

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

**Variabilidade da condição corporal de larvas de Savelha  
(*Brevoortia pectinata*) no Estuário da Lagoa dos Patos e  
Zona Costeira Adjacente**

**NATHALLIA LEITE ALVES SALVADOR**

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

**Orientador: JOSÉ HENRIQUE MUELBERT**

**RIO GRANDE**

**Março, 2017**

ÍNDICE	
LISTA DE TABELAS .....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	iv
RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
1.INTRODUÇÃO .....	9
2.METODOLOGIA.....	15
2.1 Área de estudo .....	15
2.2.Coleta de ovos e larvas de peixes.....	16
2.3 Coleta das variáveis ambientais .....	16
2.4 Processamento do Material Biológico .....	17
2.4.1. Medição .....	17
2.4.2.Calibração e Correção Pós-conservação .....	18
2.4.3.Pesagem .....	19
2.4.4 Determinação do Índice de Condição Residual.....	19
2.5.    Análises estatísticas.....	20
2.5.1 Análise da Condição Residual e Distribuição de Tamanho.....	21
2.5.2. Análise estatísticas das variáveis ambientais .....	22
2.5.3 Análises de séries temporais.....	22
3.RESULTADOS .....	23
3.1.Variabilidade do tamanho e condição das larvas de <i>B. pectinata</i> .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.2 Variabilidade dos Fatores Ambientais no Estuário da Lagoa dos Patos e Zona costeira Adjacente..	35
Salinidade.....	35
Temperatura.....	39
Vazão .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

Concentração de Clorofila <i>a</i> .....	47
Abundância de Copépodes .....	53
Análise das séries Temporais.....	57
3. Mudanças de longo prazo na condição das larvas de <i>B. pectinata</i> .....	63
4.DISCUSSÃO .....	66
4.1. Variabilidade do comprimento das larvas de savelha no ELP e ZAC.... <b>Erro! Indicador não definido.</b>	
4.2. Variabilidade temporal da condição das larvas de savelha.....	66
4.3 Variação ambiental a longo prazo .....	75
4.4 Variação de longo prazo da condição das larvas de savelha .....	77
5. CONCLUSÕES .....	82
LITERATURA CITADA .....	83
APÊNDICE 1 – Gráficos de correlação cruzada da variação ambiental a longo prazo.	87
APÊNDICE 2 - Gráficos de correlação cruzada da variação de longo prazo da condição das larvas de savelha.....	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos eventos ENSO para os diferentes períodos estudados.....	21
Tabela 2 - Diferenças significativas do índice de condição residual entre os anos 2000 a 2014. Valores de <i>p</i> do teste de Dunn.....	25
Tabela 3 - Diferenças significativas do índice de condição residual das larvas na ZAC, entre os diferentes meses do ano. Valores de <i>p</i> do teste de Dunn.....	29
Tabela 4 - Diferenças significativas do índice de condição residual das larvas na ZAC, entres os anos 2000 a 2014. Valores de <i>p</i> do teste de Dunn.....	30
Tabela 5 – Diferenças significativas na condição das larvas de savelha entre 2009 a 2012, para as diferentes estações do ano. Valores de <i>p</i> do teste de Dunn.....	32

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização das estações de coleta ao longo do Estuário da Lagoa dos Patos (ELP) e Zona de Arrebetação Costeira (ZAC) .....	15
Figura 2 - Análise de agrupamento das sete estações de coleta baseado na salinidade que une as estações E1 (EMA) e E2 (Molhes) como o grupo ZAC, as estações E3 (Prainha), E4 (Mangueira), E5 (Franceses), E6 (Porto Rei) e E7 (Marambaia) como grupo ELP.....	20
Figura 3 - Variabilidade mensal do Índice de Condição Residual das larvas de savelha entre 2000 a 2014 no ELP. Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período. ....	24
Figura 4 - Variabilidade interanual do Índice de Condição Residual das larvas de savelha entre 2000 a 2014 no ELP. Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período. ....	25
Figura 5 - Índice de Condição Residual das larvas de savelha associadas a eventos ENSO entre 2000 a 2014 no ELP. Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período.....	26
Figura 6- Variabilidade sazonal do Índice de Condição residual das larvas de savelha no ELP entre 2000 a 2003 (A) e 2006 a 2008 (B) e 2009 a 2012 (C). Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período.....	27
Figura 7 - Variabilidade do Índice de Condição residual das larvas de savelha no ELP para os diferentes eventos ENSO, entre 2000 a 2003 (A) e 2006 a 2008 (B) e 2009 a 2012 (C). Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período.....	28
Figura 8- Variabilidade mensal do Índice de Condição Residual das larvas de savelha entre 2000 a 2014 na ZAC. Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período.....	29
Figura 9 - Variabilidade interanual do Índice de Condição residual das larvas de savelha na ZAC entre 2000 a 2014. Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período. ....	30
Figura 10 - Variabilidade do Índice de Condição residual das larvas de savelha na ZAC entre 2000 a 2014, associada a diferentes eventos ENSO. Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período.....	31
Figura 11 - Variabilidade sazonal do Índice de Condição residual das larvas de savelha na ZAC entre 2000 a 2003 (A) e 2006 a 2008 (B) 2009 a 2012 (C). Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período.....	32
Figura 12 - Variabilidade do Índice de Condição Residual das larvas de savelha na ZAC, entre 2000 a 2003 (A), 2006 a 2008 (B), e entre 2009 a 2012 (C) associadas a diferentes eventos ENSO. Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período. ....	34

Figura 13 - Série temporal mensal da salinidade para o Estuário da Lagoa dos Patos (A) e Zona de Arrebentação da Praia do Cassino (B) para o período de 2000 a 2014. La Niña (----), El Niño (.....), Neutro (—).....	36
Figura 14 - Distribuição da salinidade no ELP (A) e na ZAC (E) para os diferentes eventos do ENSO entre 2000 a 2014, para o período de 2000-2003 para o ELP (B) e ZAC (F), para 2006-2008 para o ELP (C) e ZAC (F), e para 2009-2012 para o ELP (D) e ZAC (H). Linha tracejada indicando a mediana para todo o período.....	38
Figura 15 - Série temporal da temperatura da água para o Estuário da Lagoa dos Patos (A) e Zona de Arrebentação da Praia do Cassino (B) para o período de 2000 a 2014. La Niña (----), El Niño (.....), Neutro (—).....	40
Figura 16 - Distribuição da temperatura no ELP (A) e na ZAC (E) para os diferentes eventos do ENSO entre 2000 a 2014, para o período de 2000-2003 para o ELP (B) e ZAC (F), para 2006-2008 para o ELP (C) e ZAC (G), e para 2009-2012 para o ELP (D) e ZAC (H). A linha tracejada (---) nos gráficos indica a mediana da salinidade para todo o período. ....	42
Figura 17 - Série temporal da vazão dos principais tributários da Lagoa dos Patos entre 2000 a 2014. La Niña (----), El Niño (.....), Neutro (—).....	43
Figura 18 - Vazão para os diferentes eventos ENSO entre os anos 2000 a 2014 (A) 2000 a 2003 (B), 2006 a 2008 (C), 2009 a 2012 (D). A linha tracejada (---) indica a mediana da salinidade para todo o período.....	45
Figura 19 - Variabilidade sazonal da vazão dos principais tributário da lagoa dos patos para o período de 2000 a 2003 (A), 2006 a 2008 (B) e 2009 a 2012 (C). A linha tracejada (---) indica a mediana da salinidade para todo o período.....	47
Figura 20 - Série temporal da concentração de clorofila a $\mu\text{g/l}$ no ELP (A) e na ZAC (B) durante os anos 2000 a 2014. La Niña (----),Neutro (—).El Niño (.....).....	48
Figura 21-Concentração de clorofila a, no ELP (A) e na ZAC (E) para os diferentes eventos do ENSO entre 2000 a 2014, para o período de 2000-2003 para o ELP (B) e ZAC (F), para 2006-2008 para o ELP (C) e ZAC (G), e para 2009-2012 para o ELP (D) e ZAC (H). ....	50
Figura 22 - Variabilidade sazonal da concentração de clorofila no ELP para o período de 2000 a 2003 (A), 2006 a 2008 (B) e 2009 a 2012 (C).....	51
Figura 23 - Variabilidade sazonal da Concentração de Clorofila a na ZAC para o período de 2000 a 2003 (A), 2006 a 2008 (B) e 2009 a 2012 (C).....	52
Figura 24 - Abundância de copépodes ( $\text{org/m}^3$ ) no ELP (A) e na ZAC (B) durante os anos 2000 a 2003. ....	53

Figura 25 – Abundância de copépodes (org/m <sup>3</sup> ) para os diferentes eventos ENSO entre os anos 2000 a 2003 no ELP (A) e ZAC (C), e entre 2009 a 2012 no ELP (B) e ZAC (C). .....	54
Figura 26 - Concentração de copépodes (org/m <sup>3</sup> ) no ELP e na ZAC durante os anos 2009 a 2012. ....	55
Figura 27 - Abundância sazonal de Copépodes no ELP durante os anos 2000 a 2003 (A) e 2009 a 2012 (B). ....	56
Figura 28 - Abundância sazonal de copépodes na ZAC durante os anos 2000 a 2003 (A) e 2009 a 2011 (B). ....	57
Figura 29 - Séries temporais do Índice de Oscilação Sul e da vazão dos principais tributários da Lagoa do Patos entre os anos 2000 a 2014. ....	58
Figura 30 - Séries temporais da salinidade (A) e concentração de clorofila a (B) no ELP, plotadas em relação a série temporal do Índice de Oscilação Sul. ....	59
Figura 31 - Séries temporais de salinidade e concentração de clorofila a no ELP entre 2000 a 2014, plotadas em relação a série temporal da vazão. ....	60
Figura 32 - Séries temporais da salinidade (A) e concentração de clorofila a (B) na ZAC, plotadas em relação a série temporal do Índice de Oscilação Sul. ....	61
Figura 33 - Séries temporais da salinidade (A) e concentração de clorofila a (B) na ZAC, plotadas em relação a série temporal da vazão. ....	62
Figura 34 - série temporal temporal trimestral para o período compreendido entre 2000 e 2014 do índice de condição residual de larvas de <i>Brevoortia pectinata</i> e do (A) Índice de Oscilação Sul (SOI), (B) salinidade, (C) vazão (m <sup>3</sup> /s), (D) concentração de clorofila no ELP. ....	65
Figura 35 - Série temporal trimestral para o período compreendido entre 2000 e 2014 do índice de condição residual de larvas de <i>Brevoortia pectinata</i> e do (A) Índice de Oscilação Sul (SOI), (B) salinidade, (C) vazão (m <sup>3</sup> /s), (D) concentração de clorofila a (ug/L) e temperatura na ZAC .....	65

## RESUMO

A variabilidade da condição corporal das larvas de savelha (*Brevoortia pectinata*) foi investigada através na análise do índice de condição residual (ICR) em diferentes escalas temporais, (ELP e Zona de arrebentação do Cassino (ZAC) entre os anos 2000 a 2014. Maiores ICR das larvas no ELP esteve associada a períodos de baixa vazão e alta salinidade (verão e outono) e maior disponibilidade de alimentos, enquanto que na ZAC, as larvas apresentaram maior ICR durante períodos de maior vazão, quando a descarga de água doce proporcionou um maior aporte de nutrientes e maior disponibilidade de alimentos para esses organismos. O fenômeno climático El Niño Oscilação Sul (ENSO) não atuou de maneira clara sobre o ICR condição desses organismos, visto que os mesmos eventos ENSO apresentaram diferentes efeitos sobre a condição corporal das larvas de savelha de acordo com o período estudado, indicando que a variabilidade ambiental associada a sazonalidade tem efeito mais importante sobre a condição desses organismos no ELP e ZAC. Outras variáveis de menor escala e não mensuradas podem ter afetado também a condição corporal das larvas nessas regiões.

## ABSTRACT

In the present study, we investigated the variability on the larval body condition of the Argentine menhaden, *B. pectinata* in different temporal scales through the residual index condition. This index was determined in the Patos Lagoon estuary (PLE) and adjacent coastal zone (ACZ) from 2000 to 2014. Larvae in good body condition in PLE were associated to periods of low continental discharge, high salinity and high food availability. In contrast, in the ACZ, larvae were healthier during periods of higher flow, when the continental discharge was responsible for the input of new nutrients in the coastal zone, which allow the growth of primary and secondary producers, and consequently, provided more food to menhaden larvae. The El Niño Southern Oscillation (ENSO) did not have a clear influence on the condition of these organisms, since the same ENSO events had different effects in the health of these larvae. We conclude that environmental variability related to seasonality have the most important effect in the variability of menhaden larvae condition in the PLE and ACZ. Other small scale and non-measured variables may have also affected the body condition of the larvae in these regions.

## 1.INTRODUÇÃO

Estuários são conhecidos como áreas de criação para uma grande variedade de espécies de peixes. Embora muitos desses ambientes proporcionem um habitat estressante devido a sua alta variabilidade ambiental, várias espécies de peixes encontram nesses locais condições propícias para alimentação, refúgio e crescimento durante seus estágios iniciais de vida [Able 2005; Yáñez-Arancibia et al. 1994] O Estuário da Lagoa dos Patos (ELP), localizado na planície costeira do Rio Grande do Sul, é um exemplo de ambiente estuarino utilizado como área de criação por diversas espécies de peixes e outros grupos de organismos para completar seu ciclo de vida [Garcia et al. 2003; Möller et al. 2009; Muelbert & Weiss 1991]

A produção biológica do ELP é controlada principalmente pela hidrologia, visto que este estuário está situado em uma zona costeira de grande energia de onda e baixa amplitude de maré [Kjerfve 1986], sendo sua hidrodinâmica controlada principalmente pela ação de ventos e descarga continental [Möller et al. 2009] De uma maneira geral a temperatura e a salinidade da água no ELP, com valores elevados durante o verão, estão relacionadas com os ciclos sazonais de temperatura do ar e padrões de vento, e precipitação pluviométrica na região [Vilas Boas 1990] A biomassa de fitoplâncton nesta região está fortemente correlacionada com a precipitação e descarga de água doce. Esta correlação positiva entre a média anual de Clorofila *a*, todavia, desaparece quando a precipitação excede  $1500\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$  visto que a grande

descarga de água doce diminui o tempo de residência da água dentro do estuário levando toda essa biomassa fitoplanctônica para fora da região estuarina [Abreu et al. 2010] A composição das espécies de zooplâncton também está relacionada as condições hidrográficas locais, de forma que a entrada de água marinha e de água doce introduzem espécies marinhas e límnicas, respectivamente [Muxagata et al. 2012]. Nesta região fenômenos climáticos como o El Niño Oscilação Sul (ENSO) provocam importantes mudanças na hidrodinâmica do ELP por influenciar a descarga continental [Möller et al. 2009], conseqüentemente modificam os ciclos de salinidade, fluxos de correntes, e alteram de maneira importante a biomassa primária e secundária neste estuário [Abreu et al. 2010; Möller et al. 2009; Muxagata et al. 2012].

