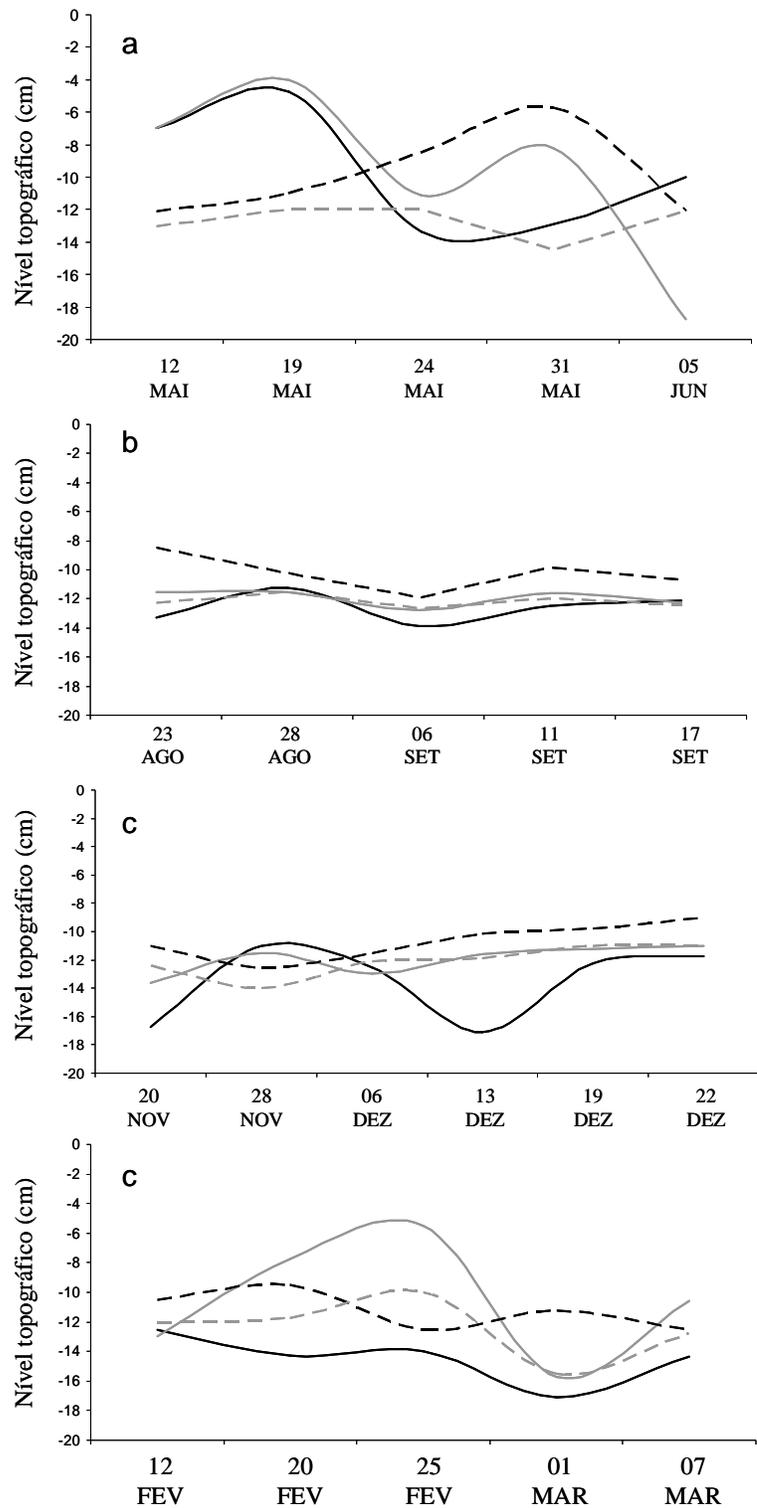


Figura 8. Leituras dos níveis topográficos (cm) durante a Etapa 1/Outono (a), Etapa 2/ Inverno (b), Etapa 3/Primavera (c) e Etapa 4/Verão (d), no Ponto 1 (linha preta), Ponto 2 (linha cinza), Ponto 3 (linha preta pontilhada) e Ponto 4 (linha cinza pontilhada).

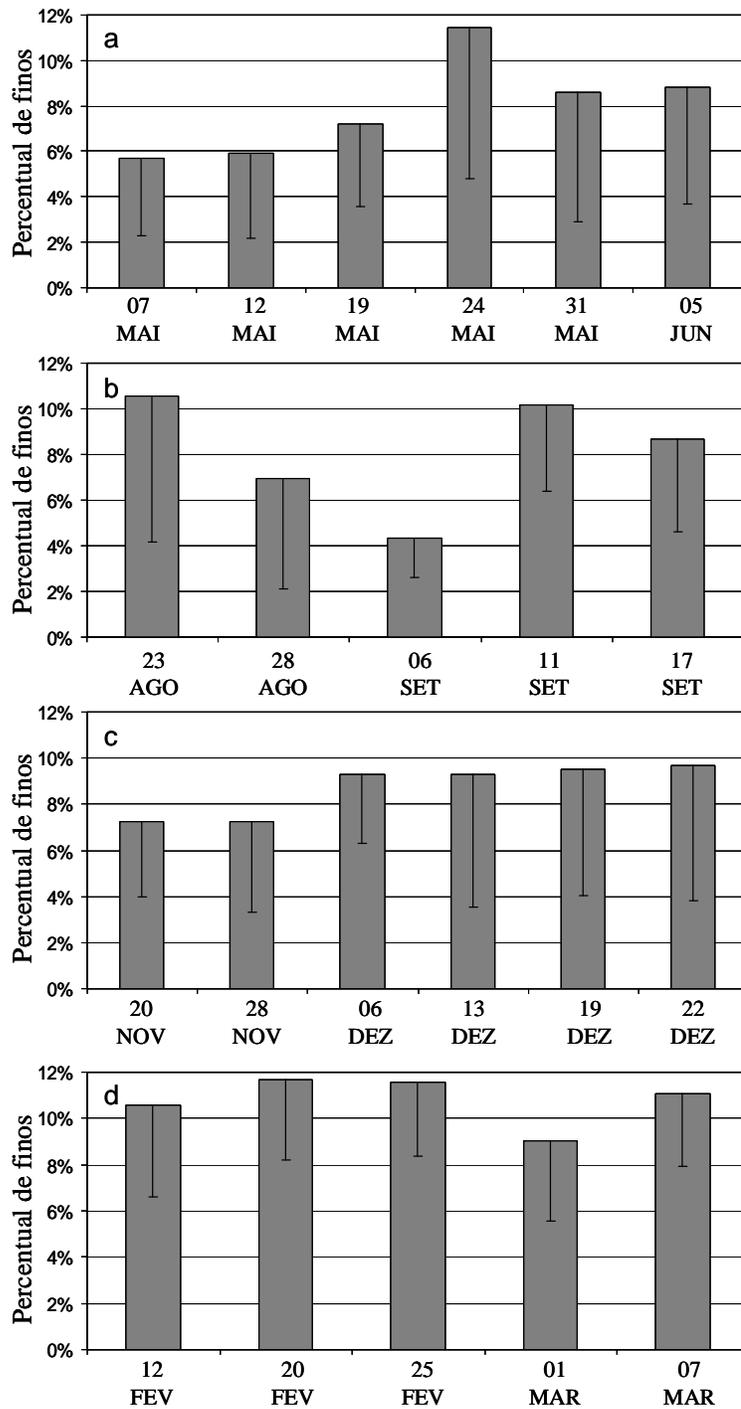


Figura 9. Percentuais médios (desvios padrão) de sedimentos finos no substrato durante as quatro etapas do trabalho: Etapa 1/Outono (a), Etapa 2/Inverno (b), Etapa 3/Primavera (c) e Etapa 4/Verão (d).

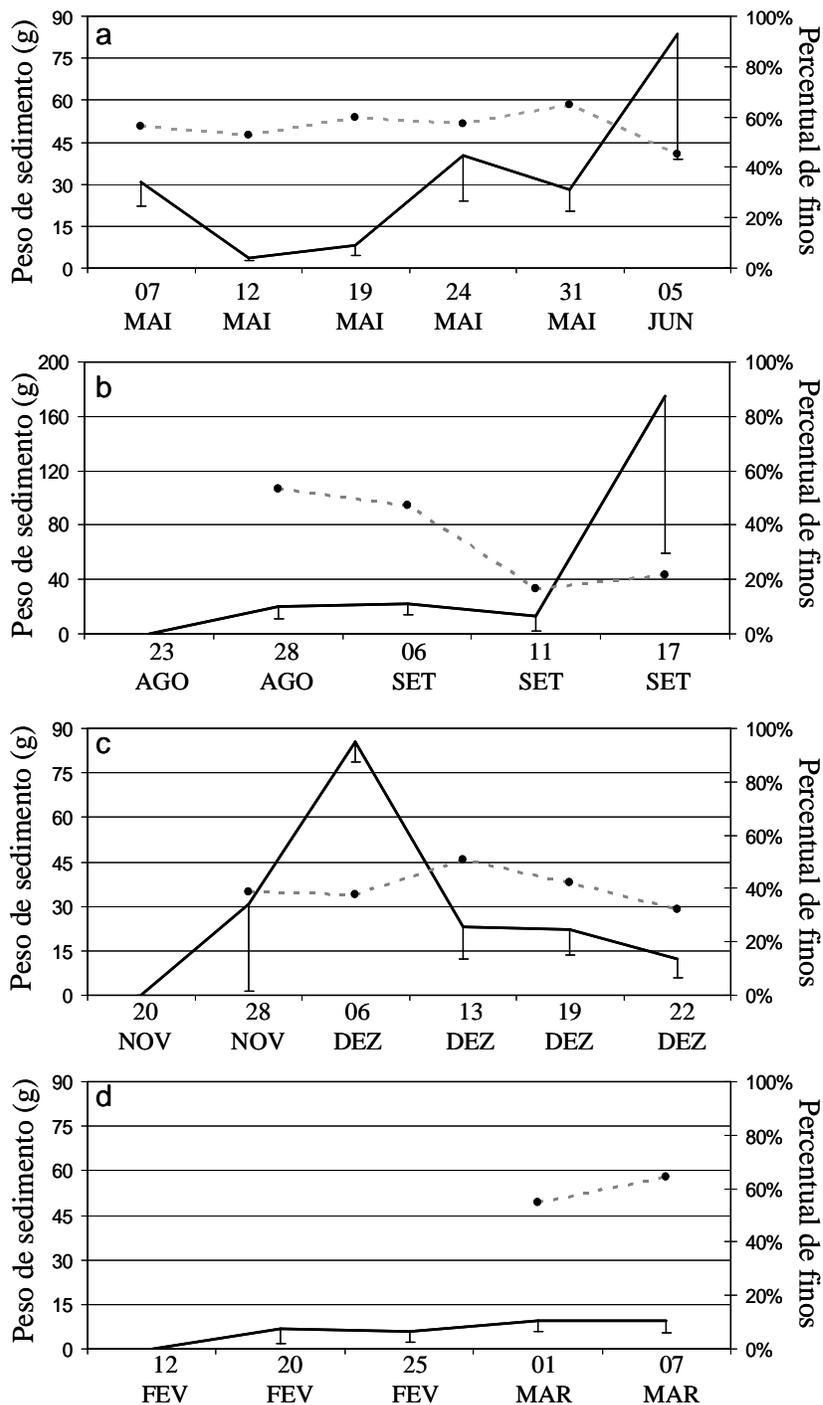


Figura 10. Médias e desvios padrão do peso dos sedimentos (linhas pretas) e percentual médio de sedimentos finos (linhas pontilhadas) depositados nos experimentos de deposição de material sedimentar durante a Etapa 1/Outono (a), Etapa 2/Inverno (b), Etapa 3/Primavera (c) e Etapa 4/Verão (d).

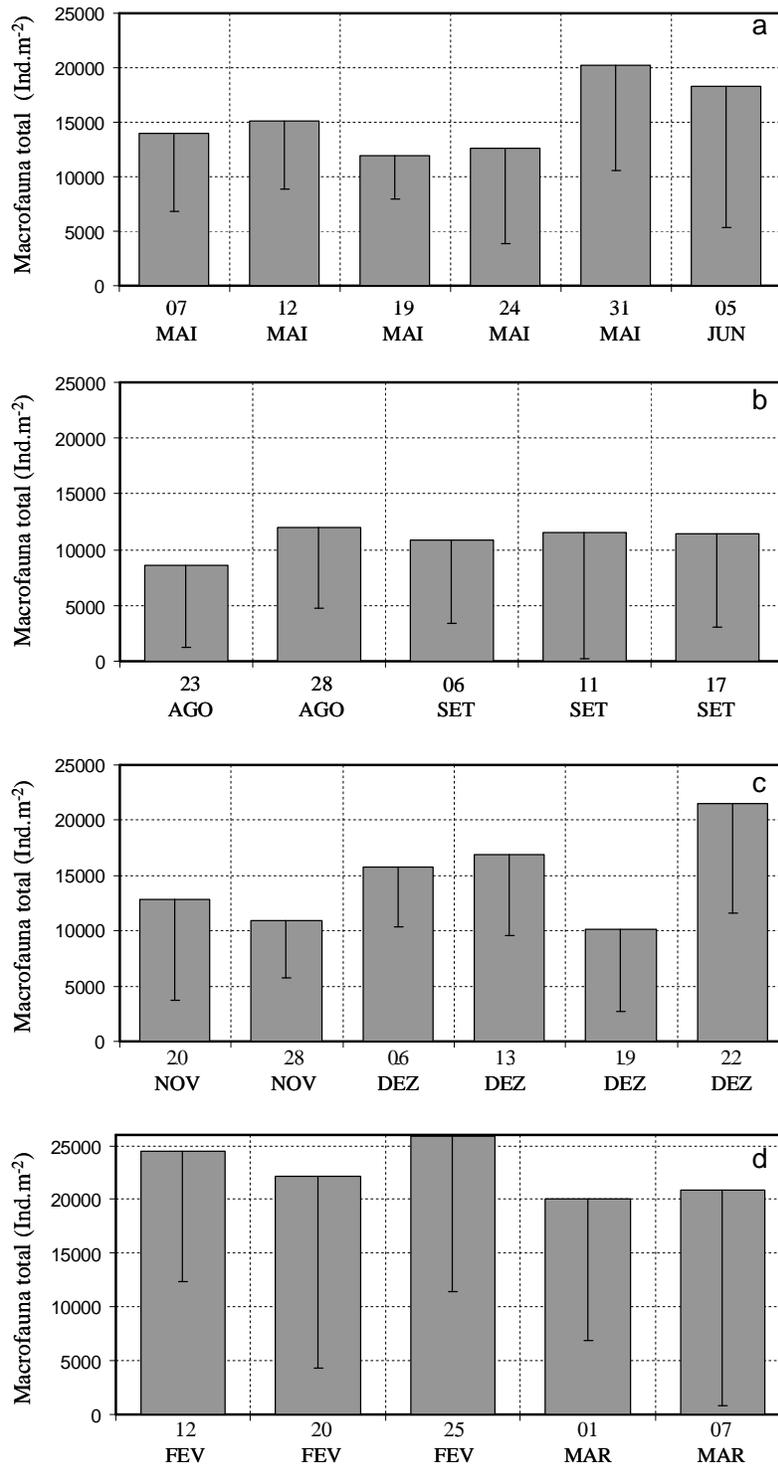


Figura 11. Densidades médias (Ind.m⁻² e desvio padrão) da macrofauna total durante a Etapa 1/Outono (a), Etapa 2/Inverno (b), Etapa 3/Primavera (c) e Etapa 4/Verão (d).

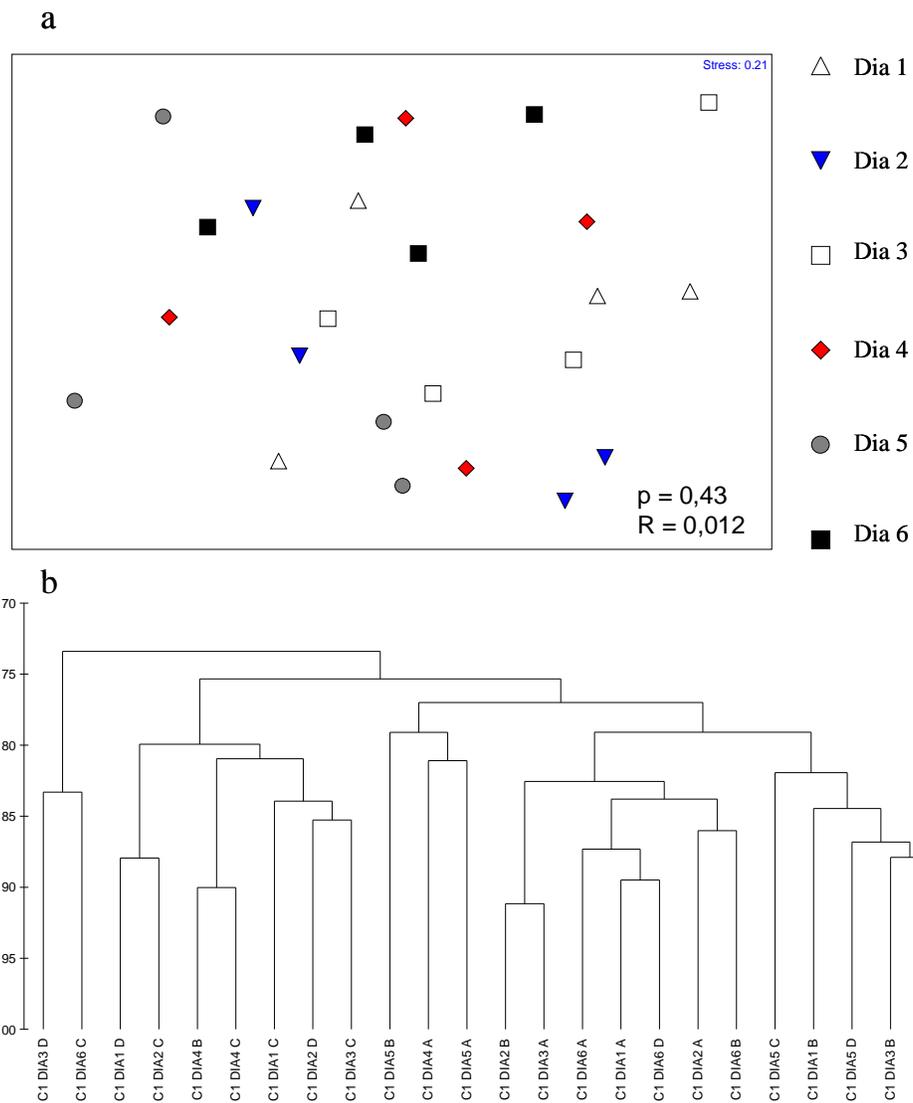


Figura 12. Análise de escalonamento multidimensional (MDS) (a), e de classificação (Cluster) (b) da macrofauna bentônica durante as amostragens do período de Outono-2007 (Etapa 1).

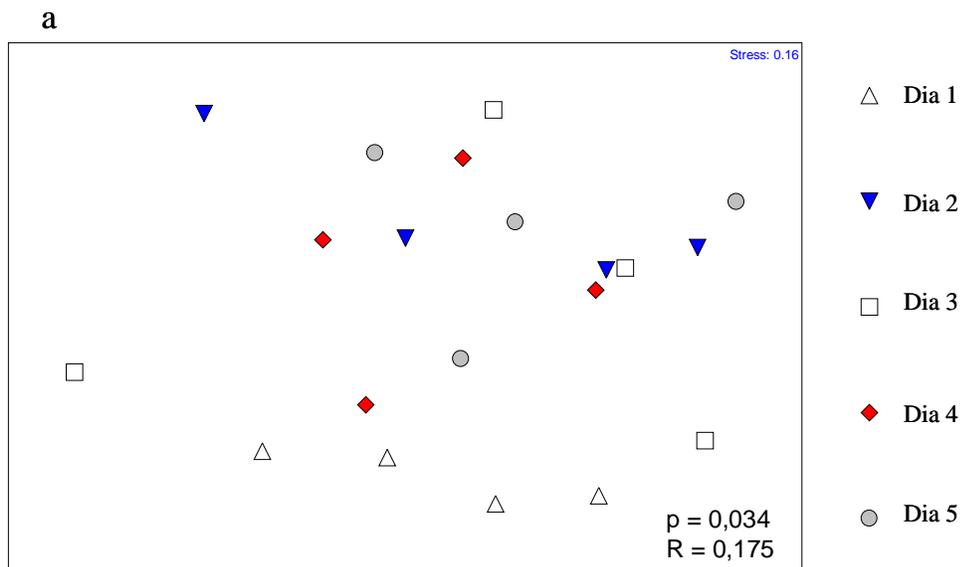


Figura 13. Análise de escalonamento multidimensional (MDS) da macrofauna bentônica durante as amostragens do período de Inverno-2007 (Etapa 2).

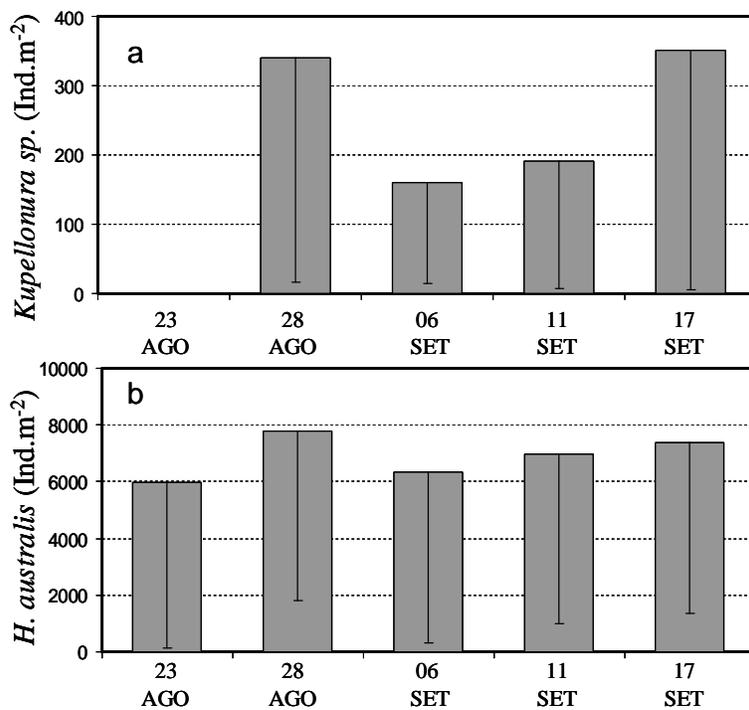


Figura 14. Densidades médias (Ind.m⁻² ± desvio padrão) das densidades médias de *Kupellonura sp.* (a) e *Heleobia australis* (b) durante as amostragens de Inverno-2007 (Etapa 2).

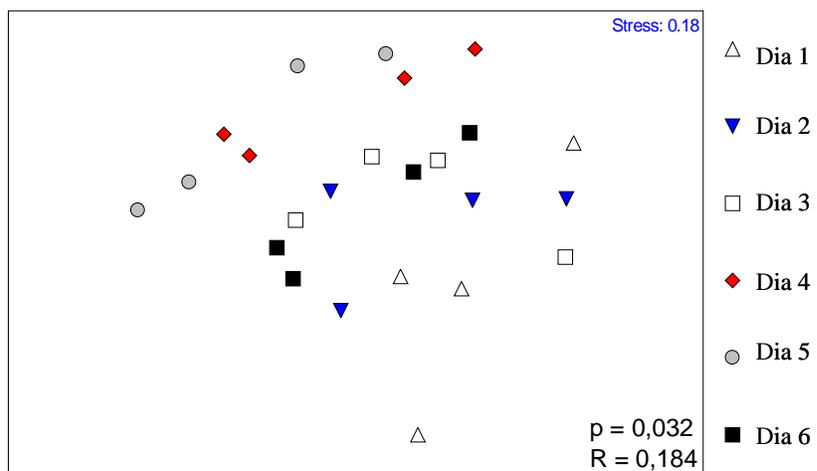


Fig. 15. Análise de escalonamento multidimensional (MDS) da macrofauna bentônica durante as amostragens do período de Primavera-2007 (Etapa 3).

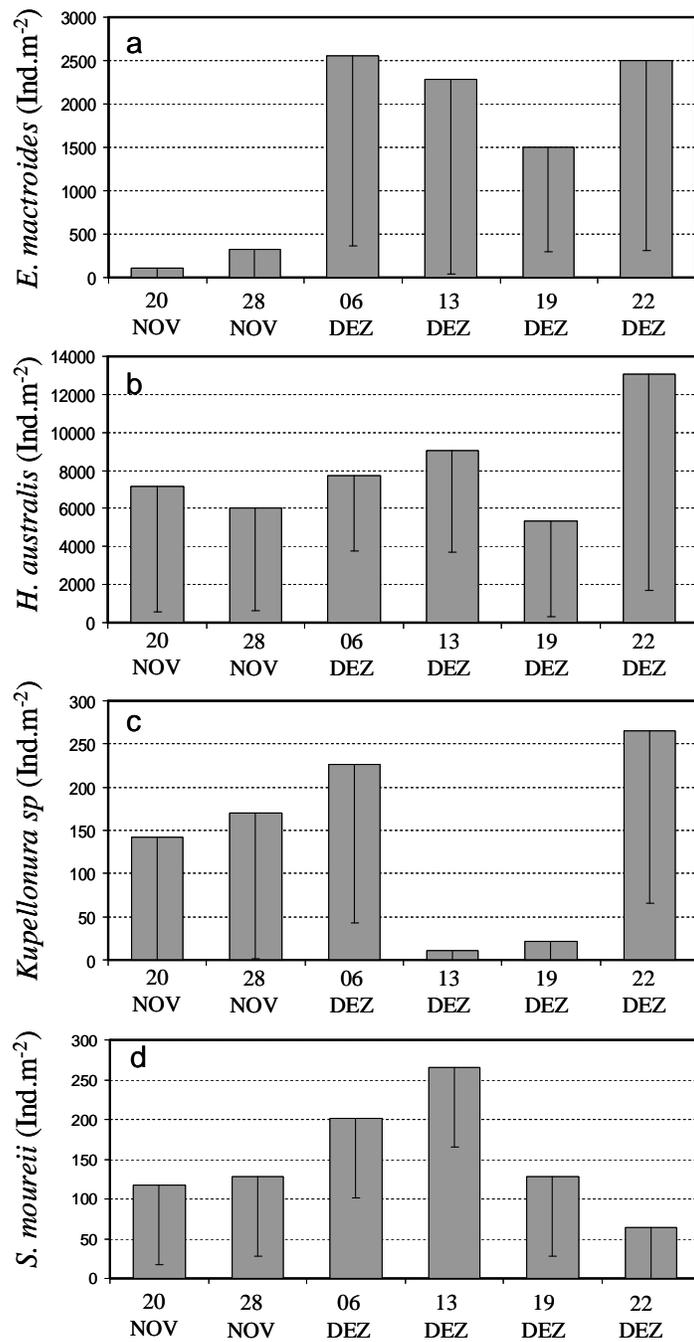


Figura 16. Densidades médias (Ind.m⁻² ± desvio padrão) de *Erodona mactroides* (a), *Heleobia australis* (b), *Kupellonura sp.* (c) e *Sphaeromopsis mourei* (d) durante as amostragens de Primavera (Etapa 3).

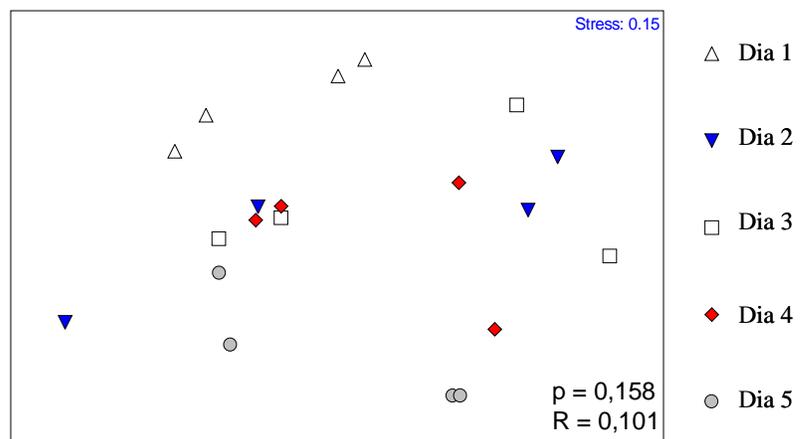


Fig. 17. Análise de escalonamento multidimensional (MDS) (a) da macrofauna bentônica durante as amostragens do período de Verão-2008 (Etapa 4)

CAPÍTULO II

VARIABILIDADE E MÉDIO PRAZO DAS ASSOCIAÇÕES DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM UMA ENSEADA ESTUARINA DA LAGOA DOS PATOS, RS, BRASIL

INTRODUÇÃO

Os macroinvertebrados bentônicos desempenham importante papel na estrutura e função dos ecossistemas estuarinos (McLusky & Elliott, 2004). Seu modo de vida relativamente sedentário, posição intermediária na cadeia trófica, capacidade de responder às variações ambientais e importância na ciclagem de nutrientes caracterizam a macrofauna como importantes indicadores das modificações e variabilidade que ocorrem nesses ambientes (Turner *et al.*, 1995; Dauvin, 2007).

Nos ambientes estuarinos, os fatores abióticos exercem um importante papel estruturador, formando um complexo de gradientes que podem determinar a distribuição e abundância das comunidades animais (Day *et al.* 1989, Levinton, 1995). Essas regiões apresentam grandes variações sazonais, mensais ou até diárias de suas variáveis abióticas, as quais podem ser detectadas através das oscilações de concentração de material em suspensão, nutrientes, nível da água e correntes (Dyer, 1979). Devido à dinâmica físico-química dos processos que ocorrem nos ambientes estuarinos, os padrões de distribuição das espécies são influenciados principalmente pelos perfis de salinidade e natureza do substrato (Attrill & Thomas, 1996; Attrill *et al.*, 1996; Teske & Wooldridge, 2003; Gray & Elliott, 2009).

Devido aos processos ambientais que exercem influência em áreas estuarinas, a composição faunística desses ambientes pode variar consideravelmente em distintas escalas temporais (Morrisey *et al.*, 1992). Associações de invertebrados estuarinos de regiões temperadas mostram importantes variações no tempo, que ocorrem em escalas sazonais e interanuais, onde as flutuações em composição e abundância estão

relacionadas às condições ambientais (Alden *et al.*, 1997). A identificação dos padrões de flutuação sazonal dos invertebrados costeiros nem sempre é simples e previsível e pode variar com o modo de vida dos organismos, hidrografia, propriedades texturais do sedimento, matéria orgânica e até o desenho amostral empregado.

Os estudos de mudanças de médio prazo em associações bentônicas têm sido um tema continuamente abordado (Gray & Christie, 1983; Morrisey *et al.*, 1992; Kröncke *et al.*, 1998; Hagberg & Tunberg, 2000;), que revelam mudanças na sua estrutura e função. As flutuações sazonais e interanuais na abundância e biomassa da macrofauna bentônica influenciam os fluxos de energia e por consequência o ecossistema como um todo (Wheatcroft, 2006). As variações nessas escalas de tempo são geralmente reflexo dos processos de recrutamento larval, emigração/imigração, predação, competição e mortalidade dos organismos (Maurer *et al.*, 1979; Reise, 1985; Hughes, 1990).

Com exceção dos maiores sistemas fluviais que deságuam diretamente na plataforma continental, os fluxos terrestres de material em suspensão passam primeiro através dos estuários (Dyer, 1995). Genericamente nos estuários a mistura entre a água doce e salgada ocorre em grande parte devido à ação das ondas, correntes costeiras e pelo fluxo de marés. O material em suspensão nesses ambientes sedimenta quando em contato com a água salgada, devido a dois fatores: redução no fluxo e aos processos de floculação das partículas (Postma, 1980). O material em suspensão enfrenta variações temporais e espaciais de salinidade e velocidades de corrente, que controlam os processos de sedimentação, erosão, deposição e floculação (Nichols & Biggs, 1985). Esses processos deposicionais e de ressuspensão regular de material fino (silte + argila)

resultam em depósitos de lama fluida (Allen *et al.*, 1980), em função das variações dos regimes de vazantes e enchentes do estuário.

Organismos que vivem em fundos moles ou associados a eles são fortemente dependentes das propriedades do sedimento. Características importantes do substrato para organismos bentônicos são os tamanhos médios de grão, percentual de areia, silte e argila, matéria orgânica, teor de carbonatos, entre outros (Day *et al.*, 1989; Mouni *et al.*, 2000; Ysebaert, 2005). Em zonas rasas a combinação da intensidade na ação de ondas de menor amplitude e período, marés e correntes resultam em uma marcada dinâmica sedimentar nos eventos de deposição e ressuspensão, que influenciam a distribuição das espécies bentônicas (Little, 2000).

Na maioria dos estuários, os fatores físico-químicos variam de modo bastante previsível em escalas horárias e sazonais, pois esses são, em grande parte, controlados por marés regulares ou ciclos sazonais de descargas (Wolfe & Kjerfve, 1986). Ao contrário, na região estuarina da Lagoa dos Patos, como em outras lagunas “estranguladas” e com amplitude de maré pouco pronunciada, os parâmetros físico-químicos dependem marcadamente do vento e da pluviosidade (Garcia, 1998). O padrão de precipitação pluviométrica também tende a variar interanualmente devido à influência dos fenômenos *El Niño* e *La Niña* (Garcia *et al.*, 2001; Fernandes *et al.*, 2002). Como consequência, as variações imprevisíveis de curto prazo de fatores físico-químicos, suas amplas oscilações sazonais e pronunciadas variabilidades interanuais tornam-se importantes fatores forçantes no estuário da Lagoa dos Patos (Niencheski & Baumgarten, 1998).

Análises da variabilidade da macrofauna bentônica na Lagoa dos Patos efetuadas por Bemvenuti (1987b), Bemvenuti & Netto (1998), Rosa & Bemvenuti

(2006) e Colling *et al.* (2007) evidenciaram o importante papel estruturador da salinidade, temperatura, características do substrato e do *El Niño* na sazonalidade das associações macrobentônicas. Este fenômeno, que ocorre em escala global e irregularmente em intervalos de 2 a 7 anos (Ropelewski & Halpert, 1987; Grimm *et al.*, 2000) ocasiona para o Sul do Brasil um aumento da precipitação principalmente na primavera, e chuvas intensas de maio a julho. Como consequências sobre o regime hídrico da Lagoa dos Patos, especialmente durante esses anos sob influência do fenômeno, a descarga continental pela laguna excede bastante os valores médios (Garcia, 1998), e o nível da coluna de água sofre uma marcada anomalia positiva (Costa *et al.*, 2003). Um estudo sobre a hidrodinâmica da Lagoa dos Patos durante o fenômeno *El Niño* ocorrido em 1998 (Fernandes *et al.*, 2002) demonstrou um grande aumento no fluxo de descarga e a elevação da coluna de água na porção sul da laguna. Durante o período de inverno-2002 e verão-2003 houve a ocorrência de um evento ENSO - *El Niño*, o qual foi considerado de intensidade moderada (NOAA, 2011), com visíveis conseqüências para a coluna d'água e macrozoobentos durante e após o período de sua influencia na região estuarina da Lagoa dos Patos (Colling *et al.*, 2007).

Trabalhos sobre macrofauna bentônica desenvolvidos na Lagoa dos Patos e região estuarina abordam aspectos como composição faunal (Bemvenuti, 1987a; Bemvenuti *et al.*, 1978, Capitoli *et al.*, 1978), sua distribuição espacial (Bemvenuti *et al.*, 1978; Capitoli *et al.*, 1978, Bemvenuti & Netto, 1998; Bemvenuti *et al.*, 1992) e efeitos da predação e interações biológicas (Bemvenuti, 1983; 1987a; 1988; 1994). Análises da variabilidade temporal por sua vez foram desenvolvidas por Bemvenuti (1987b), Bemvenuti & Netto (1998), Rosa & Bemvenuti (2006) e Colling *et al.*, (2007),

onde são descritas marcadas flutuações sazonais e/ou interanuais na abundância dos organismos.

Duas das principais espécies do macrozoobentos estuarino, o tanaidáceo *Kalliapseudes schubartii* e o bivalvo *Erodona mactroides*, possuem comportamentos aparentemente distintos quanto à sua abundância frente a períodos de elevada salinidade, em comparação a períodos com predominância de fortes vazantes, elevado nível da coluna de água e baixas salinidades. As densidades do tanaidáceo encontradas durante períodos de elevada vazão e após, mostram grandes diferenças, como o encontrado durante o evento ENSO-*El Niño* 2003/2003 (Colling *et al.*, 2007) o que sugere a ocorrência de recrutamentos menos expressivos durante verões sob influência do fenômeno. Por outro lado, recrutamentos do bivalvo nas enseadas rasas da região estuarina mostram-se dependentes dos eventos de vazante (Bemvenuti & Netto, 1998; Bemvenuti *et al.*, 1992; Colling *et al.*, 2007).

O presente capítulo compõe uma reavaliação dos resultados obtidos através da análise temporal abordada por Colling (2007) entre o período da Primavera-2002 e Inverno-2004, e uma comparação com o período compreendido entre o Verão-2007 e Verão-2008, os quais são avaliados através de uma mesma abordagem de caráter mensal e sazonal.

HIPÓTESES

(1) A ocorrência de fenômenos *El Niño* e suas consequências tanto nas características hidrológicas e do substrato influenciam o macrozoobentos de enseadas rasas do estuário da Lagoa dos Patos;

(2) Os recrutamentos da espécie dominante *Erodona mactroides* estão associados a períodos de vazante, e não apresentam elevada persistência temporal nas enseadas rasas da região estuatina da Lagoa dos Patos;

(3) A sobrevivência do tanaidáceo *Kalliapseudes schubarti* é dependente dos regimes de salinidade em que ocorrem, e são influenciados negativamente por água doce e baixas salinidades;

(4) O desenvolvimento de uma estratégia de amostragem mensal em períodos anuais distintos pode evidenciar respostas diferentes do macrozoobentos frente às características hidrológicas e do substrato;

(5) Os efeitos do fenômeno *El Niño* sobre a hidrologia, as características do substrato e por consequência sobre as associações de macroinvertebrados bentônicos, podem ser identificados a partir do acompanhamento temporal de médio prazo, a partir de amostragens mensais;

OBJETIVOS

Em função da heterogeneidade de fatores que influenciam o macrozoobentos estuarino através do tempo, amostragens de periodicidade mensal podem ou não evidenciar a influência de determinados parâmetros ambientais sobre a fauna. Devido a isso, a amplitude temporal das amostragens poderá determinar a simultaneidade entre o desenvolvimento dos trabalhos de campo e o período de influência dos parâmetros investigados. Dessa forma os objetivos do presente capítulo são:

(1) Avaliar a variabilidade temporal de médio prazo (sazonal e interanual) da macrofauna bentônica durante um período de 24 meses entre a Primavera-2002 e Inverno-2004 (denominado “Etapa 1”), e a possível influência do *El Niño* ocorrida no início deste período;

(2) Avaliar a variabilidade temporal de médio prazo (mensal e sazonal) da macrofauna bentônica durante um período de 13 meses entre fevereiro-2007 e fevereiro-2008 (denominado “Etapa 2”);

(3) Distinguir a possível diferença entre os fatores ambientais que interferem sobre o macrozoobentos durante esses dois períodos, mas sob uma mesma estratégia temporal (mensal) de amostragem,

(4) Avaliar a relação do recrutamento de *Erodona mactroides* com a possível ocorrência do fenômeno ENSO - *El Niño*, e o desenvolvimento temporal dos tamanhos dos indivíduos;

(5) Identificar diferentes níveis de tolerância do tanaidáceo *Kalliapseudes schubarti* à condições salinas da região estuarina, através de experimentos sob diferentes tratamentos de salinidade;

(6) Avaliar a possibilidade de identificação da variabilidade de médio prazo da macrofauna bentônica através de amostragens mensais.

MATERIAL E MÉTODOS

1. Parâmetros da coluna de água e do sedimento

Dados diários de temperatura da água (°C), nível da coluna de água (cm) e salinidade foram obtidos através de medições feitas na localidade do Porto Rei, distante 500 m da enseada rasa em que se desenvolveu o estudo. Esses registros fazem parte do Banco de Dados do projeto “Estuário da Lagoa dos Patos e Área Costeira Adjacente”, PELD – Programas Ecológicos de Longa Duração, Sítio 8 – FURG (www.peld.furg.br).

Valores diários de vazão fluvial ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) dos principais tributários da Lagoa dos Patos, os Rios Jacuí, Taquari e Camaquã (Vaz *et al.*, 2006), cujas séries estão disponibilizadas até julho-2006, foram obtidos junto à Agência Nacional das Águas (ANA – www.hidroweb.ana.gov.br), e utilizados para representar a descarga sazonal de água doce através da soma das vazões desses três tributários. Em virtude da ausência de dados disponíveis após o ano de 2006, este parâmetro não pôde ser avaliado para a segunda etapa do trabalho (fevereiro-2007 a fevereiro-2008).

Durante a primeira etapa (Primavera-2002 a Inverno-2004) foram extraídas seis amostras mensais de sedimento para análises granulométricas e teores de matéria orgânica em uma transversal composta por seis pontos amostrais, com auxílio de um tubo extrator de PVC com 10 cm de diâmetro, enterrado até a profundidade de 10 cm no interior do sedimento. Durante a segunda etapa (fevereiro-2007 a fevereiro-2008) também foram coletadas seis amostras mensais, em quatro pontos da transversal. As proporções de areia, silte e argila foram determinadas através do peneiramento ($> 0,062$ mm de diâmetro) e pipetagem ($< 0,062$ mm de diâmetro), conforme Suguio (1973). Das

mesmas amostras utilizadas para as análises granulométricas foi separada uma alíquota para análises do teor de matéria orgânica. O método utilizado foi o de perda de peso por combustão, que consiste na secagem dos sedimentos em estufa a 60°C. Quando livres de umidade, os sedimentos são levados à mufla a temperatura de 550°C por cinco horas, após as quais são repesados e a diferença de peso representa o conteúdo de matéria orgânica volatilizada (Davies, 1974).

Para quantificar os processos deposicionais que ocorrem na enseada rasa em estudo, foi elaborado um experimento de caráter quinzenal, durante o período de outubro-2002 a setembro-2004, para avaliar a deposição de sedimentos: foram utilizadas 12 armadilhas para captura do sedimento em suspensão no intervalo quinzenal anterior às amostragens da macrofauna. Essas armadilhas (Fig. 1) foram construídas com tubos de PVC, através de um cilindro externo com dimensões de 10 cm de diâmetro X 15 cm de altura, fixadas em uma base sólida de mesmo diâmetro, que permanece enterrado no sedimento, evitando assim que este seja deslocado por alguma perturbação. No interior do cilindro externo foram acomodados pequenos canos com 1 cm de diâmetro X 10 cm de altura, que são responsáveis por conduzir o material em suspensão ao fundo do equipamento. As armadilhas foram fixadas no substrato quinze dias antes das amostragens biológicas, quando foram retiradas, o material depositado em seu interior armazenado em vidros e congelados. O material depositado foi pesado (peso seco total em gramas), e a granulometria foi determinada através de peneiramento (>0,062 mm) e pipetagem (<0,062 mm), seguindo protocolo de Suguio (1973). Por fim, foram criadas taxas de deposição de sedimentos ($\text{g m}^{-2} \text{15dias}^{-1}$), considerando a área do amostrador, o período em que permanecia no substrato e o peso do material depositado.

2. Amostragens biológicas

Na primeira etapa compreendida entre outubro-2002 e setembro-2004 foram executadas amostragens mensais da macrofauna bentônica em uma transversal composta por seis pontos, sendo em cada um tomadas três réplicas totalizando dezoito amostras mensais, com auxílio do mesmo tubo utilizado nas amostragens para análises granulométricas, também enterrado a 20 cm no interior do substrato. As amostras foram peneiradas no próprio campo com malha de 0,3 mm de abertura e fixadas com formaldeído 4%. Em laboratório, com o auxílio de um microscópio estereoscópico, os macroinvertebrados foram separados do sedimento, identificados, quantificados e conservados em álcool 70%.

Na segunda etapa, de fevereiro-2007 a fevereiro-2008, amostragens mensais foram executadas em quatro pontos, sendo em cada um extraídas três réplicas totalizando doze amostras mensais do macrozoobentos, com as quais foram tomados os mesmos procedimentos de coleta, peneiramento e triagem que nas anteriores.