Todos esses fatores em conjunto influenciam a dinâmica do ciclo de vida dos estágios iniciais de peixes presentes no ELP, entre eles a savelha (*Brevoortia pectinata*, Cupleidae) que juntamente com Engraulidae e Scianidae estão entre as famílias mais abundantes do ictioplâncton no ELP [Muelbert & Weiss 1991]. No oceano atlântico Norte a desova de *Brevoortia* (*B. patronus*, *B. tyrannus* e *B. smithi*), ocorre geralmente durante os meses frios do ano no ambiente marinho, onde suas larvas apresentam um desenvolvimento inicial. Posteriormente, as larvas são transportadas para baías e estuários onde se dá a metamorfose para juvenis. O juvenis de savelha geralmente residem em águas estuarinas até o próximo outono ou início de inverno quando muitos migram para águas marinhas [Ahrenholz 1991]. Um padrão reprodutivo similar é observado para a espécie que ocorre no Atlântico Sul e utiliza o estuário da Lagoa dos Patos para completar seu ciclo de vida [Malanski 2011].

Estudos de padrão de distribuição indicam que nesta área de estudo a espécie *Brevortia pectinata* desova fora do estuário da Lagoa dos Patos, com maior frequência durante o inverno, primavera e início do verão, com um transporte para dentro da região estuarina nos estágios mais iniciais do desenvolvimento. Os juvenis retornam para a região costeira durante o outono [Malanski 2011]. Adultos também podem ser encontrados dentro do estuário, sendo mais abundantes no meio estuário. Sua ocorrência está positivamente correlacionada com temperatura e salinidade, e negativamente correlacionada com a quantidade de chuvas na região [Garcia et al. 2012]. Estudos sobre a alimentação do Gênero *Brevortia* se limitam a espécies do atlântico norte. Larvas de savelha são organismos filtradores que podem se alimentar desde diatomáceas e dinoflagelados (produtores primários), como de copépodes [Chen et al. 1992; Govoni et al. 1983; Stoecker and Govoni 1984]. A sobrevivência dos estágios iniciais de vida de peixes é atribuída primariamente a predação e inanição [Houde 1987], que são processos inter-relacionados, visto que a condição nutricional débil reduz taxas de crescimento e resulta em estágios larvais prolongados [Buckley 1984]. De forma que esses indivíduos passariam mais tempo em intervalos de tamanhos mais vulneráveis a predação [Rice et al. 1993]. Eventos que influenciam a sobrevivência dos estágios iniciais de vida podem levar a uma alta variabilidade no recrutamento e posterior sucesso do estoque adulto [Fogarty 1993; Koslow 1992]. Assim espera-se que a história de vida de larvas de savelha esteja intimamente relacionada a variabilidade ambiental no Estuário da Lagoa dos Patos e zona costeira adjacente (ZAC), que corresponde a zona de arrebentação da praia do Cassino. Conseqüentemente, estimadores da condição nutricional/corporal e a

avaliação de fatores que regulam a dinâmica dos estágios iniciais de vida são cruciais para determinar a probabilidade de sobrevivência de um indivíduo e compreender as flutuações no recrutamento das classes anuais [Richard et al. 1991].

Entender a relação entre qualidade e variabilidade ambiental com a nutrição e condição de estágios iniciais de vida de peixes, e ultimamente o sucesso do recrutamento desses organismos, tem sido um tema contínuo na ciência pesqueira [Hjort 1914; Lasker 1975]. A condição corporal das larvas depende principalmente do sucesso de sua alimentação durante dias antes da captura, o qual é influenciada pela excursão desses organismos em um ambiente altamente desigual, em que a distribuição das larvas e das suas presas mudam continuamente. Estudos de laboratório indicam que larvas em melhor ou pior condição podem ser razoavelmente distinguidas através de índices morfológicos como o utilizado nesse trabalho [Ehrlich et al. 1976; Theilacker 1978]. Porém, diferenças morfológicas entre larvas cultivadas em laboratório e coletadas na natureza, são evidentes [Ehrlich et al. 1976] e podem afetar a consistência desses índices. Considerando este problema, Koslow et al. [1985] determinaram a condição das larvas coletadas em campo através de índices morfológicos, encontrando relações consistentes entre a condição das larvas com medidas diretas de disponibilidade de alimentos, como número de Náuplios e zooplâncton. Apesar disso, essa correlação não foi tão consistente com medidas de concentração de clorofila a e volume de zooplâncton

A condição corporal em larvas pode ser estimada a partir de medidas tomadas em três diferentes níveis: organismo, tecido e celular. No nível de organismo (morfológico),

o interesse é na detecção de mudanças no formato do corpo que estejam relacionados a condição corporal [Ferron & Legget 1994]. Vários índices morfológicos são usados para estimar a condição corporal, como o índice de relação, Índice de Fulton, índice de condição residual. Este último tem sido sugerido como mais apropriado por ser o único baseado na variação da condição ao longo de todas as classes de tamanho, sendo calculado através da regressão da massa corporal em relação ao tamanho do corpo. Os resíduos dessa regressão são utilizados como estimadores da condição desses organismos. Valores positivos dos resíduos indicam larvas em boa condição, enquanto valores de resíduos negativos indicam larvas em pior condição alimentar. [Jakob et al. 1996; Koslow et al. 1985; Shuelte-Hostedd et al. 2005]. O índice de condição residual é um índice de medida da condição corporal, trata-se de um indicativo do status nutricional dos organismos e se refere ao seu status energético. Um animal em boa condição corporal é considerado como um organismos que tem mais reservas energéticas do que um animal em baixa condição corporal [Shuelte-Hostedd et al. 2005]

Uma vez que os eventos ENSO influenciam a concentração de clorofila, a abundância e a composição do zooplâncton e alteram a quantidade e a qualidade dos alimentos disponíveis para as larvas de savelha, a principal hipótese a ser respondida no presente trabalho é se a variabilidade nas características dos eventos teria um efeito diferente no ambiente costeiro e estuarino e conseqüentemente na condição corporal de larvas de savelha.

Dado o exposto acima, este trabalho tem como objetivo geral:

Determinar o índice de condição residual das larvas de *B. pectinata* entre os anos 2000 a 2014, determinando a variabilidade de curto e longo prazo da condição corporal das larvas de *B. pectina* e o efeito dos fatores ambientais sobre essa variável.

Os resultados estão expostos em sessões 1, 2 e 3 de acordo com os objetivos gerais. Sendo os objetivos específicos de cada sessão:

1. A) Estimar o Índice de condição residual das larvas de savelha no ELP e ZAC entre 2000 a 2014, relacionando a variabilidade desse índice em diferentes escalas temporais e ocorrência do fenômeno ENSO.
2. A) Descrever a variabilidade sazonal e interanual da salinidade, temperatura, vazão, concentração de Clorofila *a* e abundância de Copépodes no ELP e ZAC durante os anos 2000 a 2014.
2. B) Analisar os efeitos do Índice El Niño de Oscilação Sul sobre as séries temporais da vazão, salinidade e concentração da Clorofila *a* no ELP e ZAC
2. C) Analisar os efeitos da vazão sobre as séries temporais de salinidade e concentração de Clorofila *a* no ELP e ZAC.
3. Determinar o efeitos da salinidade, vazão, temperatura e concentração de Clorofila *a* sobre condição corporal das larvas de *B. pectinata* no ELP e ZAC entre 2000 a 2014.

## 2.MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

Á área de estudo corresponde ao ELP e ZAC, que estão localizados na planície costeira do Rio Grande do Sul. A Lagoa dos Patos, considerada a maior laguna estrangulada do mundo, possui aproximadamente 10,360km<sup>2</sup> [Kjerfve 1986]. Trata-se de um ambiente dominado pela influência de rios [Möller et al. 2009] e pode ser dividida em cinco unidades biológicas de acordo com suas características hidrodinâmicas, entre elas o Estuário da Lagoa dos Patos [Asmus 1998] que por fim se conecta ao oceano na zona costeira adjacente.

As estações de coleta estão divididas em dois pontos da região marinha E1 (Ema 32° 12.376' S 52° 10.561' O) e E2 (Molhes 32° 09.654' S E 52° 05.936' O) e cinco pontos no interior do estuário E3 (Prainha 32° 09.047' S, 52° 06.133' O), E4 (Mangueira 32° 05.763' S, 52° 07.662' O), E5 (Franceses 32° 03.649' S, 52° 05.272' O), E6 (Porto Rei 32° 00.967' S, 52° 08.089 O) e E7 (Marambaia 31° 59.553' S, 52° 05.970' O).

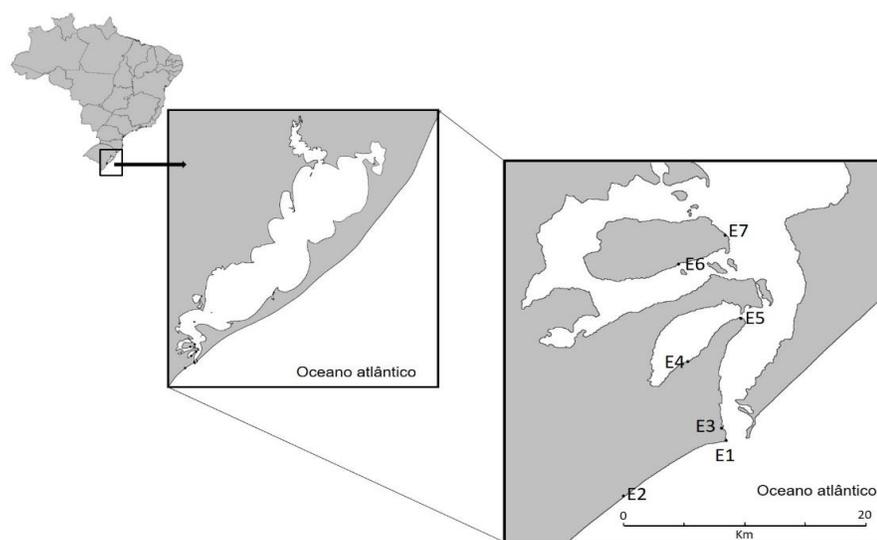


Figura 1 - Localização das estações de coleta ao longo do Estuário da Lagoa dos Patos (ELP) e Zona de Arrebetação Costeira (ZAC)

## 2.2. Coleta de ovos e larvas de peixes

O material utilizado neste trabalho é proveniente de coletas realizadas durante o período de 2000 a 2014, pelo Laboratório de Ecologia do Ictioplâncton no âmbito do Programa Ecológico de Longa Duração (PELD). Ovos e larvas de peixes foram obtidos através do arrasto manual superficial de uma rede cônica de 300µm e 50 cm de diâmetro. O arrasto durou dois minutos e ocorreu nas sete estações de coleta (Fig. 1). As redes eram dotadas de fluxômetro para estimativa do volume filtrado. O material coletado foi triado, contado e preservado em formalina 4%.

## 2.3 Coleta das variáveis ambientais

Salinidade e temperatura foram obtidas concomitantemente com os dados de ovos e larvas de peixes durante os anos 2000 a 2014 com um termosalinômetro YSI. Dados mensais de vazão ( $m^3/s$ ) dos rios Jacuí, Taquari e Camaquã, principais tributários da Lagoa dos Patos, foram obtidos da Agência Nacional de Águas (ANA). A vazão mensal total foi obtida a partir da soma da vazão de todos os rios para cada mês durante o período de 2000 a 2014. Dados de concentração de Clorofila *a* (CHL *a*, µg/l) foram disponibilizados pelo laboratório de Ecologia do Fitoplâncton do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande (IO-FURG) para as análises realizadas neste trabalho. Os dados são provenientes de coletas realizadas no âmbito do PELD, nas proximidades da Prainha (E3), Porto-Rei (E6) e Ema (E1), durante os anos 2000 a 2014.

Dados sobre a abundância de copépodes foram disponibilizados pelo Laboratório de Zooplâncton do IO-FURG. Informações sobre a abundância desse grupo

entre os anos de 2000 a 2005 para as estações E1, E3, E4 e E7 são provenientes das mesmas amostras de ictioplâncton, tendo sido coletados com rede cônica de 300µm e 50 cm de diâmetro arrastadas manualmente por dois minutos [Kaminski 2009]. Os dados de abundância de copépodes para o período de 2009 à 2012 foram coletados com o mesmo tempo de arrasto do período anterior, mas com rede de 200µm de malha de 30 cm de diâmetro de rede [Teixeira-Amaral et al. 2017].

O Índice de Oscilação Sul (SOI) indica o desenvolvimento e intensidade dos eventos de El Niño e La Niña no Oceano Pacífico, sendo calculado usando a diferença de pressão entre Tahiti e Darwin. Valores abaixo de -7 geralmente indicam El Niño, enquanto valores acima de +7 indicam La Niña. Este índice foi obtido através do *Australian Bureau of Meteorology* ([www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml](http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml), acessado em Janeiro de 2017), para o período de estudo e indicou eventos de diferentes intensidades atuando no local.

## 2.4 Processamento do Material Biológico

### 2.4.1. Medição

As larvas de savelha coletadas foram medidas de acordo com a quantidade de organismos presentes nas amostras mensais. Amostras que continham mais de 200 indivíduos foram fracionadas com auxílio de um quarteador de Folsom, sendo medidas apenas a fração correspondente a  $\frac{1}{2}$  (amostra superior a 300 indivíduos) ou  $\frac{1}{4}$  (amostra superior a 900 indivíduos). As amostras com menos de 200 larvas de peixes tiveram todos organismos presentes medidos. A medição foi realizada com auxílio de um microscópio estereoscópico modelo *Wild Heerbrugg* com um retículo micrométrico

acoplado a ocular. A amplificação utilizada durante o processo de medição foi sempre de 10x.

O processo de medição consistiu em posicionar as larvas retilineamente em relação ao microscópio para que fosse possível medir corretamente o seu comprimento larval ou padrão, a partir da contagem das divisões do retículo micrométrico. A utilização do retículo não foi possível para larvas maiores que 12 mm, fazendo-se necessário neste caso o uso do papel milimetrado. Os dados de comprimento larval (organismos em que a nadadeira caudal não estava completamente formada) e padrão foram plotados mensalmente para todo o período de estudo, separadamente para os pontos do estuário e região marinha, a fim de observarmos a variabilidade da frequência de comprimento das distintas classes de tamanho durante o período em questão (2000 a 2014).