3. Experimento de sobrevivência de *Kalliapseudes schubarti*

Após terem sido observadas densidades muito baixas do tanaidáceo *K. schubarti* na enseada em estudo durante períodos com predominância de condições límnicas (devido à influência do fenômeno ENSO-*El Niño* 2002-03), foi elaborado um experimento de curta duração, em laboratório, com o objetivo de avaliar a capacidade de sobrevivência de *K. schubarti* sob distintas salinidades. Foram utilizados simultaneamente cinco tratamentos distintos (salinidades 0, 2, 6, 15 e 30), compostos cada um por quatro aquários (20 cm X 20 cm X 20 cm) utilizados como réplicas. As

salinidades foram preparadas através da mistura de água do mar (coletada na praia do Cassino) e água doce não-destilada. No dia anterior ao início dos experimentos os espécimes foram coletados em um plano lamoso raso próximo à desembocadura da laguna, com auxílio do mesmo tubo de PVC utilizado nas amostragens da macrofauna, e mantidos sob salinidade 15 por aproximadamente 24 horas. Após este período, 20 organismos foram introduzidos em cada aquário (totalizando 80 organismos por tratamento) que foram mantidos aerizados, sem introdução de alimento, e durante o período de nove dias foi quantificado o número de organismos vivos e mortos, diariamente.

4. Recrutamento e eventos de mortalidade de *Erodona mactroides*.

Após o registro de intensos recrutamentos de organismos juvenis do bivalve *E. mactroides* na enseada rasa em estudo, foram obtidas medidas dos espécimes coletados através das amostragens biológicas, para caracterizar os períodos inicial (ingresso de juvenis), de desenvolvimento (deslocamento modal dos comprimentos) e final (tamanhos nos eventos de mortalidade observados) da espécie.

Foram feitas medições de 18.391 indivíduos do bivalve coletados entre fevereiro-2003 e dezembro-2004, com auxílio de escala milimétrica (exatidão de 0,5 mm) anexada a uma Placa de Petry, e as medidas tomadas através de um microscópio estereoscópico. De cada exemplar foi medido o comprimento antero-posterior da valva direita. Com as medidas foram criadas distribuições de frequência de comprimento mensais, para as quais optou-se em não utilizar classes de tamanho devido tanto ao número de organismos ser suficiente para se observar os deslocamentos modais através

dos meses, quanto para se poder observar exatamente o número de organismos de cada tamanho em cada mês.

5. Análise dos dados

5.1. Primeira etapa – dados biológicos

Os dados biológicos mensais foram considerados réplicas para os períodos amostrais: primavera (outubro a dezembro), verão (janeiro a março), outono (abril a junho) e inverno (julho a setembro), possibilitando dessa forma uma replicação nas estações do ano. Com o objetivo de aplicar uma Análise de Variância (ANOVA – Unifatorial) relacionando as densidades totais da macrofauna entre os Períodos (estações do ano), assim como as densidades das duas espécies dominantes durante o estudo, *Erodona mactroides* Bosc, 1802 e *Kalliapseudes schubarti* Mañé-Garzón, 1949, frente a esses fatores foram testados os pré-requisitos para essa análise, i.e., Normalidade da Variância e Homocedasticidade. Os valores de densidade da macrofauna total, de *E. mactroides* e *K. schubarti* não apresentaram normalidade e homocedasticidade, assim como para seus dados transformados em $\text{Log}(x + 1)$, $\text{Arcsen}(\text{raiz}(x))$, e $\text{Raiz}(x) + \text{Raiz}(x + 1)$, entre outras. Assim, os dados foram submetidos a análise de Variância Não-paramétrica Kruskal-Wallis (Unifatorial).

Dentre as técnicas multivariadas, utilizou-se a Análise de Ordenação (MDS – *Multi Dimensional Scaling*), que agrupa as amostras biológicas em função de seu grau de similaridade. Através da soma das réplicas mensais dos pontos de coleta, foi gerada uma matriz de similaridade através do Índice de Bray-Curtis, com os dados de densidade transformados em $\text{log}(x + 1)$. Diferenças na estrutura das associações macrofaunais entre as estações do ano foram testadas através da Análise de

Similaridade (ANOSIM, $p < 0,05$). Quando apontadas diferenças significativas, as espécies que contribuíram para a dissimilaridade entre as estações foram determinadas através da Análise de Porcentagem de Similaridade (SIMPER). Para evitar a influência das espécies raras nessas análises, espécies que ocorreram em abundâncias menores que 5% foram excluídas das análises.

Foram observadas três reduções mensais significativas nas densidades do bivalve, entre os meses agosto/setembro-2003, abril/maio-2004 e outubro/novembro-2004, as quais foram consideradas como eventos de mortalidade (analisando-se conjuntamente os dados biológicos, dos experimentos de deposição e granulometria do substrato). Foram aplicados testes de Análise de Variância (ANOVA, uma via, $p < 0,05$) entre as densidades médias de cada par de meses, após testados os pré-requisitos de Normalidade e Homogeneidade das Variâncias.

5.2. Primeira etapa – parâmetros ambientais

Para os valores diários de vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$), temperatura ($^{\circ}C$), nível da coluna de água (cm) e salinidade foram criadas médias quinzenais, as quais foram aplicadas, após análise dos pré-requisitos Normalidade e Homogeneidade das Variâncias, ao teste de Análise de Variância (ANOVA, uma via, $p < 0,05$) para testar possíveis diferenças entre as estações do ano. Todos os parâmetros foram transformados em $\log(X + 1)$.

Os valores mensais de percentual de sedimentos finos e teor de matéria orgânica foram considerados como réplicas das estações do ano, às quais foi aplicada Análise de Variância (ANOVA, uma via, $p < 0,05$), após preenchidos os pré-requisitos através da transformação para $\log(X + 1)$.

Os experimentos com armadilhas para deposição de sedimentos foram executados em 16 dos 24 meses de coleta. Seus resultados serão abordados somente no caso específico de sua clara relação com eventos de mortalidade do bivalve *Erodona mactroides* registrados durante 2003 e 2004. A metodologia de análise empregada, assim como os resultados obtidos encontram-se no Anexo II.

5.3. Primeira etapa – Relação entre os dados biológicos e parâmetros ambientais

As relações entre as características da macrofauna e as variáveis ambientais foram avaliadas através da Análise de Correspondência Canônica (CCA) (ter Braak, 1986). Uma matriz constituída pelos parâmetros ambientais foi construída para determinar a quantidade de variação nos dados biológicos relacionados às variações ambientais. Para a realização da análise, os dados de salinidade, temperatura e *nível da água* foram transformados para médias mensais. Para cada período, foram feitas médias mensais das densidades da associação macrobentônica, assim como a média dos percentuais de sedimentos finos e matéria orgânica. Para testar a significância ($p < 0,05$) de cada variável ambiental no modelo, utilizou-se o teste de permutação de Monte Carlo (permutações irrestritas) onde as variáveis ambientais foram adicionadas passo a passo (*forward selection*). Espécies que apresentaram abundâncias menores que 5% foram excluídas das análises.

Com o objetivo de estabelecer relações entre o comportamento dos dados biológicos e as variações dos dados ambientais, utilizou-se a técnica BIO-ENV (Clarke & Ainsworth, 1993), que integra duas matrizes de dados (dados biológicos e parâmetros ambientais) a fim de registrar alguma possível relação entre ambos. As matrizes de dados abióticos foram construídas através de distâncias euclidianas, para encontrar a matriz que melhor se correlacione com a de dados biológicos. Por sua vez, para a matriz

de dados biológicos é necessária a utilização da matriz de similaridade de Bray-Curtis. Os valores de densidade da macrofauna foram transformados em $\log(X + 1)$, assim como os de variáveis ambientais, que por sua vez foram também normalizadas. O coeficiente de correlação utilizado foi o de Spearman. Para a realização dessa rotina foi utilizado o software PRIMER[®].

5.4. Segunda etapa – dados biológicos

Para a aplicação de análises multivariadas, os dados mensais da macrofauna bentônica foram agrupados em estações do ano, conforme o seguinte critério: Verão-2007 (fevereiro e março); Outono-2007 (abril, maio e junho); Inverno-2007 (julho, agosto e setembro); Primavera-2007 (outubro, novembro e dezembro) e Verão-2008 (janeiro e fevereiro). Foi utilizada a Análise de Ordenação (MDS), através da matriz de similaridade de Bray-Curtis, com os dados de densidade transformados em $\log(x + 1)$. Diferenças na estrutura das associações macrofaunais entre as estações do ano foram testadas através da Análise de Similaridade (ANOSIM, $p < 0,05$). Quando apontadas diferenças significativas, as espécies que contribuíram para a dissimilaridade entre as estações foram determinadas através da Análise SIMPER. Para todas as análises foram excluídas das análises as espécies que ocorreram em abundâncias menores que 5%.

5.5. Segunda etapa – parâmetros ambientais

Para os valores diários de temperatura, nível da coluna de água e salinidade foram calculadas médias quinzenais, às quais aplicou-se o teste de Análise de Variância (ANOVA, uma via, $p < 0,05$) para testar possíveis diferenças entre as estações do ano. Todos os parâmetros foram transformados em $\log(X + 1)$.

Os percentuais mensais de sedimentos finos e matéria orgânica foram testados sazonalmente através da Análise de Variância (ANOVA Unifatorial with Unequal “N”, $p < 0,05$), uma vez que as amostragens mensais não proporcionaram números equivalentes de amostras para cada estação do ano aqui avaliada.

5.6. Segunda etapa – Relação entre os dados biológicos e parâmetros ambientais

Foram calculadas médias mensais dos parâmetros ambientais salinidade, temperatura, nível da coluna de água e matéria orgânica, além das médias mensais da densidade da macrofauna, para aplicação da Análise de Correspondência Canônica (CCA). Às matrizes biológicas e dos parâmetros ambientais foi aplicado o teste de permutação de Monte Carlo (permutações irrestritas) onde as variáveis ambientais foram adicionadas passo a passo (*forward selection*) para avaliar seu nível de significância sobre a composição da macrofauna. Espécies que apresentaram abundâncias menores que 5% foram excluídas das análises.

RESULTADOS

1. Primeira etapa (Primavera-2002 a Inverno-2004)

A temperatura da água apresentou diferenças através das estações do ano. As maiores temperaturas foram registradas durante o Verão-2003 (25,8°C) e Verão-2004 (24,8°C), enquanto que as menores durante o Inverno-2003 (13,6°C) e Inverno-2004 (13,1°C). As temperaturas nos períodos de primavera foram mais altas que as registradas nos períodos de outono (Fig. 2a).

Foram observadas diferenças significativas nas médias sazonais de descarga (Tab. 1; Fig. 2b). Entre a Primavera-2002 e o Verão-2003 foram registrados os maiores valores de vazão média, como o observado em outubro-2002 (5.982 m³ s⁻¹). Após este período inicial com elevadas descargas, foram registradas diminuições significativas nos períodos seguintes com os menores volumes observados entre o Verão-2004 e Outono-2004 (março-2004, 307 m³ s⁻¹).

Os registros de salinidade mostraram diferenças significativas entre as estações (Tab. 1) e destacada variabilidade temporal (Fig. 2c), com médias quinzenais variando entre zero (Primavera-2002 e Verão-2003) e próximas a 20 (Outono-2004). A partir do final do verão/2003 observou-se um aumento nos registros de salinidade, com médias quinzenais entre 5 e 15 até o verão/04, quando ocorreram novamente baixas salinidades, seguido de um aumento e permanência de altos valores no final do verão/04, outono/04 e inverno/04, com médias quinzenais frequentemente superiores a 15.

Foram observadas diferenças significativas do nível da coluna de água durante as estações do ano (Tab. 1). A partir dos registros diários, foi calculada uma média histórica (valores diários entre janeiro-1994 e junho-2009) através do Banco de Dados

para o nível médio da coluna de água na laguna, onde se obteve um valor médio de 45,8 cm. As medições diárias no nível médio da coluna de água mostraram valores superiores a 70 cm, ou seja, muito acima dos valores médios, na Primavera-2002 e Verão-2003 (Fig. 2d). Não foram efetuados registros durante os meses de Outono-2003 e início do Inverno-2003, entretanto, os valores registrados a partir da Primavera-2003 mostraram valores entre 30 cm e 50 cm de coluna de água, muito inferiores aos registrados no início das amostragens. Dessa forma, nota-se que o período inicial (Primavera-2002 e Verão-2003) foi caracterizado por um nível médio da laguna bastante superior à média decadal calculada.

Tanto os percentuais de matéria orgânica quanto de sedimentos finos (silte + argila) apresentaram diferenças significativas entre os períodos (Tab. 1). Os maiores teores de MO ocorreram entre o Outono-2003 ($1,15\% \pm 1,44\%$) e Outono-2004 ($1,22\% \pm 0,27\%$), enquanto que os menores durante a Primavera-2002 ($0,29\% \pm 0,06\%$) e Verão-2003 ($0,26\% \pm 1,12\%$), durante o período inicial do estudo (Fig. 3). Mostrando um perfil temporal inverso, os maiores percentuais de sedimentos finos ocorreram durante a Primavera-2002 ($21,00\% \pm 9,90\%$), Verão-2003 ($9,80\% \pm 3,63\%$) e Outono-2003 ($7,35\% \pm 5,05\%$), quando foi observada uma redução até o Outono-2004 ($4,26\% \pm 1,60\%$) (Fig. 3).

Foram encontrados organismos da macrofauna bentônica de 4 grandes grupos (Mollusca, Crustacea, Polychaeta e Nemertinea) representados por 16 espécies (Tab. 2). Algumas espécies mostraram uma evidente dominância ao longo do estudo, como o molusco bivalvo *Erodona mactroides*, o crustáceo tanaidáceo *Kalliapseudes schubarti*, os poliquetas *Nephtys fluviatilis* Monro, 1939, *Heteromastus similis* Southern 1921 e *Laeonereis acuta* Treadwell, 1923, enquanto reduzidas densidades foram registradas

principalmente dos crustáceos peracáridos epifaunais (*Mellita lagunae* Oliveira, 1953, *Sphaeromopsis mourei* Loyola 1960, *Diastylis sympterigiae* Bacescu & Queiroz, 1985, *Sinelobus stanfordi* Richardson, 1901).

A Análise de Variância (ANOVA, Uma via) entre os períodos mostrou diferenças significativas para as densidades médias da macrofauna, de *E. mactroides*, e *K. schubarti* (Tab. 3). As densidades médias do macrozoobentos na Primavera-2002 foram as mais baixas de todo período de estudo ($2.100 \pm 831 \text{ ind.m}^{-2}$), seguido por um aumento nas densidades no Verão-2003 ($10.340 \pm 5.015 \text{ ind.m}^{-2}$), (Fig. 4a). As maiores densidades da macrofauna foram registradas no Outono-2003 ($29.137 \pm 13.112 \text{ ind.m}^{-2}$), seguido pelo Inverno-2003 ($19.406 \pm 9.807 \text{ ind.m}^{-2}$) e Primavera-2003 ($17.514 \pm 7.261 \text{ ind.m}^{-2}$). No Verão-2004 houve uma diminuição nas densidades ($12.560 \pm 7.060 \text{ ind.m}^{-2}$), seguida de densidades ainda menores no Inverno-2004 ($4.850 \pm 2.359 \text{ ind.m}^{-2}$).

Exemplares de *E. mactroides* foram registrados somente a partir do final do Verão-2003 (mês de março) (Fig. 4b). As maiores densidades dessa espécie ocorreram no Outono-2003 ($11.628 \pm 6.407 \text{ ind.m}^{-2}$), quando, a partir do Inverno-2003 ($10.406 \pm 6.253 \text{ ind.m}^{-2}$) foram observadas sucessivas diminuições ao longo dos períodos, atingindo as menores densidades no inverno/04 ($2.607 \pm 2.646 \text{ ind.m}^{-2}$). A avaliação da dinâmica temporal desse bivalve, com detalhamento dos períodos de recrutamento, distribuições de frequências de comprimento mensais e eventos de mortalidade, encontra-se no Anexo I.

Foram registradas baixas densidades do tanaidáceo *K. schubarti* na Primavera-2002 ($422 \pm 434 \text{ ind.m}^{-2}$), e Verão-2003 ($491 \pm 470 \text{ ind.m}^{-2}$), sendo que no Outono-2003 ocorreram as maiores densidades da espécie ($5.315 \pm 4.998 \text{ ind.m}^{-2}$), com altas

densidades ainda no Inverno-2003 ($3.645 \pm 3.339 \text{ ind.m}^{-2}$). No Verão-2004 novamente ocorreram baixas densidades ($800 \pm 1.440 \text{ ind.m}^{-2}$) (Fig. 4c).

Todas as espécies dominantes apresentaram valores mais elevados de densidade a partir do Outono-2003, entretanto, os expressivos recrutamentos de *E. mactroides* e de *K. schubarti* foram os que mais contribuíram para o significativo aumento na abundância do macrozoobentos no período.

A análise de escalonamento multidimensional (MDS) mostrou diferenças na estrutura da macrofauna entre os períodos (Fig. 5), com diferenças significativas ($p = 0,001$; $R = 0,568$) e a formação de distintos grupos. Os grupos mais destacados foram constituídos pelos períodos de Primavera-02, Verão-2003 e Inverno-04 (Fig. 5), justamente os períodos em que ocorreram as menores densidades da macrofauna e das espécies dominantes *E. mactroides* e *K. schubarti* (Fig. 4a,b,c). A análise SIMPER mostrou que o molusco *E. mactroides* foi a espécie que mais contribuiu para a distinção das amostras dos períodos da Primavera-2002 e Verão-2003 das demais, e a partir do Outono-2003 outras espécies também contribuíram para a distinção entre os períodos, como *K. schubarti*, *L. acuta*, *S. stanfordi* e *D. sympterigeae* (Tab. 4).

Através da Análise de Correlação Canônica, observa-se que as amostras correspondentes aos períodos iniciais do estudo (Primavera-2002, Verão-2003 e Outono-2003) mostraram alta correlação com os parâmetros ambientais percentual de finos e nível da coluna de água, e correlação negativa com a temperatura e salinidade (Tab. 5; Fig. 6). Por outro lado, as amostras do final do Verão-2004, Outono-2004 e Inverno-2004 apresentaram alta correlação com a salinidade, e relacionaram-se negativamente com nível da coluna de água e percentual de finos.

Para a análise BIOENV, a matriz dos parâmetros ambientais foi composta pelos dados de temperatura, salinidade, nível médio da laguna, percentual de finos e matéria orgânica. Essa técnica identificou a salinidade, nível médio da laguna e percentual de finos como os três parâmetros que melhor explicam a variabilidade da macrofauna (Correlação de Spearman = 0,43). Com um valor de correlação próximo (Spearman = 0,41) a salinidade e o percentual de finos explicaram a variabilidade da macrofauna.

Os resultados dos experimentos de sobrevivência de *K. schubarti* sob distintas salinidades mostrou uma acentuada diferença entre o tempo de tolerância da espécie aos tratamentos. No tratamento com salinidade 0, dos 20 organismos inseridos em cada aquário do tratamento, nenhum sobreviveu ao segundo dia do experimento (Fig. 7a). Nos tratamentos com salinidades 2 e 6, após o nono dia de experimento os aquários possuíam entre 3 e 8 organismos vivos (Fig. 7b,c). Os melhores resultados de tolerância foram obtidos para o tratamento com salinidade 15, onde a grande maioria dos espécimes dos aquários sobreviveu aos 9 dias em que foram mantidos os testes (Fig. 7d). Todas as réplicas desse tratamento apresentaram pelo menos 75% de sobrevivência.

2. Segunda etapa (Fevereiro-2007 a Fevereiro-2008)

As maiores temperaturas foram registradas durante o Verão-2007 (26,1 °C) e Verão-2008 (25,7°C), enquanto que as menores durante o Inverno-2007 (15,9 °C). As temperaturas no período de Primavera-2007 (22,8 °C) foram maiores que as registradas no período de Outono-2007 anterior (18,2 °C) (Fig. 8a).

Os registros de salinidade mostraram diferenças significativas ($p = 0.003$) entre os períodos de Inverno-2007 (média sazonal de 2,4) e os verões de 2007 (20,4) e 2008 (17,7) (Fig. 8b). Este parâmetro apresentou dessa forma, baixos valores durante o

inverno, elevados durante o verão e intermediários durante inverno e primavera, durante a segunda etapa do estudo.

O nível da coluna de água apresentou-se abaixo da média histórica (45,8 cm) calculada entre 1992 e 2009 para a enseada rasa, exceto durante o mês de julho-2007, durante o inverno, quando alcançou 66,6 cm. Por outro lado, nos dois verões avaliados a coluna de água manteve-se baixa, com médias de 34 cm no Verão-2007 e 27 cm no Verão-2008 (Fig. 8c).

Os percentuais de silte e argila não mostraram diferenças significativas entre as estações do ano, provavelmente devido à sua pouca variabilidade temporal. Entretanto, um elevado percentual ocorreu no mês de julho-2007, durante o inverno, quando foram encontrados 31,4 % de finos no substrato (Fig. 9). Da mesma forma, os percentuais de matéria orgânica não mostraram diferenças significativas ao longo dessa etapa, com os maiores valores ocorrendo no mês de junho-2007 (3,23 %) e os menores em novembro-2007 (0,9 %) (Fig. 9).

Foi encontrado um total de 20 espécies durante os treze meses de amostragem, que pertencem aos grupos Mollusca, Crustacea, Polychaeta e Nemertinea. As espécies dominantes durante o período foram o gastrópode *H. australis* e o tanaidáceo *K. schubarti*. O elevado número de espécies, em comparação com a etapa do estudo realizada entre Primavera-2002 e Inverno-2004, é consequência do registro de maior número de crustáceos peracáridos, como os Amphipoda *Leptocheirus sp.*, *Amphitoe sp.* *Apocorophium acutum* e *Amphilocus sp.* que não ocorreram naquele período. (Tab. 6).

As maiores densidades da macrofauna total foram registradas nos meses de fevereiro-2007 ($27.101 \pm 827 \text{ ind.m}^{-2}$), dezembro-2007 ($32.133 \pm 909 \text{ ind.m}^{-2}$) e fevereiro-2008 ($22.958 \pm 1.017 \text{ ind.m}^{-2}$), sempre em períodos estivais. Por outro lado, as

menores densidades foram registradas para os meses de setembro-2007 (8.726 ± 446 ind.m⁻²) e outubro-2007 (6.137 ± 229 ind.m⁻²), durante meses de inverno e início de primavera, respectivamente (Fig. 10a).

O tanaidáceo *K. schubarti* alcançou suas maiores densidades em meses de verão (8.014 ± 4.349 ind.m⁻² em março-2007; 9.777 ± 5.375 ind.m⁻² em dezembro-2007 e 7.530 ± 5.903 ind.m⁻² em janeiro-2008), e as menores durante o inverno (1.847 ± 1.561 ind.m⁻² em setembro-2007 e 1.818 ± 2.604 ind.m⁻² em outubro-2007) (Fig. 10b). Da mesma forma, o gastrópode *H. australis* alcançou 16.592 ± 11.866 ind.m⁻² em fevereiro-2007 e 17.006 ± 12.026 ind.m⁻² em dezembro-2007, enquanto no mês de outubro-2007 não passou de 2.860 ± 2.026 ind.m⁻² (Fig. 10c). O bivalve *E. mactroides*, por sua vez, mostrou uma variabilidade temporal similar, entretanto com flutuações mais pronunciadas. Com densidades significativamente menores durante o Outono-2007 e Inverno-2007, ocorreu em elevadas densidades no verão seguinte (3.619 ± 3.705 ind.m⁻² em dezembro-2007 e 2.236 ± 3.040 ind.m⁻² e janeiro-2008) (Fig. 10d)

A análise de ordenamento MDS não evidenciou a formação de grupos caracteristicamente distintos entre as estações do ano (Fig. 11). Entretanto, foram apontadas diferenças significativas através da análise ANOSIM entre os períodos do Verão-2007 e Inverno-2007 ($p=0,02$; $R=0,345$), onde as espécies que mais contribuíram para a distinção desses dois períodos, de acordo com a Análise SIMPER, foram *H. australis* (35,44 %), *K. schubarti* (22,53 %) e *E. mactroides* (8,9 %). Outros períodos que apresentaram diferenças significativas foram o Inverno-2007 e Verão-2008 ($p=0,015$; $R=0,384$). As mesmas espécies caracterizaram as diferenças entre essas duas estações: *H. australis* (31,38 %), *K. schubarti* (18,34 %) e *E. mactroides* (%).

A Análise de Correlação Canônica evidenciou a influência do nível da coluna de água ($p = 0,002$; $F = 2,359$) e do teor de matéria orgânica ($p = 0,048$; $F = 2,286$) como os dois parâmetros ambientais que explicam a variabilidade temporal do macrozoobentos no período. O primeiro eixo, relacionado ao *nível da água*, mostra a relação negativa dos meses de verão a este parâmetro, enquanto ao segundo eixo, explicado pelos teores de matéria orgânica, estão relacionados os meses que apresentaram os maiores percentuais desta variável (Fig.12).

DISCUSSÃO

A macrofauna bentônica apresentou variabilidade temporal significativa em suas densidades durante as duas etapas avaliadas, assim como os parâmetros ambientais (salinidade, temperatura, nível médio da coluna de água da laguna, percentuais de finos e matéria orgânica durante a primeira etapa, e nível da água, temperatura e salinidade na segunda). Além disso, os resultados permitiram observar que alguns desses parâmetros apresentaram correlações significativas e influenciaram a estrutura da biota.

A Lagoa dos Patos se caracteriza como uma laguna estrangulada (Kjerfve, 1986) com baixa amplitude de marés, variações de salinidade fortemente influenciadas pela ação dos ventos e ciclos hidrológicos da bacia de drenagem (Costa *et al.*, 1988; Garcia, 1998). De maneira geral, a temperatura e salinidade da água no estuário da laguna, com valores elevados durante o verão, estão relacionadas com os ciclos sazonais de temperatura do ar, padrões de vento e precipitação pluviométrica na região (Villas Boas, 1990). Durante a primeira etapa do trabalho (2002 a 2004), situações homogêneas de água doce e água marinha foram associadas com elevada descarga fluvial relacionada ao fenômeno ENSO-*El Niño* por prolongados períodos, e mínima descarga de água doce na região estuarina durante as estações seguintes. Por outro lado, durante o período de 2007-08, o cenário de águas de origem costeira durante primavera e verão, e oligohalinas durante o inverno caracterizou os parâmetros da coluna de água.

O fenômeno ENSO-*El Niño*, no qual são registradas anomalias na Temperatura Superficial do Mar (TSM) para o Oceano Pacífico, é um fenômeno global caracterizado como causador dos maiores impactos na precipitação sobre a América do Sul

(Ropelewski & Halpert, 1989; Grimm *et al.*, 2000), ocasionando para o Sul do Brasil um aumento da precipitação principalmente na primavera, e chuvas intensas de maio a julho. Como consequências ao regime hídrico da Lagoa dos Patos, especialmente durante esses anos sob influência do fenômeno *El Niño*, a descarga continental pela laguna excede bastante os valores médios (Garcia, 1998), e o nível da coluna de água sofre uma marcada anomalia positiva (Costa *et al.*, 2003). Um estudo sobre a hidrodinâmica da Lagoa dos Patos durante o fenômeno *El Niño* 1997-98 (Fernandes *et al.*, 2002) identificou um grande aumento no fluxo de descarga e a elevação da coluna de água na porção sul da laguna. Da mesma forma, o período compreendido entre o final do Outono-2002 e o final do Verão-2003 foi influenciado por este fenômeno (NOAA, 2011), tendo como consequências o predomínio de água doce na região estuarina até o fim do Verão-2003, assim como o nível da coluna de água acima da média decadal.

O predomínio dessas condições na região estuarina durante os períodos de verão, quando épocas não influenciadas pelo fenômeno ENSO-*El Niño* determinariam o processo inverso, ou seja, o ingresso de águas de origem marinha em função das menores taxas de descarga fluvial (Costa *et al.*, 1988), pode influenciar significativamente no comportamento de espécies que habitam o estuário. Garcia *et al.* (2001) registraram uma mudança na estrutura da ictiofauna na porção sul da laguna, com registro de espécies de hábitos límnicos, e diminuição da riqueza de espécies estuarinas e marinhas em consequência de baixas salinidades ocasionadas pelo fenômeno *El Niño*. A influência dessa anomalia sobre a macrofauna bentônica foi avaliada na região estuarina de Port Curtis (Austrália), onde se registraram consequências negativas ao macrozoobentos devido ao aumento das descargas no

estuário (Currie & Small, 2005). No Estuário de Tamar (Inglaterra), a distribuição de espécies bentônicas foi influenciada pela combinação de processos físicos que controlaram a natureza dos sedimentos ao longo do estuário, e a mudança na flutuação da salinidade, fato associado à variabilidade na descarga de água doce (Bale *et al.*, 2006). Outro exemplo da influência do ENSO, porém durante sua fase negativa (*La Niña*) que para a costa colombiana traz os mesmos efeitos que a fase positiva (*El Niño*) à região sul do Brasil, foi a forte relação entre menores densidades da macrofauna e as condições oligohalinas ocasionadas pelos maiores fluxos de descarga (Lucero *et al.*, 2006).

O registro de baixos valores de densidade da macrofauna durante os meses de verão na enseada em estudo durante o início da primeira etapa (Primavera-2002 ao Verão-2003), coincidente com baixas salinidades, contraria o encontrado durante a segunda etapa (fevereiro-2007 a fevereiro-2008) e os trabalhos anteriores efetuados na região. Bemvenuti (1987a) acompanhou a variação mensal do macrozoobentos em uma enseada próxima e as densidades registradas no verão, acima de 30.000 ind.m⁻², foram significativamente mais elevadas que as encontradas nos meses de inverno. No mesmo local em que foi realizado o presente trabalho, Rosa & Bemvenuti (2006) avaliando a variação sazonal da macrofauna durante o período de um ano, também encontraram valores mais expressivos de densidade (entre 30.000 e 40.000 ind.m⁻²) durante o período estival. Este padrão temporal também foi registrado em outras regiões de clima temperado, como na Baía de Samborombon, Argentina (Ieno & Bastida, 1998) e no estuário do Rio Queule, Chile (Quijón & Jaramillo, 1993).

O aumento na atividade reprodutiva do macrozoobentos associado às elevadas temperaturas a partir do final da primavera, resultam em densos recrutamentos nas

enseadas estuarinas (Bemvenuti, 1987a; Bemvenuti, 1998a; Rosa & Bemvenuti, 2006). A maioria dessas espécies macrozoobentônicas constitui típicos itens alimentares de espécies como a corvina *Micropogonias furnieri*, o siri-azul *Callinectes sapidus* e o camarão *Farfantepenaeus paulensis*, que utilizam as áreas rasas do estuário como locais de criação ou alimentação (Bemvenuti, 1998a; Kapusta & Bemvenuti, 1998). Nesses períodos em que altas densidades da macrofauna encontram-se disponíveis, ocorre um forte controle populacional através dos predadores epifaunais o que contribui para as menores densidades observadas nos períodos de inverno. Além disso, a ausência de expressivos recrutamentos durante os meses de inverno é mais um fator que contribui às baixas densidades da infauna nesses períodos (Bemvenuti, 1987b; 1998a).

As altas densidades do macrozoobentos no final do período da primavera e verão, tanto nos resultados para os verões de 2007 e 2008 aqui apresentados, quanto em estudos anteriores na região estuarina da Lagoa dos Patos, foram influenciadas pelo expressivo recrutamento de *K. schubarti*, e coincidiram com registros de salinidade e temperatura mais elevados em comparação com o encontrado no inverno (Bemvenuti, 1987a; Rosa & Bemvenuti, 2006). Os recrutamentos de *K. schubarti* durante a influência do fenômeno *El Niño* não foram observados, sendo somente registrados no final dos períodos estivais (final do verão/03 – outono/03 e final do verão/04 – outono/04), diferindo também para o encontrado a essa espécie no canal de São Sebastião, SP (Leite *et al.*, 2003). Bemvenuti (1987b) considera que a redução no número de predadores de *K. schubarti* no início do período de outono constitui num importante fator para a sobrevivência da espécie. Nesses períodos *Callinectes sapidus* e *Farfantepenaeus paulensis* deixam as águas rasas e, dessa forma, diminui a pressão de predação sobre a macrofauna. As mesmas considerações foram feitas por Reise (1977) e

Virstein (1977, 1979) relativo à migração de *C. sapidus* e camarões em ambientes mixohalinos no Hemisfério Norte.

A influência da temperatura da água para a ocorrência de recrutamentos nos períodos de primavera e verão é conhecida em regiões temperadas. Entretanto, não somente ela, mas a confluência de outros fatores como, no presente trabalho, regimes de intensas vazantes alterando os regimes de salinização podem determinar o insucesso dos recrutamentos. No acompanhamento espaço-temporal da macrofauna bentônica de estuários sul-africanos, foram encontradas diferenças sazonais na composição faunística de estuários abertos e semi-fechados (aberto/fechado por barreira arenosa), esses apresentando diferenças em sua composição. Tais resultados sugerem que diferenças sazonais na composição faunística podem estar mais relacionadas às variações nas taxas de fluxo de água doce, do que às mudanças sazonais de temperatura (Teske & Wooldridge, 2003).

Expressivas diminuições nas densidades de *K. schubarti* foram coincidentes às condições de baixas salinidades durante os invernos de 2003, 2004 e 2007 aqui estudados, além de períodos de inverno avaliados em outras situações (Rosa & Bemvenuti, 2006; Bemvenuti, 1987b), podendo este fator agravar as condições já impostas pela temperatura à sobrevivência da espécie. Este tanaidáceo é uma espécie típica da zona mixohalina, e não foi encontrada na porção pré-límnica da Lagoa dos Patos (Bemvenuti, *et al.*, 1978; Bemvenuti & Netto, 1998). Como a espécie mostra pouca atividade e claros sinais de que se encontra sob estresse em salinidades baixas, deve-se considerar a influência dessa variável no insucesso do recrutamento da espécie, registrada no presente trabalho, durante o período de Primavera-2003 e Verão-2003. Os resultados dos experimentos com diferentes tratamentos de salinidade evidenciaram

essa relação da espécie com este parâmetro, onde não suportou as condições de salinidade 0, as taxas de sobrevivência aumentaram em salinidades 2, 6 e 30 enquanto que seu melhor desenvolvimento foi observado sob salinidade 15.

Este tanaidáceo estuarino pode apresentar um alto investimento na reprodução sob condições ambientais favoráveis, durante períodos de final de primavera, verão e início de outono, o que resulta no recrutamento de um elevado número de juvenis nas enseadas estuarinas da laguna (Bemvenuti 1998a, b). Estimativas realizadas através de curvas de crescimento da espécie mostraram que *K. schubarti* apresenta um período de vida curto (longevidade máxima estimada de um ano), com um rápido crescimento individual até os tamanhos de maturação, e as fêmeas atingem a maturidade cerca de dois meses após os recrutamentos (Fonseca & D’Incao, 2003). Um alto investimento no crescimento somático em suas fases iniciais possibilitaria às fêmeas da espécie maximizar seus potenciais reprodutivos (Fonseca & D’Incao, 2003), estendendo o processo de recrutamento até o começo do outono (Bemvenuti, 1987a, 1998b). Devido a isso, os recrutamentos registrados no final do verão/03 – outono/03 não foram totalmente comprometidos devido às características límnicas de primavera e verão, mas, por outro lado, foram menores quando comparadas às densidades registradas em estudos anteriores.

Essa diferença interanual nos recrutamentos de *K. schubarti* com registro de densidades médias de 5.822 e 1.400 ind.m⁻² entre os anos de 2003 e 2004 em seus períodos de recrutamento, também foi encontrada por Rosa (2003) entre os anos de 2001 e 2002 (médias de 13.200 e 8.400 ind.m⁻²). As menores densidades nos períodos de recrutamento de 2002 e 2004, em ambas as situações foram determinadas por menores densidades da espécie nos invernos que os antecediam.

O fato de este organismo apresentar desenvolvimento direto sugere que o sucesso de seu recrutamento dependa do tamanho de sua população adulta na área estudada e, conseqüentemente, indicando um efeito de denso-dependência. Este efeito sobre o sucesso dos recrutamentos de *K. schubarti*, apesar de ainda não bem definido, é facilmente observado no presente trabalho, assim como encontrado por Rosa (2003). A sua plasticidade temporal possibilitando alguns eventos reprodutivos durante o ano e a formação de até seis coortes anuais (Fonseca & D’Incao, 2003), provavelmente, foi importante para os recrutamentos pós-*El Niño*. Entretanto, a influência desse processo tardio pode ter sido o responsável pelas falhas nos recrutamentos também no verão seguinte (2003-04).

Duas situações distintas ocorreram em relação aos sedimentos finos e às densidades de *K. schubarti*: uma nos períodos influenciados pelo fenômeno ENSO-*El Niño*, com altos percentuais das frações finas e baixas densidades do tanaidáceo, e outra com menores percentuais de silte e argila, e altas densidades. Entretanto, no período de Outono/03, quando ainda foram registrados altos teores de finos, ocorreram as maiores densidade de organismos em função dos recrutamentos tardios da espécie. O fato de as menores densidades serem concomitantes aos altos percentuais de finos não pode ser considerado como decorrente de possíveis efeitos negativos dessa variável sobre a espécie, mas sim devido às intensas descargas de água doce durante o período, essas sim associadas às altas taxas de sedimentos finos no substrato. Os resultados encontrados no presente trabalho mostram que *K. schubarti* habita sedimentos com percentuais médios entre 2 e 14% de frações finas, sendo assim um substrato considerado propício ao seu desenvolvimento, concordando com trabalhos anteriores para a região (Capítoli *et al.*, 1978; Rosa-Filho & Bemvenuti, 1998; Bemvenuti, 1987b;

Rosa & Bemvenuti, 2006), assim como para o Canal de São Sebastião (Leite *et al.*, 2003) e Baía de Paranaguá (Pagliosa & Lana, 2005).

Altos níveis de precipitação pluviométrica na região são responsáveis por um transporte considerável de silte e argila de várias fontes da vasta bacia de drenagem do Complexo Lagunar Patos-Mirim para o estuário (Calliari, 1998). Nesses períodos ocorre a sedimentação das partículas devido à alta concentração do material em suspensão, sendo depositadas nas regiões rasas (Hartmann, 1996). Durante a influência do fenômeno ENSO-*El Niño* 2002-03 foram observadas as maiores taxas de sedimentos finos, em comparação com o período pós-*El Niño*. Esses fenômenos não são exclusivos para essa região: o aumento na descarga de água doce devido a altas taxas de precipitação (Labat *et al.*, 2004) é responsável pela elevação do suprimento de sedimentos finos em estuários e lagoas costeiras, devido ao fluxo de descarga e consequente transporte de sedimentos (Horowitz, 2003).

Em relação às características da coluna de água, do substrato e densidade de *E. mactroides*, foram encontradas duas situações distintas durante a primeira etapa do trabalho, influenciada pelo fenômeno ENSO-*El Niño*. A primeira registrada durante a Primavera-2002 e Verão-2003, onde as condições da coluna de água foram caracterizadas pelas salinidades próximas a zero e elevado nível da água, o substrato pelos elevados teores de finos e baixos de matéria orgânica, e ausência de *E. mactroides*. Na segunda situação, após a diminuição da influência do fenômeno, ocorreram águas com salinidades elevadas, níveis d'água mais baixos, menores percentuais de finos e maiores de matéria orgânica, e um intenso recrutamento do bivalve. As relações encontradas para esses dois cenários e sua relação com os

recrutamentos de *E. mactroides*, sua variabilidade temporal e três eventos de mortalidade, compõem o Anexo I (Colling *et al.*, 2011).

Durante os dois verões avaliados através da segunda etapa, foram observadas densidades entre 1.500 e 3.500 ind.m⁻², que embora maiores que durante outros verões (Capítulo 3), são mais baixos que os encontrados nos intensos recrutamentos de pós-*El Niño*. Entretanto, um aspecto é importante nesses acompanhamentos mensais entre a Primavera-2007 e Verão-2008. Neste período o ingresso de organismos juvenis (indivíduos < 1 mm) ocorreu ainda durante a primavera, nos meses de novembro e dezembro. Esses recrutamentos pré-Verão se distinguem dos observados durante o fim do Verão-2003, que mesmo se tratando da sazão em que geralmente ocorrem, diferem em tempo por até três meses.

O fato de a estrutura populacional de *E. mactroides* com estoque reprodutivo localizado na porção límnica e pré-límnica, estar composta por todas classes de tamanho, e por outro lado, indivíduos menores em recrutamentos infrutíferos em função de eventos de mortalidade na região estuarina rasa (Capítoli *et al.*, 1978; Bemvenuti *et al.*, 1978; Bemvenuti & Netto, 1998; Geraldi, 2002), sugere a possível influência negativa da salinidade sobre a espécie. Entretanto, eventos de mortalidade de indivíduos das maiores classes de tamanho foram observados também na porção pré-límnica da Lagoa dos Patos, aparentemente em função do entupimento de seu aparato filtrador (Dr. Carlos Emílio Bemvenuti, IO-FURG, com. pess.).

Eventos de deposição de finos oriundos do material em suspensão também ocorrem na porção norte da Lagoa dos Patos, porém controlados por fatores hidrodinâmicos, ondas e correntes induzidas de forma destacada pelos ventos (Toldo Jr., 1989). Além dos fatores hidrodinâmicos, a geomorfologia da área é uma das causas

iniciais de deposição do material proveniente do Rio Guaíba, quando o fluxo desse (mais confinado) ingressa na região norte da laguna (mais ampla). Essa região representa uma bacia de decantação para os sedimentos mais grossos da fração fina, o silte, não havendo influência da salinidade, pois ela raramente alcança tal região (Hartmann, 1996). Nas regiões mais ao sul, na região intermediária ou estuário da laguna, onde a influência da salinidade é notada com frequência, além dos processos hidráulicos, também contribuem para a decantação dos sedimentos finos os processos de floculação (Hartmann, 1996).

Os poliquetas *H. similis* e *N. fluviatilis* foram as espécies que apresentaram as maiores densidades durante a Primavera-02 e, durante o Verão-2003 as densidades dessas foram superadas somente por *E. mactroides*. Este fato sugere que as duas espécies possam ter sido as menos prejudicadas pelas condições oligohalinas que predominaram no período inicial do estudo.

O poliqueta *N. fluviatilis* apresentou, assim como *H. similis* as maiores densidades dentre os organismos da macrofauna durante a Primavera-2002, apresentando densidades significativamente maiores nos períodos do Verão-2003 à primavera/03, seguido de uma nova diminuição na abundância no período em que predominaram altas salinidades, entre o Verão e Inverno-2004. Este poliqueta apresentou-se como espécie com uma das maiores densidades durante o Inverno-2007 e Primavera-2007. Este poliqueta é caracterizado por uma intensa atividade de escavação, seletivo comedor de depósito além de predador da meiofauna e de juvenis da macrofauna (Bemvenuti, 1994). Essas características, associadas à eficiente capacidade de osmorregulação, permite à espécie uma ampla distribuição nos substratos de fundo mole da Lagoa dos Patos (Bemvenuti & Netto, 1998). Um trabalho que compreendeu

amostragens através de toda Lagoa dos Patos (Bemvenuti & Netto, 1998), desde a zona do Rio Guaíba até a porção sul da região estuarina mostrou que essa espécie ocorreu em todo corpo lagunar, desde regiões límnicas, oligohalinas até mixohalinas. A diminuição nas densidades dessa espécie durante o predomínio das maiores salinidades (Verão-2004 ao Inverno-2004), aliada aos resultados obtidos sobre sua distribuição através da laguna (Bemvenuti & Netto, 1998) sugere sua maior preferência por ambientes com menores valores de salinidade.

Heteromastus similis é um comedor de depósito sub-superficial que habita galerias no interior do substrato com até 20 cm de profundidade (Bemvenuti, 1987b; 1988; Bemvenuti, 1998a). Estudos realizados na região estuarina da Lagoa dos Patos evidenciaram a ausência de padrões sazonais nas densidades do poliqueta (Bemvenuti, 1987b; 1988). Resultados sobre a variabilidade temporal dessa espécie na Baía de Samborombon mostram que indivíduos juvenis ocorrem ao longo de todo ano, indicando também a ausência de padrões sazonais de recrutamento do poliqueta (Ieno & Bastida, 1998). Experimentos desenvolvidos na Baía de Paranaguá evidenciaram que as densidades da espécie, em função de perturbações artificiais do sedimento, retornam aos padrões iniciais em curtos intervalos de tempo (Netto & Lana, 1994).

Outro fator que influencia na baixa variabilidade temporal de *H. similis* é a ausência de um significativo efeito de predação sobre a espécie pelos macropredadores epifaunais (Bemvenuti, 1987a; 1988; 1994). Referindo-se à *H. filiformis*, Watling (1975) encontrou grandes flutuações temporais de densidade, sem um padrão sazonal definido, enquanto que Whitlatch (1977) quantificou valores de abundância bastante estáveis para a espécie. Dessa forma, é provável que esses fatores em conjunto

proporcionem a este poliqueto um maior poder de persistência no ambiente, mesmo em condições impróprias à maioria das espécies macrobentônicas.

Laeonereis acuta é uma espécie comumente encontrada em estuários na Argentina, Uruguai e no sul e sudeste do Brasil (Orensanz & Gianuca, 1974; Ieno & Bastida, 1998; Omena & Amaral, 2000), sendo muito abundante nos planos rasos da região estuarina da Lagoa dos Patos (Bemvenuti, 1987b). As altas densidades desse poliqueta comedor de depósito ocorrem do intermareal até cerca de 1 m de profundidade (Bemvenuti, 1987b; Ieno & Bastida, 1998), alcançando densidades expressivas (aproximadamente 5.000 ind.m⁻²) nesses ambientes (Bemvenuti, 1998a). As baixas densidades dessa espécie (< 1000 ind.m⁻²), exceto para o Outono-2004 indicam a ocorrência de somente um pulso de recrutamento, evidenciado pela predominância de organismos juvenis neste último período, seguido de uma nova diminuição das densidades para o Inverno-2004. Durante a segunda etapa do trabalho este poliqueta não foi encontrado em elevadas densidades em nenhum dos meses de estudo. A variabilidade temporal de suas densidades é influenciada pelos recrutamentos e ocorrência de juvenis no intermareal raso, os quais sofrem intensa predação principalmente de crustáceos decápodos. Os organismos recém recrutados, de menor tamanho, habitam o epistrato e camadas superficiais no interior do substrato, o que facilita o controle populacional pela sua predação. Este fato, além da possibilidade de terem se distribuído em áreas mais rasas que os do local de estudo, podem ser a causa da ausência de variabilidade temporal durante a segunda etapa, mesmo entre inverno e verão, este último quando ocorrem seus pronunciados recrutamentos.

A existência de picos sazonais acompanhados de diminuições expressivas das densidades de *L. culveri* (*acuta*) e *H. similis* na Baía de Samborombon (Argentina) foi

caracterizada como um comportamento tipicamente oportunista de espécies com ciclo de vida curto. A ocorrência de associações macrofaunais que possuam essas duas espécies como componentes caracterizam, dessa forma, ambientes com importantes flutuações sazonais, por vezes imprevisíveis (Ieno & Bastida, 1998).

Uma situação distinta ocorreu entre as duas etapas, no que se refere aos organismos da Ordem Peracarida. Entre a Primavera-2002 e Verão-2004 foram registradas baixas densidades e ausência durante a maioria das estações do ano de peracáridos epifaunais como *Sinelobus stanfordi*, *Uromunna peterseni*, *Kupellonura* sp. e *Mellita*. Por outro lado, entre fevereiro-2007 e fevereiro-2008 foi constante o registro dos Anfípodos *Mellita mangrovi*, *Paracorophium* sp. e *Amphilocus* sp., e do Isopoda *Sphaeromopsis mourei*. Essa diferença na composição temporal foi consequência de planos lamosos desprovidos de vegetação durante a primeira etapa do trabalho, e a ocorrência de pradarias de macrófitas submersa (*Ruppia maritima*, *Ulva* sp.), mesmo que pouco desenvolvidas, durante as amostragens de 2007 e 2008, nas proximidades da área de estudo. Algumas das réplicas retiradas para avaliação da macrofauna continham pequenas plântulas, não maiores de 5 cm em fase inicial de desenvolvimento.

O grupo Anfípoda é um dos *taxa* de invertebrados mais importantes associados a habitats vegetados, e possuem importante papel na estrutura trófica de regiões rasas (Sanchez-Jerez *et al.*, 1999; Stål *et al.*, 2007). Enquanto a abundância da epifauna é positivamente influenciada pela heterogeneidade do habitat proporcionado principalmente pela vegetação, este é um dos grupos que responde mais claramente a essas características do substrato (Boström *et al.*, 2010).

Em um acompanhamento de um verão e inverno sucessivos no estuário da Lagoa dos Patos, as densidades da macrofauna foram significativamente maiores em

fundos vegetados por *Ruppia maritima* e *Ulva sp.* em relação a fundos não-vegetados, com o isópode *U. peterseni* e o anfípode *Mellita mangrovi* apresentando diferenças evidentes (Rosa & Bemvenuti, 2007). Alguns peracáridos epifaunais podem reproduzir com sucesso ainda que durante o inverno, no interior de bancos de macroalgas (Bemvenuti, 1987b). Em uma comparação da estrutura macrofaunal entre duas situações de décadas distintas (comparação entre 1981-82 e 1993-94) nessa mesma região estuarina, as elevadas densidades de anfípodos em fundos vegetados foi uma das características mais importantes da comunidade (Bemvenuti & Colling, 2010). Ainda que não tenha sido observada a formação dessas extensas pradarias nas áreas amostrais durante a segunda etapa, é possível que a influência desses fundos de macrófitas em áreas adjacentes seja responsável por uma maior heterogeneidade de habitat nos planos rasos, ou também pelo efeito de borda, quando regiões próximas às macrófitas experimentam aumento na diversidade e densidade associado às pradarias.

A ocorrência em densidades sempre menores de 1.000 ind.m⁻² durante a primeira etapa do trabalho, e geralmente acima de 6.000 ind.m⁻² durante a segunda etapa (com picos de aproximadamente 17.000 ind.m⁻² durante dezembro-2007 e fevereiro-2008) do gastrópode *Heleobia australis*, pode ser um reflexo dos hábitos preferenciais da espécie. Algumas das características das espécies da Família Hydrobiidae são sua preferência por fundos vegetados (Drake & Arias, 1995; Lillebø *et al.*, 1999), elevadas salinidades (Chomenko & Schäfer, 1984; De Francesco & Isla, 2003) e sedimentos com elevados teores de finos.

Durante o *El Niño* e pós-*El Niño* 2002-03, tanto a influência dos períodos com condições límnicas quanto a ausência de macrófitas durante toda etapa do trabalho podem ter ocasionado as baixas densidades da espécie. Salinidades mais elevadas são

importantes para a ocorrência e desenvolvimento dos Hydrobiidae (Chomenko & Schäfer, 1984; De Francesco & Isla, 2003), e foi um dos parâmetros ambientais que caracterizou a segunda etapa do trabalho desenvolvida durante 2007-08. Na região de Mar Chiquita, Argentina, as drásticas variações de salinidade foram apontadas como responsáveis pela variabilidade na reprodução e crescimento de *H. australis* (De Francesco & Isla, 2004). No caso de *Hydrobia ulvae*, experimentos evidenciaram que a espécie é influenciada por mudanças na pressão osmótica da água, a qual é detectada através de órgãos sensoriais localizados nos tentáculos (Blandford & Little 1983).

A presença de macrófitas durante 2007-08 no substrato, por sua vez, pode ter influenciado de forma positiva *H. australis* através de maior disponibilidade de alimento, já que espécie possui como dieta o biofilme de algas epífitas que se desenvolve sobre a vegetação (Bemvenuti, 1998b). Além disso, a complexidade do habitat formado pela presença de fundos vegetados proporciona aos organismos macrofaunais proteção contra os predadores (Parker *et al.*, 2001; Schmidt & Schiebling, 2007; Vázquez-Luis, 2009).

Através de uma mesma estratégia temporal de amostragem, onde foram efetuadas amostragens mensais durante 24 meses (primeira etapa) e 13 meses (segunda etapa), foi possível acompanhar a variabilidade temporal da macrofauna, dos parâmetros ambientais da coluna de água e substrato em duas épocas distintas. Estes parâmetros, assim como os atributos da estrutura do macrozoobentos, sofrem variações sazonais que são perceptíveis através da frequência temporal de amostragem mensal, o que representa uma replicação sazonal consistente (três meses amostrados em cada estação do ano), permitindo assim as características flutuações sazonais do ambiente subtropical em estudo.

Os resultados encontrados para ambiente e biota mostraram como diferentes situações podem influenciar uma região estuarina rasa, em escalas de tempo perceptíveis através desses acompanhamentos mensais. Uma das principais características que distinguiram as duas etapas do trabalho foi a ocorrência do fenômeno *El Niño* durante o período de Primavera-2002 e Verão-2003, que interferiu significativamente na coluna de água, substrato e espécie macrofaunais, enquanto que nos anos 2007 e 2008 condições de alta e baixa salinidade estiveram relacionadas aos verões e ao inverno, uma condição típica de ambientes subtropicais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alden, R.W.; Weisberg, S.B.; Ranasinghe, J.A. & Dauer, D.M., 1997. Optimizing temporal sampling strategies for benthic environmental monitoring programs. *Mar. Pol. Bull.*, 34; 913-922.
- Allen, G.P.; Salomon, J.C.; Bassoulet, P.; du Penhoat, Y. & de Grandpré, C.; 1980. Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries. *Sedim. Geol.* 26: 69-90.
- Attrill, M.J. & Thomas, R.M., 1996. Long-term distribution patterns of mobile estuarine invertebrates (Ctenophora, Cnidaria, Crustacea: Decapoda) in relation to hydrological parameters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 143: 25-36.
- Attrill, M.J.; Rundle, S.D. & Thomas, R.M., 1996. The influence of drought-induced low freshwater flow on an upper-estuarine macroinvertebrate community. *Wat. Res.*, 30:261-268.
- Bale, A.J.; Widdows, J.; Harris, C. B. & Stephens, J.A., 2006. Measurements of the critical erosion threshold of surface sediments along the Tamar Estuary using a mini-annular flume. *Cont. Shelf Res.*, 26: 1206-1216.
- Bemvenuti, C.E. 1983. Efeito da predação sobre as características estruturais de uma comunidade macrozoobentônica numa enseada estuarina da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. Dissertação de Mestrado. Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, RS – Brasil, 120p.
- Bemvenuti, C.E., 1987a. Predation effects on a benthic community in estuarine soft sediments. *Atlântica*, Rio Grande, 9(1): 5-32.
- Bemvenuti, C.E., 1987b. Macrofauna bentônica da região estuarial da Lagoa dos Patos, RS – Brasil. *Publ. Acad. Ciên. Est. SP*, 54 (1): 428-459.
- Bemvenuti, C.E., 1988. Impacto da predação sobre *Heteromastus similis* Southern, 1921 e *Nephtys fluviatilis* Monro, 1937 (Annelida Polychaeta), em fundos moles estuarinos. *Atlântica*, 10(1): 85-102.
- Bemvenuti, C.E., 1994. O poliqueta *Nephtys fluviatilis* Monro 1937, como predador da infauna na comunidade de fundos moles. *Atlântica* 16: 87-98.

- Bemvenuti, C.E., 1998a. Invertebrados Bentônicos. *In: Seeliger, U.; Odebrecht, C. & Castello, J.P. (Ed). Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Editora Ecocientia, Rio Grande, p. 46-51.*
- Bemvenuti, C.E., 1998b. Fundos não Vegetados. *In: Seeliger, U.; Odebrecht, C. & Castello, J.P. (Ed). Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Editora Ecocientia, Rio Grande, p. 87-92.*
- Bemvenuti, C.E. & Colling, L.A., 2010. As comunidades de macroinvertebrados bentônicos. *In: O estuário da Lagoa dos Patos, um século de transformações. Seeliger, U. & Odebrecht, C. (Eds.). EdFURG, p. 101-114.*
- Bemvenuti, C.E. & Netto, S.A., 1998. Distribution and seasonal patterns of the sublittoral benthic macrofauna os Patos Lagoon (South Brazil). *Rev. Bras. Biol.* 58(2): 211-221.
- Bemvenuti, C.E; Capítoli, R.R. & Gianuca, N.M., 1978. Estudos de ecologia bentônica na região estuarial da Lagoa dos Patos. II. Distribuição quantitativa do macrobentos infralitoral. *Atlântica*, 3: 23-32.
- Bemvenuti, C.E.; Cattaneo, S.A. & Netto, S.A., 1992. Características estruturais da macrofauna bentônica em dois pontos da região estuarial da Lagoa dos Patos, RS - Brasil. *Atlântica*, 14:5-28.
- Blandford, P. & Little, C., 1983. Salinity detection by *Hydrobia ulvae* (Pennant) and *Potamopyrgus jenkinsi* Smmith (Gastropoda : Prosobranchia) *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 68;25-38.
- Boström, C.; Törnroos, A. & Bonsdorff, E., 2010. Invertebrate dispersal and habitat heterogeneity: expression of biological traits in a seagrass landscape. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 390: 106-117.
- Calliari, L.J., 1998. O ambiente e a biota do estuário da Lagoa dos Patos, *In: Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Seeliger, U.; Odebrecht, C.; Castello, J.P., (Eds). Editora Ecocientia, Rio Grande, 326pp.*
- 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.

- Chomenko, L.A. & Schafer, A., 1984. Interpretação biogeográfica da distribuição do gênero *Littoridina* (Hydrobiidae) nas lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Amazon.*, 9(1): 127-146.
- Clarke, K.R., & Ainsworth, M., 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 92: 205-219.
- Colling, L. A., 2007. Influência dos fatores abióticos na variabilidade espaço-temporal dos macroinvertebrados bentônicos em uma enseada rasa estuarina da Lagoa dos patos, RS – Brasil. Dissertação de Mestrado, FURG. 100 pg.
- 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. *Iher. Ser. Zool.*, 97:257-263.
- Colling, L.A.; Bemvenuti, C.E. & Pinotti, R.M., 2011. Temporal variability of the bivalve *Erodona mactroides* BOSC, 1802 during and after *El Niño* phenomenon (2002/2003) in a subtropical lagoon, southern Brazil. *Acta Limnol. Bras.*, no prelo.
- Costa, C.S.B.; Seeliger, U. & Kinas, P.G., 1988. The effect of wind velocity and direction on the salinity regime in the Patos Lagoon estuary. *Ciencia Cult.* 40(9):909-912.
- Costa, C.S.B.; Marangoni, J.C. & Azevedo, A.M.G., 2003. Plant zonation in irregularly flooded salt marshes: relative importance of stress tolerance and biological interactions. *Jour. Ecol.*, 91(6):951-965.
- Currie, D.R. & Small, K.J., 2005. Macrobenthic community responses to long-term environmental change in an east Australian sub-tropical estuary. *Est. Cost. Shelf Sci.*, 63:315-331.
- Dauvin, J.C., 2007. Paradox of estuarine water quality: benthic indicators and indices, consensus or debate for the future. *Mar. Pol. Bull.*, 55: 271-281.
- Davies, B.E., 1974. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 38:150-151.
- Day, J.W., Jr.; Hall, C.A.S. Kemp, W.M. & Yáñez-Arancibia, A., 1989. The estuarine bottom and benthic subsystem, *In: Estuarine ecology*, John Wiley & Sons, pp 338-376.
- De Francesco, C.G. & Isla, F.I., 2003. Distribution and abundance of hydrobiid snails along a mixed estuary and a coastal lagoon, Argentina. *Estuar.*, 26:790-797.

- De Francesco, C.G. & Isla, A.I., 2004. The life cycle and growth of *Heleobia australis* (D'Orbigny, 1835) and *H. conexa* (Gaillard, 1974) (Gastropoda: Rissooidea) in Mar Chiquita coastal lagoon (Argentina). *J. Moll. Stud.*, 70:173-178.
- Drake, P. & Arias, A.M., 1995. Distribution and production of three *Hydrobia* species (Gastropoda: Hydrobiidae) in a shallow coastal lagoon in the Bay of Cádiz (Spain). *J. Moll. Stud.*, 61:185-196.
- Dyer, K.R., 1979. Estuarine hydrography and sedimentation. Cambridge University Press. London. 230p.
- Dyer, K.R., 1995. Sediment transport processes in estuaries. *In*: Perillo, G.M.E. (Eds.), *Geomorphology and sedimentology of estuaries. Developments in sedimentology*, 53. Elsevier Science B. V., 423-447.
- Fernandes, E.H.L.; Dyer, K.R.; Möller, O.O. & Niencheski, L.F.H., 2002. The Patos Lagoon Hydrodynamics during *El Niño* event (1998). *Cont. Shelf Res.* 22: 1699-1713
- Fonseca, D.B. & D'Incao, F., 2003. Growth and reproductive parameters of *Kalliapseudes schubarti* in the estuarine region of the Lagoa dos Patos (southern Brazil). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 83:931-935.
- 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. *J. Fish Biol.*, 59:1218-1238.
- Garcia, C.A.E. 1998. Características Hidrográficas. *In*: Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo sul do Brasil. Eds: U. Seeliger; C. Odebrecht & J.P. Castello. Editora Ecoscientia. 341p.
- Geraldi, R.M., 2002. Distribuição espacial, recrutamento, crescimento e mortalidade de *Erodona mactroides* BOSC, 1802 (Mollusca, Pelecypoda) na Lagoa dos Patos, RS, Brasil. Tese de Doutorado. FURG, 166p.
- Gray, J.S. & Christie, H., 1983. Predicting long-term changes in marine benthic communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 13: 87-94.
- Gray, J.S. & Elliott, M., 2009. The ecology of marine sediments. Oxford University Press, Second. Ed., 225 pg.

- Grimm, A.M.; Barros, V.R.; Doyle, M.E., 2000. Climate variability in Southern South America associated with *El Niño* and *La Niña* events. *Jour. Clim.*, 1, 35-38.
- Hagberg, J. & Tunberg, B.G., 2000. Studies on the covariation between physical factors and the long-term variation of the marine soft bottom macrofauna in Western Sweden. *Est. Coas. She. Sci.*, 50, 373-385.
- Hartmann, C., 1996. Dinâmica, distribuição e composição do material em suspensão na região sul da Laguna dos Patos, RS. Tese de Doutorado. UFRGS, 363 pp.
- Horowitz, A.J., 2003. An evaluation of sediment rating curves for estimating suspended sediment concentrations for subsequent flux calculations. *Hydrol. Processes*. 17 (17); 3387-3409.
- Hughes, T.P., 1990. Recruitment limitation, mortality and population regulation in open systems.: a case study. *Ecology.*, 71:12-20.
- Ieno, E.N. & Bastida, R.O., 1998. Spatial and temporal patterns in coastal macrobenthos of Samborombon Bay, Argentina: a case study of very low diversity. *Estuaries*, 21: 690-699.
- Kapusta, S.C. & Bemvenuti, C.E., 1998. Atividade nictemeral de alimentação de juvenis de *Callinectes sapidus* Rathbun, 1895 (Decapoda: Portunidae) numa pradaria de *Ruppia maritima* L. e num plano não vegetado, numa enseada estuarina da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. *Nauplius*, 6:41-52.
- Kjerfve, B., 1986. Comparative oceanography of coastal lagoons. *In: Estuarine variability*, Wolfe, D.A., (Ed.), pp. 63-81. Academic Press.
- Kröncke, I; Dippner, J.W.; Heyen, H & Zeiss, B., 1998. Long-term changes in macrofaunal communities off Norderney (East Frisia, Germany) in relation to climate variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 167: 25-36.
- Labat, D.; Godderis, Y.; Probst, J.L. & Guyot, J.L., 2004. Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Adv. Water Resour.* 27(6): 631-642.
- Leite, F.P.P.; Turra, A. & Souza, E.C.F., 2003. Population biology and distribution of the tanaid *Kalliapseudes schubarti* Mañé-Garzón, 1949, in an intertidal flat in southeastern Brazil. *Braz. J. Biol.*, 63(3): 469-479.
- Levinton, J.S., 1995. Marine Biology: function, biodiversity, ecology. Oxford, NY – USA, Oxford University Press. 420p.

- Lillebø, A.I.; Pardal, M.A. & Marques, J.C., 1999. Population structure, dynamics and production of *Hydrobia ulvae* (Pennant) (Mollusca: Prosobranchia) along an eutrophication gradient in the Mondego estuary (Portugal). *Acta Oecol.*, 20(4):289-304.
- Little, C. 2000. *The Biology of Soft Shores and Estuaries*, Oxford University Press, New York, 252p.
- Lucero, C.H.; Cantera, J.R. & Romero I.C., 2006. Variability of macrobenthic assemblages under abnormal climatic conditions in a small scale tropical estuary. *Est. Coast. She. Sci.*, 68: 17-26.
- Maurer, D., Leathern, W., Kinner, P., Tinsman, J., 1979. Seasonal fluctuations in coastal benthic invertebrate assemblages. *Est. Coast. Mar. Sci.* 8: 181-193.
- McLusky, D.S. & Elliott, M., 2004. *The estuarine Ecosystem: Ecology, Threats and Namagement*. Oxford University Press, Third Ed., 214 pg.
- Morrissey, D.J.; Underwood, A.J.; Howitt, L. & Stark J.S., 1992. Temporal variation in soft-sediment benthos. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 164:233-245.
- Mouni, P.; Dauvin, J. & Zouhiri, S., 2000. Benthic boundary layer fauna from the Seine Estuary (eastern English Channel, France): spatial distribution and seasonal changes. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 80: 959-968.
- Netto, S.A. & Lana, P.C., 1994. Effects of sediment disturbance on the structure of benthic fauna in a subtropical tidal creek of southeastern Brazil. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 106:239-247.
- Nichols, M.M., Biggs, R.B., 1985. *In: Davies, R.A. (Ed), Coastal Sedimentary*. Springer-Verlag.
- Niencheski, L.F.H. & Baumgarten, M.G.Z., 1998. Química ambiental. *In: Os Ecosystemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil*. Seeliger, U.; Odebrecht, C. & Castello, J.P. 1998. Editora Ecoscientia, 326pp.
- NOAA, 2011. National Oceanic and Atmospheric Administration, 05/1/2011. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.
- Omena, E.P. & Amaral, A.C.Z., 2000. Population dynamics and secondary production of *Laeonereis acuta* (Treadwell, 1923. (Nereididae: Polychaeta). *Bull. Mar. Sci.* 67(1): 421-431.

- Orensanz, J.M. & Gianuca, N.M., 1974. Contribuição ao conhecimento dos anelídeos poliquetas do Rio Grande do Sul, Brasil. *Com. Mus. Ciên. Pontif. Univ. Católica Rio Grande do Sul* (Porto Alegre), 4:1-37.
- Pagliosa, P.R. & Lana P.D., 2005. Impact of plant cover removal on macrobenthic community structure of a subtropical salt marsh. *Bull. Mar. Sci.*, 77(1):1-17.
- Parker, J.D., Duffy, J.E. & Orth, R.J., 2001. Plant species diversity and composition, experimental effects on marine epifaunal assemblages. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 224: 55-67.
- Postma, H., 1980. Sediment transport and sedimentation. In: Olausson, N.E. & Cato, I. (Eds). *Chemistry and biogeochemistry of estuaries*. Wiley, Chichester, p. 153-186.
- Quijón, P. & Jaramillo, E., 1993. Temporal variability in the intertidal macroinfauna in the Queule River Estuary, South-Central Chile. *Est. Coast. Shelf Sci.* 37: 655-667.
- Reise, K., 1977. Predation pressure and community structure of an intertidal soft-bottom fauna. In: Keegan, B.F., Ceidigh, P.O. & Boaden, P.J.S., *Biology of benthic organisms*. New York, Pergamon press, p. 513-519.
- Reise, K., 1985. *Tidal flat ecology. An experimental approach to species interactions*. Springer-Verlag, 191 p.
- Ropelewski, C.F. & Halpert, M.S. 1987. Global and Regional scale precipitation patterns associated with *El Niño/ Southern Oscillation*. *Weather Rev.*, 115, 1606-1626.
- Rosa, L.C., 2003. Variabilidade temporal da estrutura das associações da macrofauna bêntica em uma enseada estuarina da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. Tese de Mestrado, FURG, 70 p.
- Rosa, L.C. & Bemvenuti, C.E., 2006. Temporal variability of the estuarine macrofauna of the Patos Lagoon, Brazil. *Rev. Biol. Mar. Ocean.*, 41(1):1-9.
- Rosa, L. C. & Bemvenuti, C. E., 2007. Seria a macrofauna bentônica de fundos não consolidados influenciada pelo aumento da complexidade estrutural do habitat? O caso do estuário da Lagoa dos Patos. *Bras. J. Aquat. Scien. Tech.* 11(1): 51-56.
- Rosa-Filho, J.S. & Bemvenuti, C.E., 1998. O sedimento como fator limitante para a distribuição de *Kalliapseudes schubarti* Mañé-Garzón (Crustacea – Tanaidacea) em fundos moles estuarinos. *Nauplius*, 6:119-127.

- Sanchez-Jerez, P; Barberá-Cebrián, C. & Ramos-Esplá, A.A., 1999. Comparison of the epifauna spatial distribution in *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa* and unvegetated bottoms: importance of meadow edges. *Acta Oecol.*, 20:391-405.
- Schmidt, A.L. & Scheibling, R.E., 2007. Effects of native and invasive macroalgal canopies on composition and abundance of mobile benthic macrofauna and turf-forming algae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 341:110-130.
- Stål, J.; Pihl, L. & Wenhage, H., 2007. Food utilisation by coastal fish assemblages in rocky and soft bottoms on the Swedish west coast: inference for identification of essential fish habitats. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 71:593-607.
- Suguio, O. K., 1973. Introdução à sedimentologia. São Paulo, EDUSP. 317p.
- ter Braak, C.J.F., 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67: 1167-1179.
- Teske, P.R. & Wooldridge, T.H., 2003. What limits the distribution of subtidal macrobenthos in permanently open and temporarily open/closed South African estuaries? Salinity vs. sediment particle size. *Estuar. Coast. and Shelf Sci.*, 57:225-238.
- Toldo Jr., E.E., 1989. Os efeitos do transporte sedimentar na distribuição dos tamanhos de grão e morfologia da Lagoa dos Patos. Dissertação de Mestrado, UFRGS, 147p.
- Turner, S.J.; Thrush, S.F.; Pridmore, R.D.; Hewitt, J.E.; Cummings, V.J. & Maskery, M., 1995. Are soft-sediment communities stable? An example from a windy harbour. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 120:219-130.
- Vaz, A.C., Möller Jr. O.O. & Almeida, T.L., 2006. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. *Atlântica*, 28(1): 13-23.
- Vázquez-Luis, M.; Sanchez-Jerez, P. & Bayle-Sempere, J.T., 2009. Comparison between amphipod assemblages associated with *Caulerpa racemosa* var. *Cylindracea* and those of other Mediterranean habitats on soft substrate. *Est. Coast. She. Scien.*, 84: 161-170.
- Villas Boas, D.F., 1990. Distribuição e comportamento dos sais nutrientes, elementos maiores e metais pesados na Lagoa dos Patos, RS. Tese de Mestrado, FURG.
- Virstein, R.W., 1977. The importance of predation by crabs and fishes on benthic infauna in Chesapeake Bay. *Ecology*, 58: 1199-1217.

- Virstein, R.W., 1979. Predation on estuarine infauna: response patterns of component species. *Estuaries*, 2 (2): 69-86.
- Watling, L. 1975. Analysis of structural variation in shallow estuarine deposit-feeding community. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 19:275-313.
- Wheatcroft, R. A., 2006. Time-series measurements of macrobenthos abundance and sediment bioturbation intensity on a flood-dominated shelf. *Prog. Ocean.*, 71: 88-122.
- Whitlatch, R.B., 1977. Seasonal changes in the community structure of the macrobenthos inhabiting the intertidal sand and mud flats of Barnstable Harbor, Massachusetts. *Biol. Bull.*, 152:275-294.
- Wolfe, D.A. & Kjerfve, B. 1986. Estuarine variability: an overview. *In*: Wolfe, S.A. (ed.) Estuarine variability, Academic Press, New York: 137-152.
- Ysebaert, T.; Fettweis, M.; Meire, P. & Sas, M., 2005. Benthic variability in intertidal soft-sediments in the mesohaline part of the Schelde estuary. *Hydrobiologia*, 540: 197-216.

TABELAS

Tabela 1. Resultados do teste de Análise de Variância para os parâmetros ambientais durante a Etapa 1. GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; F: estatística de Fischer; p: nível de significância.

Parâmetro		GL	SQ	F	p
Vazão	Períodos	8	3472	6,68	0,000
	Resíduo	18	1169		
Salinidade	Períodos	8	547	4,19	0,005
	Resíduo	18	249		
Nível d'água	Períodos	6	4559	14,36	0,000
	Resíduo	14	741		
Sedimentos finos	Períodos	8	5	21,22	0,000
	Resíduo	153	5		
Matéria Orgânica	Períodos	8	1	11,92	0,000
	Resíduo	153	2		

Tabela 2. Espécies do macrozoobentos registradas durante o período amostral da Etapa 1. M: Mollusca; C: Crustacea; A: Annelida. Célula branca: ausência da espécie; célula cinza clara: densidade entre 1 e 1.000 ind.m⁻²; célula cinza escura: densidade entre 1.001 e 10.000 ind.m⁻²; célula preta: densidade maior de 10.001 ind.m⁻².

	PRI 02	VER 03	OUTO 03	INV 03	PRI 03	VER 04	OUTO 04	INV 04
<i>Erodona mactroides</i> M								
<i>Kalliapseudes schubartii</i> C								
<i>Heteromastus similis</i> A								
<i>Laeonereis acuta</i> A								
<i>Nephtys fluviatilis</i> A								
<i>Uromunna peterseni</i> C								
<i>Kupellonura</i> sp. C								
<i>Sinelobus stanfordi</i> C								
<i>Diastylis simpsterigeae</i> C								
<i>Sphaeromopsis mourei</i> C								
<i>Heleobia australis</i> M								
<i>Mellita lagunae</i> C								
<i>Misidopsis tortoneri</i> C								
<i>Tagelus plebeius</i> M								
Cumacea n.d. C								
<i>Nemertinea</i> n.d. A								

Tabela 3. Resultados do teste estatístico de Análise de Variância para as densidades totais da macrofauna, de *Erodona mactroides* e *Kalliapseudes schubartii*. GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; F: estatística de Fischer; p: nível de significância.

Fontes de Variação	GL	SQ	F	p
Densidade da macrofauna				
Períodos	7	52,02	75,12	<0,001
Resíduo	416	41,16		
Densidade de <i>E. mactroides</i>				
Períodos	7	872,66	221,65	<0,001
Resíduo	416	233,97		
Densidade de <i>K. schubartii</i>				
Períodos	7	180,12	26,43	<0,001
Resíduo	125	13,76		

Tabela 4. Resultados dos testes estatísticos ANOSIM e SIMPER para as interações entre os períodos (sazões) da primeira etapa do trabalho.

FONTES DE VARIAÇÃO	ANOSIM		SIMPER (Dissimilaridade Bray-Curtis)
	R	p (%)	
GLOBAL	0,568	0,1	
PRI/02 X VER/03	0,389	0,1	<i>E. mactroides</i> (26,22%), <i>K. schubartii</i> (14,75%), <i>H. Australis</i> (9,5%)
PRI/02 S OUT/03	0,996	0,1	<i>E. mactroides</i> (27,22%), <i>K. schubartii</i> (13,17%), <i>M. petterseni</i> (11,53%)
PRI/02 X INV/03	0,966	0,1	<i>E. mactroides</i> (29,81%), <i>S. stanfordi</i> (11,67%), <i>M. petterseni</i> (11,32%)
PRI/02 X PRI/03	0,982	0,1	<i>E. mactroides</i> (28,15%), <i>S. stanfordi</i> (13,29%), <i>H. australis</i> (10,47%)
PRI/02 X VER/04	0,977	0,1	<i>E. mactroides</i> (34,09%), <i>H. australis</i> (15,91%), <i>K. schubartii</i> (10,63%)
PRI/02 X OUT/04	0,915	0,1	<i>E. mactroides</i> (26,15%), <i>L. acuta</i> (23,74%), <i>k. schubartii</i> (10,86%)
PRI/02 X INV/04	0,772	0,1	<i>E. mactroides</i> (25,8%), <i>L. acuta</i> (17,71%), <i>K. schubartii</i> (10,29%)
VER/03 X OUT/03	0,473	0,1	<i>E. mactroides</i> (18,04%), <i>M. petterseni</i> (14,73%), <i>K. schubartii</i> (13,75%)
VER/03 X INV/03	0,424	0,1	<i>E. mactroides</i> (19,6%), <i>S. stanfordi</i> (16,33%), <i>M. petterseni</i> (14,46%)
VER/03 X PRI/03	0,452	0,1	<i>E. mactroides</i> (18,17%), <i>S. stanfordi</i> (17,38%), <i>S. simpterigeae</i> (13,31%)
VER/03 X VER/04	0,226	0,1	<i>E. mactroides</i> (22,65%), <i>K. schubartii</i> (14,51%), <i>H. australis</i> (13,945)
VER/03 X OUT/04	0,418	0,1	<i>L. acuta</i> (27,24%), <i>E. mactroides</i> (19,96%), <i>K. schubartii</i> (12,03%)
VER/03 X INV/04	0,292	0,1	<i>E. mactroides</i> (23,98%), <i>L. acuta</i> (20,39%), <i>K. schubartii</i> (13,48%)
OUT/03 X INV/03	0,15	0,8	<i>K. schubartii</i> (14,29%), <i>M. petterseni</i> (13,95%), <i>S. stanfordi</i> (13,64%)
OUT/03 X PRI/03	0,421	0,1	<i>D. simpterigeae</i> (16,83%), <i>S. stanfordi</i> (15,23%), <i>M. petterseni</i> (14,39%)
OUT/03 X VER/04	0,579	0,1	<i>K. schubartii</i> (15,92%), <i>M. petterseni</i> (15,9%), <i>S. stanfordi</i> (15,58%)
OUT/03 X OUT/04	0,833	0,1	<i>S. stanfordi</i> (1,09%), <i>L. acuta</i> (14,85%), <i>E. mactroides</i> (13,56%)
OUT/03 X INV/04	0,852	0,1	<i>E. mactroides</i> (18,4%), <i>S. stanfordi</i> (15,12%), <i>M. petterseni</i> (13,97%)
INV/03 X PRI/03	0,176	0,8	<i>D. simpterigeae</i> (18,08%), <i>S. stanfordi</i> (16,48%), <i>M. petterseni</i> (15,96%)
INV/03 X VER/04	0,59	0,1	<i>S. stanfordi</i> (17,43%), <i>M. petterseni</i> (14,9%), <i>K. schubartii</i> (13,44%)
INV/03 X OUT/04	0,879	0,1	<i>L. acuta</i> (22,94%), <i>S. stanfordi</i> (16,3%), <i>E. mactroides</i> (12,26%)
INV/03 X INV/04	0,862	0,1	<i>E. mactroides</i> (17,34%), <i>S. stanfordi</i> (17,12%), <i>L. acuta</i> (14,21%)
PRI/03 X VER/04	0,539	0,1	<i>S. stanfordi</i> (19,59%), <i>D. simpterigeae</i> (15,06%), <i>M. petterseni</i> (13,66%)
PRI/03 X OUT/04	0,902	0,1	<i>L. acuta</i> (20,86%), <i>S. stanfordi</i> (16,96%), <i>D. simpterigeae</i> (13,92%)
PRI/03 X INV/04	0,874	0,1	<i>S. stanfordi</i> (18,07%), <i>E. mactroides</i> (15,82%), <i>D. simpterigeae</i> (14,64%)
VER/04 X OUT/04	0,4	0,1	<i>L. acuta</i> (21,39%), <i>E. mactroides</i> (14,99%), <i>H. australis</i> (14,31%)
VER/04 X INV/04	0,403	0,1	<i>E. mactroides</i> (22,42%), <i>H. australis</i> (16,38%), <i>L. acuta</i> (14,72%)
OUT/04 X INV/04	0,213	0,1	<i>E. mactroides</i> (2,27%), <i>L. acuta</i> (1,69%), <i>M. petterseni</i> (14,25%)

Tabela 5. Resultados da Análise de Correlação Canônica (ACC) e Teste de Permutação de Montecarlo aplicada às variáveis ambientais com maior influência significativa sobre a fauna.

FONTES DE VARIAÇÃO	PERMUTAÇÕES	F (Fischer)	$\alpha = 0,05$
Salinidade	499	9,004	0,002
Temperatura	499	4,239	0,002
Nível Médio da Lagoa (NML)	499	4,271	0,004
Finos (silte + argila)	499	2,943	0,016

Tabela 6. Espécies do macrozoobentos registradas durante o período amostral da segunda etapa. M: Mollusca; C: Crustacea; A: Annelida. Célula branca: ausência da espécie; célula cinza clara: densidade entre 1 e 1.000 ind.m⁻²; célula cinza escura: densidade entre 1.001 e 10.000 ind.m⁻²; célula preta: densidade maior de 10.001 ind.m⁻².

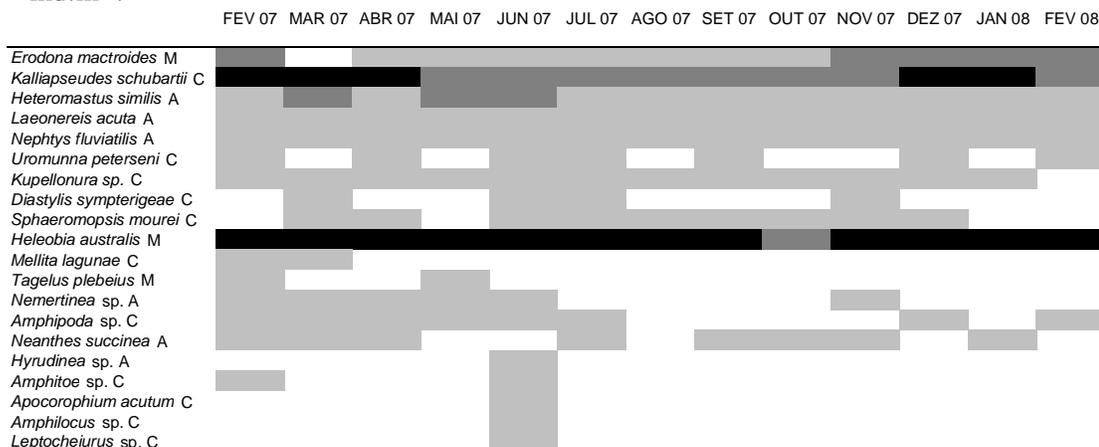


Tabela 7. Resultados da Análise de Correlação Canônica (CCA) entre os parâmetros ambientais e biológicos da segunda etapa do trabalho.

Eixos Canônicos	1	2	3	4
Autovalores	0.04	0.021	0.039	0.018
Correlações Espécies e Ambientais	0.866	0.765	0	0
Variância acumulada				
Espécies (%)	25.3	38.5	63	74.4
Relação Espécies X Parâmetros Ambientais	65.7	100	0	0
Teste de Monte Carlo - Permutações			F	p (0.05)
Nível d'água			4	0.002
Matéria Orgânica			2.286	0.048

FIGURAS

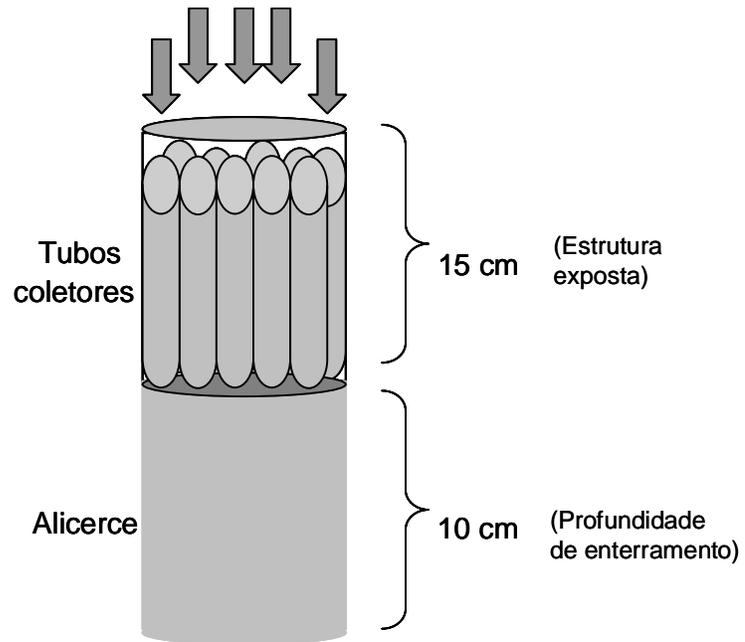


Figura 1. Modelo de armadilha para captura de sedimento em suspensão utilizada para os experimentos de deposição de sedimentos.

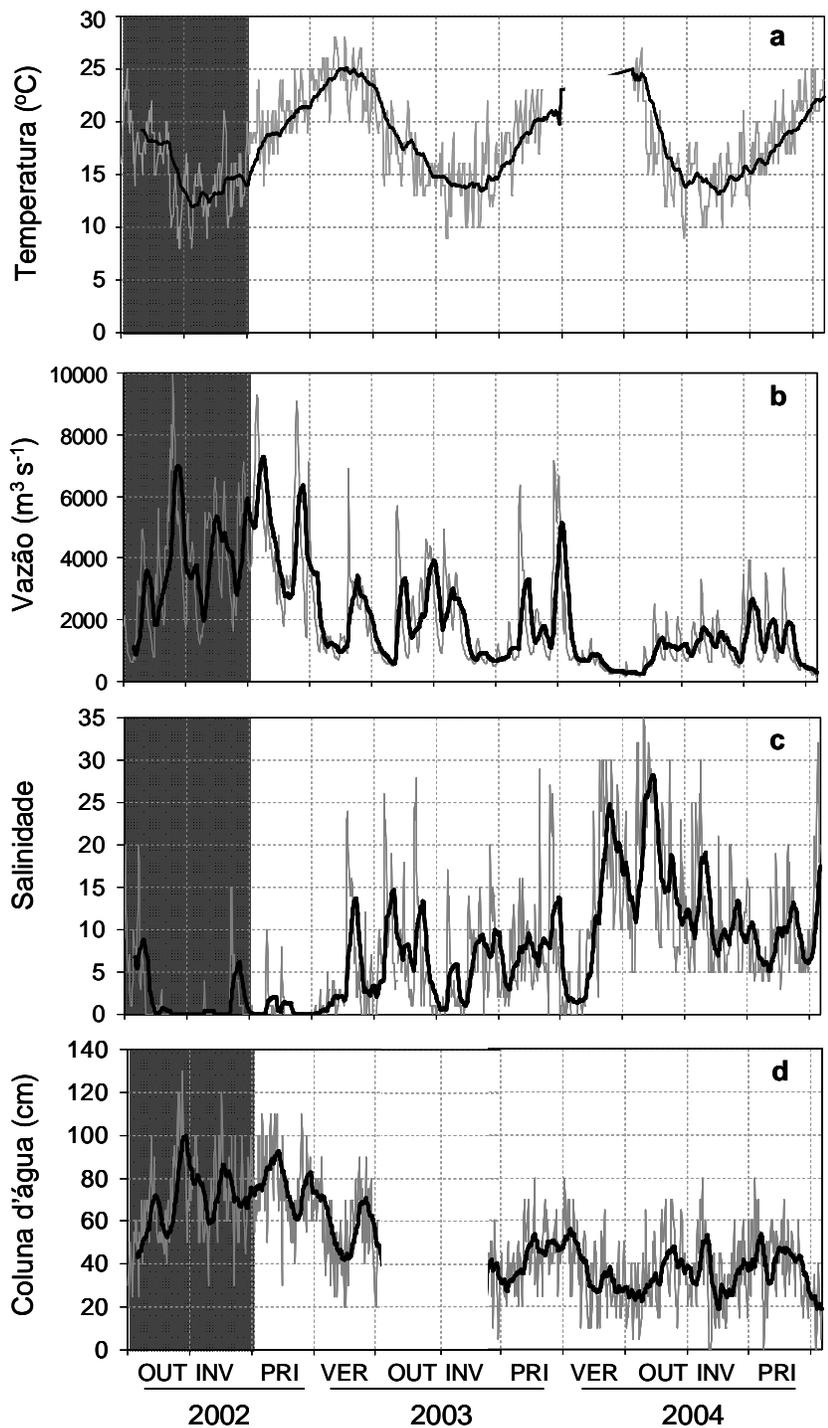


Figura 2. Valores diários (linhas cinza) e médias quinzenais (linhas pretas) de temperatura (a), vazão(b), salinidade (c) e nível da coluna de água (d) no período de estudo da Etapa 1. A área hachurada indica as duas estações do ano anteriores ao início das amostragens.