#### 2.4.2. Calibração do comprimento e Correção Pós-conservação

A técnica de medição utilizada neste trabalho requer a calibração do comprimento medido pós-conservação para obtenção do comprimento real dos organismos. A calibração foi feita através da contagem do número de divisões no retículo micrométrico correspondente a 1 mm no papel milimetrado, obtendo-se o tamanho de cada divisão do retículo micrométrico presente na ocular do microscópio. Como existe um encolhimento das larvas com o tempo devido ao processo de conservação os valores obtidos foram convertidos utilizando o fator de correção descrito por [Malanski 2011] onde:

$$\text{CP vivo} = 1,0799 \times \text{CP pós-conservação},$$

Sendo CP o comprimento padrão ou larval dos organismos medidos.

#### 2.4.3. Pesagem

O número de organismos pesados dependeu do número de larvas presentes em cada amostra mensal. O número máximo de larvas pesadas por amostra foi de 40 indivíduos selecionados aleatoriamente, e aquelas amostras que apresentavam menos de 40 indivíduos eram pesadas em sua totalidade. Cada larva foi colocada individualmente em um cadinho de alumínio, previamente pesado, sendo primeiramente obtido o peso úmido ao 0,1  $\mu\text{g}$  mais próximo com auxílio de uma balança Shimadzu AUW220D de 0,00001 g de precisão. Após um período de secagem de 24 horas em uma estufa a 65° C e 20 minutos em um dessecador, o peso seco de cada larva foi determinado também ao 0,1  $\mu\text{g}$  mais próximo. O peso seco apresentou melhor ajuste a curva peso-comprimento, de forma que foi usado nas análises.

#### 2.4.4 Determinação do Índice de Condição Residual

O Índice de Condição Residual (ICR) das larvas de savelha foi determinado mensalmente a partir dos resíduos da regressão:  $\log(\text{PS}) = \log a + b \log(\text{CP})$ , onde PS é o peso seco ( $\mu\text{g}$ ) e CP é o comprimento larval ou padrão (mm) da larva. Este método utiliza os resíduos da regressão como estimadores da condição corporal das larvas levando em conta a variação do comprimento (Koslow et. al., 1985). Para o Estuário da

Lagoa dos Patos foi obtida a equação  $PS = 3,4648CP - 1,9244$  ( $R^2=0,94$ ) e para a Zona de Arrebentação Costeira a equação  $PS=3,3653CP - 1,7253$  ( $R^2=0,92$ ).

## 2.5. Análises estatísticas

Considerando as diferenças ambientais a que estão expostas as regiões de estudo, uma análise de agrupamento foi utilizada para classificar os sete pontos de coleta considerando suas semelhanças quanto ao regime de salinidade. Como resultado, os pontos E3, E4, E5, E6 e E7 foram agrupados separadamente dos pontos E1 e E2 (Fig.2). Confirmando um grupo para o Estuário da Lagoa dos Patos (ELP) e outro para a Zona de Arrebentação da Praia do Cassino (ZAC). Todas as análises posteriores foram realizadas separadamente para essas duas regiões.

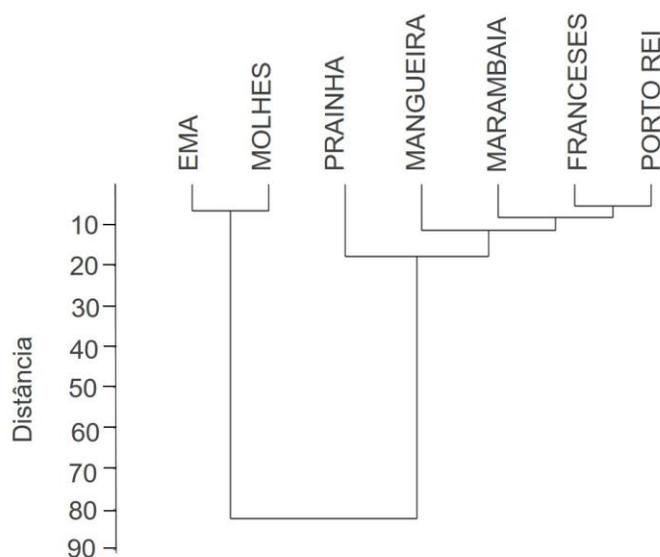


Figura 2 - Análise de agrupamento das sete estações de coleta baseado na salinidade que une as estações E1 (EMA) e E2 (Molhes) como o grupo ZAC, as estações E3 (Prainha), E4 (Mangueira), E5 (Franceses), E6 (Porto Rei) e E7 (Marambaia) como grupo ELP.

## 2. 5.1 Análise da Condição Residual e Distribuição de Tamanho

Por se tratar de um estudo de 14 anos , o Índice de Condição Residual (ICR) das larvas de savelha foi analisado para diferentes períodos: mensal, sazonal e interanual Também foram selecionados 3 períodos em que houve a ocorrência da fase fria (La Niña), da fase quente (El Niño) e da fase Neutra do fenômeno climático El Niño Oscilação Sul (ENSO) de forma contínua (Tabela 1). Boxplots foram utilizados para visualização da distribuição dos dados referentes ao índice de condição e testes não paramétricos (Kruskal-Wallis, Wilcoxon e Teste de Dunn  $p < 0,05$ ) de comparação de médias foram realizados.

Tabela 1 - Descrição dos eventos ENSO para os diferentes períodos estudados

Período	Eventos ENSO em vigência
2000-2003	La Niña, Neutro e El Niño
2006-2008	El Niño, Neutro e La Liña
2009-2012	La Niña e El Niño

O índice de condição das larvas de savelha foi analisado para cada um dos períodos a partir de boxplots e testes não paramétricos (Kruskal-Wallis; Wilcoxon, Teste de Dunn a posteriori  $p < 0,05$ ) de comparação de médias, em relação a ocorrência dos diferentes eventos ENSO, e para as estações do ano. As análises em questão foram realizadas com auxílio do programa estatístico R, versão 3.3.2 O método de correção de Bonferroni foi utilizado para ajustar os valores de P para múltiplas comparações.

### 2.5.2. Análise estatísticas das variáveis ambientais

Como o ICR, as variáveis abióticas de salinidade, temperatura e vazão e a variável biótica da Concentração da Clorofila *a* foram analisadas para diferentes períodos de acordo com a ocorrência de diferentes eventos ENSO (Tabela 1). Os dados de abundância de copépodes, por não representar uma série temporal contínua foram analisadas separadamente para os anos 2000 a 2003 e 2009 a 2011.

Dentro de cada um desses grupos de anos as variáveis em questão foram analisadas a partir de boxplots e testes não paramétricos (Kruskal-Wallis; Wilcoxon, Teste de Dunn a posteriori  $p < 0,05$ ) de comparação de médias para os diferentes eventos, e interanualmente para as diferentes estações do ano, as análises foram realizadas com auxílio do Software estatístico R, versão 3.2. O método de correção de Bonferroni foi utilizado para ajustar os valores de  $p$  para múltiplas comparações.

### 2.5.3 Análises de séries temporais.

Foi analisada a influência do índice de Oscilação Sul sobre as séries temporais de salinidade, temperatura, quantidade de Clorofila *a* no ELP e ZAC, e sobre a série temporal da vazão. Para tanto se utilizou a função de correlação cruzada, onde as séries de salinidade, temperatura, Clorofila *a* e vazão foram defasadas ( $k = \pm 12$ ) em relação a série temporal do índice de Oscilação Sul. A mesma análise foi realizada para salinidade e Clorofila *a* em relação a vazão. A análise das séries temporais a partir da função de correlação cruzada buscou entender os efeitos temporais da vazão sobre as séries defasadas de salinidade e Clorofila *a* no ELP e ZAC. Para análise das

mudanças de longo prazo do índice de condição residual das larvas de savelha, as séries temporais mensais do índice de oscilação sul, salinidade, temperatura, concentração de Clorofila *a* e vazão foram reduzidas a séries trimestrais, a partir da média trimestral de cada período. Nesta análise se utilizou a função de correlação cruzada, onde a série de condição das larvas foi defasada ( $k = \pm 6$ ) em relação as séries temporais das variáveis abióticas (índice de oscilação sul, salinidade, vazão, temperatura) e da série temporal da concentração de Clorofila *a*. As análises das séries temporais foram realizadas com auxílio do Software Statistica 7.0. A correlação cruzada entre o ICR e a abundância de copépodes não foi possível visto que não existiram dados referentes a este grupo entre 2006 a 2008.

### 3.RESULTADOS

#### 3.1 Variabilidade da condição corporal das larvas de savelha.

O ICR das larvas de savelha analisado mensalmente (Fig.3), indicou diferença significativa no ELP ( $p=0,002$ ) apenas entre os meses de março e novembro, sendo o primeiro significativamente maior que o segundo ( $p=0,019$ ).

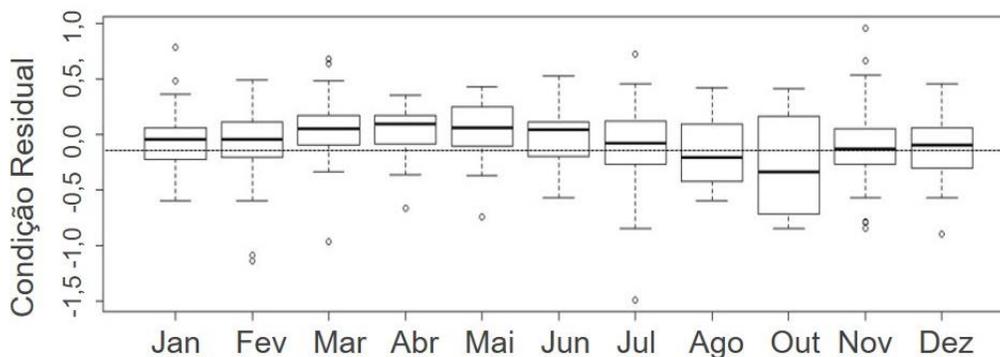


Figura 3 - Variabilidade mensal do Índice de Condição Residual das larvas de savelha entre 2000 a 2014 no ELP. Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período.

Quando o ICR das larvas de savelha foi agrupado anualmente (Fig.4), o teste de Kruskal-Wallis indicou diferenças significativas entre os anos ( $p < 0,0000$ ). Em 2000 as larvas de savelha apresentaram condição corporal significativamente menor quando comparadas com os anos 2002,2005,2008,2011,2012. A condição corporal das larvas foi menor também para o ano de 2003 em relação aos anos 2004, 2005, 2008, 2011 e 2012. Já em 2008 as larvas apresentaram melhor condição do que aquelas do ano de 2010, enquanto que os anos 2005,2011 e 2012 apresentaram larvas em melhor condição que as larvas de 2009 e 2010. Um resumo do anos em que houve diferenças significativas para o ICR das larvas pode ser observado na Tabela 2.

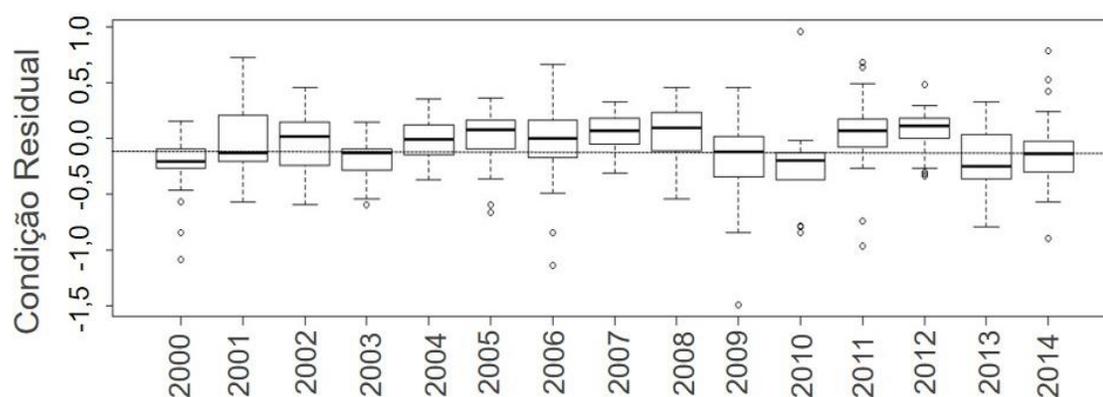


Figura 4 - Variabilidade interanual do Índice de Condição Residual das larvas de savelha entre 2000 a 2014 no ELP. Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período.

Tabela 2 - Diferenças significativas do índice de condição residual entre os anos 2000 a 2014. Valores de  $p$  do teste de Dunn

Ano	2000	2003	2005	2008	2009	2010
2001						
2002	0,021					
2003		0,01				
2004	0,091					
2005	0,000					
2006	0,097					
2007	0,0066					
2008	0,0015	0,04				
2009			0,006			
2010			0,01	0,03		
2011	0,000	0,01			0,0088	0,009
2012	0,000				0,0026	0,004

Em relação ao efeito do ENSO sobre a variabilidade da condição das larvas do ELP entre os anos 2000 a 2014 (Fig.5). A comparação de média não indicou diferença significativa entre El Niño, La Niña e Neutro ( $p=0,47$ ).

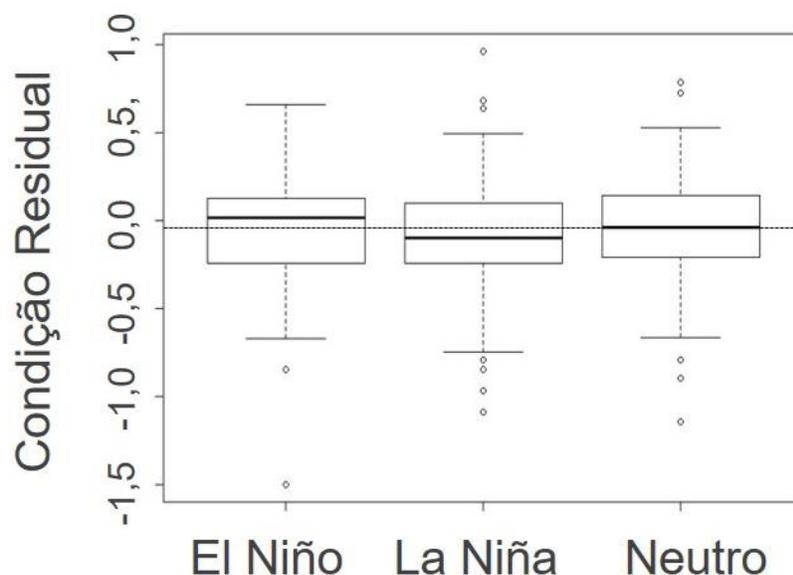


Figura 5 - Índice de Condição Residual das larvas de savelha associadas a eventos ENSO entre 2000 a 2014 no ELP. Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período.