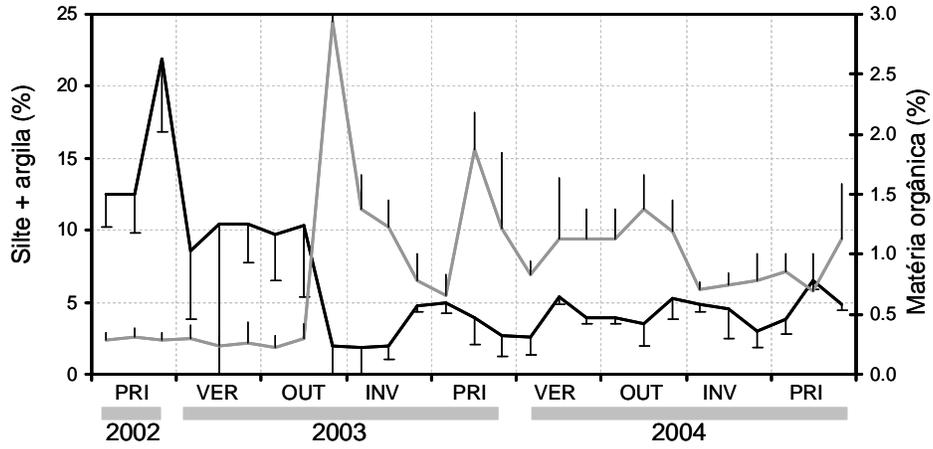


Figura 3. Percentuais de sedimentos finos (silte + argila, linha preta) e de matéria orgânica (linha cinza) no período de estudo, durante a primeira etapa.

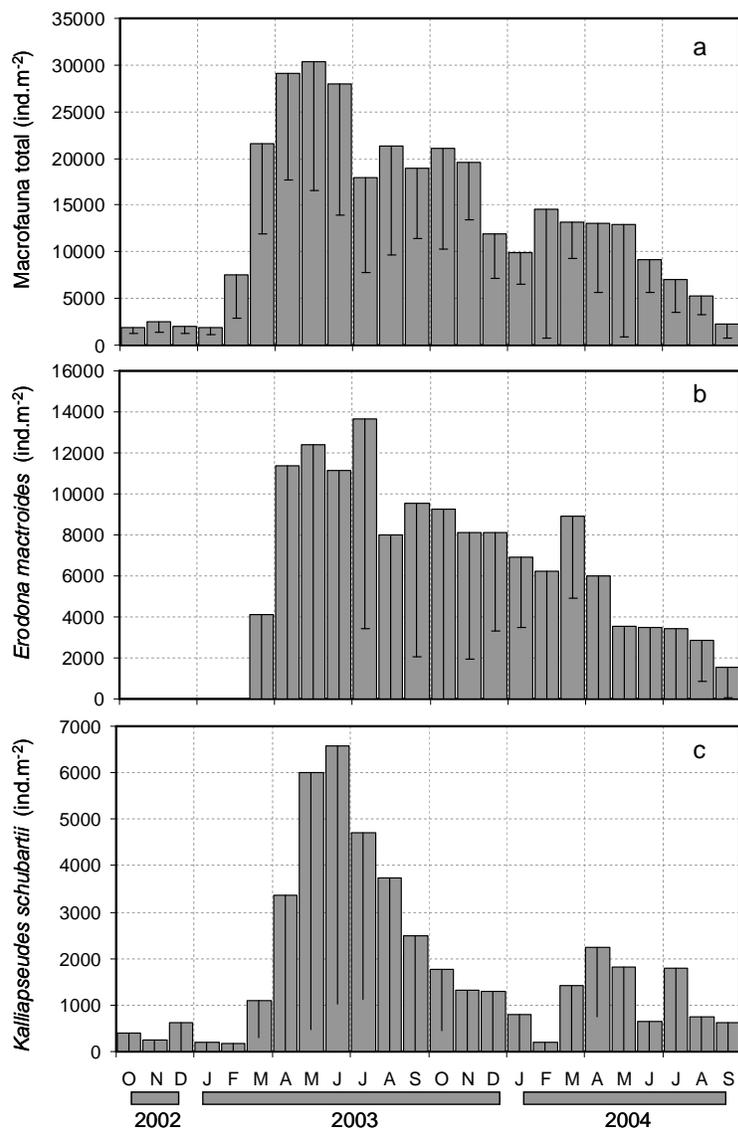


Figura 4. Densidades médias mensais (ind.m⁻² e desvio padrão) da macrofauna total (a), de *Erodona mactroides* (b) e *Kalliapseudes schubartii* (c) durante os meses de estudo da primeira etapa.

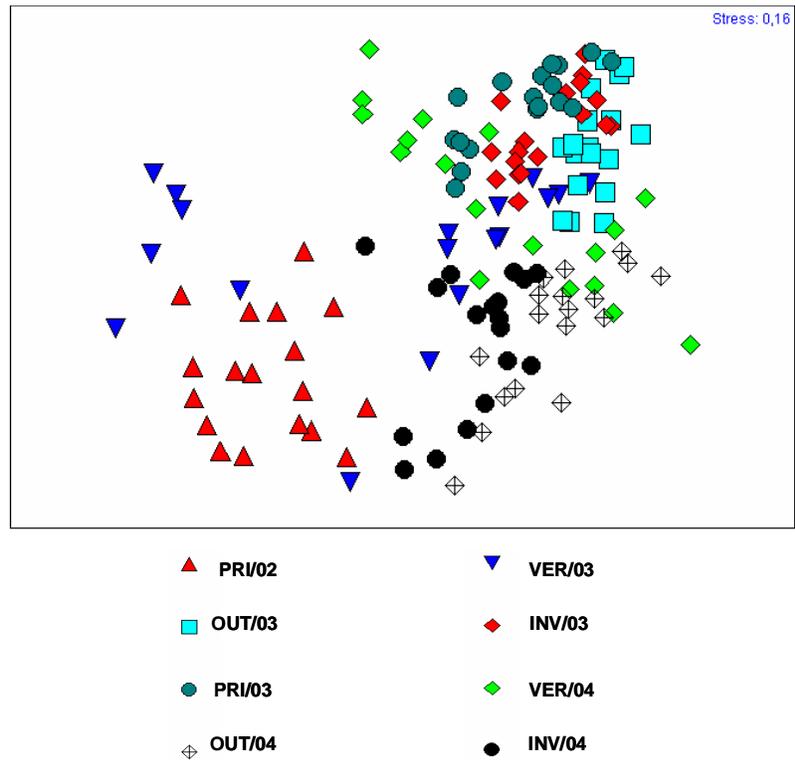


Figura 5. Resultado da Análise de Escalonamento Multidimensional (nMDS) aplicada aos dados biológicos da primeira etapa do período de estudo.

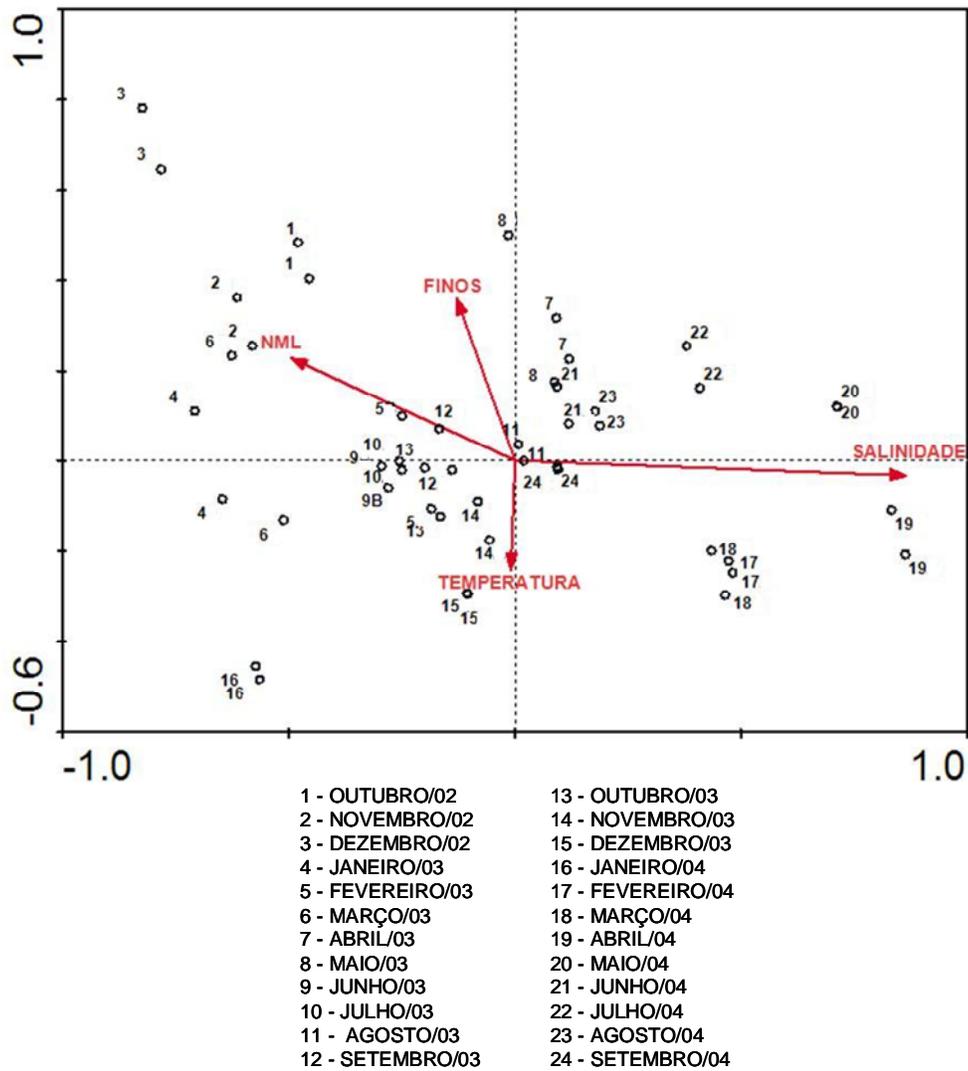


Figura 6. Representação bidimensional dos resultados da Análise de Correlação Canônica (ACC), onde se observam as amostras biológicas em relação aos eixos que respondem aos parâmetros ambientais com influência significativa.

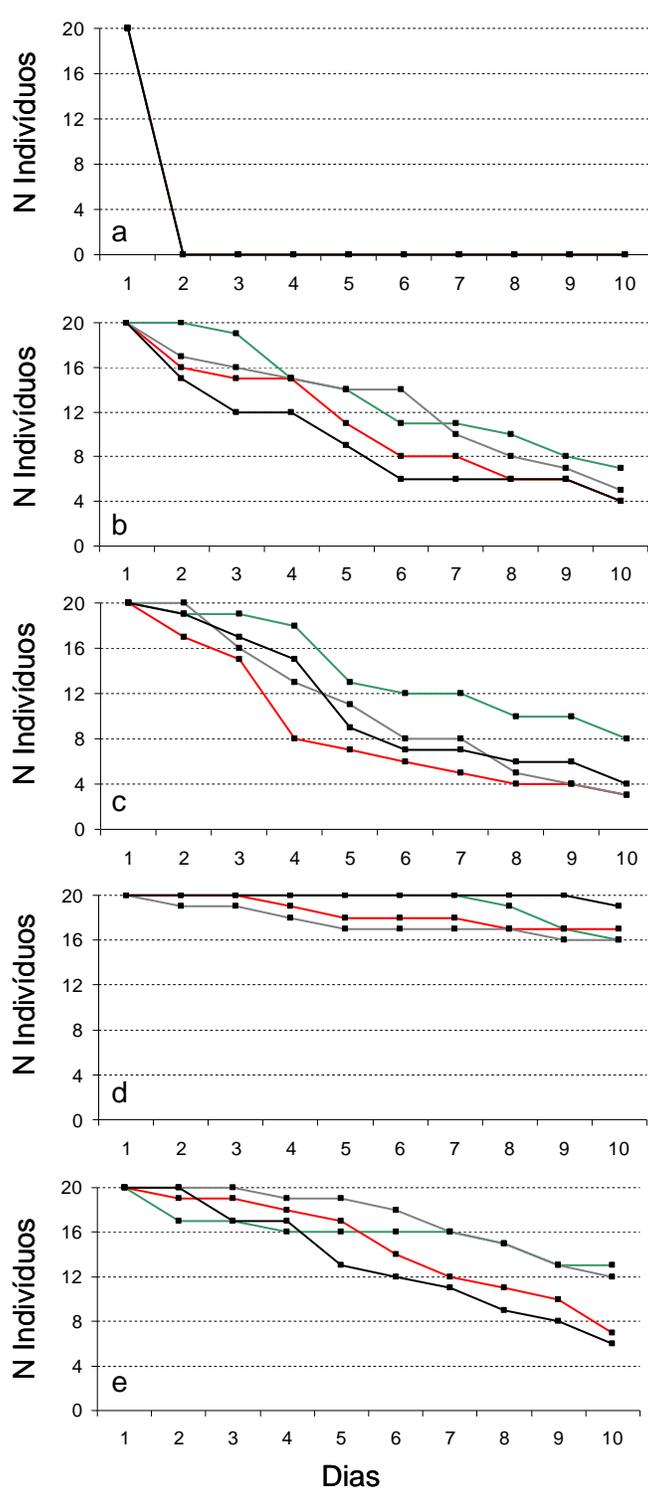


Figura 7. Resultados dos experimentos de tolerância a salinidade de *Kalliapseudes schubarti*. Tratamento de salinidade 0 (a), salinidade 2 (b), salinidade 6 (c), salinidade 15 (d) e salinidade 30 (e). Cada linha representa o número de organismos nas quatro réplicas dos tratamentos (aquários).

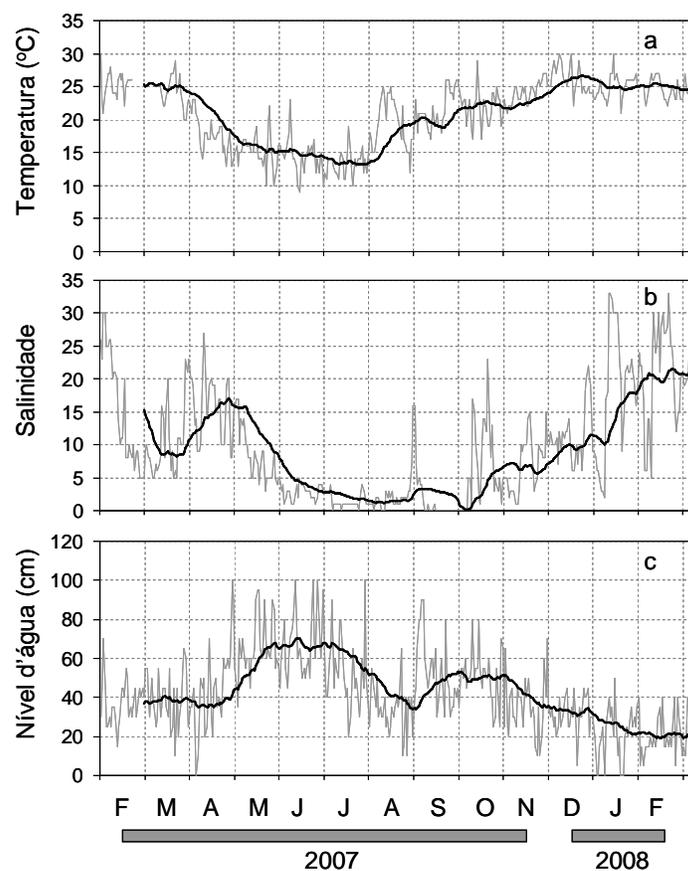


Figura 8. Valores diários (linhas cinza) e médias quinzenais da temperatura (a), salinidade (b) e nível da coluna de água (c) durante a segunda etapa do período de estudo.

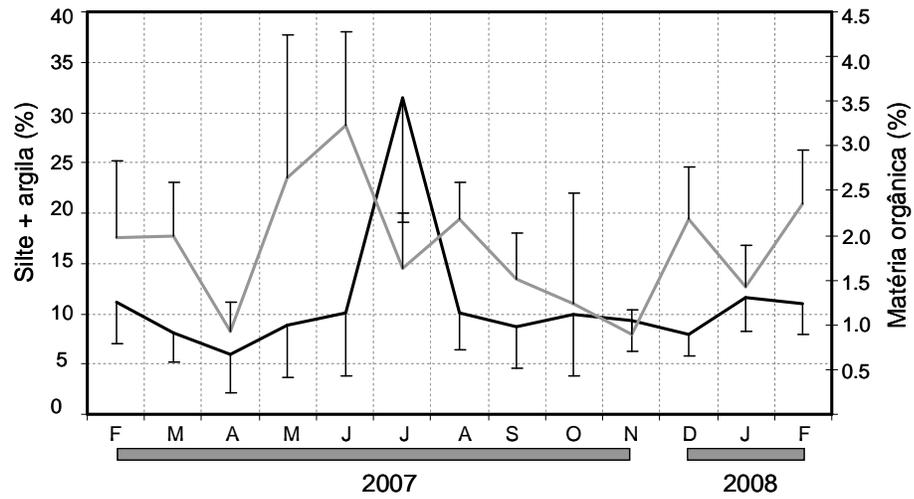


Figura 9. Percentuais médios mensais e desvios padrão de sedimentos finos (linha preta) e matéria orgânica (linha cinza) durante a segunda etapa do período de estudo.

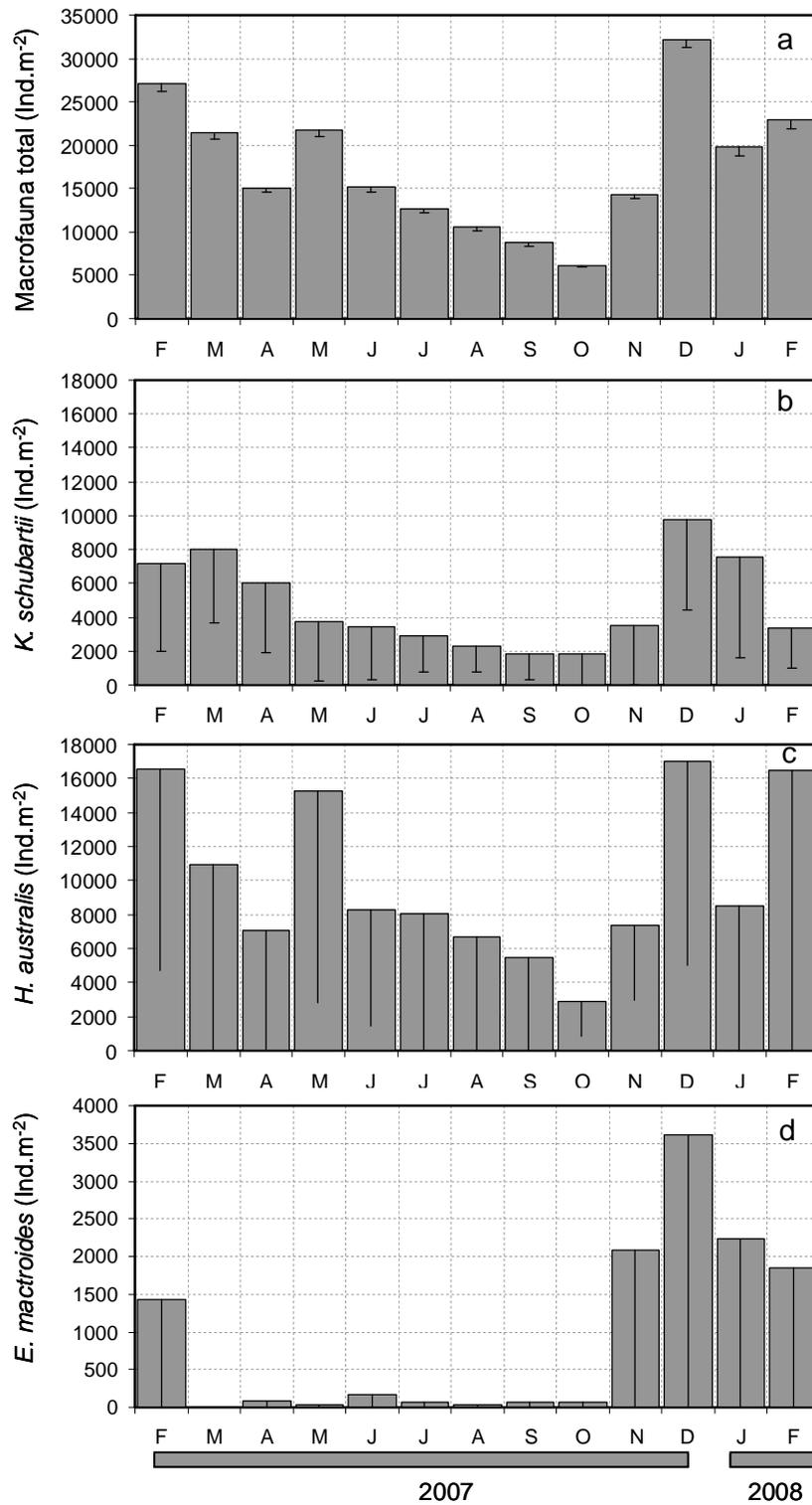


Figura 10. Densidades médias mensais (ind.m⁻² e desvio padrão) da macrofauna total (a), de *Kalliapseudes schubarti* (b), *Heleobia australis* (c) e *Erodona mactroides* (d) durante a segunda etapa do período de estudo.

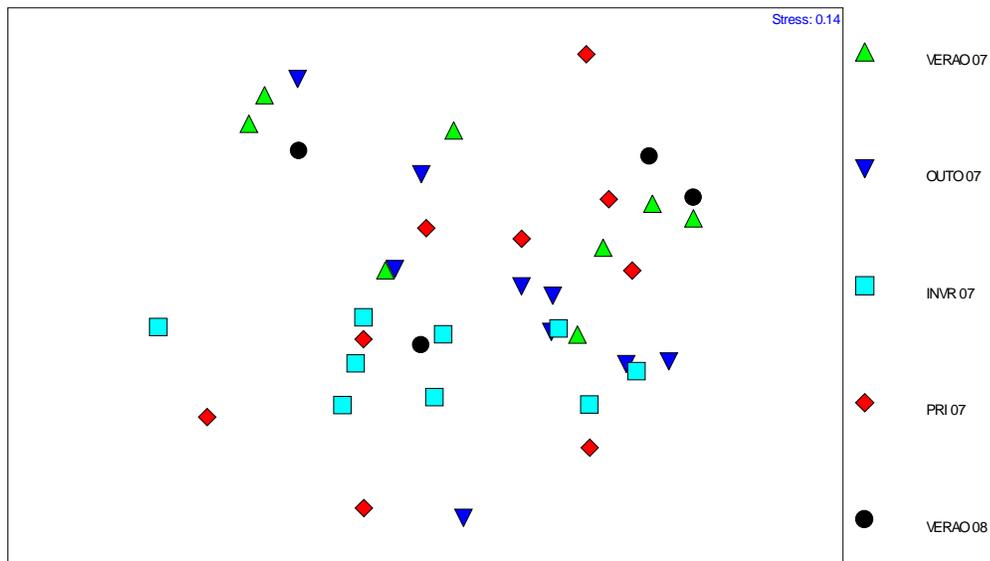


Figura 11. Resultado da Análise de Escalonamento Multidimensional (nMDS) para as amostras biológicas referentes às estações da segunda etapa do período de estudo.

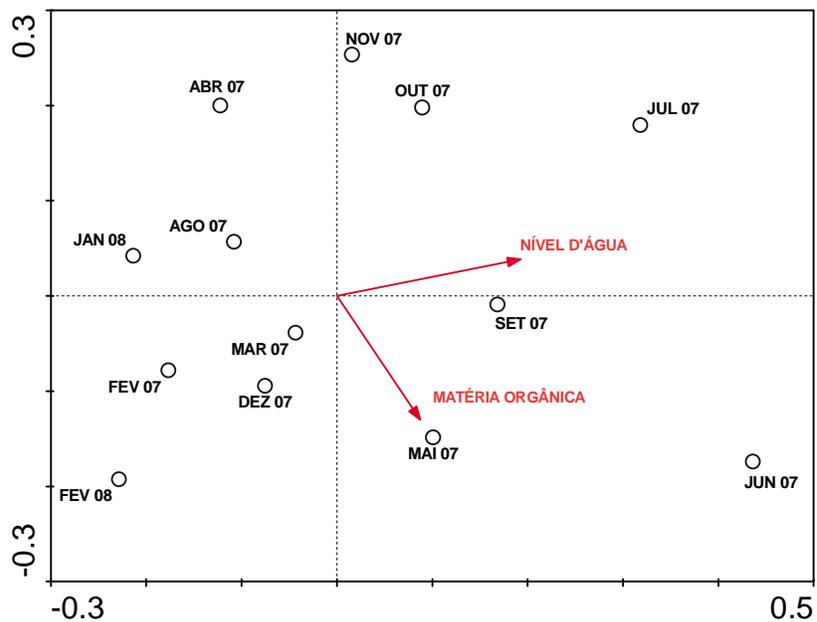


Figura 12. Resultado da Análise de Correlação Canônica entre as variáveis ambientais com influência significativa nos parâmetros biológicos, para os meses da segunda etapa do período de estudo.

CAPÍTULO III

VARIABILIDADE DE LONGO PRAZO DAS ASSOCIAÇÕES DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS EM UMA ENSEADA ESTUARINA DA LAGOA DOS PATOS, RS, BRASIL

INTRODUÇÃO

Em séries temporais de dados biológicos é frequente a observação de variabilidade em escalas interanuais e interdecadais (Kröncke *et al.*, 1998). Essa dinâmica é resposta a uma multiplicidade de fatores forçantes, que estão relacionados à dinâmica interna e às interações em sistemas biológicos multiespecíficos (de Angelis & Waterhouse, 1987), enquanto outros resultam de fatores abióticos extrínsecos, como o clima (Clark & Frid, 2000).

Em regiões estuarinas a magnitude, período em que ocorre e a duração dos eventos de descarga de água doce influenciam as flutuações de propriedades químicas e físicas como salinidade, temperatura, turbidez, concentração de nutrientes, sedimentos e oxigênio dissolvido. Essas flutuações podem impactar significativamente espécies estuarinas, habitats e produtividade (Drinkwater & Frank, 1994; Loneragan & Bunn, 1999; Gillanders & Kingsford, 2002). Devido a essa natureza física dinâmica de estuários, sua composição faunística pode variar consideravelmente em escalas temporais de anos (Morrisey *et al.*, 1992). Dessa forma, para compreender as interações entre o ambiente e as características biológicas de um estuário em particular, dados de séries temporais referentes às descargas são de fundamental importância para avaliações de fluxos de vazão a longo prazo (Xu & Wu, 2006).

Os gradientes e flutuações de parâmetros ambientais são amplificados em habitats rasos devido à proximidade com a superfície e forçantes atmosféricas (Connell, 1972; Underwood, 1996). Desta forma, a detecção de flutuações de longo prazo em comunidades bentônicas rasas pode auxiliar nas interpretações sobre como a influência

de mecanismos físicos em regiões costeiras interferem nos padrões biológicos (Barry *et al.*, 1995; Sagarin *et al.*, 1999; Kröncke *et al.*, 2001).

Enquanto diversos estudos do macrozoobentos mostram tendências sazonais e interanuais consistentes (Alden *et al.*, 1997; Ysebaert *et al.*, 2005), avaliações com séries de dados mais longas evidenciam a ocorrência de flutuações interanuais e interdecadais relacionadas a fatores cíclicos com intervalos mais prolongados, relacionados a eventos como ENSO- *El Niño Southern Oscillation* (Tarazona *et al.*, 1988; Lucero *et al.*, 2006), NAO – North Atlantic Oscillation (Tunberg & Nelson, 1998; Kröncke *et al.*, 1998), e presença de macrófitas (Patrício *et al.*, 2009). Em função das cada vez mais evidentes flutuações de ampla escala temporal das associações de macroinvertebrados bentônicos em estuários, torna-se necessário, para o entendimento desses processos, o acompanhamento de longo prazo da variabilidade e dinâmica dessas associações (Kennish, 1986) e dos parâmetros ambientais que as influenciam.

Na Lagoa dos Patos, aproximadamente 70 % das enseadas rasas estuarinas (< 1,5 m) são cobertas temporariamente por pradarias compostas em sua maioria por *Ruppia maritima* e espécies efêmeras de macroalgas como *Ulva* spp., *Cladophora* spp. e *Rhizoclonium riparium* (Costa & Seeliger, 1989; Seeliger, 1997). Nessa região flutuações sazonais na biomassa de *R. maritima* são atribuídas às condições de salinidade, temperatura e ação de ondas que podem perturbar o substrato (Seeliger, 1997), e a ausência de pradarias por períodos mais prolongados está relacionada ao aumento da descarga fluvial no estuário, principalmente durante os fenômenos *El Niño* (Copertino & Seeliger, 2010). Essa vegetação aquática submersa influencia ciclos biogeoquímicos locais e a dinâmica dos sedimentos (Seeliger, 1997), atuando

também como importante fator estruturador das comunidades de macroinvertebrados bentônicos, pelo aumento da complexidade estrutural do substrato (Bemvenuti, 1997).

Na região estuarina da Lagoa dos Patos foram desenvolvidos trabalhos, no que se refere ao macrozoobentos de habitats vegetados, sobre a comunidade macrofaunal associada aos habitats de *R. maritima* (Asmus, 1984), a comparação entre habitats vegetados e não vegetados pela fanerógama (Geraldi, 1998) e a macroepifauna sedentária associada a macrófitas e algas de deriva (Souza, 2001). Além desses habitats, análises da variabilidade sazonal da macrofauna bentônica (Bemvenuti, 1987b; Bemvenuti & Netto 1998; Rosa & Bemvenuti 2007; Colling *et al.*, 2007; além dos resultados apresentados no Capítulo 2) evidenciaram o importante papel estruturador da salinidade, temperatura, características do substrato e do evento ENSO-*El Niño* 2002-2003 no macrozoobentos. Os fenômenos *El Niño* ocorrem em escala global e em intervalos interanuais (Ropelewski & Halpert, 1987; Grimm *et al.*, 2000), ocasionando chuvas acima da média para o sul do Brasil (Rao & Hada, 1990), e nessa região estuarina mostraram evidentes interferências nos padrões de circulação e hidrodinâmica (Fernandes *et al.*, 2002; Vieira *et al.*, 2008) e processos sedimentares da laguna influenciando significativamente nas densidades da macrofauna bentônica (Colling *et al.*, 2007).

HIPÓTESES

(1) A macrofauna bentônica de áreas rasas estuarinas da Lagoa dos Patos apresenta variabilidade temporal de longo prazo em escala interdecadal;

(2) A ocorrência dos fenômenos ENSO-*El Niño* e suas consequências na hidrologia estuarina influenciam a composição, abundância e diversidade do macrozoobentos de enseadas rasas;

(3) O desenvolvimento de pradarias de macrófitas submersas na região estuarina causa mudanças na composição e abundância do macrozoobentos de enseadas rasas;

(4) Os efeitos de variáveis estocásticas como fenômenos *El Niño* e desenvolvimento de pradarias de macrófitas sobre as associações de macroinvertebrados bentônicos, podem ser identificados a partir do acompanhamento temporal de longo prazo, a partir de amostragens semestrais;

OBJETIVOS

Devido à ausência de trabalhos que avaliem séries de dados de longo prazo da macrofauna bentônica tanto no estuário da Lagoa dos Patos quanto em regiões estuarinas brasileiras, e à importância de sua compreensão para o entendimento das flutuações temporais que ocorrem neste habitat, os objetivos do presente capítulo são:

(1) avaliar a variabilidade temporal de longo prazo (1996 a 2008) da macrofauna bentônica de uma enseada rasa estuarina da Lagoa dos Patos;

(2) identificar possíveis diferenças na estrutura e composição do macrozoobentos em períodos influenciados pelo fenômeno *El Niño* em relação àqueles com ausência do fenômeno;

(3) identificar a possível diferença na estrutura do macrozoobentos nos períodos com ocorrência de fundos de macrófitas, em comparação aos períodos desprovidos de vegetação;

(4) examinar o comportamento temporal dos parâmetros da coluna de água associados a períodos de alta e baixa vazão no estuário, e sua possível simultaneidade a eventos *El Niño* e presença de fundos vegetados.

(5) avaliar a possibilidade de identificação da variabilidade de longo prazo da macrofauna bentônica através de amostragens semestrais.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados diários de temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), nível da coluna de água (cm) e salinidade foram obtidos através de medições feitas na localidade do Porto Rei, distante 500 m do local de estudo. Esses registros fazem parte do Banco de Dados do projeto “Estuário da Lagoa dos Patos e Área Costeira Adjacente”, PELD – Programas Ecológicos de Longa Duração, Site 8 – FURG (www.peld.furg.br).

Valores diários de vazão fluvial ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) dos principais tributários da Lagoa dos Patos, os Rios Jacuí, Taquari e Camaquã (Vaz *et al.*, 2006), cujas séries estão disponibilizadas até julho-2006, foram obtidos junto à Agência Nacional das Águas (ANA – www.hidroweb.ana.gov.br), e utilizados para representar a descarga sazonal de água doce através da soma das vazões desses três tributários.

A ocorrência de possíveis eventos ENSO – *El Niño Southern Oscillation* – durante o período de estudo foi investigada através do Índice SOI - *Southern Oscillation Index* – o qual indica sua ocorrência, amplitude e intensidade. Este índice é definido como a diferença entre os desvios da pressão atmosférica normal em duas estações localizadas na região tropical do Oceano Pacífico Leste e Oeste (Kousky e Cavalcanti, 1984), e indica valores negativos e positivos relacionados a eventos *El Niño* e *La Niña*, respectivamente. Os valores de SOI foram avaliados junto ao Banco de Dados da Australian Government Bureau of Meteorology (BOM, 2011).

Amostragens semestrais da macrofauna bentônica foram executadas durante os meses de agosto (representando o inverno) e março (representando o verão) entre o período de agosto-1996 e março-2008. Em cada amostragem biológica foram tomadas 12 réplicas com um tubo extrator de PVC de 10 cm de diâmetro, enterrado até a

profundidade de 20 cm no interior do sedimento, as quais foram peneiradas no próprio campo com malha de 0,3 mm de abertura e fixadas com formaldeído 4%. Em laboratório, com o auxílio de um microscópio estereoscópico, foi verificada a possível presença de vegetação submersa (e.g. *Ruppia maritima* e *Ulva spp.*), os macroinvertebrados foram separados do sedimento, identificados, quantificados e conservados em álcool 70%.

Para os dados diários de salinidade, nível da coluna de água e vazão foram calculadas médias mensais, às quais foram aplicados testes de Análise de Variância (ANOVA uma via, $p = 0,05$) com o objetivo de avaliar possíveis diferenças significativas entre as estações do ano, e o teste *a posteriori* de Tukey para identificar os períodos com diferenças significativas. Optou-se pela utilização das médias mensais e criação de uma série temporal composta por três réplicas por estação do ano, uma vez que a utilização dos dados diários brutos prejudicaria a visualização das tendências sazonais e interanuais, principalmente da salinidade que apresenta acentuadas flutuações diárias nessa região estuarina. Os dados mensais desses quatro parâmetros foram transformados em $\log(x+1)$ para responder aos pré-requisitos das análises paramétricas, normalidade e homogeneidade das variâncias.

A distribuição dos pares de dados para as médias mensais de vazão, *nível da água* e salinidade foram avaliadas, às quais aplicou-se o teste de regressão através da soma dos quadrados, que melhor se ajustasse às nuvens de pontos. Aos pares de dados desses parâmetros também foi aplicado o teste de Correlação de Spearman para avaliar possíveis correlações significativas ($p = 0,05$).

Com o objetivo de identificar possíveis correlações significativas entre os dados biológicos e ambientais, foi aplicado o teste de Correlação de Spearman ($p = 0,05$) entre

os pares de dados de densidades totais da macrofauna, de *Kalliapseudes schubarti*, *Heleobia australis*, *Erodona mactroides* e Peracarida, comparados aos parâmetros ambientais vazão, *nível da água* e salinidade. Foi necessária a utilização desse teste não-paramétrico (em detrimento da Correlação de Pearson) em virtude da impossibilidade de homogeneização das variâncias mesmo após transformação dos dados através do $(x+1)$, $(\text{Raiz}(x))$, $\text{Raiz}(x) + \text{Raiz}(x + 1)$, entre outras.

Dentre as técnicas multivariadas, utilizou-se a Análise de Ordenação (MDS – *Multi Dimensional Scaling*) e Cluster. Foram somadas as densidades das três réplicas que representam os quatro pontos amostrais, com as quais foi gerada uma matriz de similaridade através do Índice de Bray-Curtis, com os dados transformados em $\log(x+1)$. Diferenças na estrutura das associações macrofaunais foram testadas entre as somas das amostras dos períodos para os fatores Vegetado X Não Vegetado, *El Niño* X Sem *El Niño*, Inverno X Verão, através da Análise ANOSIM ($p = 0,05$). Quando apontadas diferenças significativas, as espécies que contribuíram para a dissimilaridade entre os fatores foram determinadas através da Análise de Porcentagem de Similaridade (SIMPER). Para remover quaisquer efeitos impróprios das espécies raras nessas análises, espécies que ocorreram em abundâncias menores que 5% foram excluídas das análises.

RESULTADOS

Parâmetros ambientais

A temperatura da água apresentou flutuações sazonais características de regiões subtropicais, com médias mais elevadas no verão (maior temperatura média mensal 26,5°C em janeiro-2007), baixas no inverno (menor temperatura média mensal em 12,0°C em julho-2000) e intermediárias durante as primaveras e outonos. Nessa série temporal de 12 anos as maiores temperaturas médias de verão foram registradas, coincidentemente, nos últimos três anos de estudo: 26,2°C em 2007, 25,9°C em 2006 e 25,8°C no verão de 2008. O inverno do ano de 2006, por sua vez, também apresentou a maior temperatura média desta estação durante todo o período, com 17,21°C.

As médias mensais de vazão apresentaram diferenças significativas entre as estações do ano durante o período de estudo (Tab. 1, Fig. 1a). Os padrões sazonais de vazão fluvial mostram que, em geral, os maiores fluxos ocorrem durante inverno e primavera, enquanto que os menores são observados no verão e outono. A média decadal de vazão no período 1996-2006 foi 1.361 m³.s⁻¹, sendo que os anos 1997-98 (2.407 m³.s⁻¹) e 2002-03 (2.581 m³.s⁻¹) excedem pelo menos duas vezes essa média, e de quatro a cinco vezes anos com baixos fluxos de vazão como 1996 (597 m³.s⁻¹), devido à influência dos dois fenômenos *El Niño* observados no período. As maiores descargas médias mensais foram de 5.773 m³.s⁻¹ em novembro-1997, durante o período influenciado pelo *El Niño* 1997-98, e 4.664 m³.s⁻¹ em outubro-2002, durante o *El Niño* 2002-03 (Fig. 1a). As médias sazonais desses dois eventos e a sua

persistência temporal, ocasionando vários meses com alta descarga e ingresso de água doce na bacia de drenagem, estão relacionadas a eventos *El Niño*, e contrastam com períodos de baixa vazão de *La Niña*, como observado em janeiro-1999 ($84 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) e abril-2006 ($209 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Os perfis de salinidade observados durante os doze anos mostram acentuadas variações em seus valores médios mensais e dois marcados períodos com predomínio de baixas salinidades, o primeiro entre agosto-1997 e setembro-1998, e novamente entre julho-2002 e março-2003 (Fig. 1b), como consequências dos fenômenos *El Niño*. As menores médias mensais foram 0,86 em fevereiro-1998, zero nos meses de junho-2002 e dezembro-2002, e as maiores foram 30,93 em fevereiro-2005 e 28,77 em abril-2008. A partir de 2003 são frequentes os valores médios mensais acima de 15. Diferenças significativas ocorreram devido a essa variabilidade (Tab 1), acentuada pelos intensos períodos de descarga e prolongados predomínios de água marinha, principalmente nos verões sem influência dos fenômenos *El Niño*.

A profundidade da coluna de água acompanhou marcadamente os períodos de alta e baixa vazão da laguna (Fig. 1c). As diferenças significativas (Tab. 1) apontam para elevados valores de *nível da água* durante os *El Niño* 1997-98 e 2002-03, diminuição durante 1999-2000 e predominância de profundidades menores de 40 cm após 2003. Os maiores valores médios mensais foram de 79,3 cm em novembro-1997 e 86,5 em junho-2002, enquanto que os menores foram 22,58 cm em dezembro-2006 e 21,55 cm em fevereiro-2008.

A regressão linear apresentou a melhor adequação para a nuvem de dispersão de dados às médias mensais de nível da água e vazão (Fig. 2a), com um $R^2 = 0,681$, e a reta de regressão explicada por $y = 0,008x + 30,945$. A relação entre as plotagens de

médias mensais de salinidade e vazão foi melhor explicada pela regressão logarítmica $y = -6,814 \ln(x) + 58,982$, com $R^2 = 0,55$ (Fig. 2b). Os mínimos quadrados entre os pontos das médias mensais de salinidade e nível da água foram, por sua vez, melhor adequados pela regressão logarítmica $y = -16,401 \ln(x) + 71,893$, $R^2 = 0,424$ (Fig. 2c). Os menores valores de R^2 nas relações compostas pela salinidade foram influenciados pela alta variabilidade desse fator, que apresentou acentuadas oscilações sazonais e mensais interferindo assim na dispersão danuvem de pontos no gráfico de regressão (Fig. 2b,c).

As análises de Correlação de Spearman mostraram haver correlações positivas entre vazão X nível da água (0,612), e negativas entre vazão X salinidade (-0,746) e salinidade X nível (-0,724). Todas as correlações são significativas (Tab. 2).

Macrofauna

Foram identificados organismos do macrozoobentos dos Filos Nemertinea, Annelida (Classes Polychaeta e Hirudinea), Mollusca (Classes Gastropoda e Bivalvia) e Crustacea (Ordens Cumacea, Tanaidacea, Isopoda e Amphipoda), totalizando 21 espécies (Tab. 3). As maiores densidades do macrozoobentos ocorreram nos períodos de verão-1999 ($55.987 \pm 20.832 \text{ ind.m}^{-2}$), verão-2008 ($33.805 \pm 26.181 \text{ ind.m}^{-2}$) e verão-1997 ($29.670 \pm 7.182 \text{ ind.m}^{-2}$), enquanto que as menores durante o verão-2005 ($3.312 \pm 1.563 \text{ ind.m}^{-2}$), inverno-2004 ($5.743 \pm 1.990 \text{ ind.m}^{-2}$) e inverno-1998 ($4.915 \pm 1.639 \text{ ind.m}^{-2}$). Tanto as densidades quanto o número de espécies foram, no geral, mais elevados nos períodos de verão em relação aos invernos (Fig. 3a), como no caso das densidades de *Kalliapseudes schubarti* e *Heleobia australis* (Fig. 3b,c) Entretanto, períodos de inverno como o de 1999 ($25.233 \pm 5.272 \text{ ind.m}^{-2}$) e 2003 (27.059 ± 10.127

ind.m⁻²) também apresentaram altas densidades da macrofauna, coincidentes com a presença de vegetação aquática submersa e recrutamentos tardios de *E. mactroides* pós *El Niño* (Anexo I), respectivamente.

Os períodos nos quais foi observada a presença de fundos vegetados foram os que apresentaram as maiores densidades do macrozoobentos (Fig. 3a), como nos casos do verão-1997, verão-1999, verão-2000 e verão-2008, todos com registros de *R. maritima* e algas filamentosas do gênero *Ulva* spp. As espécies mais abundantes alcançaram elevadas densidades nesses fundos vegetados, como no caso do gastrópodo epifaunal *H. australis* (34.872 ± 25.079 ind.m⁻², Verão-1999), do tanaidáceo *K. schubarti* (15.191 ± 6.252 ind.m⁻², Verão-1997), e de crustáceos peracáridos representados pelo isópodo *Uromunna peterseni* e anfípodos (7.452 ± 5.082 ind.m⁻², Verão-1999), (Fig. 3b,c,d,e).

Fundos lamosos desprovidos de vegetação, por sua vez, apresentaram geralmente densidades menores de 20.000 ind.m⁻², com exceção do verão e inverno-2003 (26.613 ± 7.721 ind.m⁻², 27.059 ± 10.127 ind.m⁻²), verão-2006 (21.677 ± 7.317 ind.m⁻²) e verão-2007 (23.428 ± 16.100 ind.m⁻²), sempre influenciadas pelas densidades de *K. schubarti* e *H. australis*, e do verão-2001 (21.634 ± 7.059 ind.m⁻²) influenciado pelos Peracaridos (Fig. 3a,b,c). Uma exceção ocorreu durante o inverno-2003, único inverno desprovido de vegetação em que as densidades ultrapassaram os 20.000 ind.m⁻² em função de intensos recrutamentos e desenvolvimento dos juvenis de *E. mactroides* durante as diminuições das vazantes do *El Niño* 2002-03, quando a espécie alcançou 12.409 ± 4.774 ind.m⁻²(Fig. 3d).