Durante o período de 2000 a 2003, a análise da variabilidade sazonal do ICR indicou diferenças significativas entre as estações do ano ( $p=0,00887$ ), sendo a condição das larvas significativamente menor na primavera de 2000 em comparação com o verão de 2002 ( $p=0,0069$ ). As demais estações do ano não tiveram diferença significativa entre os anos (Fig.6 A). Durante os anos 2006 a 2008, não houve diferença significativas do ICR das larvas para as estações dos diferentes anos ( $p=0,08966$ , Fig.6 B). Entre 2009 e 2012 foram observadas diferenças significativas para as distintas estações ( $p=0,0002019$ ) em relação a condição das larvas. O verão de 2011 apresentou larvas com ICR significativamente maior em relação aos organismos presentes na região durante o inverno de 2009 ( $p=0,0026$ ) e a primavera de 2010 ( $p=0,0025$ ), enquanto o verão de 2012 as larvas apresentaram valores de ICR significativamente maiores que a primavera de 2010 ( $p=0,0438$ ) (Fig.6 C).

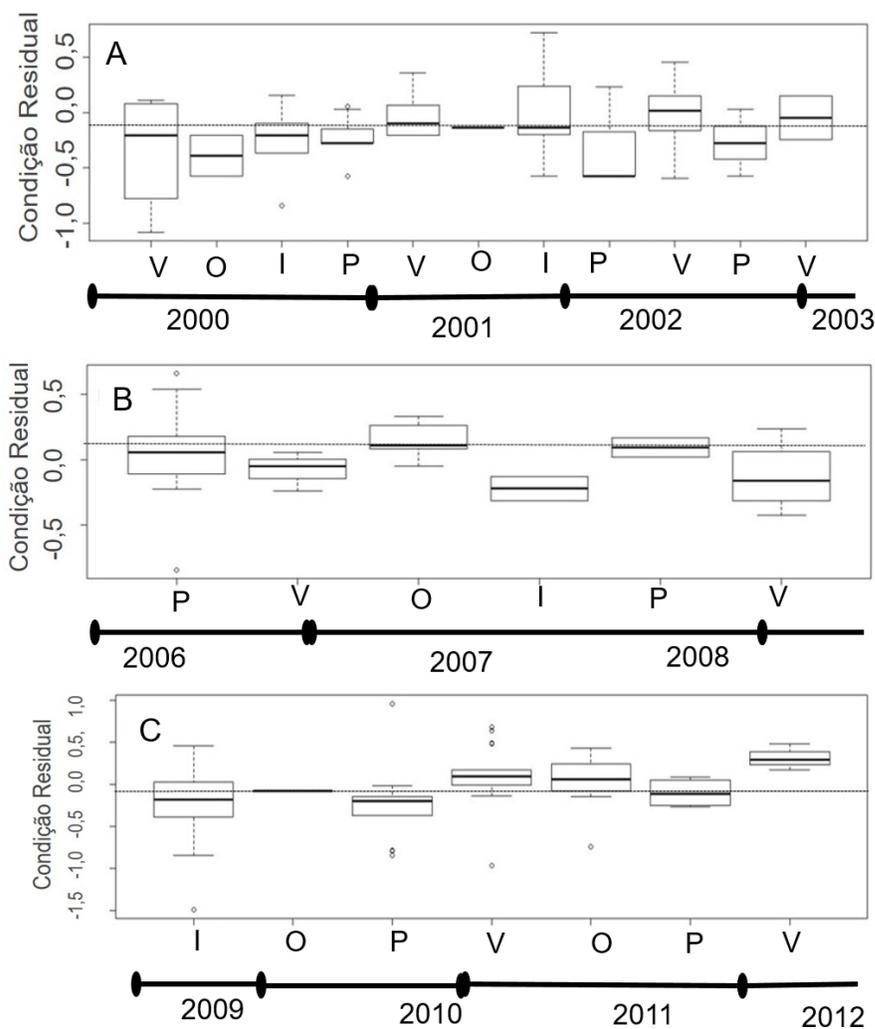


Figura 6- Variabilidade sazonal do Índice de Condição residual das larvas de savelha no ELP entre 2000 a 2003 (A) e 2006 a 2008 (B) e 2009 a 2012 (C). Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período.

Durante 2000 a 2003 os valores do ICR das larvas presentes no ELP também apresentaram diferenças em relação aos diferentes eventos ENSO ( $p=0,00185$ ) (Fig. 7 A). Durante o período de La Niña as larvas de savelha apresentaram menor valores de ICR, quando comparadas as larvas presentes no ELP durante eventos de El Niño

( $p=0,001$ ) e neutro ( $p=0,02$ ). Durante os anos de 2006 a 2008 as larvas de savelha do ELP não apresentaram diferença significativa quanto ao ICR entre os diferentes períodos de ENSO ( $p=0,7862$ ) (Fig. 7 B). Observamos durante os anos de 2009 a 2012 diferença significativa entre os eventos ( $p=0,007$ ), sendo que os valores do ICR para larvas coletadas no ELP foram significativamente maiores para eventos de La Niña em relação aos indivíduos recrutados ao estuário durante eventos de El Niño ( $p=0,007784$ ) (Fig. 7C).

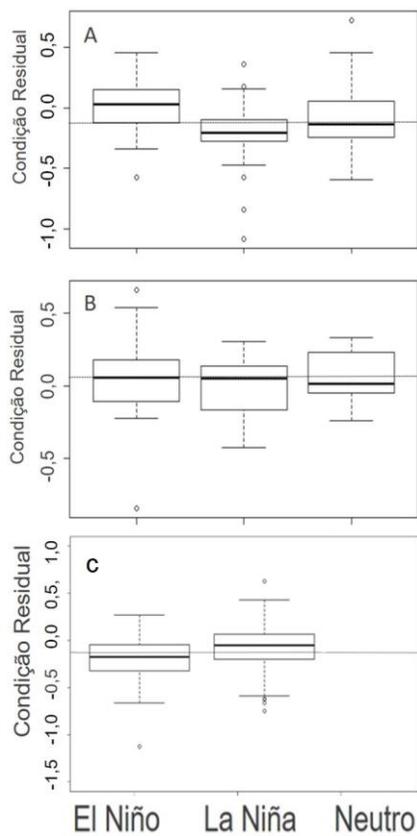


Figura 7 - Variabilidade residual das larvas de diferentes eventos (A) e 2006 a 2008 (B) e

do Índice de Condição savelha no ELP para os ENSO, entre 2000 a 2003 2009 a 2012 (C). Linha

tracejada representa o ICR médio para todo o período.

Na região da ZAC a análise mensal do ICR para todo o período de estudo ( $p < 0,000$ ) (Fig. 8), revelou que abril e maio são os meses em que as larvas apresentam uma condição significativamente melhor quando comparadas com janeiro, fevereiro, março, outubro, novembro e dezembro. O mês de dezembro foi o que apresentou valores de ICR mais baixo, sendo a condição neste mês significativamente menor que janeiro, fevereiro e agosto (tabela 3).

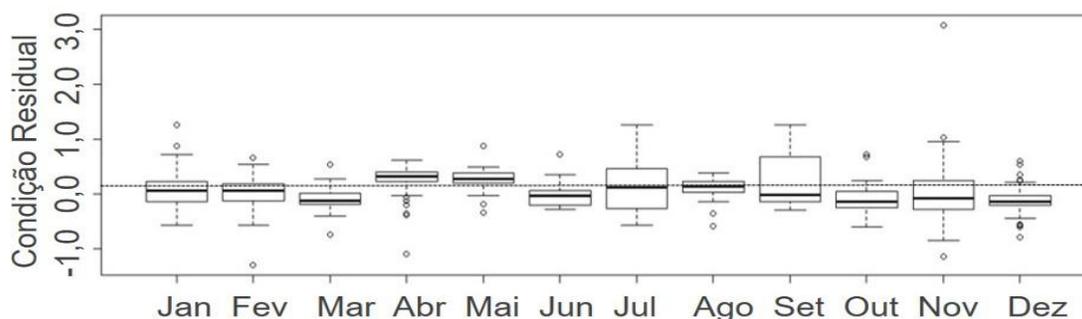


Figura 8- Variabilidade mensal do Índice de Condição Residual das larvas de savelha entre 2000 a 2014 na ZAC. Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período.

Tabela 3 - Diferenças significativas do índice de condição residual das larvas na ZAC, entre os diferentes meses do ano. Valores de  $p$  do teste de Dunn.

Mês	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio
Abril	0,000	0,000	0,000		
Maio	0,000	0,001	0,000		
Junho				0,000	0,001
Julho				0,000	0,000
Agosto					0,000
Dezembro	0,000	0,000		0,000	0,000

Nesta mesma região a comparação do ICR (Fig. 9), indicou diferença significativas ( $p < 0,000$ ). As larvas presentes na ZAC durante 2000, 2004, 2005 apresentavam melhor condição quando comparadas com os anos 2010, 2011, 2012 e 2014, enquanto que em 2008 esses indivíduos apresentaram o ICR significativamente menores que nos anos 2010, 2012 e 2014. Durante os anos 2003 e 2009 as larvas de savelha apresentaram valores de ICR maior que aquelas larvas encontradas em 2012. O ano 2009 também apresentou larvas em melhores condições que aquelas presentes na região durante o ano de 2014 (Tabela 4).

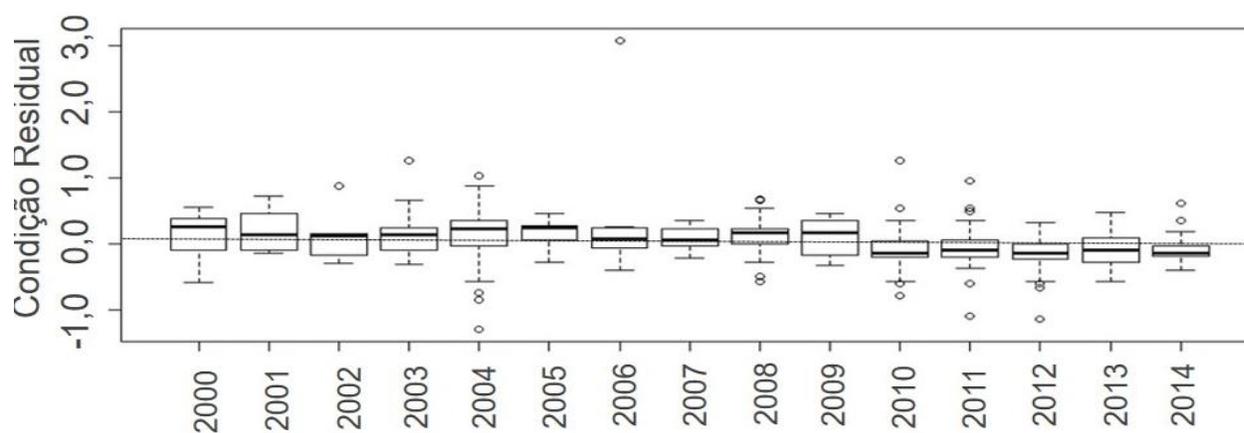


Figura 9 - Variabilidade interanual do Índice de Condição residual das larvas de savelha na ZAC entre 2000 a 2014. Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período.

Tabela 4 - Diferenças significativas do índice de condição residual das larvas na ZAC, entres os anos 2000 a 2014. Valores de  $p$  do teste de Dunn

ANO	2000	2003	2004	2005	2008	2009
2010	0,000		0,000	0,002	0,001	
2011	0,0001		0,000	0,003		
2012	0,000	0,02	0,000	0,000	0,000	0,01
2014	0,000		0,000	0,0001	0,000	0,04

Em relação aos diferentes eventos ENSO a análise da condição das larvas de savelha na ZAC, como no ELP, não indicou diferença significativa ( $p=0,05$ ) entre El Niño, La Niña e Neutro (Fig. 10).

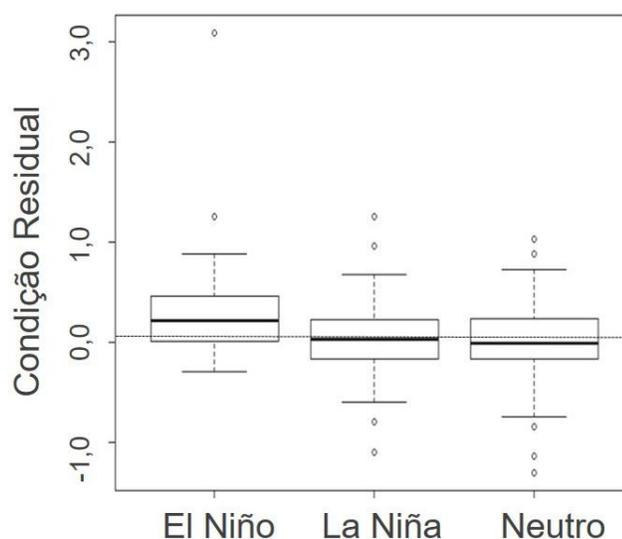


Figura 10 - Variabilidade do Índice de Condição residual das larvas de savelha na ZAC entre 2000 a 2014, associada a diferentes eventos ENSO. Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período.

A variabilidade sazonal do ICR entre os diferentes anos, para o período entre 2000 a 2003, mostrou diferença significativa ( $p<0,000$ ), sendo que o ICR do outono de 2000 foi significativamente maior que a primavera daquele mesmo ano ( $p<0,000$ ). Para todas as outras estações dos diferentes anos não houve diferenças significativas (Fig.