Durante o presente acompanhamento de longo prazo foram verificados dois fenômenos *El Niño*, em 1997-98 e 2002-03, os quais tiveram sobreposição temporal

com as amostragens biológicas de Inverno-1997, Verão-2008 e Inverno-1998 no primeiro evento, além do Inverno-2002 e Verão-2003 durante o segundo. A influência dos dois eventos torna-se evidente quando avaliados os gráficos de densidade da macrofauna (Fig. 3a) e das principais espécies (Fig. 3b,c,d,e), onde se observam densidades sempre inferiores a 10.000 ind.m⁻², mesmo durante os períodos de verão. Como já mencionado para o inverno-2003, o verão desse ano também apresentou elevadas densidades de *E. mactroides* (15.541 ± 5.321 ind.m⁻²), como resultado dos recrutamentos no período terminal de *El Niño*, o que é responsável pelas elevadas densidades do total do macrozoobentos (26.613 ± 7.721 ind.m⁻²) nessa sazão, mesmo com densidades inferiores a 5.000 ind.m⁻² de *K. schubarti*, *H. australis*, peracáridos e demais espécies.

A análise de ordenamento (nMDS) evidenciou, através da composição e abundância do macrozoobentos, agrupamentos significativos formados entre os fatores Inverno e Verão (ANOSIM: p = 0,045; R = 0,026) (Fig. 4a). Mesmo que significativo, tanto o nível de significância (próximo ao limite p = 0,05) quanto o R global (que indica a relação de semelhança entre as somas das amostras de determinado fator plotadas no ordenamento) mostram que os verões e invernos aqui avaliados possuem algumas propriedades biológicas em comum. Através da análise SIMPER se observa que as espécies que mais contribuíram para a distinção entre esses dois fatores foram *E. mactroides* (14,57 %), *H. australis* (13,9 %), *U. peterseni* (10,64 %) e *Laeonereis acuta* (10 %). Através do diagrama de ordenamento nMDS também é possível verificar, através do método “*bubble plots*” (Fig. 5a,b,c), a associação das maiores abundâncias das três principais espécies tanto aos verões quanto aos invernos. Neste método se verifica a relação das densidades elevadas de *E. mactroides* tanto ao verão quanto ao

inverno (como visto nos gráficos de densidade, onde os maiores valores ocorreram no verão-2003 e inverno-2003), e menores densidades sempre relacionadas aos verões. O gastrópode *H. australis* e isopodo *U. peterseni* ocorrem em maiores abundâncias no verão e menores no inverno.

A avaliação dos períodos de *El Niño* e Sem *El Niño* através do nMDS, por sua vez, mostra uma distinção mais evidente e também significativa (ANOSIM: $p = 0,017$; $R = 0,135$) do macrozoobentos entre esses dois fatores (Fig. 4b). A análise SIMPER evidenciou a influência de *E. mactroides* (16,22 %), *H. australis* (14,54 %), *L. acuta* (10,23 %) e *U. peterseni* (9,9%) como as mais importantes na distinção da macrofauna entre esses fatores. A análise “*bubble plots*” sobre o escalonamento multidimensional (Fig. 6a,b,c) evidencia, novamente, a associação das densidades de *E. mactroides* a períodos influenciados (verão-2003) e não-influenciados (inverno-2003) pelo *El Niño*, assim como menores densidades associadas a períodos sem o fenômeno. As maiores abundâncias de *H. australis* e *L. acuta* estiveram quase que em sua totalidade relacionados a períodos sem influência dos fenômenos *El Niño* identificados durante o estudo (Tab. 3).

Da mesma forma, o nMDS para os fatores Vegetado e Não Vegetado mostra uma clara distinção entre o macrozoobentos a eles associado, com diferenças significativas (ANOSIM: $p = 0,015$; $R = 0,121$) (Fig. 4c). O SIMPER aponta as espécies *H. australis* (26,42 %), *K. schubarti* (14,8 %) e *E. mactroides* (10,56 %) como as que mais contribuiram para a distinção entre esses dois habitats. Através dos “*bubble plots*” observa-se a associação de *H. australis* tanto a habitats vegetados (1999, 2000 e 2008,) quanto a habitats não-vegetados (2005, 2007), entretanto com diferenças em suas densidades entre esses habitats e anos. Para *K. schubarti* essa análise sugere a

associação entre fundos vegetados e maiores densidades do tanaidáceo, e suas menores densidades a fundos não-vegetados. Diferente das duas espécies anteriores, nessa estratégia de amostragens semestrais o bivalve *E. mactroides* esteve sempre associado a períodos com fundos não-vegetados (Fig. 7a,b,c).

A análise de classificação (Fig. 8) sugere a formação de quatro grandes grupos, a um nível de similaridade de 67 %. O Grupo 1, formado exclusivamente pelas amostras do período de Verão-2001 (período não vegetado), possui como principais propriedades que o distinguem dos demais as maiores densidades de *Kupellonura sp.* de todo período de estudo. Além disso, também apresenta baixas densidades de *K. schubarti*, *H. australis* e *E. mactroides* (Tab. 3), três importantes componentes do macrozoobentos estuarino. O Grupo 2 é composto principalmente pelas amostras do verão-2005 (período não-vegetado), quando ocorreram as mais baixas densidades da macrofauna durante os 12 anos de estudo, além do menor número de espécies (somente 8). O Grupo 3 é formado pela maioria das amostras, e como principal característica que o distingue dos demais grupos está a presença de todas as amostras de períodos vegetados, além daquelas de períodos sem vegetação com elevadas densidades. Por sua vez, o Grupo 4 é formado por amostras de períodos não-vegetados de verão caracterizados principalmente pelas baixas densidades das principais espécies da macrofauna (exceto as altas densidades de *E. mactroides*), e pouca contribuição de isópodos e anfípodos.

Relação entre macrofauna e parâmetros ambientais

Através da análise de Correlação de Spearman não foram observadas correlações significativas entre as densidades do total da macrofauna, de *K. schubarti*, *E. mactroides*, Peracarida e os parâmetros ambientais Vazão, Salinidade e Nível da

coluna de água. Entretanto, as densidade de *H. australis* apresentaram correlações negativas com o Nível da coluna de água ($R = - 0,5$) e positivas com a salinidade ($R = 0,42$), todas significativas. Sua relação com os dados de Vazão não apresentaram significância estatística (Tab. 4).

DISCUSSÃO

Os trabalhos pioneiros sobre a macrofauna bentônica do estuário da Lagoa dos Patos datam da década de 1970, quando iniciaram as investigações sobre variabilidade espacial (Bemvenuti *et al.*, 1978; Capítoli *et al.*, 1978; Bemvenuti & Netto, 1998, Pinotti *et al.*, 2011), temporal (Bemvenuti, 1987b; Bemvenuti *et al.*, 1992; Rosa & Bemvenuti, 2006; Colling *et al.*, 2007), interações biológicas (Bemvenuti, 1987b; Bemvenuti, 1988; Bemvenuti, 1994) e influência antrópica (Bemvenuti *et al.*, 2003) sobre o zoobentos nas comunidades de fundos moles. Nessa região estuarina subtropical, as maiores densidades que resultam dos recrutamentos de primavera foram geralmente encontradas de dezembro a março, associadas às condições de maior salinidade no verão (Bemvenuti, 1987a; Rosa & Bemvenuti, 2006) ou pós-verão quando influenciados pelo predomínio de condições límnicas de *El Niño* (Colling *et al.*, 2007; Bemvenuti & Colling, 2010).

As séries de dados de longo prazo aqui avaliadas permitiram identificar como variações durante anos subsequentes e influências das variáveis ambientais da coluna de água e fatores estruturadores de habitat influenciam o macrozoobentos estuarino da Lagoa dos Patos. A avaliação dessas séries de dados que envolve a integração de ciclos biológicos anuais, tornou possível a identificação de como as associações macrofaunais estão sujeitas a variações de ampla escala temporal, o que auxilia na compreensão das respostas das espécies através de suas propriedades de resistência e resiliência. Os resultados mostram que a variabilidade sazonal e interanual da macrofauna bentônica, característica de ambientes subtropicais, foi influenciada pela

presença de fundos vegetados e dos parâmetros ambientais da coluna de água em diferentes cenários condicionados pela hidrologia estuarina, destacadamente através dos fenômenos ENSO-*El Niño* 1997-98 e 2002-03.

No estuário da Lagoa dos Patos as flutuações sazonais na biomassa vegetal de macrófitas (fanerógamas e macroalgas) estão relacionadas às condições de salinidade, temperatura e ação de ondas que podem perturbar o substrato (Seeliger, 1997). Durante a primavera e verão em períodos de baixa descarga fluvial, as condições ótimas de temperatura, salinidade, nível da água, e maior estabilidade do substrato favorecem a germinação e crescimento das plântulas (Copertino & Seeliger, 2010). Por outro lado, a ausência de pradarias por períodos mais prolongados é consequência do aumento da descarga fluvial no estuário, principalmente devido aos fatores salinidade, transparência e *nível da água* relacionados a fenômenos *El Niño* (Copertino & Seeliger, 2010).

A presença de fundos compostos por macrófitas exerce influência no macrozoobentos através da (i) maior estabilidade e deposição de sedimentos; (ii) incremento de microhabitats; (iii) proteção contra predadores da macrofauna; (iv) disponibilidade de estruturas físicas mais complexas no substrato; (v) e aumento na quantidade de alimento principalmente através da matéria orgânica disponível (Heck, 1995; Bostrom & Bonsdorff, 1997; Parker *et al.* 2001; Sfriso *et al.*, 2001; Schmidt & Schiebling, 2007; Vázquez-Luis *et al.*, 2009). As maiores densidades do macrozoobentos nos períodos vegetados aqui encontradas evidenciam a importância desse papel estruturador de habitat nos planos rasos, em relação às épocas desprovidas de macrófitas.

As menores densidades e número de espécies da macrofauna que ocorrem nos períodos de inverno na região estuarina da Lagoa dos Patos, geralmente são consequência da limitação na atividade reprodutiva dos organismos devido às baixas temperaturas (Bemvenuti, 1987b; Rosa & Bemvenuti, 2007). Entretanto, alguns peracáridos epifaunais podem reproduzir com sucesso durante o inverno no interior de bancos de macroalgas (Bemvenuti, 1987b). Essa estratégia influenciou, por exemplo, as altas densidades durante o inverno de 1999, quando os anfípodos foram abundantes associados a ambientes vegetados. Os peracáridos, dos quais se destacaram *Uromunna peterseni*, *Diastylis simpterigiae*, *Kupellonura sp.* e Amphipoda estiveram geralmente associados à presença de macrófitas. Sua elevada abundância durante 1999, por exemplo, provavelmente foi responsável pela permanência dos organismos nos dois anos seguintes (2000 e 2001), época sem vegetação nos planos lamosos e elevadas salinidades.

O grupo Amphipoda é um dos *taxa* de invertebrados mais importantes associados a habitats vegetados, e possuem importante papel na estrutura trófica de habitats rasos (Sanchez-Jerez *et al.*, 1999; Stål *et al.*, 2007). Enquanto a abundância da epifauna é positivamente influenciada pela heterogeneidade do habitat proporcionado principalmente pela vegetação, este é um dos grupos que responde mais claramente a essas características do substrato (Boström *et al.*, 2006). Fundos vegetados por macrófitas do gênero *Caulerpa sp.*, *Cymodocea sp.* e *Posidonia sp.* apresentaram densidades significativamente maiores de anfípodes em relação a fundos não vegetados em uma região costeira do Mediterrâneo (Vázquez-Luis *et al.*, 2009). Em uma região estuarina da costa do Uruguai (Laguna Rocha) o anfípodo *Hyalella curvispina* apresentou densidades significativamente maiores nos fundos

vegetados da laguna, em relação aos não-vegetados (Arocena, 2007). O mesmo foi observado através do acompanhamento de um verão e inverno sucessivos no estuário da Lagoa dos Patos, quando as densidades da macrofauna foram significativamente maiores em fundos vegetados por *Ruppia maritima* e *Ulva sp.* em relação a fundos não-vegetados, com o isópodo *U. peterseni* e o anfípodo *Mellita mangrovi* apresentando essa diferença de forma destacada (Rosa & Bemvenuti, 2007). Em uma comparação da estrutura macrofaunal entre duas situações de décadas distintas (comparação entre 1981-82 e 1993-94) nessa mesma região estuarina, as elevadas densidades de anfípodes em fundos vegetados foi uma das características mais importantes da comunidade (Bemvenuti & Colling, 2010).

Nos anos subsequentes influenciados pelo *El Niño*/2002 e pelos baixos níveis da coluna de água devido à estiagem em 2004-2005 (Bemvenuti & Colling, 2010), as amostragens evidenciaram a alternância de densidades maiores de 2.000 ind.m⁻² e a ausência de peracáridos. Essa variabilidade entre altas densidades associadas à vegetação, a permanência dos peracáridos em sazões após seu desaparecimento e a irregularidade temporal entre condições límnicas e polihalinas sugerem ser os fatores responsáveis à alta variabilidade temporal desses organismos que habitam a superfície do substrato.

Apesar da associação existente entre fundos de macrófitas e presença de peracáridos, altas densidades deste grupo de organismos também foram observadas durante períodos sem vegetação, como no caso dos invernos e verões de 2001, verão-2002 e inverno-2003. A possível ocorrência de pradarias em áreas rasas do estuário, que não a área de estudo, pode influenciar para a manutenção de estoques destes crustáceos. Por conseqüência, eventos de dispersão que podem ocorrer em curtos

períodos de tempo principalmente para organismos epifaunais (ver Capítulo 1) ou associados a algas de deriva (Souza, 2001), podem ter sido os responsáveis por sua distribuição, nestes períodos, de peracáridos na enseada rasa próximo à Ilha das Pombas.

Uma das principais espécies do macrozoobentos que ocupa o epistrato, o gastrópodo *Heleobia australis*, também ocorreu em elevadas densidades associado à vegetação principalmente nas pradarias dos anos de 1999 e 2008. Este molusco caracteriza-se pelos seus agrupamentos de dimensões variáveis e pelas marcadas flutuações espaço-temporais da densidade (Lana, 1986; Bemvenuti *et al.*, 1992 Bemvenuti, 1997). A severa predação a que são submetidos os Hydrobiidae (Reise, 1985) principalmente em períodos de verão, sua preferência por fundos vegetados (Drake & Arias, 1995; Lillebø *et al.*, 1999) e sedimentos com elevados teores de finos são fatores que influenciam sua ocorrência e abundância.

A presença de vegetação submersa pode ter influenciado positivamente *H. australis* através de uma maior disponibilidade alimentar, espécie que utiliza em sua dieta tanto biofilme de algas epífitas presentes sobre as macrófitas, quanto matéria orgânica depositada. Associada a essa plasticidade em sua dieta, o gastrópodo possui uma ampla distribuição batimétrica na região estuarina da Lagoa dos Patos, ocorrendo desde planos intermareais até os canais profundos (Bemvenuti, 1997a). Elevadas densidades desse gastrópodo foram registradas nas regiões infralitorais profundas (até 18 m) onde é caracterizada como a espécie mais abundante (Bemvenuti *et al.*, 1978; Pinotti, 2010; Pinotti *et al.*, 2011), com densidades podendo superar 40.000 ind.m⁻². Nesses habitats há um predomínio de espécies comedoras de depósito, onde *H.*

australis encontra um amplo nicho disponível devido à ausência de espécies que possam competir em abundância (Bemvenuti, 1997).

A salinidade é uma reconhecida variável chave que influencia na distribuição de Hydrobiidae (Fenchel, 1975; Cherril & James, 1985; Hylleberg, 1986; Chomenko & Schäfer, 1984; De Francesco & Isla, 2003). Experimentos evidenciaram que, no caso de *Hydrobia ulvae* a espécie é influenciada por mudanças na pressão osmótica da água detectada através de órgãos sensoriais localizados nos tentáculos (Blandford & Little (1983). Em regiões rasas de Mar Chiquita (Argentina), por exemplo, as drásticas variações de salinidade são um dos fatores ambientais que afetam a reprodução e crescimento de *H. australis* (De Francesco & Isla, 2004).

As diminuições em densidade observadas em alguns períodos entre 1996 e 2008 podem ser consequência tanto da ausência do habitat proporcionado pelas macrófitas, quanto pelo extenso período com condições de baixa salinidade ocorridas durante o *El Niño*/1997-98 e 2002-2003. Após a influência dos dois eventos, as populações do gastrópodo mostraram uma recuperação por processos distintos: no pós-*El Niño*/1998 estiveram associadas às altas salinidades e fundos vegetados; e no pós-*El Niño*/2002 com recuperação mais demorada relacionada a altas salinidades e ausência de fanerógamas submersas. Esses resultados sugerem haver um importante papel facilitador proporcionado pelos fundos vegetados, no qual a espécie beneficia-se de condições favoráveis, mas não uma dependência ao seu estabelecimento e persistência temporal, uma vez que sua presença também foi registrada durante períodos em que a vegetação esteve ausente.

A atividade migratória através da utilização da tensão superficial da água, característica dos Hydrobiidae (Bemvenuti, 1997; Norkko *et al.*, 2000; Orvain &

Sauriau, 2002) e o desaparecimento da vegetação no período de 2001 a 2005, podem ter influenciado para as reduções em sua abundância na enseada do Saco do Arraial neste período. Sua característica migração quando submetidos a baixas salinidades por prolongados períodos (Chomenko & Schaffer, 1984; Bemvenuti *et al.*, 1992), que em escala local pode ocasionar processos de deslocamento das enseadas a locais mais favoráveis, por outro lado também pode ser o responsável pelo processo inverso de recolonização desses locais rasos após os prolongados cenários de condições límnicas, e durante florações de pradarias de macrófitas. Essa capacidade de recolonização da espécie após perturbações é conhecida, quando o gastrópodo mostra-se a espécie pioneira (Netto & Lana, 1994), comportamento oportunista que habilita o gastrópodo a ocupar novas áreas, nichos ou evitar condições ambientais adversas (Lana, 1986; Bemvenuti *et al.*, 1992). Sua habilidade na ocupação de novos habitats que ocorre através da utilização da tensão superficial da água (Chomenko & Schafer, 1984), é um processo de comum visualização nas enseadas rasas do estuário. Durante períodos de senescência da vegetação submersa nas enseadas rasas, por exemplo, é recorrente o registro de sua atividade de flutuação, normalmente em regiões onde o substrato encontra-se com visíveis condições de anoxia devido à decomposição de macrófitas.

No presente acompanhamento de 12 anos evidências da relação de *H. australis* com as características do habitat auxiliam na compreensão de sua dinâmica temporal. Enquanto evidências de que os prolongados cenários de condições límnicas determinados pelos fenômenos ENSO-*El Niño* influenciem negativamente em sua ocorrência nas enseadas rasas, o papel das macrófitas na estruturação dos habitats rasos atua de forma positiva e sinérgica às elevadas salinidades para sua ocorrência.

Além desses fatores, é importante considerar os processos de elevada hidrodinâmica, consequente dinâmica do substrato e maior erodibilidade durante eventos de forte vazão (Colling, 2007) como possíveis atuantes no transporte ativo de *H. australis* (espécie epifaunal) das enseadas rasas, assim como sugerido para juvenis de *E. mactroides* durante o fenômeno *El Niño*/2002-03 (Anexo II).

A ausência em determinados períodos, densidades geralmente inferiores a 4.000 ind.m⁻² e um recrutamento ocasionando elevadas densidades caracterizou a dinâmica temporal de *E. mactroides* durante o estudo. Essa espécie de hábitos sub-superficiais possui ampla distribuição espacial na Lagoa dos Patos, a qual ocorre em todo corpo lagunar e na região estuarina (Bemvenuti & Netto, 1998). Os bancos formados pelo bivalve na Lagoa dos Patos ocupam grandes áreas de sua porção norte, onde foram encontradas todas as classes de tamanho e grandes densidades de indivíduos adultos, enquanto na porção sul apenas exemplares juvenis (< de 1 ano de vida) (Bemvenuti *et al.*, 1978; Capítoli *et al.*, 1978). Os maiores valores médios de biomassa foram encontrados na parte oligohalina da laguna, devido ao maior tamanho dos exemplares, enquanto que as maiores densidades foram registradas nas enseadas estuarinas da sua porção sul. As densidades diminuem sensivelmente em direção a desembocadura da laguna, onde os recrutamentos são considerados potencialmente infrutíferos (Bemvenuti *et al.*, 1978).

Larvas provenientes dos estoques reprodutivos de adultos do norte do corpo lagunar, acompanhando as vazantes no período primavera-verão, originam os recrutamentos encontrados em enseadas protegidas da região estuarina (Bemvenuti & Netto, 1998). O sucesso dos recrutamentos de *E. mactroides* nas enseadas da porção sul do estuário nos períodos de primavera e início de verão (Bemvenuti *et al.*, 1978;

Bemvenuti *et al.*, 1992), está intimamente ligado às condições hidrológicas, que se tornam favoráveis nos períodos de vazante (Colling *et al.*, 2007). Devido à natureza variável dos fluxos de maior vazante através dos anos, é aparente a relação entre sua intensidade, período de ocorrência/término e concomitância aos eventos reprodutivos na região pré-límnica da laguna para que haja o sucesso dos recrutamentos nas enseadas rasas da porção sul do estuário. Dessa forma, a conjunção dessa complexidade de fatores, claramente imprevisíveis, parece conduzir a possível presença desse bivalve nas enseadas rasas, o que justifica sua irregularidade temporal nesses habitats durante os 12 anos aqui avaliados.

As elevadas densidades de *E. mactroides* durante o Verão-2003, Inverno-2003 e Verão-2004 estão relacionadas aos recrutamentos da espécie no pós-*El Niño*/2002-03 e consequente desenvolvimento de suas fases iniciais (Colling *et al.*, 2007). Sua dinâmica temporal a partir desses recrutamentos apresentou três eventos de mortalidade relacionados à deposição de sedimentos finos, e desaparecimento dos indivíduos após o Inverno-2004 (Colling *et al.*, 2011 – Anexo 1), o que exemplifica sua efemeridade e ausência de adultos na porção sul do estuário.

No acompanhamento mensal desenvolvido durante o *El Niño* e pós-*El Niño*-2002-03 (Anexo II), pode-se evidenciar que o início dos recrutamentos do bivalve ocorreu simultaneamente à diminuição das vazantes, sedimentos finos no substrato e aumento da salinidade, durante o fim do Verão-2003. Considerando que os recrutamentos ocorrem geralmente durante a primavera e início de verão, é possível que larvas planctônicas e organismos recém assentados no substrato possam ter sido carregados da região estuarina devido às intensas descargas do Verão-2003.

Pelo fato do presente trabalho ter avaliado a influência de dois fenômenos *El Niño* (1997-98 e 2002-03) sobre a macrofauna estuarina, se estabelece a dúvida de quais características distinguem este dois eventos que, por consequência, ocasionaram intensos recrutamentos de *E. mactroides* no pós-*El Niño*/2002-03, e densidades significativamente menores no pós-*El Niño*/1997-98. A classificação dos eventos ENSO pelas instituições responsáveis pelo monitoramento climático continental e global (INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; NOAA – *National Oceanic and Atmospheric Administration*; ABM – *Australian Bureau of Meteorology*) é elaborada de acordo com fatores como pressão atmosférica e temperatura superficial do mar, classificando os eventos ENSO-*El Niño* de intensidade forte, moderada ou fraca principalmente de acordo com sua intensidade e duração. Através dessa nomenclatura, o *El Niño*/1997-98 foi classificado como “forte”, ao passo que o *El Niño*/2002-03 caracterizou-se como “moderado” (NOAA, 2011), o que traz como reflexo à região estuarina da Lagoa dos Patos maior e menor persistência temporal dos fluxos de vazão, respectivamente. No caso de 1997-98, por exemplo, o cenário ENSO-*El Niño* na região estuarina (fortes vazantes, predomínio de condições límnicas e elevado *nível da água*) persistiu de julho-1997 a agosto-1998, enquanto que o cenário *El Niño*/2002-03 ocorreu entre agosto-2002 a março-2003. Dessa forma, a diminuição dos fluxos no evento *El Niño* 2002-03 ocorrida imediatamente após o verão (março-2003), sugere que os intensos recrutamentos no baixo estuário, nessa época, tenham sido facilitados pela menor persistência temporal dessas vazantes. Soma-se a isto a característica subtropical da laguna, regiões onde os eventos reprodutivos da macrofauna ocorrem principalmente nas sazões primavera e verão (Bemvenuti, 1987b; Quijón & Jaramillo, 1993; Ieno & Bastida, 1998; Munari *et al.*, 2005; Passadore *et al.*, 2005; Rosa & Bemvenuti, 2006).

Sendo assim, em futuros eventos a tentativa de avaliar a correlação entre fenômenos ENSO-*El Niño* e recrutamentos nas enseadas rasas do baixo estuário exige, aparentemente, a avaliação dos períodos reprodutivos, ocorrência de larvas zooplancônicas do bivalve e características hidrológicas do alto e baixo estuário.

Pouco dependente de fundos vegetados para sua ocorrência e persistência, não foram evidenciadas relações entre pradarias de macrófitas e elevadas densidades de *E. mactroides*, mesmo que tenham ocorrido associadas nas pradarias nos verões de 1997, 1999, 2000 e 2008.

O tanaidáceo *K. schubarti*, mesmo tendo apresentado suas maiores densidades em períodos com presença de macrófitas, não habita este ambiente criado pela vegetação sobre o substrato, uma vez que é um organismo infaunal e constrói tubos em forma de U de até 15 cm no interior do substrato (Bemvenuti, 1997). Uma das espécies mais abundantes e recorrentes na região estuarina (Bemvenuti *et al.*, 1978; Bemvenuti, 1987b; Rosa & Bemvenuti, 1996), ocorre em fundos moles compostos por areia fina, com proporções de silte e argila (Leite, 1995; Rosa-Filho & Bemvenuti, 1998b), com ou sem vegetação.

A correlação entre épocas com fundos de macrófitas e altas densidades do tanaidáceo ocorre, provavelmente, devido às elevadas salinidades em que ambos se beneficiam na região estuarina. *K. schubarti* ocorre em maiores densidades durante os períodos de verão, coincidente com os registros de salinidade e temperatura mais elevados em comparação com o encontrado no inverno, devido aos seus recrutamentos no período estival (Bemvenuti, 1987b; Rosa & Bemvenuti, 2006; Leite *et al.*, 2003). Tanto juvenis quanto fêmeas ovadas foram observadas em períodos de primavera, verão e início de outono na região estuarina da Lagoa dos Patos, onde

foram identificadas seis coortes anuais (Fonseca & D’Incao, 2003). Essa espécie mostra um comportamento similar às espécies r-estrategistas, com alta resiliência e expressivos recrutamentos devido à sua intensa atividade reprodutiva em diferentes coortes anuais, e a proteção à desova no marsúpio determinam expressivos recrutamentos, apesar de ser um peracárido com marsúpio e desenvolverem cuidado parental, uma característica de organismos k-estrategistas. Este comportamento aliado ao refúgio proporcionado no interior do sedimento e a alta tolerância da espécie às variações de salinidade (Rosa-Filho & Bemvenuti, 1998a) refletem-se na manutenção das densidades e persistência temporal nas enseadas estuarinas da Lagoa dos Patos, mesmo sob situações de elevada intensidade de predação e instabilidade (Bemvenuti, 1987; Angonesi, 2005).

Entretanto, prolongados períodos com condições límnicas afetam a persistência da espécie ocasionando mortalidades e comprometimento do sucesso reprodutivo (Rosa, 2003; Bemvenuti & Colling, 2010). Os recrutamentos tardios que ocorreram no fim do verão sob influência do *El Niño* 2002-03 não foram suficientes para manter estoques populacionais que garantissem intensos recrutamentos da espécie nos verões seguintes, trazendo como consequência densidades inferiores a 6.000 ind.m⁻² até o verão de 2006 (três anos após), evidenciando assim o efeito de densodependência. Sua baixa tolerância à água doce (Cap. 2) e a prolongados períodos de baixas salinidades no ambiente (Colling *et al.*, 2007) evidencia sua situação de estresse, o que compromete seu sucesso reprodutivo.

O acompanhamento interanual do macrozoobentos na região estuarina da Lagoa dos Patos, através da estratégia de amostragens semestrais, evidenciou a possibilidade de identificar e mensurar os efeitos de variáveis ambientais da coluna de

água e estrutura do habitat bentônico sobre as associações faunísticas. Visto que a variabilidade temporal de maior escala aqui avaliado envolve processos com persistência que supera o período abrangido na frequência das amostragens (seis meses) estes tornam possíveis de serem avaliados no tipo de metodologia empregada. Alguns elementos que compõe os ciclos naturais do ambiente estuarino através de ciclos temporais prolongados como eventos ENSO-*El Niño*, suas consequências na hidrologia do estuário, presença de macrófitas na estruturação do habitat e a própria integração de verões e invernos sucessivos, mostram exercer influência nas propriedades da macrofauna. Por sua vez, as espécies apresentaram respostas a essas distintas condições impostas pelo sistema através de seus recrutamentos, eventos de mortalidade, baixa tolerância e principalmente alta capacidade de resiliência.

A principal questão que se refere ao macrozoobentos no estuário da Lagoa dos Patos e sua variabilidade de longo prazo reside na forma como a estrutura de suas associações responde a distintas condições como estrutura de habitat, influência das modificações na hidrologia, a recorrência desses processos, e como se caracterizam as respostas da biota através da abundância de cada espécie, diversidade nos habitats e suas flutuações temporais. Uma vez identificados os fatores que exercem influência nesses organismos, é importante a validação desses processos em maiores escalas temporais, integrando fontes de influência recorrentes podendo assim identificar eventuais flutuações de maior amplitude, ainda não observados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alden, R.W.; Weisberg, S.B.; Ranasinghe, J.A. & Dauer, D.M., 1997. Optimizing temporal sampling strategies for benthic environmental monitoring programs. *Mar. Pol. Bull.*, 34; 913-922.
- Angonesi, L.G., 2005. Dinâmica de curto prazo da macrofauna bentônica em uma enseada estuarina da Lagoa dos Patos: efeitos antrópicos e mecanismos de persistência e resiliência. Tese de Doutorado, FURG, 163 p.
- Arocena, R., 2007. Effects of submerged aquatic vegetation on macrozoobenthos in a coastal lagoon of the Southwestern Atlantic. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 92(1): 33-47.
- Asmus, M.L., 1984. Estrutura da comunidade associada à *Ruppia maritima* no estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. Dissertação de Mestrado, FURG, 154 p.
- Barry, J.P.; Baxter, C.H.; Sagarin, R.D. & Gilman, S.E., 1995. Climate-related, long-term faunal changes in a California rocky intertidal community. *Science*, 267(5198):672-675.
- Bemvenuti, C.E., 1987a. Predation effects on a benthic community in estuarine soft sediments. *Atlântica*, 9(1): 5-32.
- Bemvenuti, C.E., 1987b. Macrofauna bentônica da região estuarial da Lagoa dos Patos, RS – Brasil. *Publ. Acad. Ciên. Est. SP*, 54 (1): 428-459.
- Bemvenuti, C.E., 1988. Impacto da predação sobre *Heteromastus similis* Southern, 1921 e *Nephtys fluviatilis* Monro, 1937 (Annelida Polychaeta), em fundos moles estuarinos. *Atlântica*, 10(1): 85-102.
- Bemvenuti, C.E., 1994. O poliqueta *Nephtys fluviatilis* Monro 1937, como predador da infauna na comunidade de fundos moles. *Atlântica*, 16: 87-98.
- Bemvenuti C.E. 1997. Trophic Structure. In: Seeliger, U.; Odebrecht, C. & Castello, J.P. (eds.) Subtropical Convergence Environments: The Coast & Sea in the Southwestern Atlantic. Springer-Verlag, Heidelberg, New York, p. 70-73.

- Bemvenuti, C.E. & Netto, S.A., 1998. Distribution and seasonal patterns of the sublittoral benthic macrofauna os Patos Lagoon (South Brazil). *Rev. Bras. Biol.* 58(2): 211-221.
- Bemvenuti, C.E. & Colling, L.A., 2010. As comunidades de macroinvertebrados bentônicos. *In: O estuário da Lagoa dos Patos, um século de transformações.* Seeliger, U. & Odebrecht, C. (Eds.). EdFURG, p. 101-114.
- Bemvenuti, C.E; Capítoli, R.R; Gianuca, N.M. 1978. Estudos de ecologia bentônica na região estuarial da Lagoa dos Patos. II. Distribuição quantitativa do macrobentos infralitoral. *Atlântica* 3: 23-32.
- Bemvenuti, C.E.; Cattaneo, S.A. & Netto, S.A., 1992. Características estruturais da macrofauna bentônica em dois pontos da região estuarial da Lagoa dos Patos, RS - Brasil. *Atlântica*, 14: 5-28.
- Bemvenuti, C.E.; Rosa-Filho, J.S. & Elliott, M., 2003. Changes in soft-bottom macrobenthic assemblages after a sulphuric acid spill in the Rio Grande harbor (RS,Brazil). *Braz. J. Biol.*, 63(2):183-194.
- Blandford, P. & Little, C., 1983. Salinity detection by *Hydrobia ulvae* (Pennant) and *Potamopyrgus jenkinsi* Smmith (Gastropoda : Prosobranchia) *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 68;25-38.
- BOM, 2011. Australian Government - Bureau of Meteorology. <http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml>
- Bostrom, C. & Bonsdorff, E., 1997. Community structure and spatial variation of benthic invertebrates associated with *Zostera marina* (L.) beds in the northern Baltic Sea. *J.Sea Res.*, 37: 153-166.
- 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.
- Cherril, A.J. & James, R., 1985. The distribution and habitat preferences of four species of Hydrobiidae in East Anglia. *J. Conchol.*, 32:123-133.
- Chomenko, L.A. & Schafer, A., 1984. Interpretação biogeográfica da distribuição do gênero *Littoridina* (Hydrobiidae) nas lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Amazon.*, 9(1): 127-146.

- Clark, R.A. & Frid, C.L.J., 2000. Long term changes in the North Sea. A two model system? Environment, plankton, fish linkages. ICES CM/M:05.
- Connell, J.H., 1972. Community interactions on marine rocky intertidal shores. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 3:169-192.
- Colling, L.A., 2007. Influência dos fatores abióticos na variabilidade espaço-temporal dos macroinvertebrados bentônicos em uma enseada rasa estuarina da Lagoa dos Patos, RS – Brasil. Dissertação de Mestrado, FURG, 100 p.
- 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. *Iher. Ser. Zool.*, 97:257-263.
- Colling, L.A.; Bemvenuti, C.E. & Pinotti, R.M., 2011. Temporal variability of the bivalve *Erodona mactroides* BOSCH, 1802 during and after the *El Niño* phenomenon (2002/2003) in a subtropical lagoon, southern Brazil. *Acta. Limnol. Bras.*, no prelo.
- Copertino, M.S. & Seeliger, U., 2010. Habitats de *Ruppia maritima* e de macroalgas. In: O estuário da Lagoa dos Patos. Um século de transformações. EdFURG. Pg. 91-98.
- Costa, C. S. B, Seeliger U. 1989. Vertical distribution and biomass allocation of *Ruppia maritima* L. in a southern Brazilian estuary. *Aquat. Bot.* 33:123-129.
- de Angelis, D.L. & Waterhouse, J.C., 1987. Equilibrium and non-equilibrium concepts in ecological models. *Ecol. Monog.* 57: 1-21.
- de Francesco, C.G. & Isla, F.I., 2003. Distribution and abundance of hydrobiid snails along a mixed estuary and a coastal lagoon, Argentina. *Estuaries*, 26:790-797.
- de Francesco, C.G. & Isla, A.I., 2004. The life cycle and growth of *Heleobia australis* (D'Orbigny, 1835) and *H. conexa* (Gaillard, 1974) (Gastropoda: Rissoidae) in Mar Chiquita coastal lagoon (Argentina). *J. Moll. Stud.*, 70:173-178.
- Drake, P. & Arias, A.M., 1995. Distribution and production of three *Hydrobia* species (Gastropoda:Hydrobiidae) in a shallow coastal lagoon in the Bay of Cádiz (Spain). *J. Moll. Stud.*, 61:185-196.
- Drinkwater, K.F. & Frank, K.T., 1994. Effects of river regulation and diversion on marine fish and invertebrates. *Aquat. Conserv. Freshw. Mar. Ecosyst.*, 4:135-151.

- Fenchel, T., 1975. Factors determining the distribution patterns of mud snails (Hydrobiidae). *Oecol.*, 20:1-17.
- Fernandes, E.H.L.; Dyer, K.R.; Moller, O.O. & Niencheski, L.F.H., 2002. The Patos Lagoon hydrodynamics during an *El Niño* event (1998). *Cont. Shelf Res.*, 22:1699-1713.
- Fonseca, D.B. & D’Incao, 2003. Growth and reproductive parameters of *Kalliapseudes schubarti* in the estuarine region of the Lagoa dos Patos (southern Brazil). *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 83:931-935.
- Geraldi, R.M., 1998. Características estruturais da assembléia de invertebrados bentônicos em fundos vegetados e não vegetados numa enseada estuarina da Lagoa dos Patos. Dissertação de Mestrado, FURG, 208 p.
- Gillanders, B.M. and M.J. Kingsford. 2002. Impact of changes in flow of freshwater on estuarine and open coastal habitats and the associated organisms. *Ocean. Mar. Biol. Ann. Rev.* 40: 233-309.
- Grimm, A. M., Barros, V. R.; Doyle, M. E., 2000. Climate variability in Southern South América associated with *El Niño* and *La Niña* events. *Jour. Clim.*, 1, 35-38.
- Heck, K.L., 1995. Composition, abundance, biomass and production of macrofauna in a New England estuary: comparisons among eelgrass meadows and other nursery habitats. *Estuaries*, 18:379-389.
- Hylleberg, J., 1986. Distribution of hydrobiid snails in relation to salinity, with emphasis on shell size and co-existence of the species. *Ophelia*, 4:85-100.
- Ieno, E.N. & Bastida, R.O., 1998. Spatial and temporal patterns in coastal macrobenthos of Samborombon Bay, Argentina: a case study of very low diversity. *Estuaries*, 21:690-699.
- Kennish, M. J., 1986. Ecology of estuaries. Boca Raton. CRC Press, 186 p.
- Kousky, V.E & Cavalcanti, I.F.A., 1984. Eventos Oscilação Sul / *El Niño*. Características, evolução e anomalias de precipitação. *Ciên. Cult.*, 36(11): 1888-1899.
- Kröncke, I.; Zeiss, B. & Rensing, C., 2001. Long-term variability in macrofauna species composition off the island of Norderney (East Frisia, Germany) in relation to changes in climatic and environmental conditions. *Seckenberg. Mar.*, 31(1): 65-82.

- Kröncke, I; Dippner, J.W.; Heyen, H & Zeiss, B., 1998. Long-term changes in macrofaunal communities off Norderney (East Frisia, Germany) in relation to climate variability. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 167: 25-36.
- Lana, P.C., 1986. Macrofauna bêntica de fundos sublitorais não consolidados da Baía de Paranaguá (Paraná). *Nerítica*, 1(3):79-89.
- Leite, F.P.P., 1995. Seasonal and spatial distribution of *Kalliapseudes schubarti* Mañé-Garzón (Tanaidacea, Crustacea) in the Araçá Region, São Sebastião (SP). *Arq. Biol. Tec.*, 38:605-618.
- Leite, F.P.P.; Turra, A & Souza, E.C.F., 2003. Population biology and distribution of the tanaid *Kalliapseudes schubarti* Mañé-Garzón, 1949, in an intertidal flat in southeastern Brazil. *Braz. J. Biol.*, 63(3): 469-479.
- Lillebø, A.I.; Pardal, M.A. & Marques, J.C., 1999. Population structure, dynamics and production of *Hydrobia ulvae* (Pennant) (Mollusca: Prosobranchia) along an eutrophication gradient in the Mondego estuary (Portugal). *Acta Oecol.*, 20(4):289-304.
- Loneragan, N.R. & Bunn, S.E., 1999. River flows and estuarine ecosystems: Implications for coastal fisheries from a review and a case study of the Logan River southeast Queensland. *Austr. J. Ecol.* 24, 431–440.
- Lucero, C.H.; Cantera, J.R. & Romero I.C., 2006. Variability of macrobenthic assemblages under abnormal climatic conditions in a small scale tropical estuary. *Est. Coast. She. Sci.*, 68: 17-26.
- Morrisey, D.J., Underwood, A.J., Howitt, L. & Stark, J.S., 1992. Temporal variation in soft-sediment benthos. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 164:233-245.
- Munari, C.; Rossi, R. & Mistri, M., 2005. Temporal trends in macrobenthos community structure and redundancy in a shallow coastal lagoon (Valli di Comacchio, Northern Adriatic Sea). *Hydrobiologia*, 550: 95-104.
- Netto, S.A. & Lana, P.C., 1994. Effects of sediment disturbance on the structure of benthic fauna in a subtropical tidal creek of southeastern Brazil. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 106:239-247.
- NOAA, 2011. National Oceanic and Atmospheric Administration, 05/1/2011. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

- Norkko, J.; Bonsdorff, E. & Norkko, A., 2000. Drifting algal mats as an alternative habitat for benthic invertebrates: Species specific responses to a transient resource. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 248(1):79-104.
- Orvain, R.J. & Sauriau, P.G., 2002. Environmental and behavioural factors affecting activity in the intertidal gastropod *Hydrobia ulvae*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 272:191-216.
- Parker, J.D., Duffy, J.E. & Orth, R.J., 2001. Plant species diversity and composition, experimental effects on marine epifaunal assemblages. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 224: 55-67.
- Passadore, C.; Giménez, L. & Acuña, A., 2005. Composition and intra-annual variation of the macroinfauna in the estuarine zone of the Pando Stream (Uruguay). *Braz. J. Biol.*, 67(2): 197-202.
- Patrício, J.; Neto, J.M.; Teixeira, H.; Salas F. & Marques, J.C., 2009. The robustness of ecological indicators to detect long-term changes in the macrobenthos of estuarine systems. *Mar. Env. Res.*, 68: 25-36.
- Pinotti, R.M., 2010. Variabilidade espaço-temporal da macrofauna bentônica do infralitoral do estuário da Lagoa dos Patos e na região marinha adjacente, extremo sul do Brasil. Dissertação de Mestrado, 140 pg.
- Pinotti, R.M.; Colling, L.A. & Bemvenuti, C.E., 2011. Temporal dynamics of deep infralitoral macrobenthic fauna in a subtropical estuarine environment. *Braz. J. Aquatic Scien.* 15(1).
- Quijón, P. & Jaramillo, E., 1993. Temporal variability in the intertidal macroinfauna in the Queule River Estuary, South-central Chile. *Est. Coast. Shelf Scien.*, 37:655-667.
- Rao, V.B. & Hada, K., 1994. An experiment with linear regression in forecasting os apring rainfall over south of Brazil. *Atmosf.*, 7: 83-87.
- Reise, K., 1985. Tidal flat ecology. An experimental approach to species interactions. Springer-Verlag, 191 p.
- Ropelewski, C.F. & Halpert, M. S. 1987. Global and Regional scale precipitation patterns associated with *El Niño Southern Oscillation*. *Weath. Rev.*, 115, 1606-1626.

- Rosa, L.C., 2003. Variabilidade temporal da estrutura das associações da macrofauna benthica em uma enseada estuarina da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. Dissertação de Mestrado, FURG, 70 p.
- Rosa, L.C. & Bemvenuti, C.E., 2006. Temporal variability of the estuarine macrofauna of the Patos Lagoon, Brazil. *Rev. Biol. Mar. Ocean.*, 41(1):1-9.
- Rosa, L. C. & Bemvenuti, C. E., 2007. Seria a macrofauna bentônica de fundos não consolidados influenciada no aumento da complexidade estrutural do habitat? O caso do estuário da Lagoa dos Patos. *Braz. J. Aquat. Scien. Tech.*, 11(1):51- 56
- Rosa-Filho, J.S. & Bemvenuti, 1998a. Caracterización de las comunidades macrobentónicas de fondos blandos em regiones estuarinas de Rio Grande do sul (Brasil). *Thalassas*, 18:43-56.
- Rosa-Filho, J.S. & Bemvenuti, C.E., 1998b. O sedimento como fator limitante para a distribuição de *Kalliapseudes schubarti* Mañé Garzón, 1949 (Crustacea, tanaidacea) em fundos moles estuarinos. *Naupl.*, 18:43-56.
- Sagarin, R.D.; Barry, J.P.; Gilman, S.E. & Baxter, C.H., 1999. Climate-related change in an intertidal community over short and long time scales. *Ecol. Monog.*, 69(4); 465-490.
- Sanchez-Jerez, P; Barberá-Cebrián, C. & Ramos-Esplá, A.A., 1999. Comparison of the epifauna spatial distribution in *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa* and unvegetated bottoms: importance of meadow edges. *Acta Oecol.*, 20:391-405.
- Schmidt, A.L. & Scheibling, R.E., 2007. Effects of native and invasive macroalgal canopies on composition and abundance of mobile benthic macrofauna and turf-forming algae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 341:110-130.
- Seeliger, U. 1997. Seagrass meadows. In: Seeliger, U.; Odebrecht, C. & Castello, J.P. (eds.) Subtropical Convergence Environments: The Coast and Sea in the Southwestern Atlantic. Springer-Verlag, Heidelberg, New York, p. 82-85.
- Sfriso, A., Birkemeyer, T. & Ghetti, P.F., 2001. Benthic macrofauna changes in areas of Venice lagoon populated by seagrasses or seaweeds. *Mar. Envir. Res.*, 52: 323-349.
- Souza, R.A., 2001. Macroepifauna sedentária associada a macrófitas no estuário da Lagoa dos Patos, RS. Dissertação de Mestrado, FURG, 104 p.

- Stål, J.; Pihl, L. & Wenhage, H., 2007. Food utilisation by coastal fish assemblages in rocky and soft bottoms on the Swedish west coast: inference for identification of essential fish habitats. *Est. Coast. Shelf Sci.*, 71:593-607.
- Steele, J.H., 1974. The structure of marine ecosystems. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Tarazona, J.; Salzwedel, H. & Arntz, W., 1988. Oscillations of macrobenthos in shallow waters of the Peruvian central coast induced by *El Niño* 198-83. *J. Mar. Res.*, 46: 593-611.
- Tunberg, B.G. & Nelson, W.G., 1998. Do climatic oscillations influence cyclical patterns of soft bottom macrobenthic communities on the Swedish west coast. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 170: 85-94.
- Underwood, A.J., 1996. Detection, interpretation, prediction and management of environmental disturbances: some roles for experimental marine ecology. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 200(1-2): 1-27.
- Vaz, A.C., Möller Jr. O.O. & Almeida, T.L., 2006. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. *Atlântica*, 28(1): 13-23.
- Vázquez-Luis, M.; Sanchez-Jerez, P. & Bayle-Sempere, J.T., 2009. Comparison between amphipod assemblages associated with *Caulerpa racemosa* var. *Cylindracea* and those of other Mediterranean habitats on soft substrate. *Est. Coast. She. Scien.*, 84: 161-170.
- Vieira, J.P.; Garcia, A.M. & Grimm, A.M., 2008. Evidences of *El Niño* effects on the mullet fishery of the Patos Lagoon estuary. *Braz. Arch. Biol. Tech.*, 51(2):433-440.
- Ysebaert, T.; Fettweis, M.; Meire, P. & Sas, M., 2005. Benthic variability in intertidal soft-sediments in the mesohaline part of the Schelde estuary. *Hydrobiol.* 540: 197-216.
- Xu, Y.J. & Wu, K., 2006. Seasonality and interannual variability of freshwater inflow to a large oligohaline estuary in the Northern Gulf of Mexico. *Est. Coas. Shelf Scien.*, 68: 619-626.

TABELAS

Tabela 1. Resultados da Análise de Variância (ANOVA, uma via, $p < 0,05$), entre as médias sazonais das variáveis ambientais vazão, salinidade e nível da coluna de água. SQ: soma dos quadrados; GL: graus de liberdade; SM: soma das médias; F: estatística de Fischer; p: nível de significância.

	SQ	GL	SM	F	p
Vazão	13,54	41	0,33	4,004	0,000
Salinidade	16,17	48	0,337	6,668	0,000
Nível	2,046	48	0,043	5,992	0,000

Tabela 2. Resultados da Análise de Correlação de Pearson entre os parâmetros ambientais da coluna de água.

	$r(X,Y)$	r^2	t	p
Vazão X Nível	0,612	0,375	8,633	0,000
Vazão X Salinidade	-0,746	0,557	-12,492	0,000
Salinidade X Nível	-0,724	0,524	-11,705	0,000

Tabela 3. Espécies do macrozoobentos registradas durante o período amostral ISV: Inverno sem vegetação; ICV: Inverno com vegetação; VSV: Verão sem vegetação; VCV: verão com vegetação. M; Mollusca; C: Crustacea; A: Annelida. Célula branca: ausência da espécie; célula cinza clara: densidade entre 1 e 1.000 ind.m⁻²; célula cinza escura: densidade entre 1.001 e 10.000 ind.m⁻²; célula preta: densidade maior de 10.001 ind.m⁻².

	96 ISV	97 VCV	97 ISV	98 VSV	98 ISV	99 VCV	99 ICV	00 VCV	00 ISV	01 VSV	01 ISV	02 VSV
<i>Heleobia australis</i> (M)												
<i>Kaliapseudes schubarti</i> (C)												
<i>Erodona mactroides</i> (M)												
<i>Heteromastus similis</i> (A)												
<i>Nephtys fluviatilis</i> (A)												
<i>Laonereis acuta</i> (A)												
<i>Uromunna peterseni</i> (C)												
<i>Sinelobus stanfordi</i> (C)												
Amphipoda ND (C)												
<i>Tagelus plebeius</i> (M)												
<i>Kupellonura sp.</i> (C)												
<i>Diastylis sympterigiae</i> (C)												
Hirudinea (A)												
<i>Amphilocus neapolitanus</i> (C)												
Nudibranchio (M)												
<i>Bathyporeiapus bisetosus</i> (C)												
<i>Dies fluminensis</i> (C)												
<i>Sphaeromopsis mourei</i> (C)												
Nemertinea												
<i>Melita lagunae</i> (C)												
<i>Ampithoe sp.</i> (C)												

	02 ISV	03 VSV	03 ISV	04 VSV	04 ISV	05 VSV	05 ISV	06 VSV	06 ISV	07 VSV	07 ISV	08 VCV
<i>Heleobia australis</i> (M)												
<i>Kaliapseudes schubarti</i> (C)												
<i>Erodona mactroides</i> (M)												
<i>Heteromastus similis</i> (A)												
<i>Nephtys fluviatilis</i> (A)												
<i>Laonereis acuta</i> (A)												
<i>Uromunna peterseni</i> (C)												
<i>Sinelobus stanfordi</i> (C)												
Amphipoda ND (C)												
<i>Tagelus plebeius</i> (M)												
<i>Kupellonura sp.</i> (C)												
<i>Diastylis sympterigiae</i> (C)												
Hirudinea (A)												
<i>Amphilocus neapolitanus</i> (C)												
Nudibranchio (M)												
<i>Bathyporeiapus bisetosus</i> (C)												
<i>Dies fluminensis</i> (C)												
<i>Sphaeromopsis mourei</i> (C)												
Nemertinea												
<i>Melita lagunae</i> (C)												
<i>Ampithoe sp.</i> (C)												

Tabela 4. Resultados da Análise de Correlação de Spearman entre as densidades totais da macrofauna, principais espécies e os parâmetros ambientais.

	N	Spearman R	t (N-2)	p - level
Densidade Total X Vazão	21	-0.34	-1.56	0.14
Densidade Total X Salinidade	24	0.36	1.84	0.08
Densidade Total X Nível	24	-0.36	-1.82	0.08
<i>K. schubartii</i> X Vazão	21	-0.21	-0.94	0.36
<i>K. schubartii</i> X Salinidade	24	0.32	1.57	0.13
<i>K. schubartii</i> X Nível	24	-0.13	-0.64	0.53
<i>H. australis</i> X Vazão	21	-0.29	-1.31	0.21
<i>H. australis</i> X Salinidade	24	0.42	2.15	0.04
<i>H. australis</i> X Nível	24	-0.50	-2.68	0.01
<i>E. mactroides</i> X Vazão	21	-0.08	-0.36	0.73
<i>E. mactroides</i> X Salinidade	24	0.17	0.79	0.44
<i>E. mactroides</i> X Nível	24	-0.25	-1.20	0.24
Peracarida X Vazão	21	-0.14	-0.61	0.55
Peracarida X Salinidade	24	-0.09	-0.44	0.66
Peracarida X Nível	24	0.14	0.65	0.52

FIGURAS

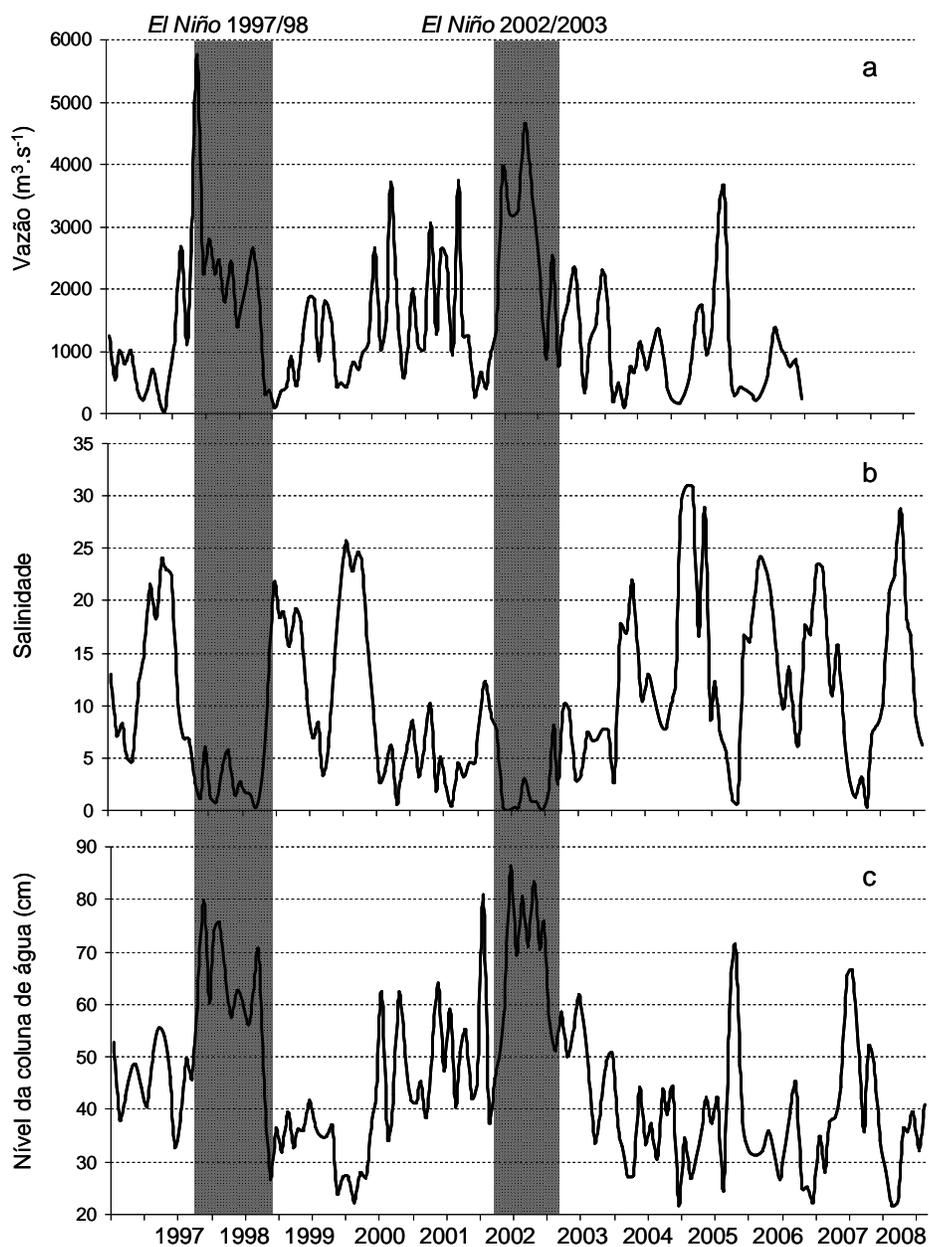


Figura 1. Médias quinzenais de vazão (a), salinidade (b) e nível da coluna de água (c) durante o período de estudo. A área em cinza representa os períodos sob influência do *El Niño*.

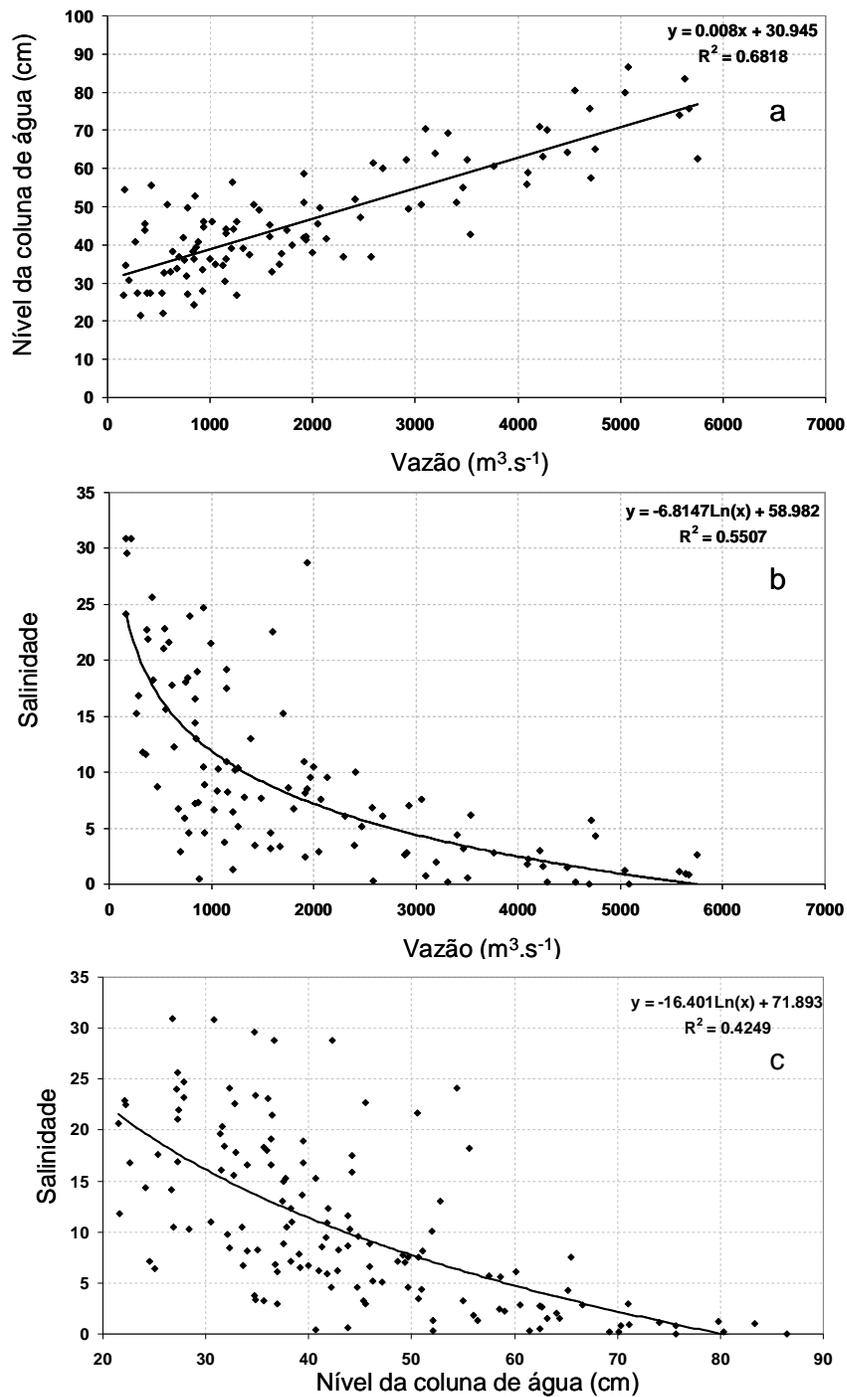


Figura 2. Regressão linear entre nível da coluna de água e vazão (a); regressão logarítmica entre salinidade e vazão (b); regressão logarítmica salinidade e nível da coluna de água (c).

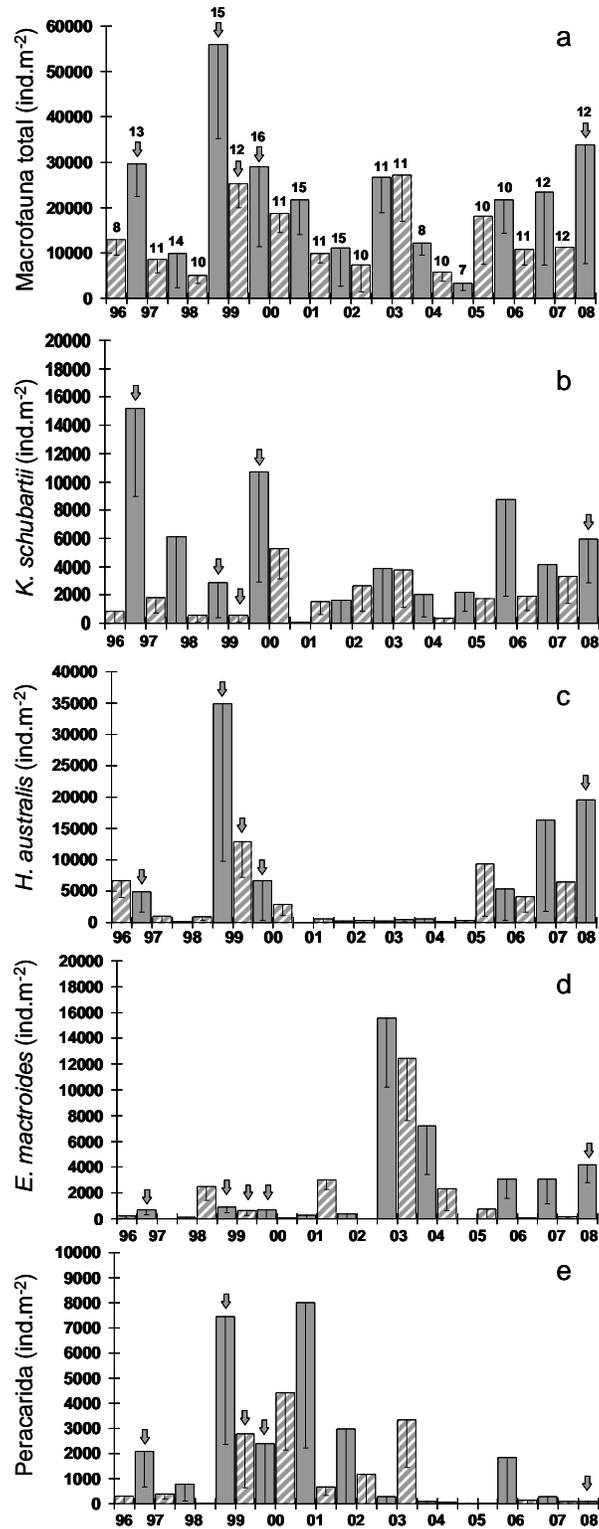


Figura 3. Densidades médias (ind.m⁻²) ± desvio padrão da macrofauna total e número de espécies; número de espécies encontrada (sobre as barras) (a); de *Kalliapseudes schubarti* (b); *Heleobia australis* (c); *Erodona mactroides* (d), Peracarida (e) durante os verões (barras cinza) e invernos (barras listradas) durante o período de agosto 1996 a março-2008. As setas indicam períodos com presença de vegetação submersa.

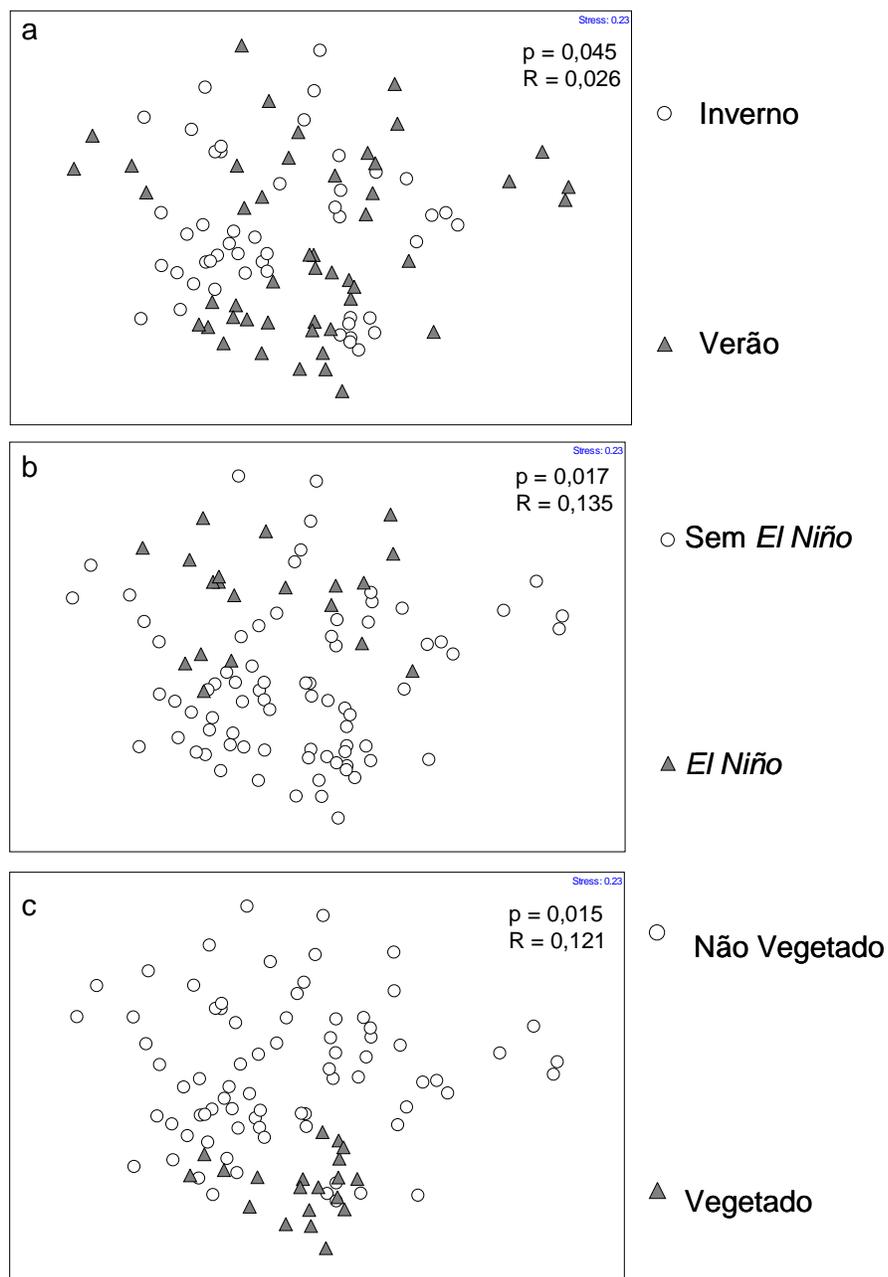


Figura 4. Análise de Escalonamento Multidimensional (nMDS) entre os Verões e Invernos (a), períodos de *El Niño* e Sem *El Niño* (b), e períodos Vegetados e Não Vegetados (c).

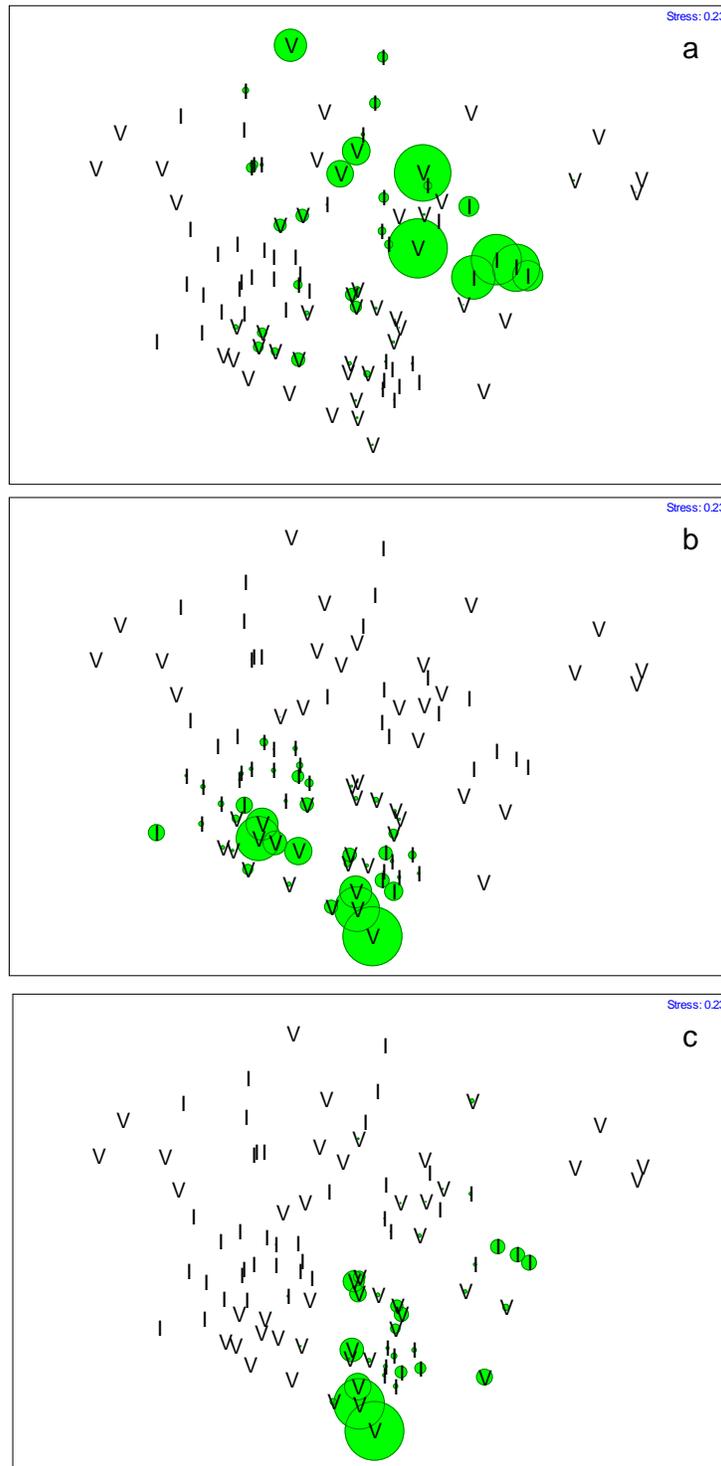


Figura 5. Gráficos de “bubble plots” para os períodos de Verão e Inverno, das espécies *Erodona mactroides* (a), *Heleobia australis* (b) e *Uromunna peterseni* (c).

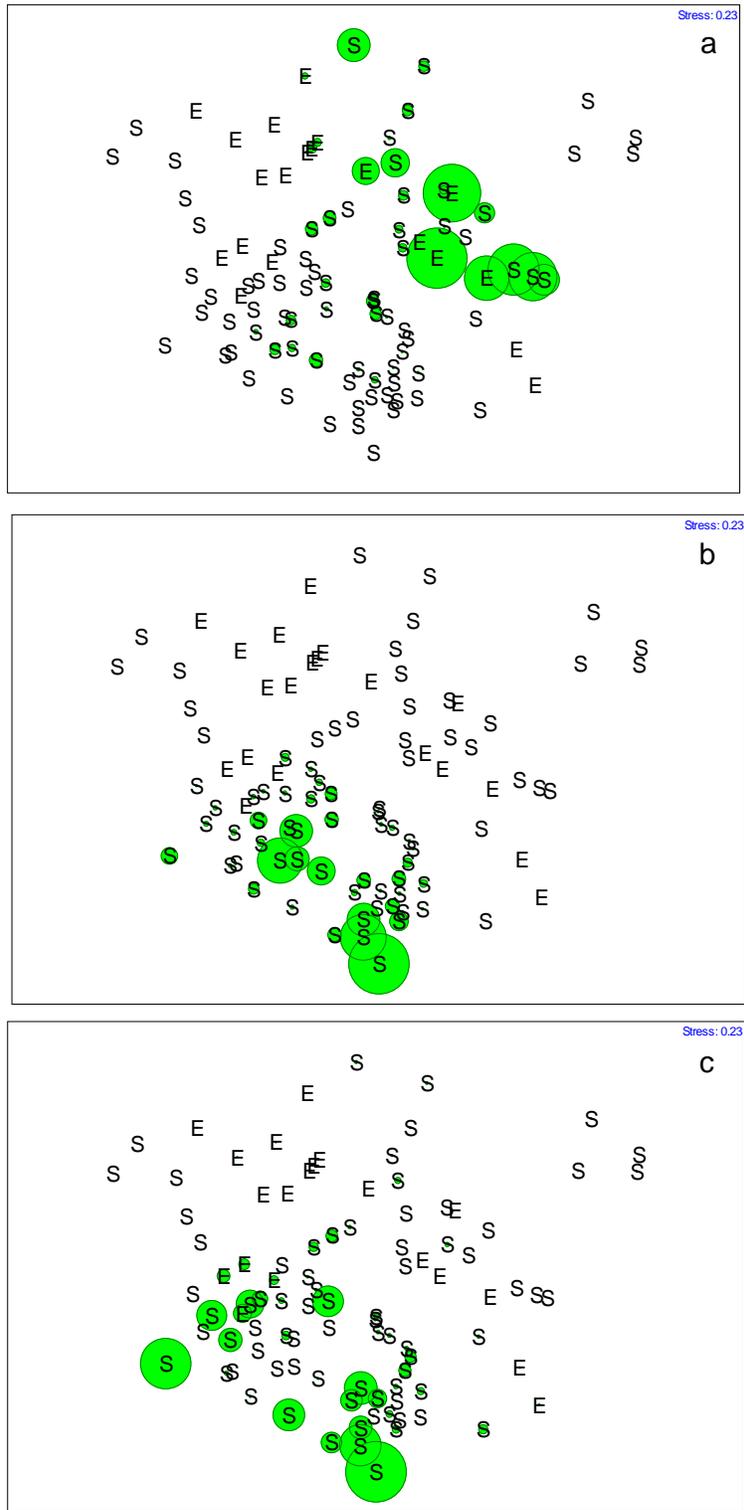


Figura 6. Gráficos de “bubble plots” para os períodos de *El Niño* e *Sem El Niño*, das espécies *Erodona mactroides* (a), *Heleobia australis* (b) e *Laeonereis acuta* (c).

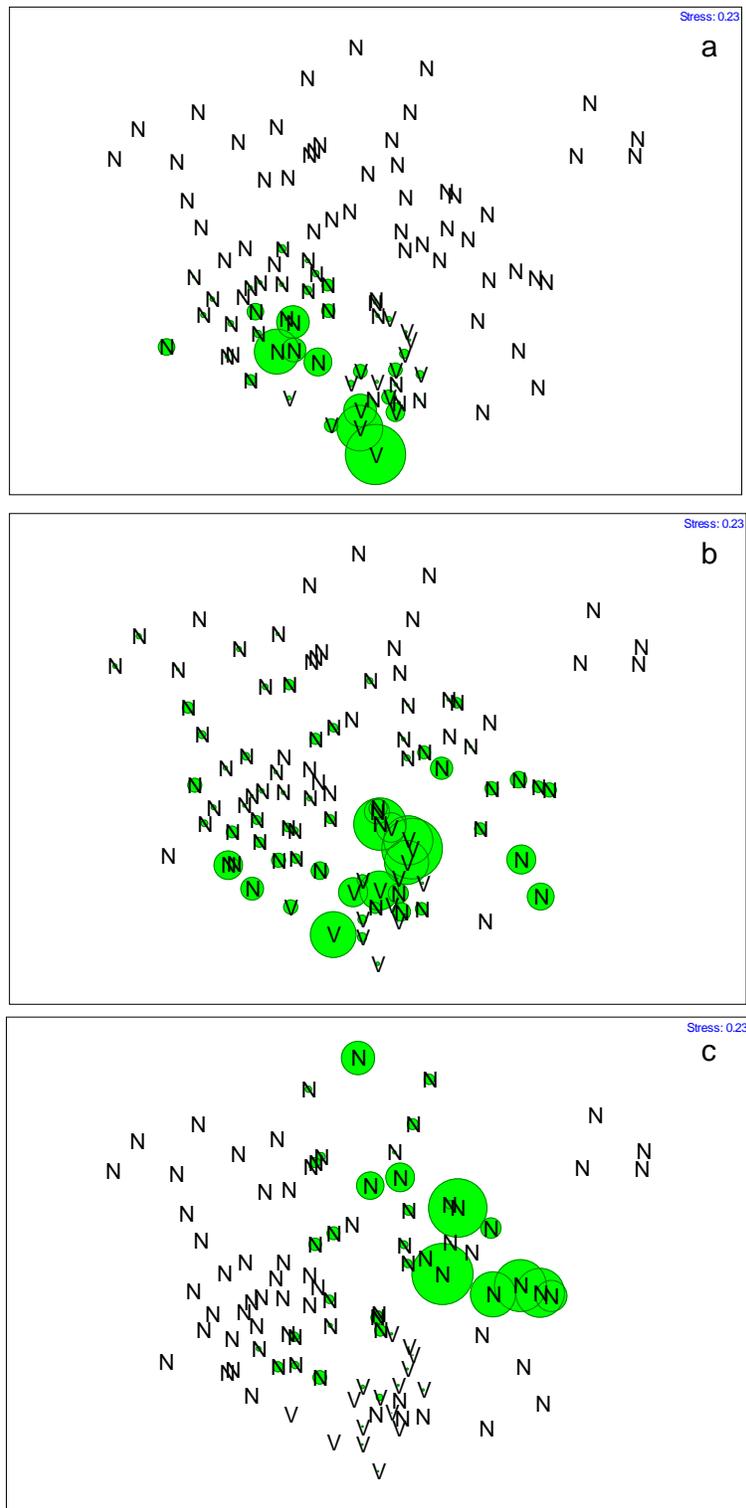


Figura 7. Gráficos de “bubble plots” para os períodos Vegetados e Não Vegetados, das espécies *Heleobia australis* (a), *Kalliapseudes schubarti* (b) *Erodona mactroides* (c).

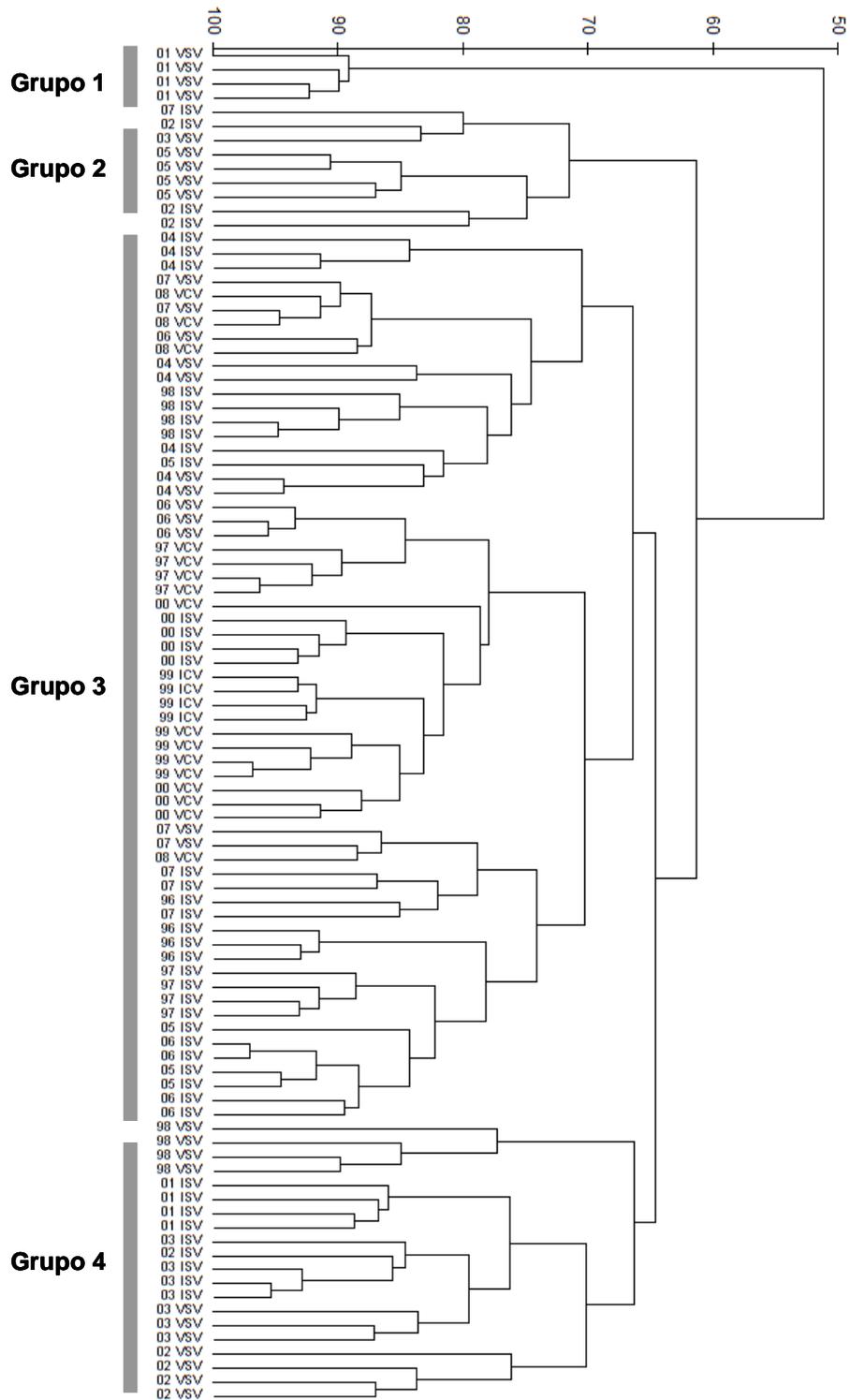


Figura 8. Resultado da Análise de Classificação (Cluster) para os períodos de Inverno e Verão. ISV: Inverno sem vegetação; ICV: Inverno com vegetação; VSV: Verão sem vegetação; VCV: Verão com vegetação.

CONCLUSÕES

Capítulo 1

Os parâmetros ambientais mostraram grandes amplitudes de variação de curto prazo em alguns períodos avaliados, com processos de ressuspensão e deposição que refletem a complexidade de fatores atuantes na hidrodinâmica e dinâmica sedimentar na enseada rasa em estudo;

A variabilidade temporal de curto prazo da macrofauna bentônica não apresentou relações diretas a eventos de erosão ou deposição sedimentar, sendo aparentemente resistentes e resilientes à dinâmica do substrato;

Espécies representantes da epifauna (*Heleobia australis*, *Kupellonura sp.*, *Sphaeromopsis mourei*) e da infauna subsuperficial (*Erodona mactroides*) apresentaram variabilidade temporal de curto prazo em alguns períodos da Inverno e Primavera, não relacionados à dinâmica sedimentar;

A estratégia de amostragem de curto prazo com intervalos de 4 a 7 dias apresentou-se adequada para a identificação da variabilidade dos parâmetros da coluna de água e das propriedades e dinâmica do substrato, além da dinâmica de espécies da epifauna e infauna subsuperficial;

Capítulo 2

Na avaliação da variabilidade de médio prazo (sazonal e interanual), houve variabilidade temporal dos parâmetros ambientais da coluna de água (vazão, profundidade e salinidade) e do substrato (teor de finos, matéria orgânica), influenciados principalmente pelo fenômeno ENSO – *El Niño* 2002-2003, com marcadas diferenças destas propriedades em relação a períodos não influenciados pelo fenômeno;

O macrozoobentos apresentou diferenças significativas em composição e abundância entre períodos influenciados pelo *El Niño*, quando foi observada ausência de espécies, registradas menores densidades e falhas nos recrutamentos, em relação ao período pós-*El Niño*, com maior número de espécies e aumento das densidades;

Avaliações com a mesma estratégia mensal de amostragem em diferentes períodos (2002-2004 em relação a 2007-2008) apresentaram diferentes situações frente aos parâmetros ambientais e dinâmica temporal do macrozoobentos, refletindo a complexidade temporal de caráter sazonal e interanual a que a macrofauna bentônica é submetida;

A frequência de amostragem mensal apresenta-se adequada para a avaliação da variabilidade sazonal e interanual tanto dos parâmetros da coluna de água, substrato e dos atributos ecológicos do macrozoobentos, uma vez que possibilita replicações sazonais destas variáveis;

Capítulo 3

A variabilidade temporal de longo prazo da macrofauna bentônica através de 12 anos de amostragens evidenciou a influência negativa dos fenômenos ENSO-*El Niño* 1997-98 e 2002-03 na composição e densidades da macrofauna bentônica.

A presença de fundos vegetados por macrófitas (*Ruppia maritima* e *Ulva sp.*) influencia positivamente o macrozoobentos de enseadas rasas, através da complexidade estrutural do habitat proporcionando a ocorrência de maior número de espécies e maiores densidades;

Os parâmetros da coluna de água apresentaram diferenças quanto a períodos influenciados pelas altas vazões devido ao fenômeno ENSO-*El Niño* e vazões menos pronunciadas sem a influência do fenômeno, sendo a ocorrência de fundos vegetados também dependente dos diferentes cenários de alta e baixa vazão;

(5) A estratégia de amostragens semestrais (inverno e verão) apresenta-se adequada para a avaliação da influência de fenômenos ENSO e períodos com presença de fundos de macrófitas submersas sobre a estrutura da comunidade macrozoobentônica.

ANEXO I

(O presente manuscrito encontra-se no prelo no periódico *Acta Limnologica Brasiliensia*)

Temporal variability of the bivalve *Erodona mactroides* BOSCH, 1802 during and after the *El Niño* phenomenon (2002/2003) in a subtropical lagoon, southern Brazil.

Colling, LA.^{1,2}, Bemvenuti, CE¹ and Pinotti, RM¹

1- Laboratório de Ecologia de Invertebrados Bentônicos, Instituto de Oceanografia – FURG. Av. Itália, Km 08, CxP. 474, CEP: 96203-000, Campus Carreiros. Rio Grande – RS.

2 – andre_colling@yahoo.com.br

Abstract

The aim of this work was to study the relationships between temporal variability of *Erodona mactroides* and abiotic parameters of the water column and the substrate in a shallow embayment of the Patos Lagoon estuarine region in southern Brazil. Samples were taken with a PVC corer (10 cm diameter) buried 10 cm into the sediment between October 2002 and December 2004. Each month 18 biologic samples were taken, 6 substrate samples were analyzed for sediment grain size and organic matter content and sediment deposition rates were determined by 12 sediment traps every two weeks. Salinity, water temperature, water level and estuarine freshwater discharge were measured daily. Abiotic parameters and bivalve densities were tested among months with registered mortality events by ANOVA (One-way, $p = 0.05$), being the *E. mactroides* seasonal variability tested by Kruskal-Wallis ($p = 0.05$). Regression analyses among abiotic parameters and Spearman's "R" correlation analyses between biological and environmental data were both performed. Two periods were identified with distinct features: one at the beginning of the study when observed limnetic conditions in the estuarine region were caused by the ENSO - *El Niño* 2002/2003 phenomenon when an absence of *E. mactroides* was registered as well as a higher percentages of fine sediments and lower percentages of organic matter. The second period was characterized by a decreasing influence of the *El Niño* and predominance of mixohaline conditions, recruitments and increasing densities of *E. mactroides* with a successive decrease of mean densities due to three mortality events, lower percentages of fine sediments and higher percentages of organic matter. The present study provides evidences that the occurrence of *E. mactroides* in the southern estuarine region depends on the water flow regime from the drainage basin, which characterizes species

recruitment as temporally unpredictable and affects its persistence through time due to adverse conditions that influence species development like events of fine sediment deposition.

Keywords: *Erodona mactroides*, recruitment, *El Niño*, estuary, Patos Lagoon.