11A). Os anos 2006 a 2008 (Fig. 11B), não mostraram diferenças significativas em relação a condição das larvas e as diferentes estações do ano ( $p=0,2192$ ). O período de 2009 à 2012 (Fig. 11C), mostrou uma maior variabilidade no ICR ( $p<0,000$ ), quando comparado com outros períodos de estudo (2000 a 2003 e 2006 a 2008). Um resumo das estações dos diferentes anos em que houve diferenças significativas pode ser observado na Tabela 5

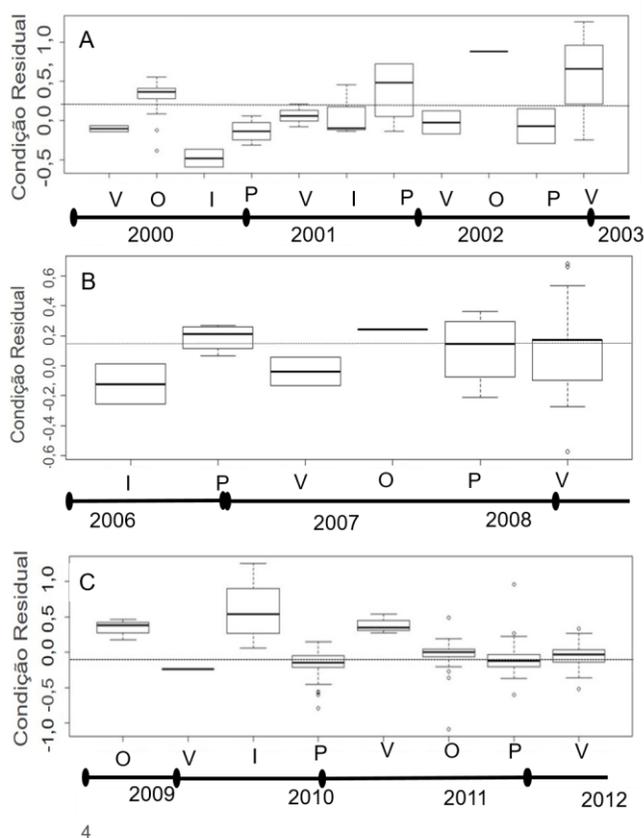


Figura 11 - Variabilidade sazonal do Índice de Condição residual das larvas de savelha na ZAC entre 2000 a 2003 (A) e 2006 a 2008 (B) 2009 a 2012 (C). Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período.

Tabela 5 – Diferenças significativas na condição das larvas de savelha entre 2009 a 2012, para as diferentes estações do ano. Valores de  $p$  do teste de Dunn

Ano		2009	2010	2011
	Estação	Outono	Inverno	Outono
2010	Primavera	0,0077	0,000	
2011	Verão			0,005
	Primavera	0,02	0,0007	0,02
2012	Verão		0,01	

Quando analisamos a condição das larvas para os diferentes períodos em relação a ocorrência dos eventos ENSO, observamos que entre 2000 a 2003 (Fig. 12A,  $p=0,7616$ ) e 2006 a 2008 não existiram diferenças significativas na condição das larvas de savelha e os distintos eventos ENSO (Fig, 12B,  $p=0,9908$ ) O último período analisado (2009 a 2012) foi único em que o teste de comparação de médias indicou diferenças significativas entre La Niña e El Niño ( $p<0,000$ ), sendo ICR maior para as larvas presentes na ZAC durante os períodos de El Niño (Fig. 12C).

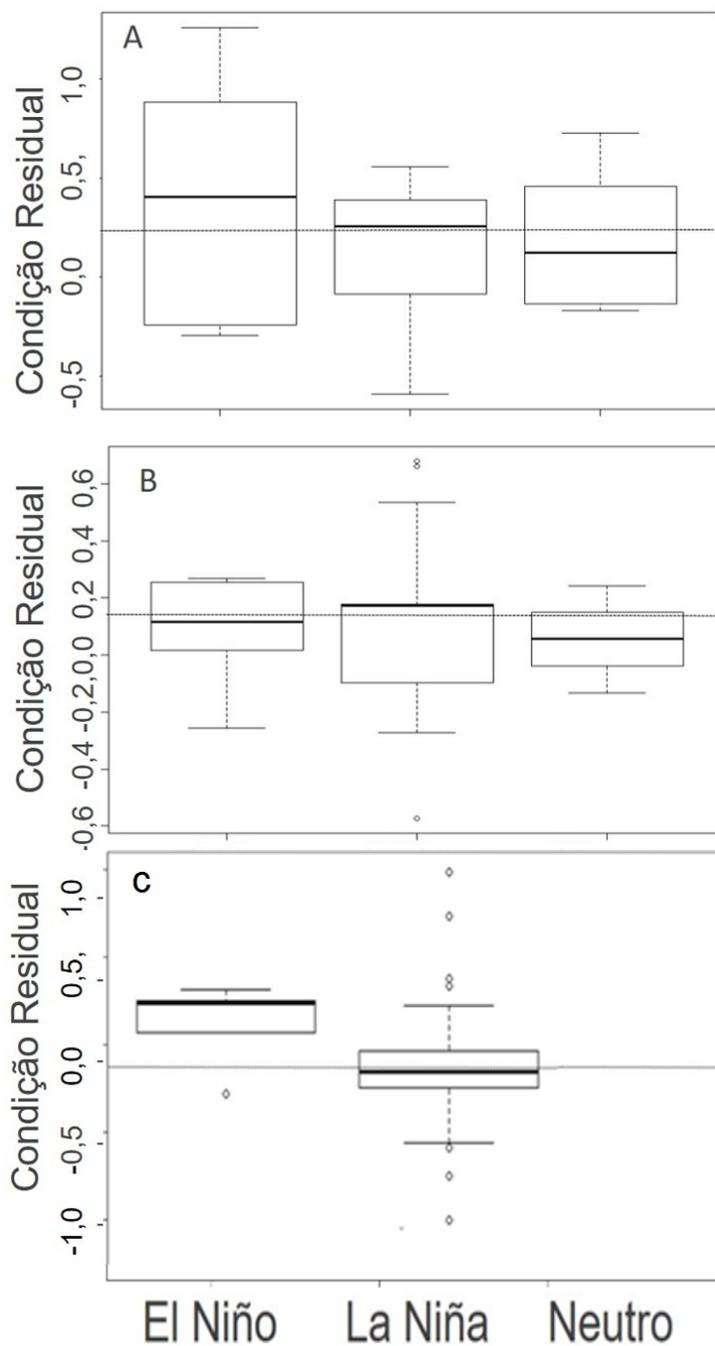


Figura 12 - Variabilidade do Índice de Condição Residual das larvas de savelha na ZAC, entre 2000 a 2003 (A), 2006 a 2008 (B), e entre 2009 a 2012 (C) associadas a diferentes eventos ENSO. Linha tracejada representa o ICR médio para todo o período.

### 3.2 Variabilidade dos Fatores Ambientais no Estuário da Lagoa dos Patos e Zona Costeira Adjacente.

#### Salinidade

A análise visual da série temporal de salinidade tanto no ELP (Fig. 13 A) como na ZAC (Fig.13B) não mostrou nenhum padrão temporal claro, nem picos importantes relacionados a períodos de La Niña ou El Niño. Entretanto, no ELP o teste de comparação de médias mostrou que a salinidade apresentou diferenças significativas entre os eventos ( $p=0,0017$ ) (Fig.14A), sendo significativamente mais baixa durante os meses em que o El Niño esteve atuando, quando comparada com a La Niña ( $p=0,01$ ) ou períodos onde o ENSO esteve ausente ( $p=0,001$ ). Na região da ZAC esta variável também apresentou diferenças significativas, sendo esta região significativamente menos salina para El Niño em relação a La Niña (14E), porém quando o fenômeno ENSO esteve ausente a salinidade não apresentou diferenças significativas em relação aos outros dois eventos.

A salinidade no ELP analisada para os eventos ENSO de forma isolada, mostrou que durante o período entre janeiro de 2000 a janeiro de 2003 o valor médio da salinidade foi 6, enquanto sua mediana foi de 2 (Fig. 14B). Neste período, as diferenças de salinidade foram semelhantes à análise global, sendo a salinidade significativamente mais baixa durante o El Niño do que La Niña ( $p=0,001$ ) e do que o período Neutro ( $p=0,003$ ). No segundo período analisado, (maio de 2006 a fevereiro de 2008) (Fig. 14C), a salinidade teve como valor médio 19 e como mediana 9,4. Neste período, a distribuição da salinidade foi diferente daquele observado no padrão geral e

para o período anterior. A salinidade foi significativamente maior durante o El Niño do que La Niña ( $p=0,0001$ ) ou Neutro ( $0,01$ ). Não houve diferenças em relação a esta variável para La Niña e Neutro.

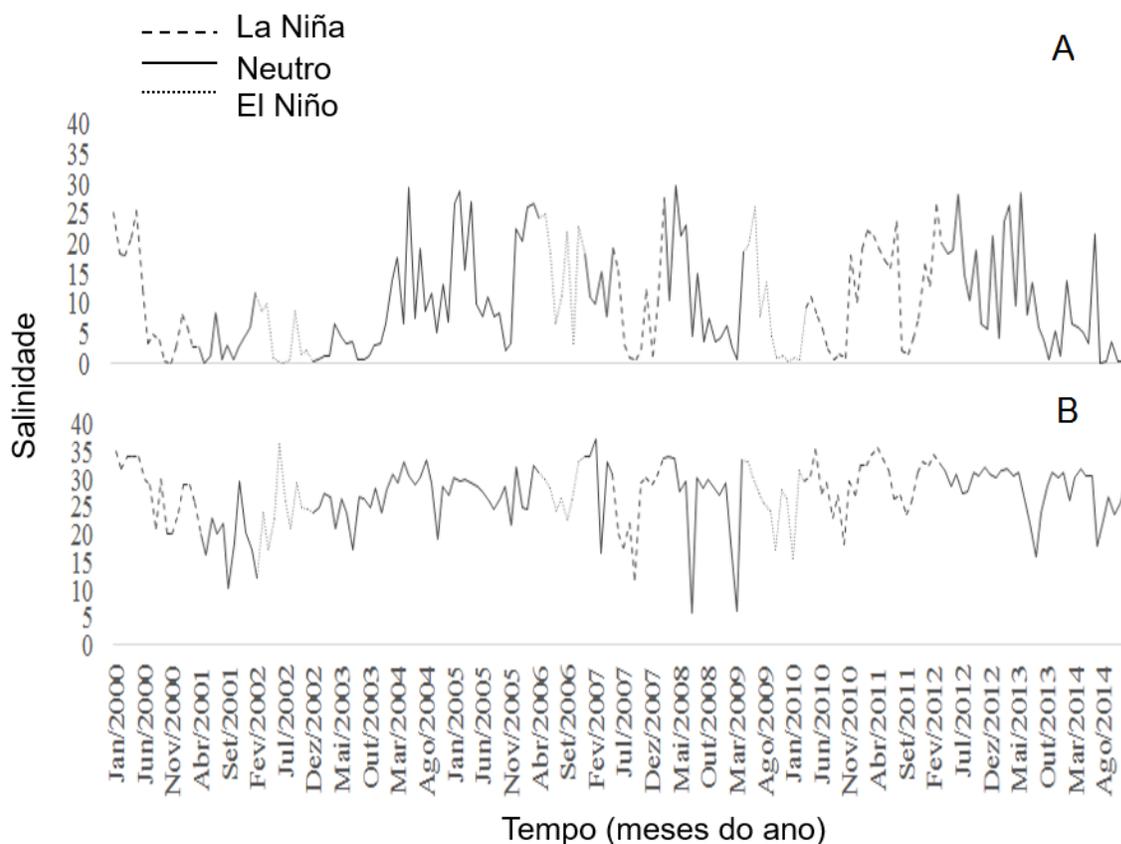


Figura 13 - Série temporal mensal da salinidade para o Estuário da Lagoa dos Patos (A) e Zona de Arrebentação da Praia do Cassino (B) para o período de 2000 a 2014. La Niña (----), El Niño (.....), Neutro (—).

Entre os anos de 2009 à 2012 (Fig.14D) ocorreu apenas um evento de El Niño seguido de um evento de La Niña, não havendo um intervalo de ausência do ENSO entre eles. Para todo o período a salinidade teve como valor médio 10,6 e mediada em

torno de 7,85. A comparação das médias dos diferentes eventos mostrou diferenças significativas ( $p < 0,000$ ), sendo os meses onde a La Niña esteve atuando significativamente mais salinos que os meses de El Niño.

Quando analisamos a salinidade na ZAC, observamos entre 2000-2003 (Fig.16F), os valores médios e da mediana da salinidade estiveram próximos de 25. A salinidade durante a La Niña foi significativamente maior ( $p < 0,000$ ) durante este evento quando comparada com a salinidade durante o El Niño ( $p = 0,04$ ) e durante ausência do ENSO ( $p < 0,000$ ). A salinidade foi maior também durante meses de El Niño quando comparados com períodos neutros do ENSO ( $p = 0,04$ ).

Na mesma região durante maio de 2006 a fevereiro de 2008 a salinidade apresentou valor médio de 27,3 e mediana de 29,3. O único momento em que a salinidade esteve acima do valor estimado para todo o período, ocorreu durante os meses em que o ENSO não esteve atuando ( $> 30$ ) (Fig.14G). A comparação das médias de salinidade entre os diferentes eventos indicou diferenças significativas entre os mesmos ( $p = 0,02$ ), sendo o evento Neutro significativamente mais salino que período de La Niña ( $p = 0,01$ ). O período entre maio de 2009 e março de 2010 apresentou a média e mediana da salinidade com valores próximos de 29 (Fig. 14H). Neste período, durante o El Niño a salinidade esteve abaixo do valor estimado para todo o período (26), enquanto os meses onde a La Niña atuou apresentou salinidade variando em torno de 30. A comparação dos valores médios de salinidade para os eventos indicou diferenças significativas entre eles ( $p < 0,000$ ).