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as relações entre a variabilidade temporal de *Erodona mactroides* e os parâmetros abióticos da coluna de água e do substrato em uma enseada rasa da região estuarina da Lagoa dos Patos, sul do Brasil. As amostras foram coletadas com um extrator de PVC (10 cm de diâmetro), enterrado a 10 cm no interior do sedimento, entre Outubro/02 e Dezembro/04. Em cada mês foram coletadas 18 amostras biológicas, 6 réplicas de sedimento para análises granulométricas e teor de matéria orgânica, além de 12 réplicas quinzenais de experimentos de deposição de sedimentos. A salinidade, temperatura da coluna de água, profundidade e vazão do estuário foram medidas diariamente. Os parâmetros abióticos e densidades do bivalve entre os meses em que foram observados eventos de mortalidade foram testados através de ANOVA (Uma via, $p = 0,05$), e a variabilidade sazonal de *E. mactroides* foi testada através da análise de Kruskal-Wallis ($p = 0,05$). Foi aplicada análise de Regressão entre os dados abióticos e Correlação de Spearman “R” entre os dados biológicos de densidade e parâmetros ambientais. Foram identificados dois períodos com características distintas: no início do estudo foram registradas condições limnéticas na região estuarina devido ao fenômeno ENSO – *El Niño* 2002/2003, quando foi registrada a ausência de *E. mactroides*, maiores percentuais de sedimento finos e menores percentuais de matéria orgânica. O segundo período foi caracterizado pela diminuição

da influência do *El Niño* e predominância de condições mixohalinas, recrutamentos e pelo aumento das densidades médias de *E. mactroides* com sucessivos decréscimos no número de organismos devido a três eventos de mortalidade, menores percentuais de sedimentos finos e maiores percentuais de matéria orgânica. O presente estudo evidencia que a ocorrência de *E. mactroides* na porção sul da região estuarina, que depende do regime de vazão da laguna, caracteriza os recrutamentos como temporalmente imprevisíveis, e sua persistência é afetada por condições desfavoráveis a seu desenvolvimento como eventos de deposição de sedimentos finos.

Palavras-chave: *Erodona mactroides*, recrutamento, *El Niño*, estuário, Lagoa dos Patos.

Introduction

The mollusc *Erodona mactroides* Bosc, 1802 is one of the most abundant bivalves found at the mixohaline regions of rivers, lagoons and estuaries in southern Brazil, Uruguay and Argentina (Costa, 1971; Jorcin, 1996), occurring at Rio de la Plata affluent rivers near Buenos Aires (Carcelles, 1941) and also at Laguna Rocha, as well as streams and rivers along the Uruguayan coast (Jorcin, 1996; Muniz and Venturini, 2001). Along the coast of the State of Rio Grande do Sul in southern Brazil, the species is found at high densities in the Patos Lagoon estuary (Rosa-Filho and Bemvenuti, 1998; Bemvenuti and Netto, 1998), where is a common macrobenthic species (Rosa and Bemvenuti, 2007; Colling et al., 2007).

This Erodonidae species is inequivalve with the right valve large and convex, displaying subtrigonal shells with anterior side rounded and posterior rostrate (Rios, 2009). As a subsurface inhabitant and suspension feeder, this species plays an important ecological role in the Patos Lagoon due to the exposure of its shell in the bottom surface, which can be considered the unique biological hard substrate for macrobenthic communities on soft bottoms, allowing the attachment of epibionthic organisms (Bemvenuti et al., 1978). As a consequence of its high abundance and wide distribution in the Patos Lagoon, *E. mactroides* is considered the main phytoplankton consumer among macrobenthic invertebrates (Bemvenuti and Netto, 1998), being responsible for an important energy flux from the water column to the benthic environment, in which the species is reported as an important food item for major decapod and fish species (Araújo, 1984; Bemvenuti, 1997a).

The first records of *E. mactroides* in the Patos Lagoon were reported by von Ihering (1885), while another study, concerning the distribution of Thecamoeba and

Foraminifera species, mentions the presence of this species in the southern portion of the lagoon (Closs, 1962). The spatial distribution of the macrobenthic fauna in the Patos Lagoon was previously analyzed by Bemvenuti and Netto (1998), observing the wide distribution of *E. mactroides* along the entire lagoon and the estuarine region. This bivalve inhabits large areas at the Patos Lagoon upper portion, where all size classes are found and high densities of adults occur, while southwards in the estuarine region only juveniles were observed (Bemvenuti et al., 1978; Capítoli et al., 1978). Recently, temporal variability analysis of macrozoobenthos in Patos Lagoon estuary showed that high densities of the bivalve occur associated with limnetic conditions (Colling et al., 2007).

The larvae of *E. mactroides* of the adult reproductive stock in the upper estuary which are carried by ebb tides to the south during spring and summer, give origin the observed recruitments in sheltered embayments in southern estuarine regions. At these sites, juvenile massive mortalities were observed on later autumn, suggesting that the obstruction of their filtration system apparatus may be the cause of death due to deposition of suspended matter (Bemvenuti, 1997b).

Concerning the general size, the bivalve lengths range between 0.42 - 43.22 mm in Laguna Rocha - Uruguay (Jorcin, 1996) and between 1.00 - 35.00 mm in the Patos Lagoon, where individuals smaller than 20 mm were considered juveniles (Geraldí, 2002). Inside the Pando Stream, Uruguay, Passadore et al. (2007) reported organisms smaller than 14 mm as recruits.

Taking into account that larval input from the upper estuary to the southern region depends on the temporal variability of the systems water discharge, the present work aimed to evaluate if recruitment of *E. mactroides* at the lower estuary during

spring/summer may be influenced by stochastic events like the *El Niño* phenomena. Besides the water column characterization, recruitment periods and bivalve densities, this work also aimed to investigate the temporal variability of *E. mactroides* densities and evaluate possible mortality events related to substrate dynamics like fine sediment depositions.

Material and Methods

Located at the coastal plain of southern Brazil, the Patos Lagoon is classified as the world's largest choked lagoon (Kjerfve, 1986). With a surface area of 10,227 km², this coastal lagoon stretches in a NE - SW direction from 30° 30' S to 32° 12' S near the city of Rio Grande. In inside its southern portion an estuarine region of 971 km² is found (approximately 10 % of the lagoon) which exchanges waters with the Atlantic Ocean through a 20 km long and 0.5 - 3 km wide inlet. Through tributary rivers and the São Gonçalo channel (Lagoa Mirim watershed), this lagoon receives freshwater from a 201,626 km² drainage basin, in which high precipitation and complex patterns of river discharge result in highly dynamic hydrographic processes (Asmus, 1997).

The present study was performed along a 450 m transect of a sheltered shallow plain in the Saco do Arraial embayment (see map in Colling et al. 2007).

Samples were taken monthly from October 2002 to December 2004 in an area with 0.8 m mean depth. At each month, sediment samples ($n = 6$) were taken, using a PVC corer (10 cm diameter) buried 10 cm into the bottom to analyse granulometric and organic matter content (OM). Sand, silt and clay proportions were determined according to Suguio (1973) through sieving (particles > 0.062 mm) and pipette analyses (particles

< 0.062 mm) while OM contents were determined through weight loss by combustion according (Davies, 1974).

Daily water temperature (°C), salinity and water level (cm) were provided by the Brazilian Long-Term Ecological Program databank (PELD – *Programas Ecológicos de Longa Duração – Site 8 – FURG*; www.peld.furg.br). Fluvial discharge data from the Patos Lagoon main tributary rivers Jacuí, Taquari and Camaquã (Vaz et al., 2006) were taken daily from the Brazilian Waters Agency (ANA – Agência Nacional de Águas; www.ana.gov.br), being used here to represent the Patos Lagoon drainage basin monthly runoff mean (sum of Jacuí, Taquari and Camaquã river discharges).

Biologic samples were taken monthly ($n = 18$) using the same PVC corer used in the sediment samples, being sieved in the field through a nylon sieve with 0.3 mm mesh size and then fixed in a 4% formaldehyde solution. In the laboratory, the *E. mactroides* individuals were sorted from the sediment under stereomicroscope and then preserved in a 70% ethanol solution.

Attaching millimetric scale (0.5 mm of precision) to Petry plates, measures of the right valve's anteroposterior length were taken from 18,391 individuals in order to evaluate the *E. mactroides* size classes' frequency distribution and its temporal development.

The months used to define the seasons of the present work were as follows: spring (from October to December), summer (January to March), autumn (April to June) and winter (July to September). Salinity, freshwater discharge ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$), water level (cm), silt + clay (%) and OM contents (%) were transformed to $\log (X+1)$ and tested by ANOVA (One-way; $p = 0.05$) to investigate their temporal differences among seasons.

The temporal variability of *E. mactroides* densities was tested by Kruskal-Wallis non-parametric analyses ($p = 0.05$), since normality and homogeneity of these data were not attained, even after several transformations.

Regression analyses were pair-wisely executed to the monthly means of silt + clay percentages, OM contents, fluvial discharge, salinity and water level, being used for each pair of data the best R^2 mathematical equation. In order to determine possible significant correlations between biological and environmental data (Zar, 1984) the Spearman's "R" correlation coefficient ($p = 0.05$) were used to compare the monthly means of *E. mactroides* densities to the following standardized abiotic data (Clarke and Warwick, 1994): silt + clay percentages, OM contents, fluvial discharge, salinity and water level.

To evaluate the significance of declining in the *E. mactroides* densities there were performed ANOVA tests (One-way; $p = 0.05$) on each pair of the following months: August-September 2003, April-May 2004 and October-November 2004, all considered here as mortality events due to expressive reductions in the bivalve densities.

To quantify the depositional processes that are able to interfere in the survival and persistence of *E. mactroides* through time, experiments on sediment deposition were fortnightly executed utilizing 12 particle interceptor traps. These sediment traps were built using an external PVC pipe (7.5 cm diameter x 15 cm high) with 10 PVC tubes inside of it (1 cm diameter x 10 cm high) fixed on a solid base buried into the substrate. These traps were placed on the sampling site 15 days before the biological sampling and then removed to the laboratory, where the caught sediments were weighted (total weigh expressed in g) and their granulometric fractions were

determined. These experiments were executed between December 2002 and August 2004, except for January, March, June and October 2003 and July 2004.

Results

Higher water temperatures were registered during summer/03 (25.8 °C) and summer/04 (24.8 °C) while lower ones were observed during winter/03 (13.6 °C) and winter/04 (13.1 °C). The water temperature along spring seasons were always warmer than those registered in autumn seasons.

Significant differences in the mean freshwater discharge were found among the evaluated periods (Table 1; Figure 1a). From spring/02 to summer/03 there were registered the highest values of discharge, as observed on October 2002 (5,982 m³ s⁻¹). After these elevated runoff rates in the beginning of the study, it was observed significant decreasing discharges with the lowest rates being registered from summer/04 to autumn/04, like those on March 2004 (about 307 m³ s⁻¹).

Salinity data showed significant differences among seasons (Table 1) and great temporal variability (Figure 1b), ranging from zero (spring/02 and summer/03) to 35 (autumn/04). Lower values were registered during the winter/02 (previously to the sampling period), along spring/02 and on early summer/03, with fortnightly means not higher than 5, except on September 2002. Increasing salinities were observed from later summer/03 (fortnightly means between 5 and 15) to early summer/04, when low salinity values were registered, followed again by an increase in salinity from summer/04 to winter/04, period when were registered fortnightly means often higher than 15.

It was calculated for the Patos Lagoon estuarine region a decadal mean of water level (MWL) comprising the daily values registered in the PELD databank between January 1994 and December 2004, from which it was calculated a MWL equal to 48.7 cm. For the spring/02 and summer/03, the mean water level registered were 70.0 cm, a value higher than that decadal mean due to the great freshwater discharge (Figure 1c). On the other hand, from the spring/03 to spring/04 there were registered water levels between 30 and 50 cm, values significant lower than those observed in the early sampling period (Table 1).

Percentages of fine sediments (silt + clay) as well as the percentages of organic matter in the sediment varied significantly among the analyzed periods (Table 1). Higher percentages of silt and clay were registered in spring/02 (21.00 % \pm 9.90 %), summer/03 (9.80 % \pm 3.63 %) and autumn/03 (7.35 % \pm 5.05 %), when a reduction of fine sediments was observed from the winter/03 to autumn/04 (4.26 % \pm 1.60 %; Figure 2). Higher percentages of organic matter (Table 1) were found from autumn/03 (1.15 % \pm 1.44 %) to autumn/04 (1.22 % \pm 0.27 %), while lower values were registered in spring/02 (0.29 % \pm 0.06 %) and summer/03 (0.26 % \pm 1.12 %) - the first two sampling periods - besides the winter/04 (0.74 % \pm 0.19 %).

Pairwised regressions on environmental data (Figure 3) evidenced strong relationships between OM x fine sediments ($R^2 = 0.76$), salinity x fine sediments ($R^2 = 0.59$), salinity x water level ($R^2 = 0.72$) and salinity x discharge ($R^2 = 0.50$). The abiotic pairwised regression between discharge x water level ($R^2 = 0.83$) presented the best linear relation throughout the study since periods of elevated runoff are linked to elevations on the water level of the lagoon. These periods of high water level were found to be strongly related to OM contents ($R^2 = 0.64$), despite the temporal

irregularity of this later variable (Figure 2), and also to elevated proportions of fine sediments ($R^2 = 0.54$). In addition, there were found weak temporal relationships between the following pairwised data: discharge x fine sediments ($R^2 = 0.40$), salinity x OM ($R^2 = 0.36$) and discharge x OM ($R^2 = 0.30$).

The absence of *E. mactroides* in the spring/02 as well as its low densities in summer/03 were responsible to characterize the mean densities of the bivalve along this early periods as significantly lower ($p < 0.05$) than those registered in the subsequent seasons (Table. 1). The first occurrence of *E. mactroides* was registered on later summer - autumn/03 (Figure 4), with higher densities occurring along this last season ($11,628 \pm 6,428$ ind. m^{-2}), winter/03 ($10,406 \pm 6,640$ ind. m^{-2}) and spring/03 ($8,485 \pm 4,280$ ind. m^{-2}). Successive density reductions were observed from summer to spring/04 ($1,519 \pm 1,163$ ind. m^{-2}), being these reduced densities significantly lower than those registered for both autumn and winter/03 ($p < 0.05$).

Those bivalves collected in summer/03 and autumn/03 were classified in the size classes between 0.5 - 3 mm (Figure 5a-b), representing post settled recruits with non calcified shells. Size classes smaller than 1 mm were found until the winter/03, when recruits were not registered anymore. Between winter/03 and spring/03 the occurrence of organisms < 3 mm decreased, period in which individuals of different size classes characterized the development of those recruits (Figure 5c-d). From summer to spring/04 (Figure 5e-h) the modal frequency of lengths were registered between 6 and 9 mm with the biggest individuals reaching 18 mm.

There were found weak temporal relationships between the *E. mactroides* densities and fine sediments ($R^2 = 0.41$), OM contents ($R^2 = 0.25$) and discharge ($R^2 = 0.30$). On the other hand, strong temporal relations were found between *E. mactroides*

densities x water level ($R^2 = 0.56$) and *E. mactroides* densities x salinity ($R^2 = 0.70$), mainly due to the absence of the species during the early sampling period associated to high water level and low salinity values, respectively (Figure 6).

The Spearman's correlation coefficients evidenced no significant correlations between the *E. mactroides* densities and all the environmental data except for fine sediments, being found a negative temporal correlation ($p = 0.037$; $R = -0.402$) (Table 2).

The observed reductions in the *E. mactroides* mean densities were found significant for all the following months (Figure 7; Table 1): August-September 2003 (from 13,651 to 8,004 ind. m^{-2}); April-May 2004 (from 6,433 to 2,101 ind. m^{-2}); and October-November 2004 (from 2,852 to 997 ind. m^{-2}).

In the first mortality event (August-September 2003) it was registered an increasing of fine sediments in the depositional experiments (Figure 8), in which the weight of fine material raised from 47.63 g on August (88.27 % of the total sediment trapped) to 73.44 g on September (89.89 %). The sedimentation rates registered for each experiment period were 10,825 $g m^{-2} 15 days^{-1}$ and 16,690 $g m^{-2} 15 days^{-1}$ on August and September, respectively (Table 3). As registered on the experiments, it was also observed for the substrate an increase on its fine sediment rates (Figure 2), ranging from 1.98 % on August to 4.75 % on September 2003.

In the second mortality event (April-May 2004) the weight of deposited silt + clay fractions raised from 40.54 g on April to 59.08 g on May, with fine sediment percentages increasing from 39.37 % to 67.39 % (Figure 8). Sedimentation rates in these months also raised from 9,213 $g m^{-2} 15 days^{-1}$ to 13,427 $g m^{-2} 15 days^{-1}$

respectively (Table 3), despite the similar values found for the substrate between April (3.97 %) and May (3.49 %; Figure 2).

During the third mortality event (October-November 2004) the experiments on deposition were not carried out, but the substrate granulometry revealed that the fine sediments percentage increased from October (3.83 %) to November (6.53 %; Figure 2).

Discussion

Our results evidenced that the bivalve *E. mactroides* had a significant temporal variability along the study: its absence in the early sampling period (spring/02); its occurrence in high densities from autumn - winter/03; and its gradual reductions due to three mortality events that lead to its absence in later spring/04.

The environmental variables characterized two periods with distinct features: one in the beginning of the study when there were registered limnetic conditions in the estuarine region caused by the ENSO - *El Niño* 2002/2003 phenomenon, in which there were observed higher percentages of fine sediments and lower percentages of organic matter. The second period was characterized by a decreasing influence of the *El Niño* phenomenon, predominance of mixohaline waters, lower percentages of fine sediments and higher percentages of organic matter.

The Patos Lagoon presents low tidal amplitude and salinity variations strongly influenced by the action of winds (seasonal scale) and hydrological cycles on its drainage basin (interannual scale), in which the predominance of freshwaters inside the estuarine region are associated to NE winds and elevated fluvial discharge; on the other hand, the predominance of marine waters inside the estuary are found to be related to S

winds and droughts on the drainage basin of this lagoon (Niencheski and Baumgarten, 1997).

The *El Niño* phenomenon can be considered as the main source of great pluviometric events at the South America (Ropelewski and Halpert, 1987; Grimm et al., 2000), increasing the precipitation rates in southern Brazil during the spring seasons and intensifying rains from May to July. As a consequence to the hydrographic regime inside the Patos Lagoon, the continental discharge rather exceeds its mean values (Garcia, 1997) and the water level presents a pronounced positive anomaly (Costa et al., 2003; Colling et al., 2007). In a previous study about the Patos Lagoon hydrodynamics during the 1998's *El Niño* (Fernandes et al., 2002), it was verified a great discharge increment and a raise of water level southwards the lagoon. Likewise, the period between later autumn/02 and later summer/03 was again influenced by this phenomenon (NOAA, 2006), with consequent maintenance of freshwater inside the estuarine region until the end of summer/03, as well as a mean water level higher than the decadal mean (Capítoli et al., 2008).

High rates of pluviometric precipitation in the Patos Lagoon are responsible for a considerable transport of silt and clay towards the estuarine region, which come from many sources within the extensive Patos-Mirim drainage basin (Calliari, 1997). In the present work, higher percentages of fine sediments were registered in the same periods that there were observed limnetic conditions inside the southern portion of the lagoon, reinforcing the relationship between this two environmental variables.

The maintenance of limnetic conditions inside the estuarine region on summer can influence significantly the behavior of estuarine species, since in periods non influenced by the ENSO phenomenon it is expected to occur the inflow of marine water

into the estuary due to low fluvial discharge (Costa et al., 1988). Changes in the ictiofaunal structure were found inside the Patos Lagoon southern portion as a consequence of the lower salinity caused by the ENSO phenomenon, being registered species from limnetic regions and reductions on marine and estuarine species' richness (Garcia et al., 2001).

Late recruitments in the macrobenthic fauna, which occurred only on later summer/03 and early autumn/03 in the Patos Lagoon estuary, evidenced that environmental changes like those on salinity, hydrodynamics and in the bottom sediments are able to influence the variability of the macrobenthic assemblages at the shoals inside this lagoon (Colling et al., 2007). The influence of the *El Niño* anomaly was also evaluated by a long-term study concerning the temporal variability of the macrofauna from Port Curtis estuarine region (Australia), where there were registered negative consequences to the macrozoobenthic communities due to the increase of freshwater inflow towards the estuary (Currie and Small, 2005), as well as observed to the Tamar Estuary, England (Bale et al., 2006).

The beginning of *E. mactroides* recruitments were observed on later summer/03, being the first organisms found on February 2003, the same period in which it was registered the lower influence of the *El Niño* phenomenon, with increasing salinity and OM contents; and decreasing discharges, water level rates and fine sediments percentages. New recruitments (by the input of juvenile organisms) were not observed until the end of this study.

Through surveys on distribution of the macrobenthic fauna inside the Patos Lagoon, it was observed a wide spatial distribution of *E. mactroides* along the whole lagoon area and inside its southern estuarine region (Bemvenuti and Netto, 1998). This

bivalve species occupies great areas in its oligohaline northern portion, where there were found at all the size classes, high density of adults (reproductive stock) and elevated biomass due to the large size of the individuals. On the other hand, only juvenile bivalves younger than 1 year old are registered in the southern portion, in which the species recruitment is considered potentially unsuccessful (Bemvenuti et al., 1978).

Following the freshwater discharge during the spring-summer periods, the larvae of *E. mactroides* that come from the northern region are responsible for the recruitments observed at the southern shoals (Bemvenuti and Netto, 1998), in which the success of the bivalve recruitments is found to be related to the hydrologic conditions (Bemvenuti et al., 1978; Bemvenuti et al., 1992).

The larval settlement registered in the present study occurred simultaneously to the environmental changes on later summer/03 - autumn/03, when there were registered increments in the salinity values and decreasing percentages of fine sediments into the substrate. Taking into account that the recruitments of *E. mactroides* generally occur on spring and summer seasons, post-settled juveniles could have been experienced several displacements caused by the intense freshwater discharge in this period.

These post-settled individuals could also have been subjected to mortality events after settlement due to the *El Niño* harsh conditions, like high water discharges and elevated percentages of fine sediments. These mortality events at the initial life stages of the bivalves are not easy to detect due to their small body size and the absence of a calcified shell, characteristics that difficult their conventional sampling and accelerate their decomposition.

Greater densities of *E. mactroides* were found during autumn - winter/03 due to recruitments and consequent development of their initial life stages. From winter/03 throughout the study, there were observed successive reductions in the species densities, suggesting the existence of conditions that do not afford the persistence in time of these populations inside the estuarine region.

In a spatial-temporal evaluation concerning *E. mactroides* in Laguna Rocha (coastal region from Uruguay), it was found that the species is adapted to the continuous changes in such system, being favored by the open / close regimes of a sandy bar that separates the lagoon from the adjacent marine environment. Furthermore, the adaptability of this bivalve to colonize mixohaline environments, in which salinity values range from near zero to 20, suggests that salinity in Laguna Rocha apparently do not interfere in the spatial distribution of this species (Jorcin, 1996).

In estuarine environments, the suspended matter experience depositional processes due to the reduction in the flux velocity and flocculation of particles when in contact to salty waters (Postma, 1980; Niencheski and Windom, 1994). Regular deposition and resuspension of fine sediments are able to result in fluid mud deposits (Allen et al., 1980), determining dynamic events on the shallow estuarine bottoms that can directly interfere in the development of macrobenthic species (Ysebaert and Herman, 2002; Teske and Wooldridge, 2003; Thrush et al., 2003) and sub-superficial bivalves like *E. mactroides*. Mortality events were previously observed in the Patos Lagoon estuarine shoals after *E. mactroides* recruitments (Bemvenuti et al., 1978; Bemvenuti and Netto, 1998), being suggested the relationship between mortality and deposition of fine sediments at shallow embayments (Bemvenuti, 1997a), besides not quantified. The mortality events registered in the present work on August-September

2003, April-May 2004 and October-November 2004 evidenced the occurrence of adverse conditions to the species development at the shoals in the southern estuarine portion. Simultaneously to the mortality events, the quantification of depositional events evidenced that the input of fine sediments (silt + clay) in the substrate interferes negatively on the bivalves' survival.

The winter/03 was also marked by a pronounced salinity variation inside the estuarine region, with fortnightly means ranging from near zero to 10 during short periods. Periods of freshwater discharge associated with marine water inflows induced by S winds cause a vertical stratification which results in a saltwedge formation (Niencheski and Baumgarten, 1997). Furthermore, the interactions between the geomorphologic features of the estuary in its southern portion and the penetration of marine water during strong S winds, can both favor the resuspension of fine sediments deposited inside the estuarine area (Niencheski and Windom, 1994; Niencheski and Baumgarten, 1997).

Instability at the bottom's surface can also be a cause of stress to suspension feeder bivalves due to post-settled larvae resuspension, burying and/or recruitment suppression (Rhoads and Young, 1970). Moreover, suspension feeder organisms are sensible to intense silt and clay depositions, presenting then severe mortality (Levinton, 1995). In this sense, short-siphon bivalves like *E. mactroides* are also susceptible to massive mortalities due to the clogging of their filter-feeding apparatus, like previously observed for the bivalve *Rangia cuneata* Sowerby, 1831 (Peddicord, 1977). Field experiments on adults of *R. cuneata* have shown that mortality was higher and growth was slower for those individuals on fine sediments than for those growing on sandy substrate (Tenore, 1968). Furthermore, the growth of *R. cuneata* adults was faster in

clams placed in sand than those in mud (Pedicord, 1976), evidencing a great recruitment success associated to coarse sediments.

This work showed that the input of juveniles into the southern estuary, which depends of the discharge regime from its upper portion, characterizes the recruitments of *E. mactroides* as temporally unpredictable southwards. The present evaluation concerning the interactions between the species temporal variability and the hydrologic characteristics of the estuarine region give support to understand the dynamic from one of the major macrobenthic components, evidencing the species relationship to small-scale environmental parameters and global events of low predictability like *El Niño* phenomenon. Moreover, mortality events and substrate dynamics were found to be linked, evidencing that fine deposition processes can interfere in the recruitment success and temporal persistence of *E. mactroides* at shoals inside estuarine regions.

Acknowledgements

To Nilton Araújo de Abreu for his valuable field effort, to Lauro Barcellos for the support from MOFURG (Museu Oceanográfico da Universidade Federal do Rio Grande) and also to CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) for the financial support.

References

ALLEN, GP., SALOMON, JC., BASSOULET, P., du PENHOAT, Y. and de GRANDPRÉ, C. Effects of tides on mixing and suspended sediment transport in macrotidal estuaries. *Sediment. Geol.*, 1980, vol. 26, p. 69-90.

- ARAÚJO, FJ. Hábitos alimentares de três espécies de bagres marinhos (Ariidae) no estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. *Atlântica*, 1984, vol. 7, p. 47-63.
- ASMUS, M. Coastal plain and Patos Lagoon. In: Seeliger, U., Odebrechth, C. and Castello, JP. (eds.). *Subtropical Convergence Environments – The Coast and Sea in the Southwestern Atlantic*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1997, p. 9-13.
- BALE, AJ., WIDDOWS, J., HARRIS JB. and STEPHENS, JA. Measurements of the critical erosion threshold of surface sediments along the Tamar Estuary using a mini-annular flume. *Cont. Shelf Res.*, 2006, vol. 26, p. 1206-1216.
- BEMVENUTI, CE. Trophic Structure. In: Seeliger, U., Odebrechth, C. and Castello JP. (eds.). *Subtropical Convergence Environments – The Coast and Sea in the Southwestern Atlantic*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1997a, p. 70-73.
- BEMVENUTI, CE. Benthic Invertebrates. In: Seeliger, U., Odebrechth, C. and Castello JP. (eds.). *Subtropical Convergence Environments – The Coast and Sea in the Southwestern Atlantic*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1997b, p. 43-47.
- BEMVENUTI, CE., CAPÍTOLI, RR. and GIANUCA, NM. Estudos de ecologia bentônica na região estuarial da Lagoa dos Patos. II. Distribuição quantitativa do macrobentos infralitoral. *Atlântica*, 1978, vol. 3, p. 23-32.
- BEMVENUTI, CE., CATTANEO, SA. and NETTO, SA. Características estruturais da macrofauna bentônica em dois pontos da região estuarial da Lagoa dos Patos, RS - Brasil. *Atlântica*, 1992, vol. 14, p. 5-28.
- BEMVENUTI, CE. and NETTO, SA: Distribution and seasonal patterns of the sublittoral benthic macrofauna os Patos Lagoon (South Brazil). *Rev. Bras. Biol.*, 1998, vol. 58, p. 211-221.

CALLIARI, L.J. Environment and biota of the Patos Lagoon Estuary. In: Seeliger, U., Odebrech, C. and Castello, JP. (eds.). Subtropical Convergence Environments – The Coast and Sea in the Southwestern Atlantic. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1997, p. 13-14.

CAPÍTOLI, RR., BEMVENUTI, CE. and GIANUCA, NM. Estudos de ecologia bentônica na região estuarial da Lagoa dos Patos, I. Comunidades bentônicas. Atlantica, 1978, vol. 3, p. 5-21.

CAPÍTOLI, RR., COLLING, LA. and BEMVENUTI, CE. Cenários de distribuição do mexilhão dourado *Limnoperna fortunei* (MOLLUSCA-BIVALVIA) sob distintas condições de salinidade no complexo lagunar Patos-Mirim, RS - Brasil. Atlântica, 2008, vol. 30, p. 35-44.

CARCELLES, A. “*Erodona mactroides*” en el Rio de la Plata. *Physis*, 1941. vol. XIX, p. 11-21.

CLARKE, KR. and WARWICK, RM. Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth, 1994, Natural Environmental Research Council.

CLOSS, D. Foraminíferos e tecamebas da Lagoa dos Patos. Bol. Esc. Geol., 1962, vol. 11, p. 1-130.

COLLING, LA., BEMVENUTI, CE. and GANDRA, MS. Seasonal variability on the structure of sublittoral macrozoobenthic association in the Patos Lagoon estuary, southern Brazil. Iher. Ser. Zool., 2007, vol. 97, p. 257-263.

COSTA, CMB. Importância paleoecológica e estratigráfica de *Erodona mactroides* Daudin (Mollusca, Bivalvia). Iher. Ser. Geol., 1971, vol. 4, p. 3-18.

- COSTA, CSB., MARANGONI, JC. and AZEVEDO, AMG. Plant zonation in irregularly flooded salt marshes: relative importance of stress tolerance and biological interactions. *J. Ecol.*, 2003, vol. 91, p. 951-965.
- COSTA, CSB., SEELIGER, U. and KINAS, PG. The effect of wind velocity and direction on the salinity regime in the Patos Lagoon estuary. *Ciê. Cult.*, 1988, vol. 40, p. 909-912.
- CURRIE, DR. and SMALL, KJ. Macrobenthic community responses to long-term environmental change in an east Australian sub-tropical estuary. *Est. Cost. Shelf Sci.*, 2005, vol. 63, p. 315-331.
- DAVIES, BE. Loss-on-ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1974, vol. 38, p. 150-151.
- FERNANDES, EHL., DYER, KR., MÖLLER, OO. and NIENCHESKI, LFH. The Patos Lagoon Hydrodynamics during *El Niño* event (1998). *Cont. Shelf Res.*, 2002, vol. 22, p. 1699-1713.
- GARCIA, CAE. Hydrographic Characteristics. In: Seeliger, U., Odebrecht, C. and Castello, JP. (eds.). *Subtropical Convergence Environments – The Coast and Sea in the Southwestern Atlantic*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1997, p. 18-20.
- GARCIA, AM., VIEIRA, JP. and WINEMILLER, KO. Dynamics of the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon estuary (Brazil) during cold and warm ENSO episodes. *J. Fish Biol.*, 2001, vol. 59, p. 1218-1238.
- GERALDI, RM. Distribuição espacial, recrutamento, crescimento e mortalidade de *Erodona mactroides* BOSCH, 1802 (MOLLUSCA, PELECYPODA) na Lagoa dos Patos, RS – Brasil. Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande, 2002. [Doctor thesis in Biological Oceanography].

GRIMM, AM., BARROS, VR., and DOYLE, ME. Climate variability in Southern South America associated with *El Niño* and *La Niña* events. *Jour. Clim.*, 2000, vol. 1, p. 35-38.

von IHERING, HFA. Die Lagoa dos Patos. *Deutsche Geographische Blatter*, 1885, vol. 2, p. 164-203.

JORCIN, A. Distribucion, abundancia y biomasa de *Erodona mactroides* DAUDIN 1801 (Mollusca, Bivalvia), en la Laguna de Rocha (Dpto. De Rocha, Uruguay). *Rev. Bras. Biol.*, 1996, vol. 56, p. 155-162.

KJERFVE, B. Comparative oceanography of coastal lagoons. In: *Estuarine variability*, Wolfe, DA., (ed.). Orlando: Academic Press, 1986, p. 63-81.

LEVINTON, JS. *Marine Biology: function, biodiversity, ecology*. Oxford: Oxford University Press, 1995.

MUNIZ, P. and VENTURINI, N. Spatial distribution of the macrozoobenthos in the Solís Grande stream estuary (Canelones-Maldonado, Uruguay). *Braz. J. Biol.*, 2001, vol. 61(3), p. 409-420.

NIENCHESKI, LFH. and BAUMGARTEN, MGZ. Environmental Chemistry. In: Seeliger, U., Odebrecht, C. and Castello, JP., (eds.). *Subtropical Convergence Environments – The Coast and Sea in the Southwestern Atlantic*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1997, p. 20-24.

NIENCHESKI, LFH. and WINDOM, HL. Nutrient flux and budget in Patos Lagoon Estuary. *Sci. Total Envir.*, 1994, vol. 149, p. 53-60.

NOAA, 2006: National Oceanic and Atmospheric Administration, 06/01/2007. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

- PASSADORE, C., GIMÉNEZ, L. and ACUÑA, A. Composition and intra-annual variation of the macroinfauna in the estuarine zone of the Pando Stream (Uruguay). *Bras. J. Biol.*, 2007, vol. 67(2), p. 197-202.
- PEDDICORD, RK. Effects of substratum on growth of the bivalve *Rangia cuneata* Gray, 1831. *Velig.*, 1976, vol. 18, p. 398-404.
- PEDDICORD, RK. Salinity and substratum effects on condition index of the bivalve *Rangia cuneata*. *Mar. Biol.*, 1977, vol. 39, p. 351-360.
- POSTMA, H. Sediment transport and sedimentation. In: Olausson, E. and Cato, I. (eds.). *Chemistry and biogeochemistry of estuaries*. Chichester: Wiley, 1980, p. 153-186.
- RHOADS, DC. and YOUNG, DK. The influence of deposit-feeding organisms on sediment stability and community trophic structure. *J. Mar. Res.*, 1970, vol. 28, p. 150-178.
- RIOS, E. *Compendium of Brazilian seashells*. Porto Alegre: Evangraf, 2009; 668 p.
- ROPELEWSKI, CF. and HALPERT, MS. Global and Regional scale precipitation patterns associated with *El Niño/ Southern Oscillation*. *Mon. Weather Rev.*, 1987, vol. 115, p. 1606-1626.
- ROSA-FILHO, JS. and BEMVENUTI, CE. O sedimento como fator limitante para a distribuição de *Kalliapseudes schubarti* Mañé-Garzón (Crustacea – Tanaidacea) em fundos moles estuarinos. *Nauplius*, 1998, vol. 6, p. 119-127.
- ROSA, LC. and BEMVENUTI, CE. Seria a macrofauna bentônica de fundos não consolidados influenciada pelo aumento a complexidade estrutura do habitat? O caso do estuário da Lagoa dos Patos. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.*, 2007, vol 11(1), p. 51-56.
- SUGUIO, K. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo: EDUSP, 1973.

TENORE, KR., HORTON, DB. and DUKE TW. Effects of bottom substrate on the brackish water bivalve *Rangia cuneata*. Chesap. Sci., 1968, vol 9, p. 238-248.

TESKE, P. and WOOLDRIDGE, T. What limits the distribution of subtidal macrobenthos in permanently open and temporally open/closed South African estuaries? Salinity vs. sediment particle size. Estuar. Coast. She. Scien., 2003. vol 57, p. 225-238.

THRUSH, S., HEWITT, J., NORKKO, A., NICHOLLS, P., FUNNELL, G. and ELLIS, J. Habitat change in estuaries: predicting broad-scale responses of intertidal macroinfauna to sediment mud content. Mar. Ecol. Prog. Ser., 2003, vol 263, p.101-112.

VAZ, AC., MÖLLER Jr. OO. and ALMEIDA, TL. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. Atlântica, 2006, vol, 28, no. 1, p. 13-23.

YSEBAERT, T. and HERMAN, P. Spatial and temporal variation in benthic macroinfauna and relationships with environmental variables in an estuarine, intertidal soft-sediment environment. Mar. Ecol. Prog. Ser., 2002, vol 244, 105-124.

ZAR, JH. Biostatistical analysis. Englewood Cliffs: Prentice-Hall Inc., 1984; 718 p.

Table 1. Results of temporal analyses on the environmental data and *Erodona mactroides* mortality events (One-way ANOVA; $p = 0.05$) and on the *E. mactroides* mean densities (Kruskal-Wallis non-parametric analysis; $p = 0.05$). DF: degrees of freedom; SS: sum square; F: Fisher's F.

Parameter		DF	SS	F	p
Discharge	Periods	8	3472	6.68	0.000
	Residual	18	1169		
Salinity	Periods	8	547	4.19	0.005
	Residual	18	249		
Water level	Periods	6	4559	14.36	0.000
	Residual	14	741		
Fine sediments	Periods	8	5	21.22	0.000
	Residual	153	5		
Organic matter	Periods	8	1	11.92	0.000
	Residual	153	2		
<i>E. mactroides</i> density	Periods	7			0.000
<i>E. mactroides</i> mortality	Aug-Sep/03	1	2870	6.57	0.014
	Apr-May/04	1	16883	12.41	0.001
	Oct-Nov/04	1	30942	6.39	0.016

Table 2. Spearman's correlation results between the *Erodona mactroides* mean densities and the environmental data. R: Spearman's coefficient.

	N	R	t (N-2)	p
<i>E. mactroides</i> X Fine sediments	27	-0.402	-2.198	0.037
<i>E. mactroides</i> X Organic matter	27	0.251	1.300	0.205
<i>E. mactroides</i> X Water level	22	-0.280	-1.306	0.206
<i>E. mactroides</i> X Salinity	27	0.015	0.076	0.939
<i>E. mactroides</i> X Discharge	27	-0.075	-0.380	0.706

Table 3. Results of the total sediment weight (TSW), silt + clay percentages (SCP), registered silt + clay weight (RSCW), calculated silt + clay weight (CSCW), percentage of silt + clay on bottom (SCB) and *Erodona mactroides* densities (*EmD*) registered along the species' mortality events.

	TSW (g)	SCP (%)	RSCW (g)	CSCW (g m ⁻² 15days ⁻¹)	SCB (%)	<i>EmD</i> (ind. m ⁻²)
Aug/03	53.95	0.88	47.63	10,825	0.02	13,651
Sep/03	81.07	0.89	73.44	16,690	0.04	8,004
Apr/04	102.97	0.39	40.54	9,213	0.04	6,433
May/04	87.66	0.67	59.08	13,427	0.03	2,101
Oct/04					0.03	2,852
Nov/04					0.06	997

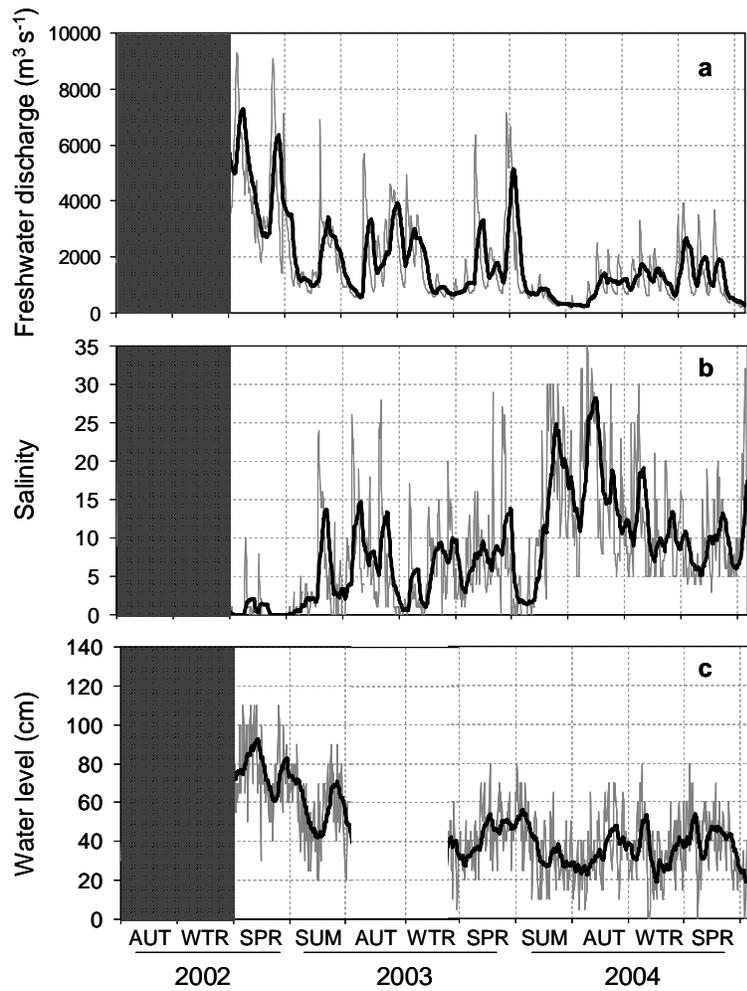


Figure 1. Daily values (grey line) and monthly mean (black line) for the rivers Taquari + Jacuí + Camaquã mean fluvial discharge (a), salinity (b) and water level (c) from April 2002 to December 2004 in the Patos Lagoon. The marked grey area represents the period before sampling.

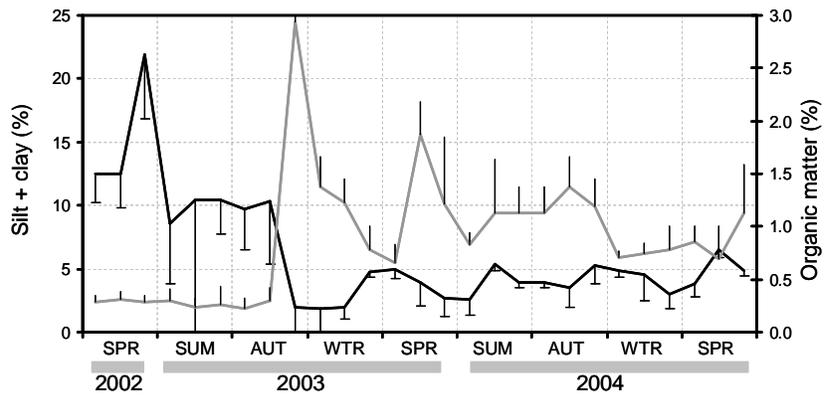


Figure 2. Monthly mean and standard deviation of silt + clay percentages (black line) and organic matter (grey line) registered in the bottom's sediment.

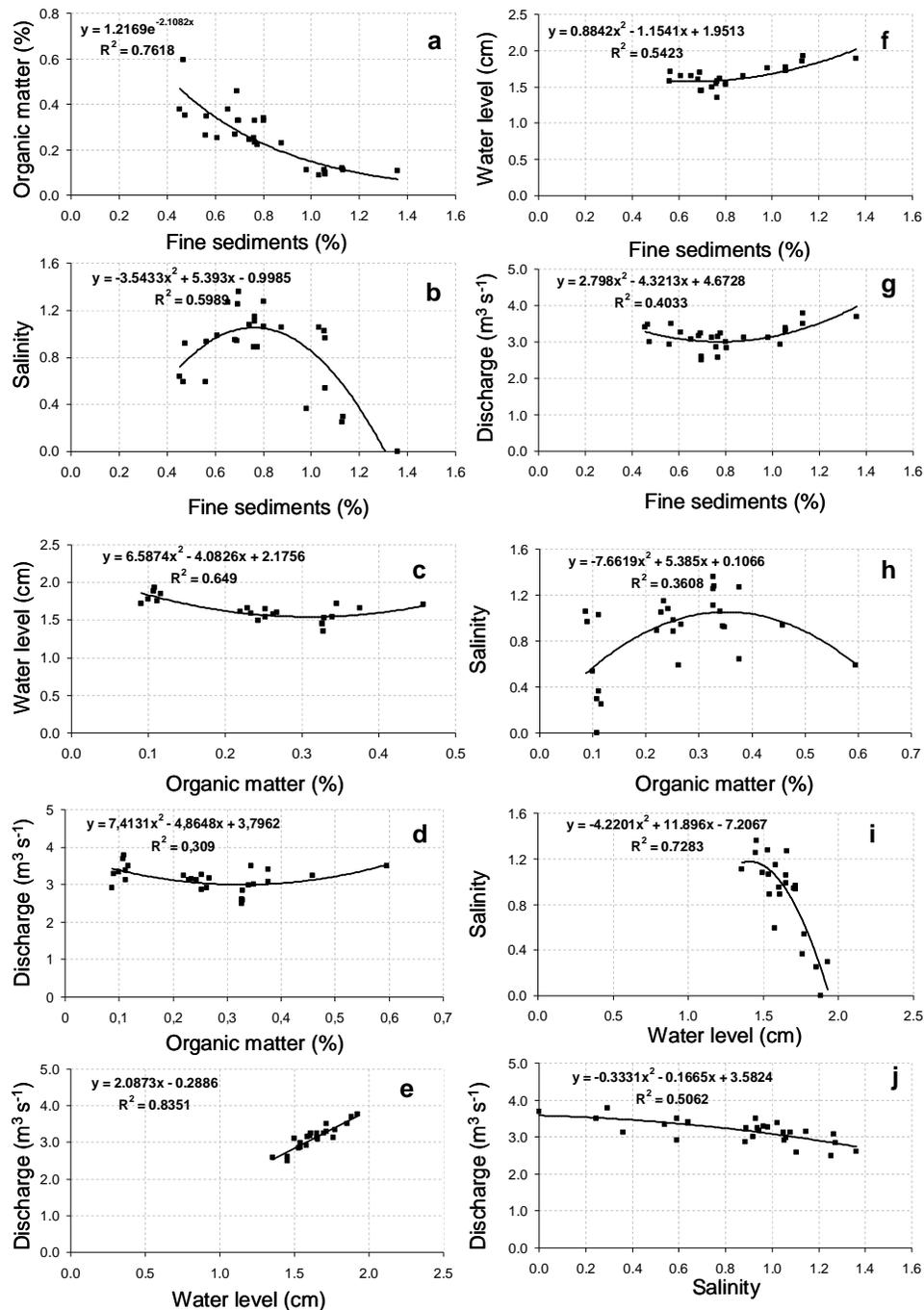


Figure 3. Regression analyses adjusted to $\log(x+1)$ monthly means of the environmental paired data organic matter x fine sediments (a); salinity x fine sediments (b); water level x organic matter (c); discharge x organic matter (d); discharge x water level (e); water level x fine sediments (f); discharge x fine sediments (g); salinity x organic matter (h); salinity x water level (i); and discharge x salinity (j).

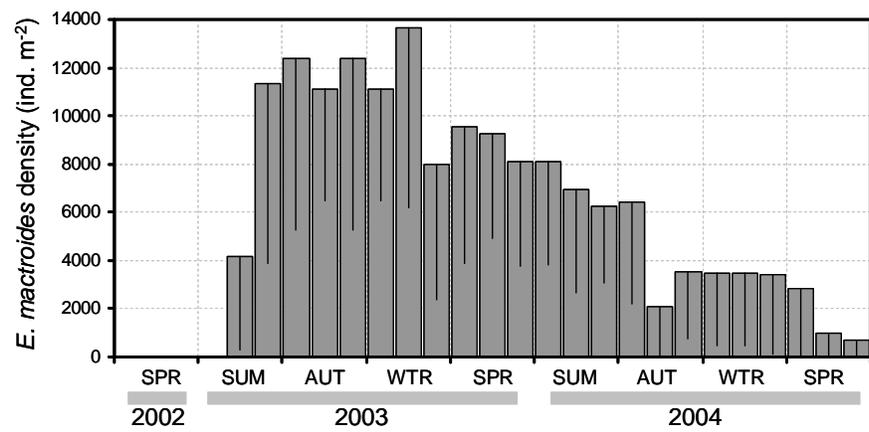


Figure 4. Monthly mean densities (ind. m⁻²) and standard deviation of *Erodona mactroides* along the study.

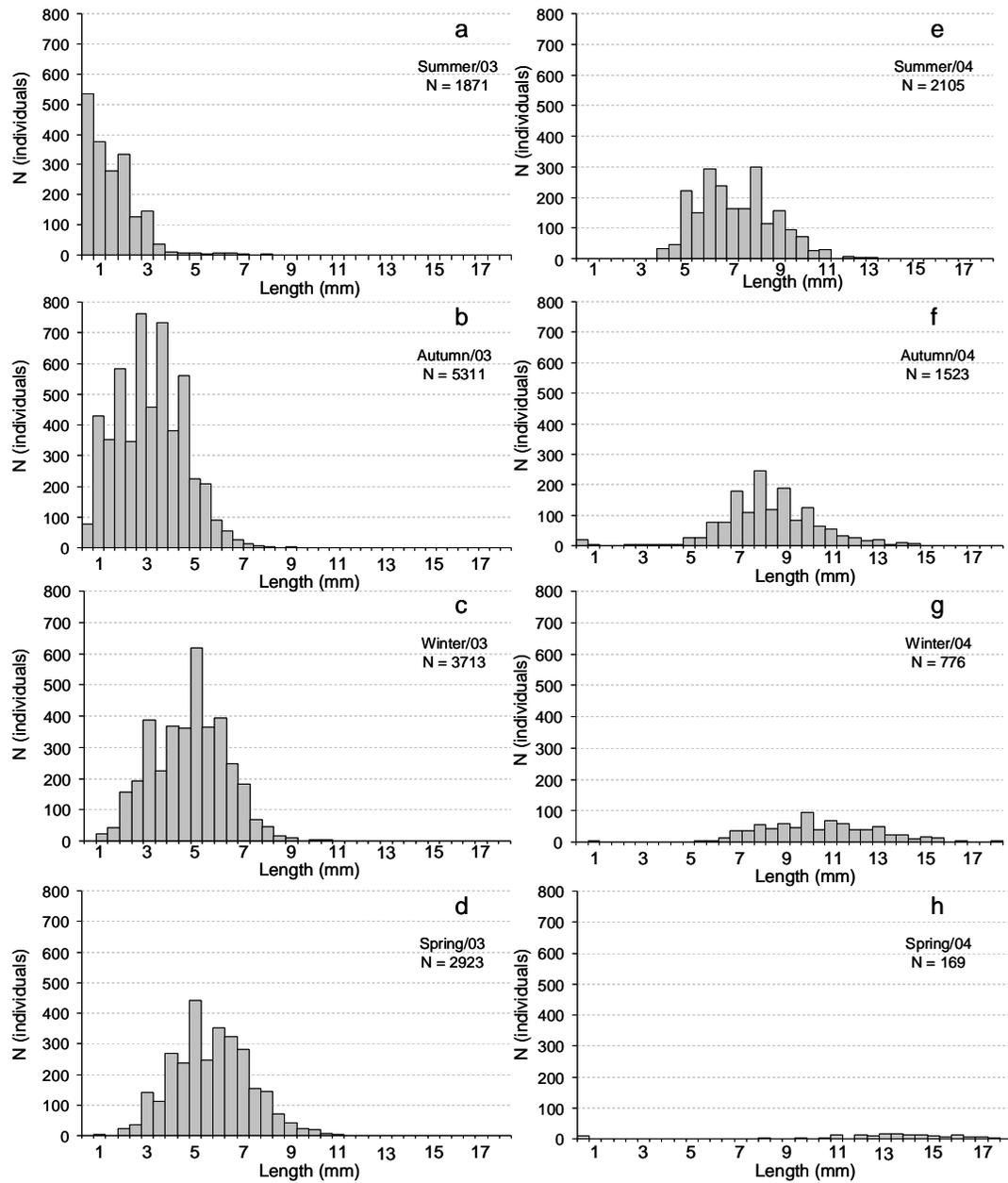


Figure 5. Size frequency distributions (right valve's length, mm) of *Erodona mactroides* along the studied seasons.

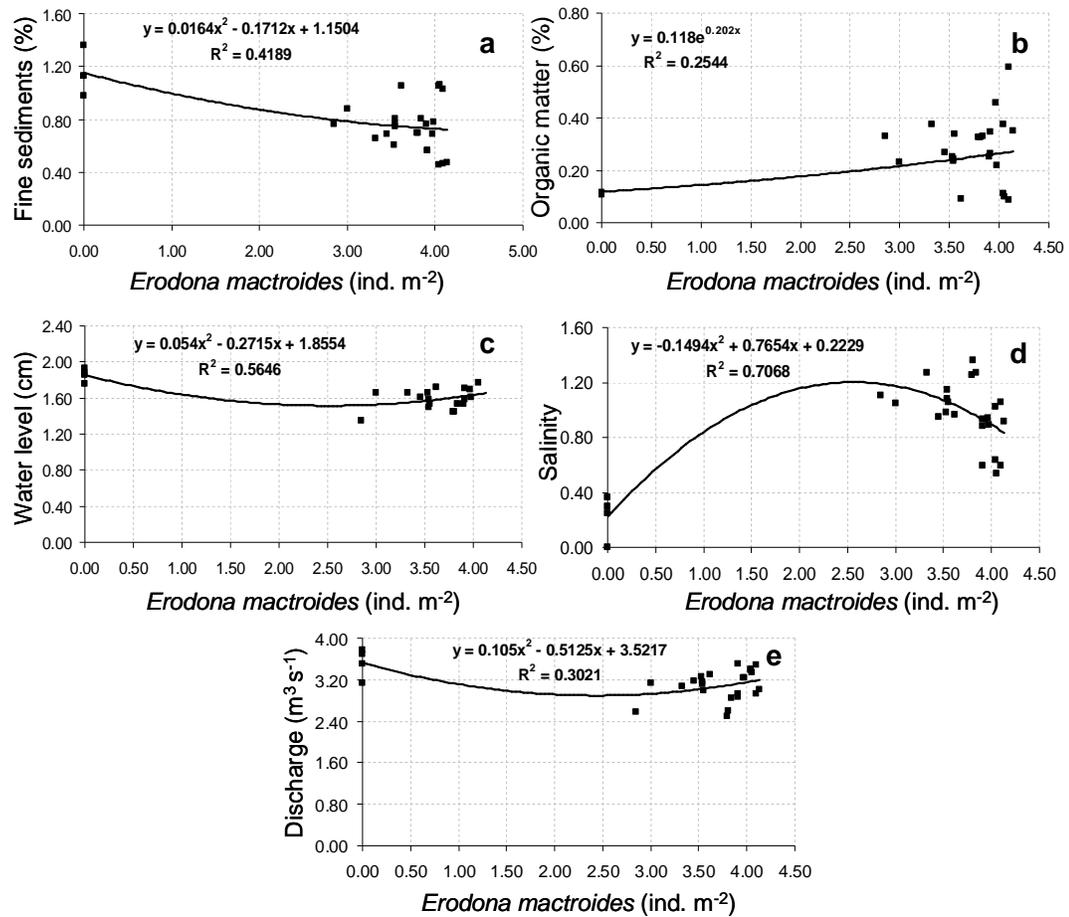


Figure 6. Regression analyses adjusted to $\log(x+1)$ monthly means of *Erodonia mactroides* densities and the following environmental data: fine sediments (a); organic matter (b); water level (c); salinity (d) and water discharge (e).

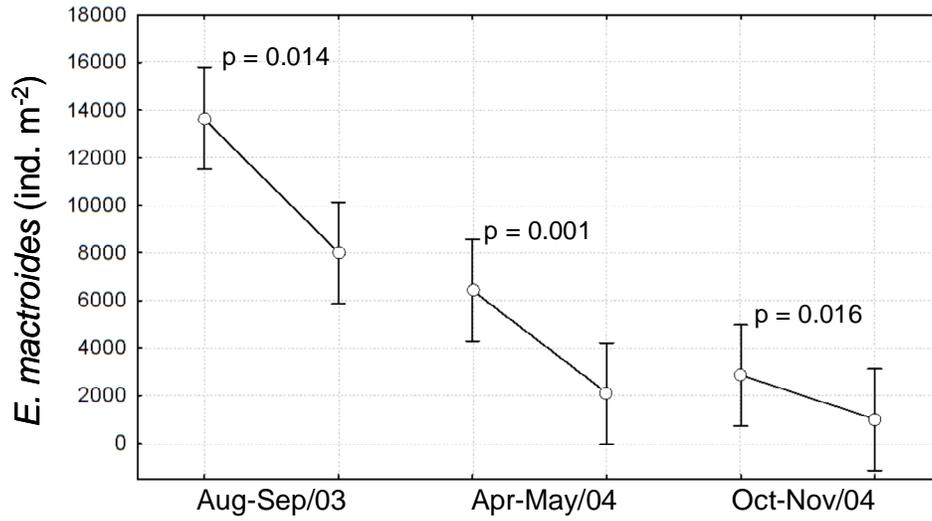


Figure 7. Decreasing *Erodona mactroides* mean densities (open points) and 95 % confidence interval (lines) during the registered mortality events.

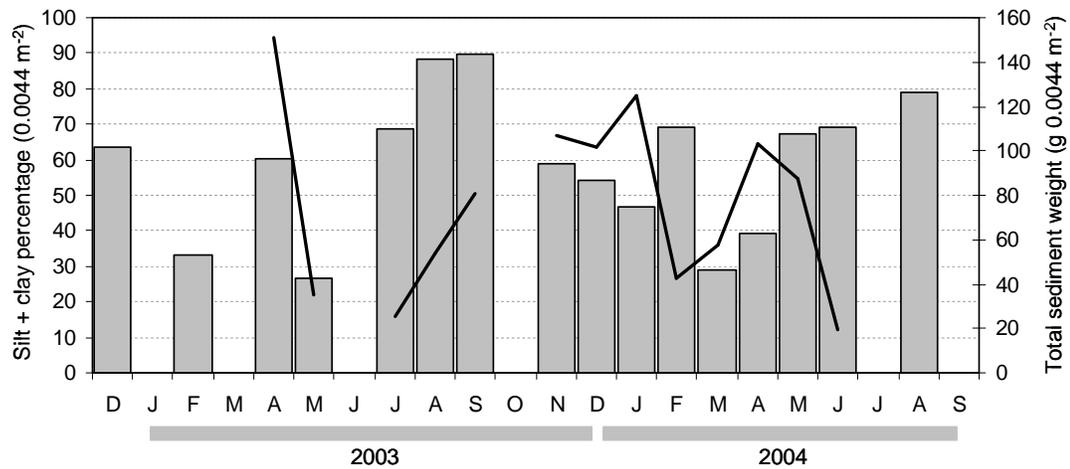


Figure 8. Silt + clay sediment percentages (grey bars) and total sediment weight (black lines) monthly registered in the experiments on sediment deposition.

Seasonal variability on the structure of sublittoral macrozoobenthic association in the Patos Lagoon estuary, southern Brazil

Leonir A. Colling, Carlos E. Bemvenuti & Michel S. Gandra

Laboratório de Ecologia de Invertebrados Bentônicos, Departamento de Oceanografia, FURG. Av. Itália Km 8, Caixa Postal 474, 96203-000 Rio Grande, RS, Brasil. (andre_colling@yahoo.com.br; docbemve@furg.br)

ABSTRACT. The aim of this study is to analyze and relate the spatial-temporal variability of macrozoobenthic assemblages to bottom characteristics and salinity fluctuations, in an estuarine shallow water region of Patos Lagoon. Monthly samples, between September 2002 and August 2003, were taken on six sampling stations (distant 90 m). Three biological samples with a 10 cm diameter corer, one sample for sediment analysis, fortnightly bottom topography measurements, and daily data of temperature and salinity were taken from each station. Two biotic and environmental conditions were identified: the first corresponding to spring and summer months, with low macrozoobenthos densities, low values of salinity, small variations in bottom topographic level and weak hydrodynamic activity. A second situation occurred in the months of fall and winter, which showed increased salinity, hydrodynamics and macrobenthos organisms. These results which contrast with previous studies carried out in the area, were attributed to failure in macrozoobenthos recruitments during summer period, especially of the bivalve *Erodona macrooides* Bosc, 1802 and the tanaid *Kalliapseudes schubartii* Mañe-Garzón, 1949. This results showed that recruitments of dominant species were influenced by salinity and hydrodynamic conditions.

KEYWORDS. Seasonal variability, benthos, estuary, abiotic variables, sublittoral habitats.

RESUMO. Variabilidade sazonal na estrutura da associação de macroinvertebrados bentônicos em uma enseada estuarina da Lagoa dos Patos, sul do Brasil. Objetiva-se analisar e relacionar a variabilidade espaço-temporal de uma associação macrozoobentônica com as características do substrato e variações da salinidade, numa enseada da região estuarina da Lagoa dos Patos. Amostragens mensais entre setembro de 2002 e agosto de 2003 foram realizadas em seis pontos de coleta distantes 90 m entre si. Em cada ponto foram tomadas três amostras biológicas com tubo extrator de 10 cm de diâmetro, uma amostra para análise do sedimento, medidas quinzenais da topografia do fundo e dados diários de temperatura e salinidade. Foram identificadas duas situações ambientais e bióticas bem definidas: uma correspondente aos meses de primavera e verão com baixas densidades do macrozoobentos, baixos valores de salinidade e pouca variação no nível do substrato, refletindo neste caso uma menor atividade hidrodinâmica. A outra situação ocorreu nos meses de outono e inverno, que mostrou uma situação oposta em relação às variáveis bióticas e abióticas. Esses resultados, que contrariam trabalhos anteriores efetuados na região, foram atribuídos a falhas nos recrutamentos do macrozoobentos durante o período de verão, especialmente do bivalve *Erodona macrooides* Bosc, 1802 e do tanaidáceo *Kalliapseudes schubartii* Mañe-Garzón, 1949. Verificou-se que os recrutamentos das espécies dominantes foram influenciados pelas condições de salinidade e pela hidrodinâmica.

PALAVRAS-CHAVE. Variabilidade sazonal, bentos, estuário, variáveis abióticas, habitats sublitorais.

The benthic macroinvertebrate assemblages are structured by many species of molluscs, polychaetes and crustaceans, among other organisms with more than 1 mm size, which show direct relation to the bottom conditions, resulting in an uniformity in lifestyle, despite their distinct phylogenetic origins (DAY *et al.*, 1989). These organisms have a key role in the estuary feeding web, acting as a link between the detritus deposited on the bottom and the higher trophic levels in the system, so contributing to an important resource for larger consumers, such as birds, decapods crustaceans and fishes (BEMVENUTI, 1997c). The structure of these assemblages includes attributes as specific composition, distribution, abundance, biomass, trophic relations and diversity of the organisms (LEVINTON, 1995; PEREIRA & SOARES-GOMES, 2002).

The analysis of the structure of benthic macroinvertebrates assemblages, from their attributes, has been useful in diagnostic studies and environmental monitoring (WARWICK, 1986). However, problems may arise from the interpretation of the data acquired during these studies, concerning the distinction whether they are related to pollution or the result of natural environment variability (CLARKE & WARWICK, 1994). In this latter case,

previous studies are important in order to accomplish sufficient temporal survey of the macrofauna associations and the natural variations on the environment parameters, along the water column and substrate (WEISBERG *et al.*, 1997).

Spatial and temporal variability have been the object of studies in many estuaries (YSEBAERT *et al.*, 2003; HOLLAND, 1985; NETTO & LANA, 1994; QUIJÓN & JARAMILLO, 1993; BILES *et al.*, 2003). In the Patos Lagoon estuarine area, different studies have been conducted about benthic communities in soft bottoms, such as the macrobenthic assemblage characterization (CAPITOLI *et al.*, 1978), temporal variability in the infralittoral and channel area (BEMVENUTI *et al.*, 1978), biological relationships (BEMVENUTI, 1987; 1988; 1994) and comparisons to other estuarine environments of southern Brazil (ROSA-FILHO & BEMVENUTI, 1998). However, there is a lack of studies on the effects of dynamic processes in the water column and substrate and the consequences on distribution and abundance of benthic macrofauna in the Patos Lagoon estuarine area. The present work aimed to analyze the spatial-temporal distribution of benthic macrofauna, in relation to the bottom characteristics and salinity variations along an annual period in that lagoon.

MATERIAL AND METHODS

Fieldwork was performed along a transect with a length of about 450 m in the Saco do Arraial inlet, in a shallow plain in front of the eastern margin of Pombas Island (32°01'S, 52°07'W) in the Patos Lagoon estuarine area (Fig. 1). Six stations 90 m apart from each other were sampled monthly from September 2002 to August 2003. Three biological samples were taken from each station, with a 10 cm diameter corer, pushed 20 cm into the bottom. In each station, a stratified sample (0-5 and 5-10 cm) of the sediment was also collected with same corer (10 cm diameter), and granulometric data were obtained through sieving and pipette analysis (SUGIHO, 1973). Biological samples were sieved in the field, using a 0.3 mm mesh size, fixed with formaldehyde 4% and stained with Bengal Rose. The macroinvertebrates were separated from the sediment matter to the lower possible taxon and preserved in ethanol 70%, with the aid of a stereomicroscope in the laboratory. Daily water temperature and salinity data were obtained from PELD - Programas Ecológicos de Longa Duração, Site 8 - CNPq, FURG - databank.

Aiming to evaluate the hydrodynamic effects on substrate erosion and/or accretion, and its influences upon the benthic community, bottom topography measurements were done fortnightly. Levelled references were fixed on every station (6) along the 450 m profile, where four bottom level measurements were also fortnightly taken.

The dominant species collected were measured with the help of a stereomicroscope (0.5 mm precision). *Erodona mactroides* Bosc, 1802 specimens until 1 mm length and *Kaliapseudes schubartii* Mañe-Garzón, 1949 until 3 mm length were classified as recruits.

Analysis of variance (One-way ANOVA, $\alpha = 0.05$) and Tukey's contrast test was applied to evaluate the temporal variability of fine sediments (silt + clay).

The Shannon-Wiener diversity index (H'), which

integrates the number of species and its abundance in the association, and Pielou's evenness index (CLARK, 1997), were computed and submitted to analysis of variance (Two-way ANOVA, $\alpha = 0.05$) (local x time), like the statistical differences of macrofauna densities too. The biological data was transformed ($\log X + 1$) (UNDERWOOD, 1997) and tested for normality (Kolmogorov-Smirnoff test) and homogeneity of variances (Cochran test and standard-deviation mean plots) prior to their use in statistical tests (UNDERWOOD, 1997). The contrast test of Tukey was applied whenever significant results occurred (MAGURRAN, 1998).

A multi dimensional scaling ordination technique (MDS) was applied employing the Bray-Curtis similarity index on $\log (X + 1)$ transformed species data. A similarity analysis (ANOSIM; $\alpha = 0.05$) was performed to verify possible differences between sample stations. Simper analysis was used to verify the species contribution to similarity between groups of samples (confirmed by ANOSIM) (CLARKE & WARWICK, 1994).

RESULTS

The salinity data showed low values during the first 4 months, previous to sampling period (Fig. 2). This pattern was also observed after the beginning of macrozoobenthos sampling (September, 2002) and remained until late summer (February, 2003) (Fig. 2). In this period, the salinity data showed low values with fortnightly means not higher than 5, except in September, 2002. An increase in salinity was verified from the second fortnight of February, 2003, when it reached up to 28, as well as fortnightly means above 5 (Fig. 2). Monthly means of temperature risen gradually from the beginning of spring to the end of summer (14.3 to 24.8 °C), and fell during the months of autumn and winter (23.1 to 16.6 °C) (Fig. 2).

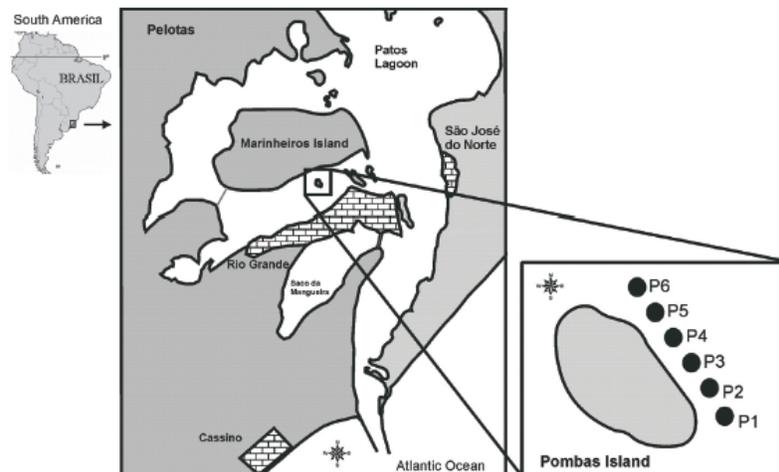


Fig. 1. Patos Lagoon estuarine region, southern Brazil, indicating the study area. P1 to P6, biological samples places. Hachured regions are inhabited zones.

Topographical measurements showed homogeneous values between spring and winter. The higher variability was verified in the level measurements in February, 2003. This trend was marked in stations #1, #2 and #3 (Figs. 3, 4) than in stations #5 and #6 (Fig. 5).

Grain size analysis showed that sediment of stations #1 (4.3%) and #2 (5.9%) had smaller percentages of mud (silt and clay, < 0.064 mm), in relation to stations #3 (8.3%), #4 (11.2%), #5 (9.6%) and #6 (10.5%). Temporal variation of mud percentage showed significant differences for the winter period ($p < 0.05$), when the mud content was smaller than in the other periods.

A total of 23,808 organisms were collected, corresponding to 17 species (Tab. I). The dominance was of the bivalve *E. mactroides* (49%), the polychaetes *Nephtys fluviatilis* Monro, 1937 (12.2 %) and *Heteromastus similis* Southern, 1921 (12.8 %), the tanaid *Kalliapseudes schubartii* (15.7 %), and the isopod *Munna peterseni* Pires-Vanin, 1985 (3.7 %), that made-up 93 % of the total macrofauna. The values of diversity (H') and evenness (J') did not show significant variations ($p > 0.05$) between sampling stations, as well as between months. Benthic macrofauna showed significant differences of

density ($p < 0.05$) among seasons, when it registered very low values of density in the spring (2,885 ind.m⁻²) and in the summer (3,782 ind.m⁻²), in contrast to higher values registered in the autumn (27,028 ind.m⁻²) and in the winter (22,416 ind.m⁻²) (Fig. 6).

Most of the macrobenthic species increase abundance since autumn (Fig. 6), among them arise the dominant species *E. mactroides* and *K. schubartii* (Tab. IV), that showed strong recruitments in this period.

The Ordination Analysis (MDS) (Fig. 7) showed two major groups, composed by spring and summer samples, and other group containing autumn and winter samples. This results was confirmed by ANOSIM ($R = 0.9$; $p < 0.05$).

The juveniles of *E. mactroides* showed significant differences of density along the six stations, in February and March ($p < 0.05$), due to the small number of specimens found in stations #5 and #6. Recruitments of *E. mactroides* were always more intense in places with higher hydrodynamics, situated in front of the southern extremity of Pombas Island (stations #1 and #2), then the places with lower hydrodynamics, in an sheltered area due island protection (stations #5 and #6).

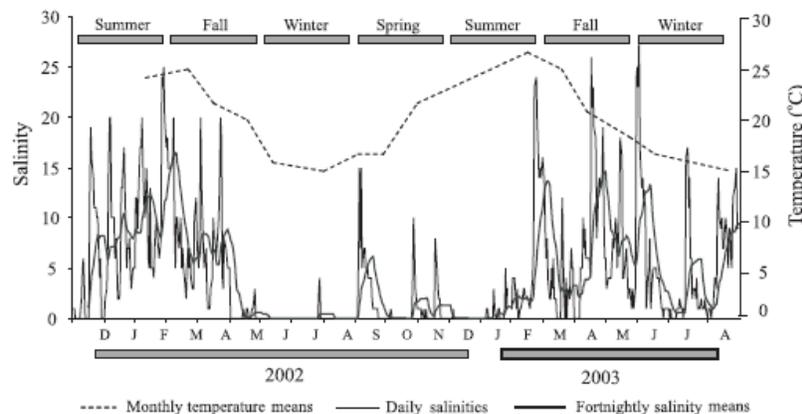


Fig. 2. Abiotic parameters (monthly temperature means, daily salinities and fortnightly salinity means) during study period on Patos Lagoon estuary, southern Brazil. December of 2001 to August of 2002 correspond to previous data, registered before the sampling period.

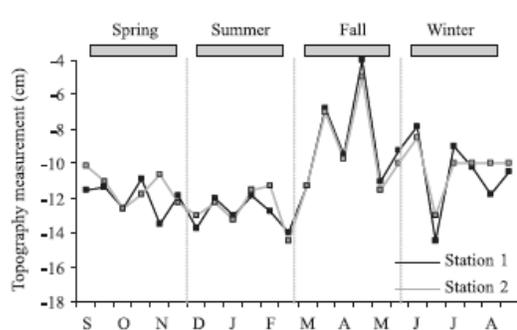


Fig. 3. Fortnightly variability (cm) on bottom topography measurements in stations 1 and 2, Patos Lagoon estuary, southern Brazil.

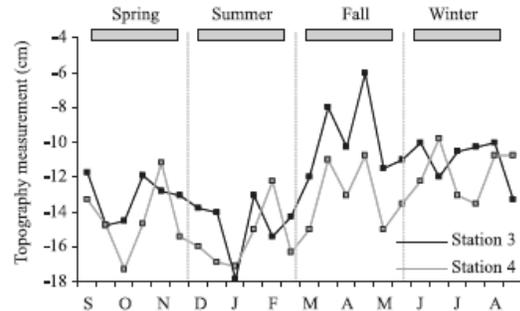


Fig. 4. Fortnightly variability (cm) on bottom topography measurements in stations 3 and 4, Patos Lagoon estuary, southern Brazil.

Tab. I. Values of mean density (mean) and standard deviation (Sd) (ind.m⁻²) from samples of macrofauna groups in the Patos Lagoon estuary, southern Brazil.

	September		Spring October		November		December		Summer January		February	
	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd
POLYCHAETA												
<i>Heteromastus similis</i>	1755	1019	906	388	580	196	856	454	488	371	1338	739
<i>Laonereis acuta</i>	134	207	78	89	142	144	85	116	14	41	78	89
<i>Nephtys fluviatilis</i>	913	377	425	218	672	246	616	297	856	528	856	425
CRUSTACEA												
<i>Munna peterseni</i>	234	539	57	146	85	151	7	30	42	76	28	54
<i>Diazylis sympterigiae</i>	92	150	42	76	149	236	92	150	163	209	21	66
<i>Kalliapseudes schubartii</i>	410	390	248	271	623	632	205	273	156	331	1019	780
<i>Kupellonura sp.</i>	99	183	7	30	85	218	21	90	21	49	28	93
<i>Mellita mangrovi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Misidopsis tortoneri</i>	7	30	0	0	7	30	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudosphaeroma sp.</i>	0	0	14	41	28	120	21	66	7	30	0	0
<i>Sinelobus stanfordi</i>	290	332	64	126	71	133	7	30	21	49	7	30
<i>Cumacea n.d.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	14	41	0	0
MOLLUSCA												
<i>Erodona mactroides</i>	0	0	0	0	7	30	0	0	0	0	4140	3857
<i>Heleobia australis</i>	347	504	57	90	0	0	21	66	226	308	28	70
<i>Tagelus plebeius</i>	0	0	0	0	7	30	14	41	0	0	0	0
NEMERTINEA												
	0	0	0	0	0	0	0	0	7	30	0	0
HIRUDINEA												
	21	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

	March		Fall April		May		June		Winter July		August	
	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd	Mean	Sd
POLYCHAETA												
<i>Heteromastus similis</i>	4968	2356	5088	2215	3241	1279	2123	871	1762	573	2442	1098
<i>Laonereis acuta</i>	85	124	439	281	219	204	163	144	57	100	64	100
<i>Nephtys fluviatilis</i>	1897	763	4402	1357	3680	1038	4076	2738	2583	1456	3730	1825
CRUSTACEA												
<i>Munna peterseni</i>	120	334	446	548	3022	3834	1479	1951	665	979	1224	1148
<i>Diazylis sympterigiae</i>	28	93	35	73	156	292	170	441	21	66	255	393
<i>Kalliapseudes schubartii</i>	2887	3485	5909	5437	7219	5507	4338	3647	3836	3965	2739	2606
<i>Kupellonura sp.</i>	14	41	28	54	14	41	14	41	0	0	21	49
<i>Mellita mangrovi</i>	0	0	0	0	7	30	0	0	0	0	0	0
<i>Misidopsis tortoneri</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudosphaeroma sp.</i>	21	66	28	70	7	30	35	73	7	30	7	30
<i>Sinelobus stanfordi</i>	14	41	156	298	1182	1160	1408	1225	835	656	948	716
<i>Cumacea n.d.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MOLLUSCA												
<i>Erodona mactroides</i>	11366	7466	12385	7114	11132	4642	13652	7445	8004	5651	9561	5664
<i>Heleobia australis</i>	219	156	177	219	488	358	488	336	219	209	318	325
<i>Tagelus plebeius</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NEMERTINEA												
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HIRUDINEA												
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

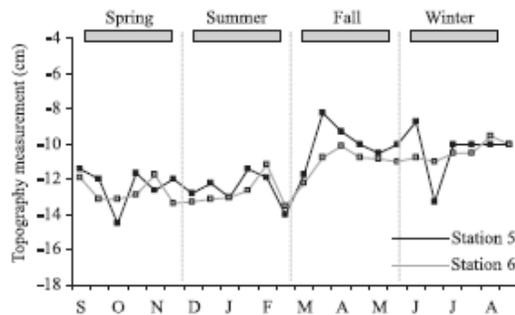


Fig. 5. Fortnightly variability (cm) on bottom topography measurements in stations 5 and 6, Patos Lagoon estuary, southern Brazil.

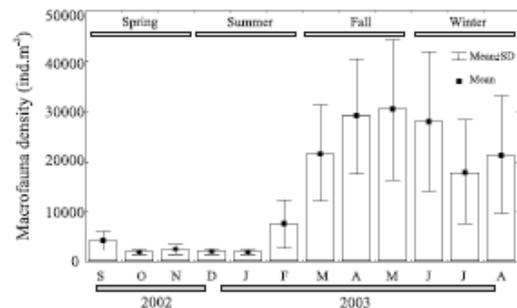


Fig. 6. Mean density (ind.m⁻²) of macrofauna for the study period in the Patos Lagoon estuary, southern Brazil.

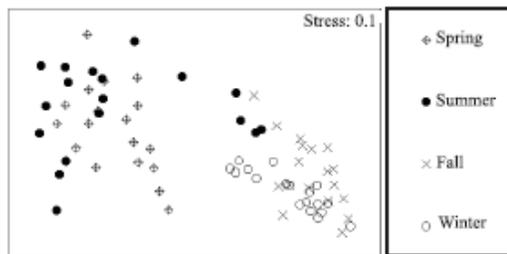


Fig. 7. Result of Multi-dimensional scaling ordination analysis (MDS) in the Patos Lagoon estuary, southern Brazil.

DISCUSSION

The results showed two well defined environmental and biotic situations: one corresponding to spring-summer period, with low macrozoobenthos densities, low values of salinity and little variation in bottom level, due to low hydrodynamics, and the another corresponding to the autumn and winter period, when an opposite pattern occurred.

The low density values recorded during the summer months in the studied shallow area contrast to those obtained in previous works conducted in Patos Lagoon. BEMVENUTI (1987) found that macrozoobenthos densities recorded in summer, above 17,000 ind.m⁻², were significantly higher than those found in the winter months (below 9,000 ind.m⁻²). The salinity conditions occurred in that work shows lowest salinity values in spring, with an increase in the summer – fall periods. Seasonal fluctuations in the estuarine area showed that reduction in the salinity average, during winter and spring may affect the abundance of benthic macrofauna assemblages, in contrast to summer and fall periods, with high salinity values, that increase macrozoobenthos densities, mainly due to recruitment of the dominant species (BEMVENUTI, 1987; BEMVENUTI & NETTO, 1998). Those high densities of macrozoobenthos in the summer were strongly influenced by the expressive recruitment of *K. schubartii* and coincided with the higher salinity and temperature values (BEMVENUTI, 1987).

It is well known that salinity influences the composition and the number of species in estuaries (LITTLE, 2000). Low salinity conditions impose severe conditions to estuarine organisms, which will therefore demand energy at high expenses, in response to osmoregulation (DAY *et al.*, 1989). The maintenance of this process could cause either mortality or inhibit their activity, limiting reproductive capacity and so its impact on future recruitment. The lower values of macrozoobenthos density coincide with low values of salinity registered between September, 2002 and February, 2003, when the estuarine area was under El-Niño influence, causing peaks of fresh water discharge, which made exceed mean values (GARCIA, 1997; GARCIA *et al.*, 2003).

Kalliapseudes schubartii is an estuarine species which can afford high levels of investment in reproduction, so responsible for the intense recruitments in summer months in the shallow water areas of Patos

Lagoon estuarine region (BEMVENUTI, 1997a, b). This species decrease its activity and seems under stress in low salinity conditions (G. Fillmann, pers. comm. Ecotoxicology Laboratory, Oceanography Department, FURG). The low salinity condition recorded during the spring-summer period, in the present study may have influenced the failures in the species recruitment.

The low *E. mactroides* recruitments intensity also influenced the low densities recorded in the present work, during the summer. These bivalve adult stocks are in northern portion of the estuarine area (BEMVENUTI *et al.*, 1978) as well along the pre-limnic and limnic area at the extreme northern section of Patos Lagoon (BEMVENUTI & NETTO, 1998). The species reproduction occurs in these areas and larvae drift along in the ebb tides colonizing the southern estuarine area, between late spring and the end of summer (BEMVENUTI *et al.*, 1978). This reproductive pattern in which larvae arrival depends on water transportation makes the recruitment of *E. mactroides* to be unpredictable in time and space (BEMVENUTI, 1997b). This pattern was also observed by the authors, during long term studies beginning in 1996 (PELD – Project, Site 8 – Patos Lagoon Estuary, unpublished data).

The fact that recruitment of *E. mactroides* had not occurred in the summer, only in the autumn in the present work, as shown in the works carried out by JORCIN (1996), influenced upon the macrozoobenthos densities, which recorded lower values than those registered in the study carried out by BEMVENUTI (1987). The coincidence between higher levels of recruitment in time (autumn) as well in space (stations #1 and #2), under greater hydrodynamics, reinforce the influence of this variable upon the distribution and abundance of the species in the southern area of Patos Lagoon estuary. In subtropical and temperate zones, summer periods are characterized by the settlement of new individuals into the coastal benthic system, due to the enhancement of the reproductive process and recruitment of macrozoobenthos. Therefore, environmental patterns such as salinity changes and hydrodynamic forces, that cause recruitment variability, add a relevant aspect on the dynamics of the benthic associations in temperate estuarine regions.

Acknowledgements. To the two anonymous referees who increased the quality of the manuscript. To the financial support from FAPERGS and CNPq (PELD – Programas Ecológicos de Longa Duração). Thanks also to Nilton Abreu, for help in the Laboratório de Ecologia de Invertebrados Bentônicos – Departamento de Oceanografia, FURG.

REFERENCES

- BEMVENUTI, C. E. 1987. Predation effects on a benthic community in estuarine soft sediments. *Atlântica* 1:5-32.
- _____. 1988. Impacto da predação sobre *Heteromastus similis* Southern, 1921 e *Nephtys fluviatilis* Mouro, 1937 (Annelida, Polychaeta), em fundos moles estuarinos. *Atlântica* 10(1):8-102.
- _____. 1994. O poliqueta *Nephtys fluviatilis* Mouro (1937) como predador da infauna na comunidade de fundos moles. *Atlântica* 16:87-98.
- _____. 1997a. Benthic invertebrates. In: SHELIGER, U.; ODEBRECHT, C. & CASTELLO, J. eds. *Subtropical convergence marine ecosystem. The coast and the sea in the warm temperate southwestern Atlantic*. Heidelberg, Springer Verlag. p.43-46.
- _____. 1997b. Unvegetated intertidal flats and subtidal bottoms. In:

- SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C. & CASTELLO, J. eds. Subtropical convergence marine ecosystem. The coast and the sea in the warm temperate southwestern Atlantic. Heidelberg, Springer Verlag. p.78-82.
- _____. 1997c. Trophic structure. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C. & CASTELLO, J. eds. Subtropical convergence marine ecosystem. The coast and the sea in the warm temperate southwestern Atlantic. Heidelberg, Springer Verlag. p.70-73.
- BEMVENUTI, C. E.; CAPITOLI, R. R. & GIANUCA, N. M. 1978. Estudos de ecologia bentônica na região estuarial da Lagoa dos Patos. II - Distribuição quantitativa do macrobentos infralitoral. *Atlântica* 3:23-32.
- BEMVENUTI, C. E. & NETTO, S. 1998. Distribution and seasonal patterns of the sublittoral benthic macrofauna of Patos Lagoon (South Brazil). *Revista Brasileira de Biologia* 58(2):211-221.
- BILES, C. B.; SOLAN, M.; ISAKSSON, I.; PATERSON, D.; EMES, E.; RAFFAELLI, D. G. 2003. Flow modifies the effect of biodiversity on ecosystem functioning: an *in situ* study of estuarine sediments. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 285-286:165-177.
- CAPITOLI, R. R.; BEMVENUTI, C. E. & GIANUCA, N. M. 1978. Estudos de ecologia bentônica na região estuarial da Lagoa dos Patos. I - As comunidades bentônicas. *Atlântica* 3:5-22.
- CLARK, R. B. 1997. Marine pollution. Oxford, Clarendon. 161p.
- CLARKE, K. R. & WARWICK, R. M. 1994. Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth, Natural Environmental Research Council. 234p.
- DAY, J. W.; HALL, C. A. S.; KEMP, W. M. & YAÑEZ-ARANCIBIA, A. 1989. The estuarine bottom and benthic subsystem. In: DAY, J. W. ed. Estuarine ecology. New York, John Wiley & Sons, p. 338-376.
- GARCIA, C. A. E. 1997. Hydrographic characteristics. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C. & CASTELLO, J. eds. Subtropical convergence marine ecosystem: the coast and the sea in the warm temperate southwestern Atlantic, Berlin, Berlin Springer-Verlag. p.18-20.
- GARCIA, A. M.; VIEIRA, J. P. & WINEMILLER, K. O. 2003. Effects of 1997-1998 El Niño on the dynamics of the shallow-water fish assemblage of the Patos Lagoon Estuary (Brazil). *Estuarine, coastal and shelf Science* 57:489-500.
- HOLLAND, A. F. 1985. Long-term variation of macrobenthos in an mesohaline region of Chesapeake Bay. *Estuaries* 8:93-113.
- JORCIN, A. 1996. Distribución, abundancia y biomasa de *Erodona mactroides* (Mollusca, Bivalvia, DAUDIN, 1801), em la Laguna de Rocha (Dpto. De Rocha, Uruguay). *Revista Brasileira de Biologia* 56(1):155-162.
- LEVINTON, J. S. 1995. Marine biology: function, biodiversity, Ecology. New York, Oxford University Press. 420p.
- LITTLE, C. 2000. The biology of soft shores and estuaries, New York, Oxford University. 252p.
- MAGURRAN, A. E. 1998. Ecological diversity and its measurement. London, Chapman & Hall. 242p.
- NETTO, S. A. & LANA, P. C. 1994. Effects of sediment disturbance on the structure of benthic fauna in a subtropical tidal creek of southeastern Brazil. *Marine Ecology Progress Series* 106:239-247.
- PEREIRA, R. C. & SOARES-GOMES, A. eds. 2002. *Biologia marinha*. Rio de Janeiro, Interciência. 382p.
- QUIDÓN, P. & JARAMILLO, E. 1993. Temporal variability in the intertidal macroinfauna in the Queule River Estuary, South-Central Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 43(5):655-667.
- ROSA-FILHO, J. S. & C. E. BEMVENUTI. 1998. Caracterización de las comunidades macrobentónicas de fondos blandos en regiones estuarinas de Rio Grande do Sul (Brasil). *Thalassas* 14:43-56.
- SUGUIO, K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, EDUSP. 317p.
- UNDERWOOD, A. J. 1997. *Experiments in ecology - their logical design and interpretation using analysis of variance*. Cambridge, Cambridge University. 504p.
- WARWICK, R. M. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology* 92:557-562.
- WEISBERG, S. B.; RANASINGUE, J. A.; DAUER, D. M.; SCAFFNER, L. C.; DIAZ, R. J. & FTITHSEN, J. B. 1997. An estuarine benthic index of biotic integrity (B-IBI) for Chesapeake Bay. *Estuaries* 20(1):149-158.
- YSEBAERT, T.; HERMAN, P. M. J.; MEIRE, P.; CRAEYMERSCH, J.; VEEBEEK, H.; HEIP, C. H. R. 2003. Large-scale spatial patterns in estuaries: estuarine macrobenthic communities in the Schelde estuary, NW Europe. *Estuarine, coastal and shelf Science* 57:335-355.

Recebido em janeiro de 2006. Aceito em dezembro de 2006. ISSN 0073-4721
Artigo disponível em: www.scielo.br/iz

Iheringia, Sér. Zool., Porto Alegre, 97(3):257-262, 30 de setembro de 2007