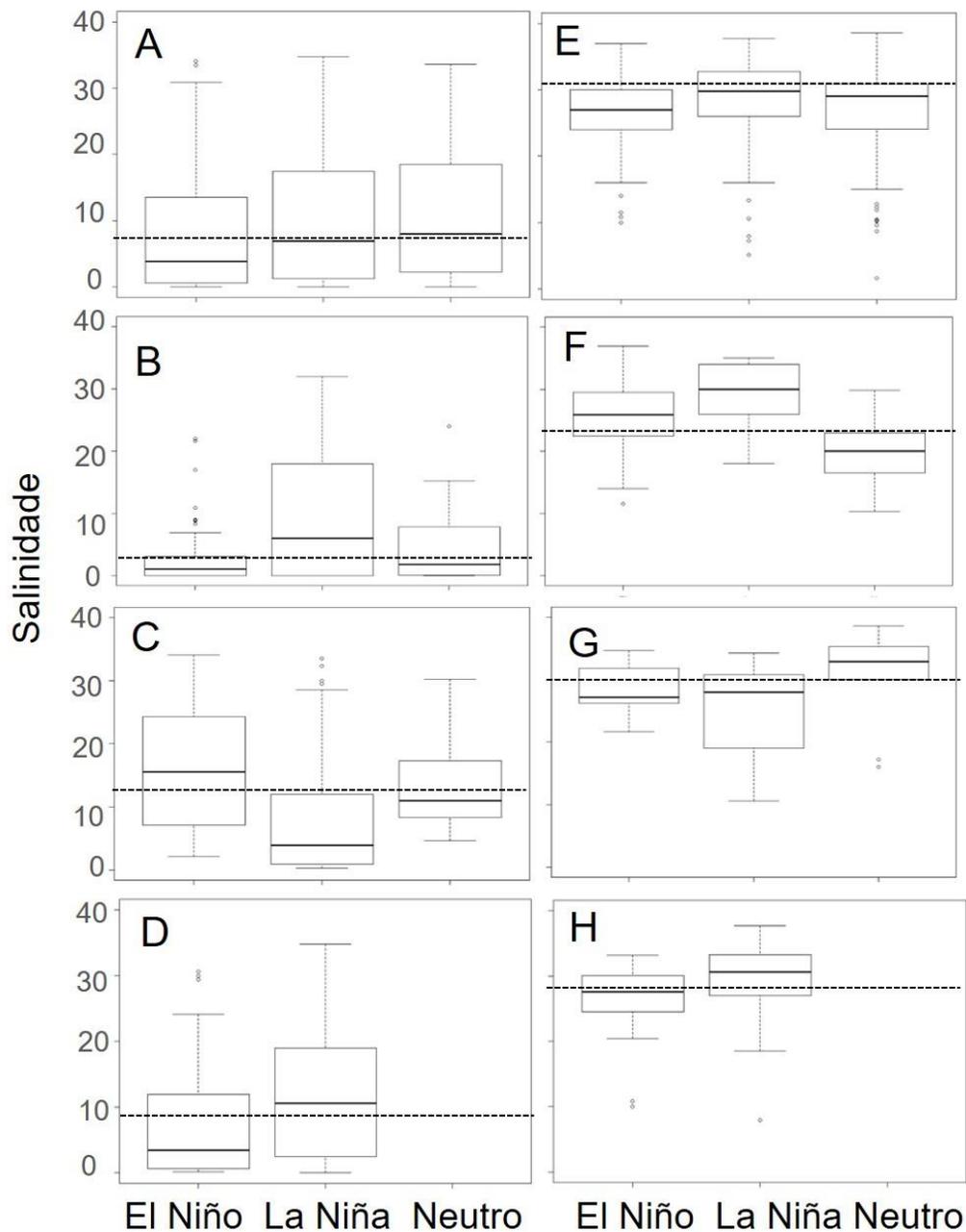


Figura 14 - Distribuição da salinidade no ELP (A) e na ZAC (E) para os diferentes eventos do ENSO entre 2000 a 2014, para o período de 2000-2003 para o ELP (B) e ZAC (F), para 2006-2008 para o ELP (C) e ZAC (F), e para 2009-2012 para o ELP (D) e ZAC (H). Linha tracejada indicando a mediana para todo o período.

## Temperatura da água

No ELP (Fig. 15A) a análise visual da série temporal de temperatura mostra que esta variável apresenta uma sazonalidade bem marcada, com picos de temperaturas altas e baixas associadas aos meses quentes e frios do ano, respectivamente. A série não mostra nenhum pico alto ou baixo de temperatura relacionado a eventos de La Niña ou El Niño. Entretanto, o teste de comparação de médias indicou diferenças significativas ( $p=0,0007$ ), sendo a temperatura significativamente maior para os períodos de eventos neutros em relação aos períodos em que ocorreram El Niño ( $p=0,0049$ ) ou La Niña ( $p=0,0049$ ), (Fig.16A) não havendo diferenças em relação a esta variável entre os dois últimos eventos. Como observado para o ELP. A temperatura para a região da ZAC durante o período de estudo também apresentou uma série temporal com sazonalidade marcada (Fig. 15B), com temperaturas mais baixas associadas aos meses frios do ano e temperaturas altas associadas aos meses quentes. A comparação de médias entre os diferentes eventos, entretanto não revelou nenhuma diferença significativa entre eventos neutros, de El Niño ou La Niña (fig. 16E)

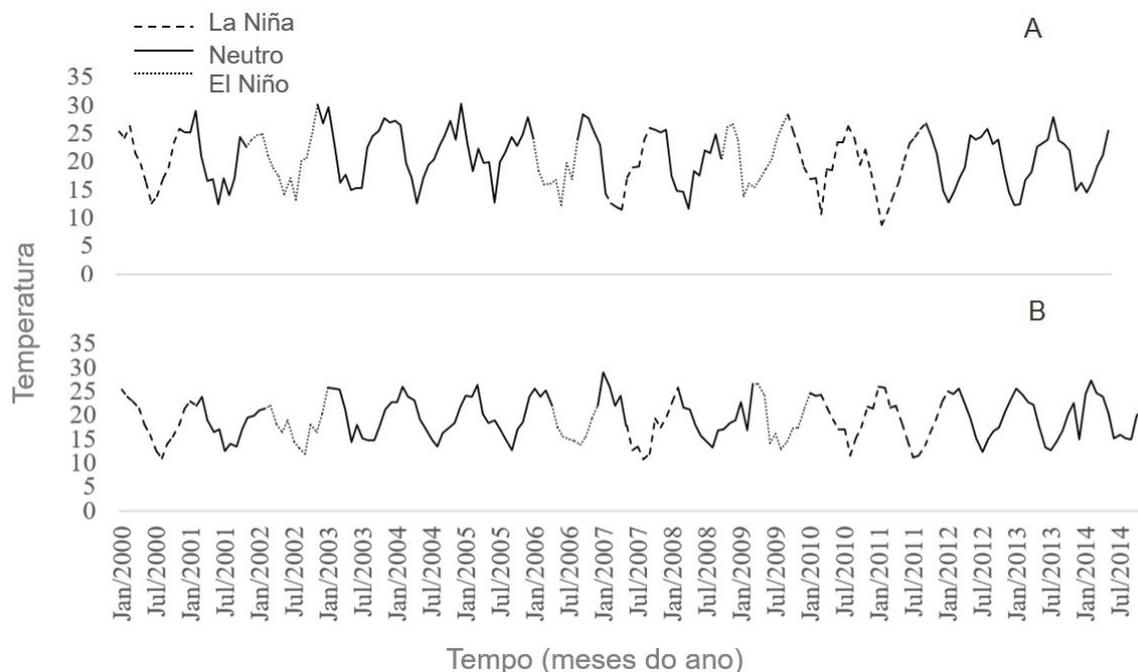


Figura 15 - Série temporal da temperatura da água para o Estuário da Lagoa dos Patos (A) e Zona de Arrebentação da Praia do Cassino (B) para o período de 2000 a 2014. La Niña (----), El Niño (.....), Neutro (—).

Durante os anos de 2000 a 2003 a média de temperatura esteve em torno de enquanto 20° C a sua mediana foi de 21° C. Apesar de não haver diferença significativa ( $p=0,09$ ) quanto a essa variável para os diferentes eventos, a temperatura foi maior para os meses onde ocorreram eventos de La Niña (22° C), seguido de El Niño (20°) e neutro (18° C), (Fig.16B). A temperatura no ELP durante os anos de 2006 e 2008 apresentou diferença significativa entre os eventos, sendo significativamente maior ( $\cong 25^\circ$  C) durante os meses de ausência do ENSO em relação a La Niña (18°

C,  $p=0,0062$ ) El Niño ( $16^{\circ}\text{C}$ ,  $p<0,000$ ), não havendo diferença significativa entre estes dois últimos (Fig.16C)

A temperatura no ELP entre os anos 2009 a 2012 durante o evento de El Niño, foi dois graus acima do valor observado durante o período onde atuou a La Niña, porém não houve diferença significativa entre as duas fases do ENSO (Fig.16D)

Para a região da ZAC entre os anos 2000 a 2003 (Fig. 16F) não houve diferença significativa ( $p=0,17$ ) entre os distintos eventos em relação a temperatura, porém os meses onde o fenômeno de La Niña esteve atuando mostraram temperaturas maiores ( $\cong 20^{\circ}\text{C}$ ) em relação aos meses de El Niño ( $\cong 17^{\circ}\text{C}$ ) e meses de ausência do ENSO ( $\cong 16^{\circ}\text{C}$ ). O período entre 2009 e 2012 (Fig. 20H) também não apresentou diferença significativa entre essas variáveis. Nesta mesma região entre os anos 2006 e 2008 (Fig. 16G) a temperatura foi significativamente maior ( $p=0,0003$ ) para os meses com La Niña ( $\cong 25^{\circ}\text{C}$ ) em relação aos meses de ausência do ENSO ( $\cong 16^{\circ}\text{C}$ ) ( $p=0,0007$ ) ou El Niño ( $\cong 15^{\circ}\text{C}$ ), ( $p=0,009$ ) não havendo diferença significativa entre os dois últimos eventos do ENSO.

### Vazão

A vazão média dos principais tributários da Lagoa dos Patos entre os anos de 2000 a 2014 (Fig. 17) apresentou média em torno de  $1670\text{ m}^3/\text{s}$ , enquanto a mediana da vazão foi de  $1335\text{ m}^3/\text{s}$ . A análise de comparação de médias entre os diferentes eventos do ENSO, não indicou diferenças significativas entre El Niño, La Niña e Neutro ( $p=0,18$ ) (Fig.18A). Apesar disso podemos observar a partir da análise visual da série

temporal da vazão, que durante o El Niño de 2002 a 2003 e o El Niño de 2009 a 2010 a vazão esteve mais alta do que comparada com o El Niño de 2006.

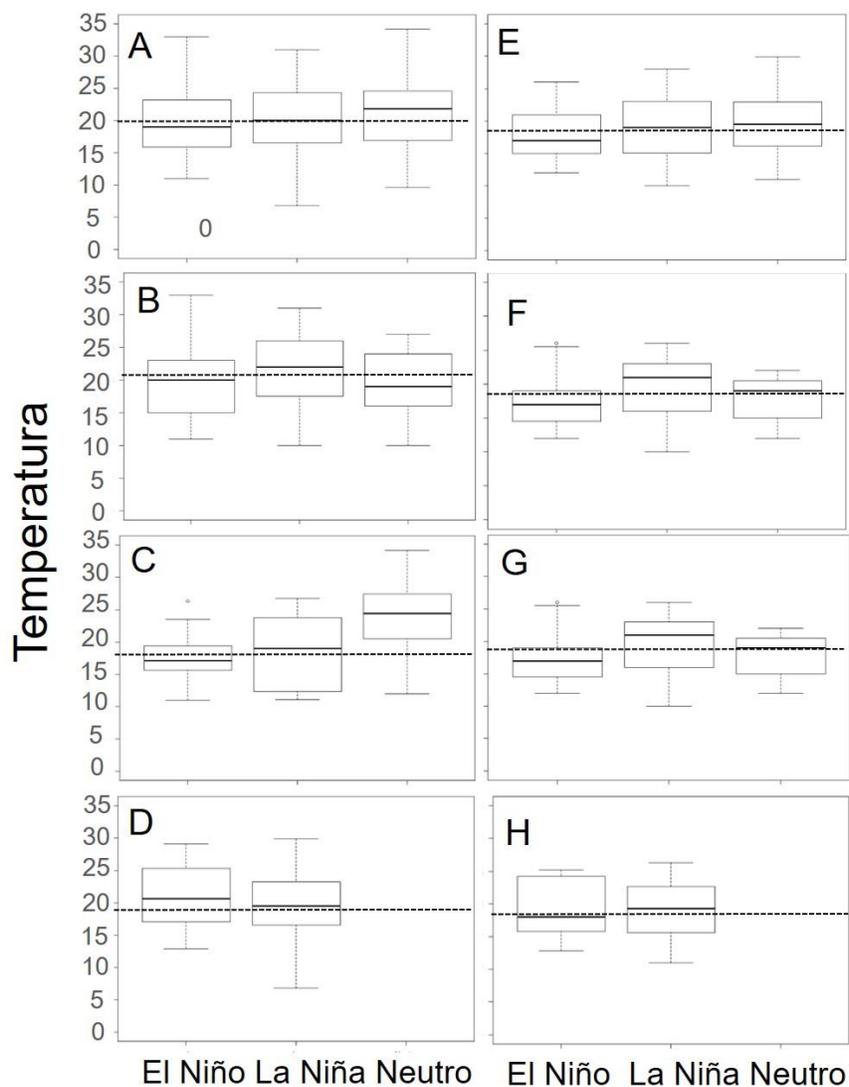


Figura 16 - Distribuição da temperatura no ELP (A) e na ZAC (E) para os diferentes eventos do ENSO entre 2000 a 2014, para o período de 2000-2003 para o ELP (B) e ZAC (F), para 2006-2008 para o ELP (C) e ZAC (G), e para 2009-2012 para o ELP (D)

e ZAC (H). A linha tracejada (---) nos gráficos indica a mediana da salinidade para todo o período.

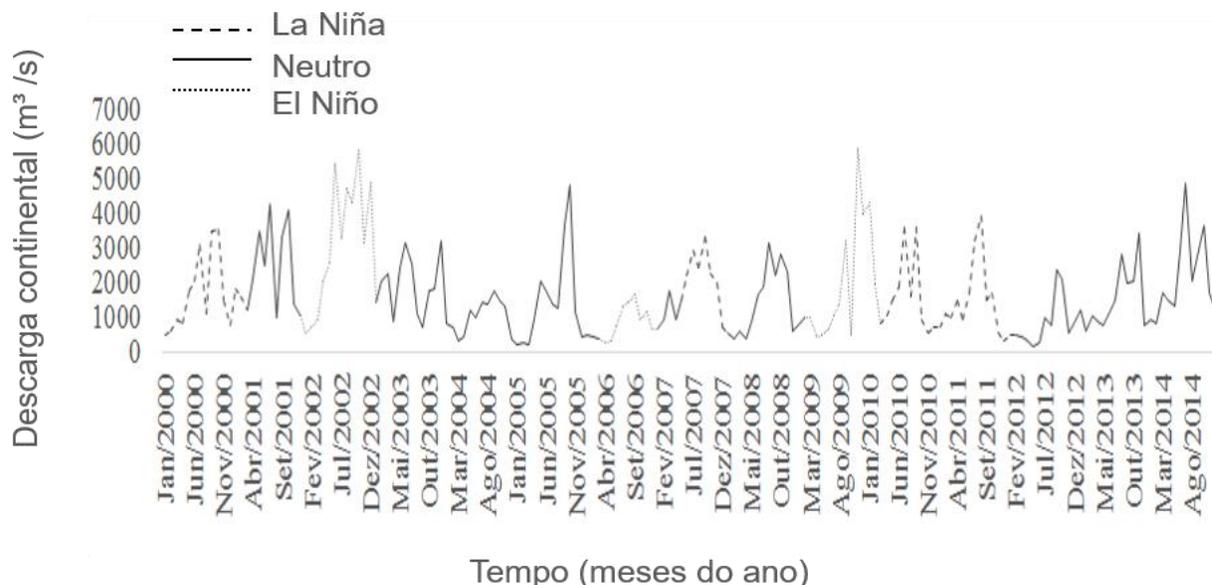


Figura 17 - Série temporal da vazão dos principais tributários da Lagoa dos Patos entre 2000 a 2014. La Niña (----), El Niño (.....), Neutro (—).

A vazão média dos principais tributários da Lagoa dos Patos durante Janeiro de 2000 a janeiro de 2003 foi em média 2362 m<sup>3</sup>/s. Este período se inicia com uma La Niña entre janeiro de 2000 a março de 2001 onde a vazão variou em torno de 1800 m<sup>3</sup>/s, a partir do final da La Niña até fevereiro de 2002 há uma ausência do fenômeno climático ENSO e a vazão neste período variou em torno de 2,200 m<sup>3</sup>/s, por fim o período que engloba os meses de março de 2002 a janeiro de 2003 trata-se do período

de atuação do El Niño e a vazão nesse período variou em torno de 3,500 m<sup>3</sup>/s. Houve uma diferença significativa entre os eventos ( $p=0,01$ ) tendo o El Niño a vazão significativamente maior que a La Niña ( $p=0,01$ )(Fig.18B).

O período entre os meses de maio de 2006 a fevereiro de 2008 apresentou vazão em torno de 1230 m<sup>3</sup>/s. Este período se iniciou com um evento de El Niño que permanece atuando até dezembro de 2006, sendo que a vazão durante este período variou em torno de 1000 m<sup>3</sup>/s. A partir de janeiro de 2007 até maio do mesmo ano o evento é considerado neutro e a vazão variou em torno de 990 m<sup>3</sup>/s. O período entre abril de 2007 até fevereiro de 2008 é caracterizado por um evento de La Niña com a vazão variando em torno de 2000 m<sup>3</sup>/s. A comparação da vazão média não indicou diferença significativa entre os eventos ( $p=0,2$ )( Fig.18C). O último período analisado (2009 e 2012), que se iniciou com um evento de El Niño entre maio de 2009 e março de 2010 quando a vazão variou em torno de 1.200 m<sup>3</sup>/s enquanto que o período entre abril de 2010 e março de 2012 caracterizado por um evento de La Niña apresentou a vazão em torno de 1000m<sup>3</sup>/s. A La Niña esteve abaixo do valor estimado para todo o período (1.109 m<sup>3</sup>/s). A comparação de médias indicou diferença significativa entre os eventos ( $p= p<0,000$ ) (Fig. 18D).

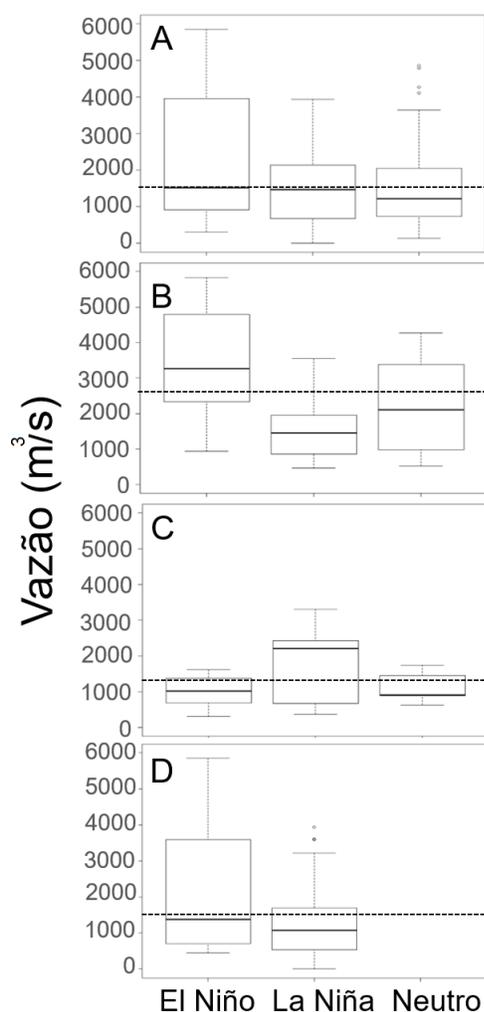


Figura 18 - Vazão para os diferentes eventos ENSO entre os anos 2000 a 2014 (A) 2000 a 2003 (B), 2006 a 2008 (C), 2009 a 2012 (D). A linha tracejada (---) indica a mediana da salinidade para todo o período.

Por fim quando comparamos a vazão média entre as estações dos diferentes anos para o período entre 2000 a 2003 não observamos diferenças significativas ( $p=0,05$ ), porém é possível observar que a vazão durante o verão de 2000 e 2002 esteve bem abaixo da vazão geral estimada para o período (Fig. 19A). Para os anos 2006 a 2008 o teste de Kruskal-Wallis indica uma diferença significativa ( $p=0,03$ ),

porém o teste de Dunn a posteriori não indicou entre que eventos ocorreu a diferença. Entretanto a análise gráfica mostra que o outono de 2006 e o verão de 2008 apresentaram vazão variando em torno de 500 m<sup>3</sup>/s, abaixo do valor estimado para todo o período (Fig. 19B).

Para o último grupo de anos analisando (2009 a 2012) também não foram observadas diferenças significativas entre as estações do ano dos distintos anos ( $p=0,05$ ), porém analisando o boxplot (Fig. 19C), observamos que a vazão durante outono de 2009, primavera de 2011, verão de 2011 e 2012 esteve abaixo do valor estimado para todo o período.

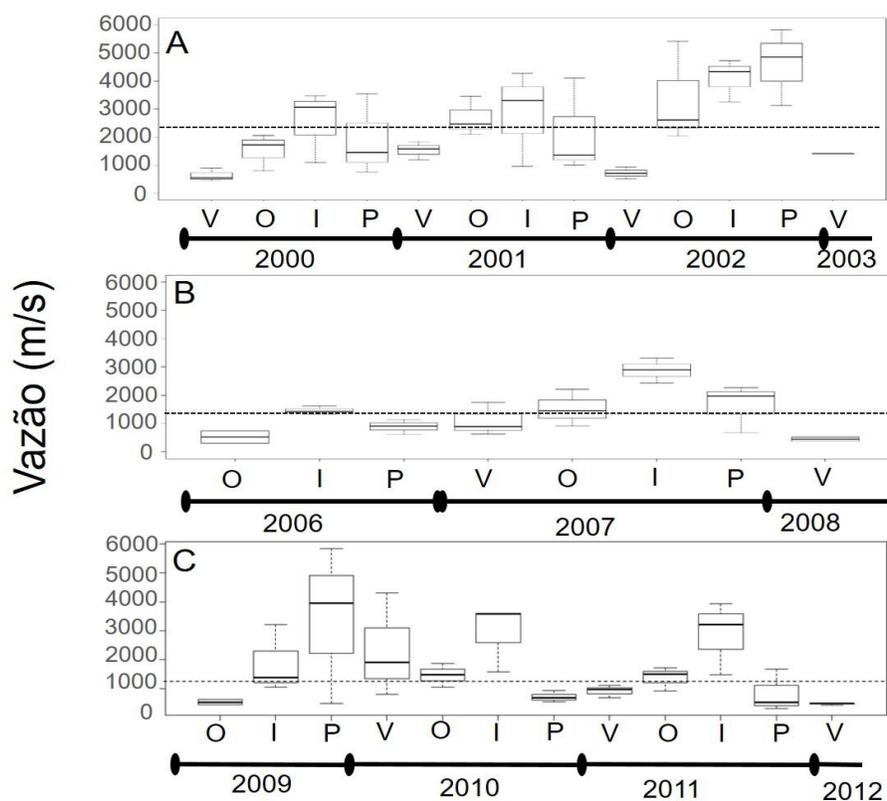


Figura 19 - Variabilidade sazonal da vazão dos principais tributários da lagoa dos patos para o período de 2000 a 2003 (A), 2006 a 2008 (B) e 2009 a 2012 (C). A linha tracejada (---) indica a mediana da salinidade para todo o período.

#### Concentração de Clorofila *a*

A concentração de Clorofila *a* média no ELP entre 2000 a 2014 (Fig. 20A) variou em torno de 7,3 ug/L. A comparação estatística desta variável entre os diferentes eventos ENSO não indicou diferenças significativas entre eles (Fig. 21A). As concentrações médias de Clorofila *a* foram de 9,6 ug/L, 5,30 ug/L e 7,63 ug/L para El Niño, La Niña e Neutro, respectivamente. Esta mesma variável apresentou concentração em média de 17 ug/L na ZAC entre 2000 a 2014 (Fig. 20B), nesta região a comparação de médias não indicou diferenças significativas entre os diferentes eventos ENSO, e as concentrações médias para eventos de El Niño, La Niña e Neutro foi de 25 µg/L, 18 µg/L e 14 µg/L, respectivamente (Fig.21E). A concentração de Clorofila *a* na ZAC foi consideravelmente mais alta que no ELP durante a La Niña de 2000 e durante o El Niño de 2009-2010, enquanto o El Niño de 2002-2003 foi responsável por maiores concentrações dessa variável no estuário em relação a zona de arrebentação do Cassino.

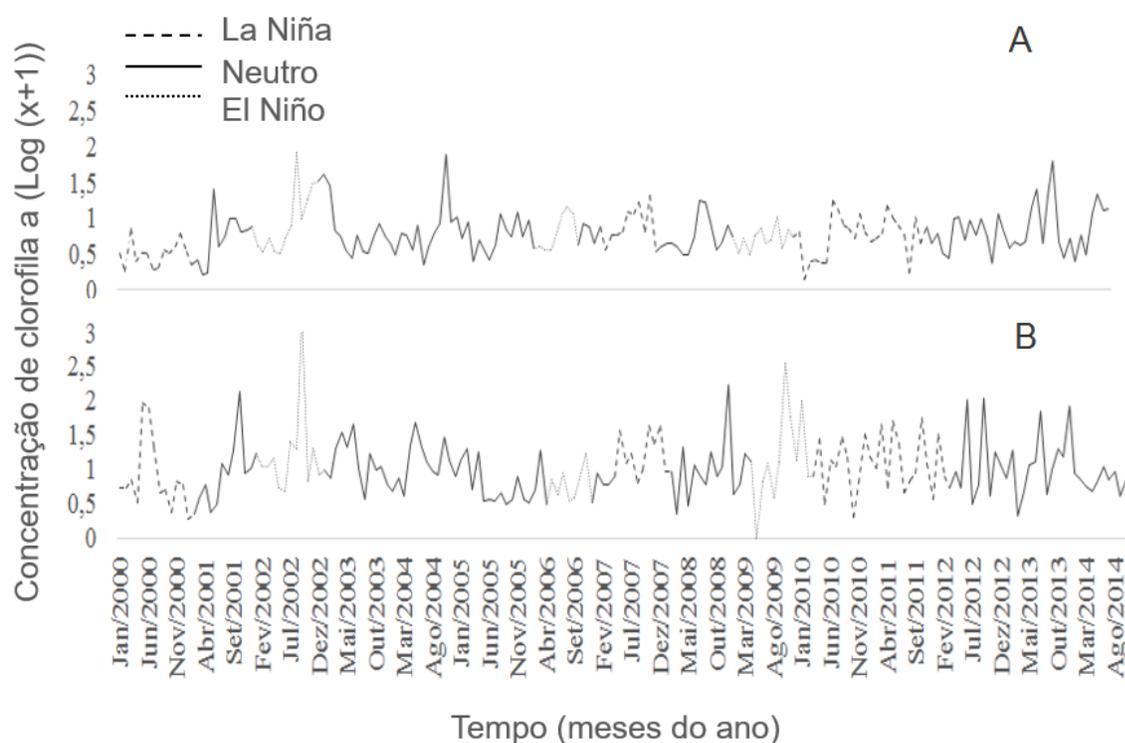


Figura 20 - Série temporal da concentração de clorofila a  $\mu\text{g/l}$  no ELP (A) e na ZAC (B) durante os anos 2000 a 2014. La Niña (----), Neutro (—). El Niño (.....).

Durante os anos 2000 a 2003 (Fig. 21B) a concentração de Clorofila a esteve em média em torno de  $8,13 \mu\text{g/L}$ . As médias de Clorofila a para os eventos de El Niño, La Niña e Neutro foram de  $17 \mu\text{g/L}$ ,  $2,36 \mu\text{g/L}$  e  $6,51 \mu\text{g/L}$ , respectivamente. O teste de comparação de médias indicou diferenças significativas quanto à concentração desta variável entre os eventos para o período em questão ( $p < 0,000$ ), tendo o evento de La Niña uma quantidade significativamente menor da Clorofila a em relação ao El Niño e Neutro.

Para o segundo período analisado (2006 a 2008) a concentração média da Clorofila a foi de  $7,3 \mu\text{g/L}$  (Fig. 21C). A comparação de médias para os diferentes

eventos não indicou diferença significativa ( $p=0,19$ ), porém a concentração de Clorofila *a* durante o El Niño (5,7  $\mu\text{g/L}$ ) e Neutro (5,19  $\mu\text{g/L}$ ) foi menor do que durante a La Niña (8,79  $\mu\text{g/L}$ ). Durante 2009 a 2012 a concentração de Clorofila *a* no ELP apresentou valores médios 5  $\mu\text{g/L}$  (Fig.21D). Os valores médios dessa variável foram de 4 $\mu\text{g/L}$  e 6  $\mu\text{g/L}$  para El Niño e La Niña, respectivamente.

A concentração de Clorofila *a* na região da ZAC entre os anos 2000 a 2003 (Fig.27F) apresentou um valor médio de 15  $\mu\text{g/L}$ . A comparação de médias de Clorofila *a* para El Niño (11,5  $\mu\text{g/L}$ ), La Niña, (12,51  $\mu\text{g/L}$ ), Neutro (20,22  $\mu\text{g/L}$ ) não indicou diferença significativa ( $p=0,10$ ) entre os distintos eventos, mas as médias apontam para uma maior quantidade dessa variável durante períodos de Ausência do ENSO. O período entre 2006 a 2008 (Fig. 21G) teve como valor médio da concentração de Clorofila *a* 12,5  $\mu\text{g/L}$ . Comparando os distintos eventos em relação a concentração da Clorofila *a*, foram encontradas diferenças significativas ( $p=0,01$ ), sendo a concentração de Clorofila *a* maior durante os meses em que a La Niña (18  $\mu\text{g/L}$ ) esteve presente, quando comparados ( $p=0,01$ ) com período de El Niño (7  $\mu\text{g/L}$ ). Não houve diferença significativa entre os dois eventos mencionados em relação ao período em que o ENSO esteve ausente (12  $\mu\text{g/L}$ ).

O último período analisado (2009 a 2012) foi o que apresentou maior concentração média (28  $\mu\text{g/L}$ ) de concentração de Clorofila *a* para região em relação aos outros grupos de períodos. A comparação dos valores médios desta variável entre La Niña (16  $\mu\text{g/L}$ ) e El Niño (56  $\mu\text{g/L}$ ) indicou diferenças significativas entre os eventos ( $p<0,000$ ), (Fig. 21H).

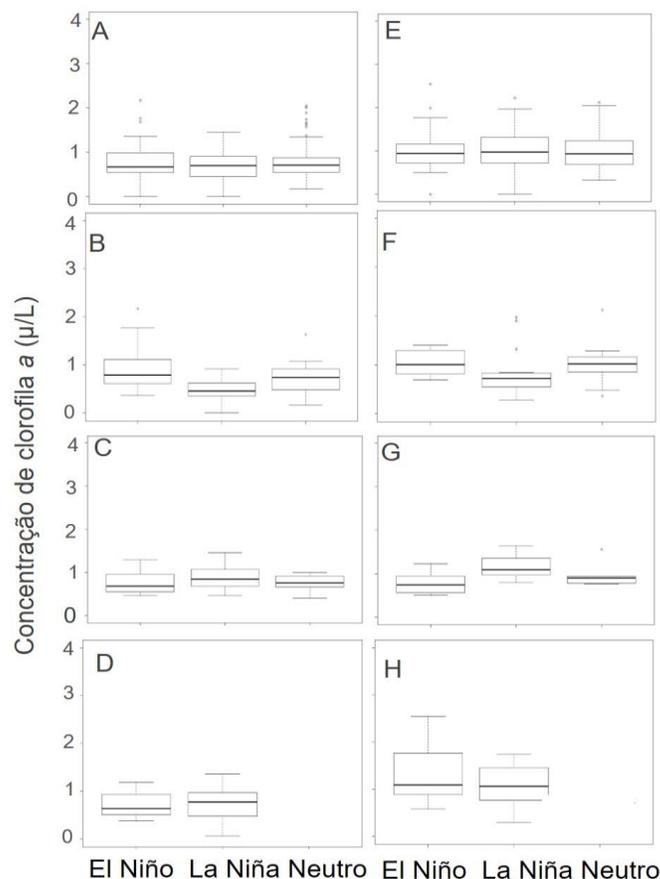


Figura 21-Concentração de clorofila a, no ELP (A) e na ZAC (E) para os diferentes eventos do ENSO entre 2000 a 2014, para o período de 2000-2003 para o ELP (B) e ZAC (F), para 2006-2008 para o ELP (C) e ZAC (G), e para 2009-2012 para o ELP (D) e ZAC (H).

Quando examinamos a variabilidade sazonal da clorofila durante os anos 2000 a 2003 no ELP, entre as diferentes estações climáticas e seus respectivos anos, também identificamos diferenças significativas em relação a quantidade média de clorofila a ( $p < 0,000$ ). A primavera de 2002 ( $18 \mu\text{g/L}$ ) apresentou maior quantidade de clorofila a

quando comparada ao inverno de 2000 (5  $\mu\text{g/L}$ ), outono de 2000 (1,93  $\mu\text{g/L}$ ) e verão de 2001 (6,0  $\mu\text{g/L}$ ) (Fig. 22A)

Entre 2006 a 2008 a concentração de clorofila *a* não apresentou diferenças significativas ( $p=0,33$ ) entre as diferentes estações climáticas quando essas foram comparadas sazonalmente entre os diferentes anos (22B). Nos anos de 2009 a 2012 a concentração de Clorofila *a* variou significativamente entre os distintos anos e suas estações climáticas ( $p=0,001$ ), tendo o inverno de 2010 uma concentração quantidade significativamente menor de clorofila *a* em relação a primavera do mesmo ano ( $p=0,01$ ) e o inverno de 2011 ( $p=0,04$ ) (Fig.22C).

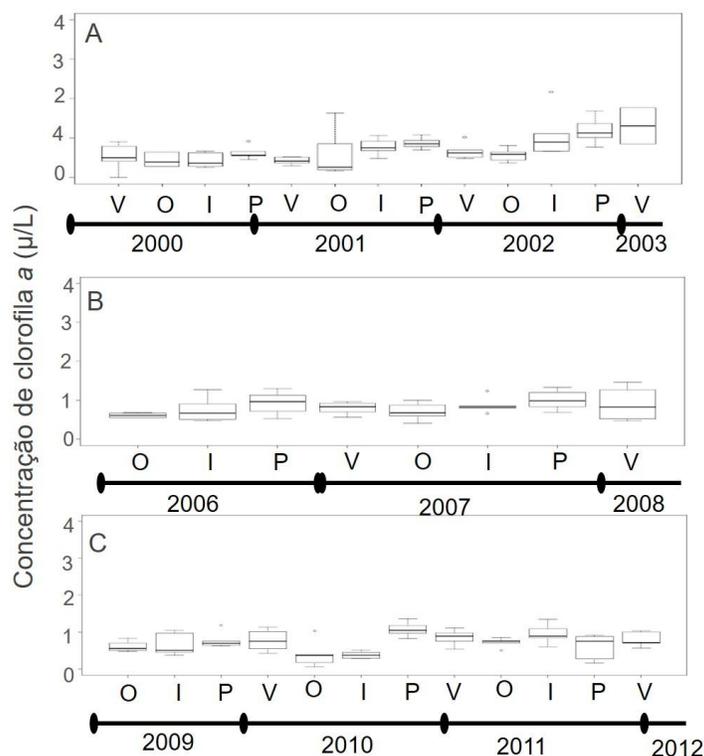


Figura 22 - Variabilidade sazonal da concentração de clorofila no ELP para o período de 2000 a 2003 (A), 2006 a 2008 (B) e 2009 a 2012 (C).

Na região da ZAC a concentração de Clorofila a, quando comparada interanualmente entre as diferentes estações climáticas, não apresentou diferenças significativas ( $p=0,05$ ) entre os anos 2000 a 2003 ( $p=0,05$ ), 2006 a 2007 ( $p=0,07$ ), 2009 a 2012 ( $p=0,05$ ). Porém podemos observar na figura 23 A, que entre os anos 2000 a 2003 o outono e a primavera apresentaram maiores concentrações dessa variável em relação as outras estações. O outono e a primavera de 2007 também apresentam uma maior concentração de Clorofila a em relação ao verão e inverno de 2007 e dos outros anos (Fig. 23B). Entre 2009 a 2012, a primavera de 2009 mostra maior concentração desta variável em relação as outras estações (Fig. 23C).

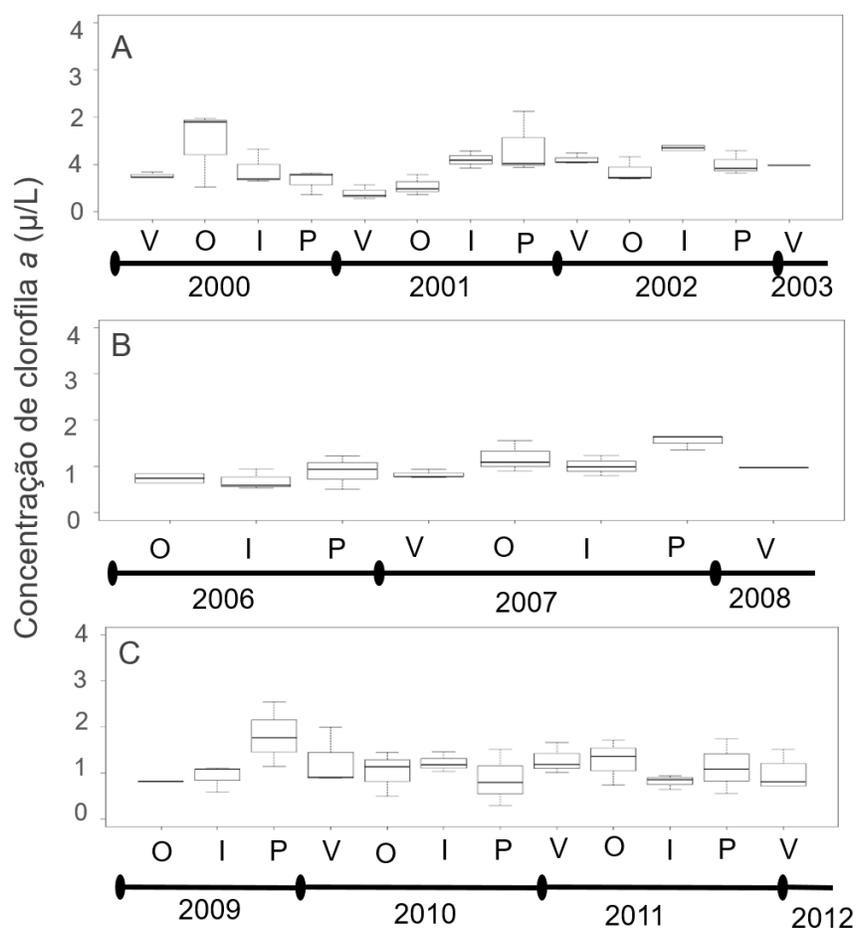


Figura 23 - Variabilidade sazonal da Concentração de Clorofila a na ZAC para o período de 2000 a 2003 (A), 2006 a 2008 (B) e 2009 a 2012 (C).

## Abundância de copépodes

Entre os anos 2000 a 2003 na região do ELP (Fig. 24A) a abundância de copépodes apresentou em média 355 organismos/m<sup>3</sup>. Quando comparamos a média de abundância destes organismos entre El Niño (350 org/m<sup>3</sup>), Neutro (640 org/m<sup>3</sup>) e La Niña (153 org/m<sup>3</sup>) (Fig. 25A) o teste indica uma diferença significativa ( $p=0,02$ ), porém o teste de Dunn a posteriori não indica quais eventos apresentam diferenças. Na região da ZAC entre janeiro de 2000 a janeiro de 2003 (FIG. 24B) a abundância de copépodes teve média de 274 organismos/m<sup>3</sup>. Não houve diferença significativa na abundância deste grupo entre El Niño, La Niña e Neutro ( $p=0,74$ ; Fig. 25C).

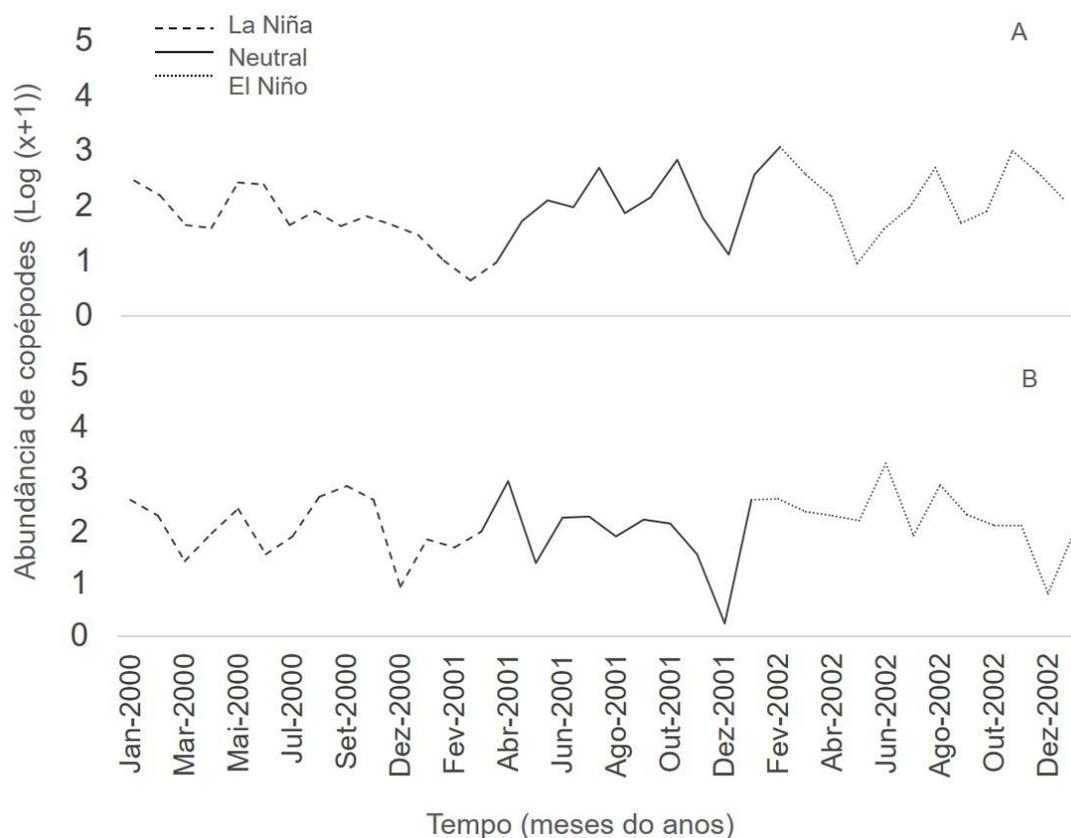


Figura 24 - Abundância de copépodes (org/m<sup>3</sup>) no ELP (A) e na ZAC (B) durante os anos 2000 a 2003.

Durante os anos 2009 a 2012 a abundância média de copépodes no ELP (Fig. 26A) foi de 2.100 organismos/m<sup>3</sup>. Os meses em que El Niño esteve atuando (2.787 org/m<sup>3</sup>) apresentou uma abundância de copépodes significativamente maior ( $p < 0,000$ ) quando comparado com os meses em que a La Niña atuou (1.764 org/m<sup>3</sup>) (Fig. 25B). Na região da ZAC entre novembro de 2009 a março de 2011 (Fig. 26B) a abundância de copépodes teve média de 1.359 organismos/m<sup>3</sup>, a comparação de médias indicou uma maior abundância de copépodes durante os meses El Niño (2.652 org/m<sup>3</sup>) em relação a La Niña (772 org/m<sup>3</sup>), ( $p < 0,000$ , Fig. 25D).

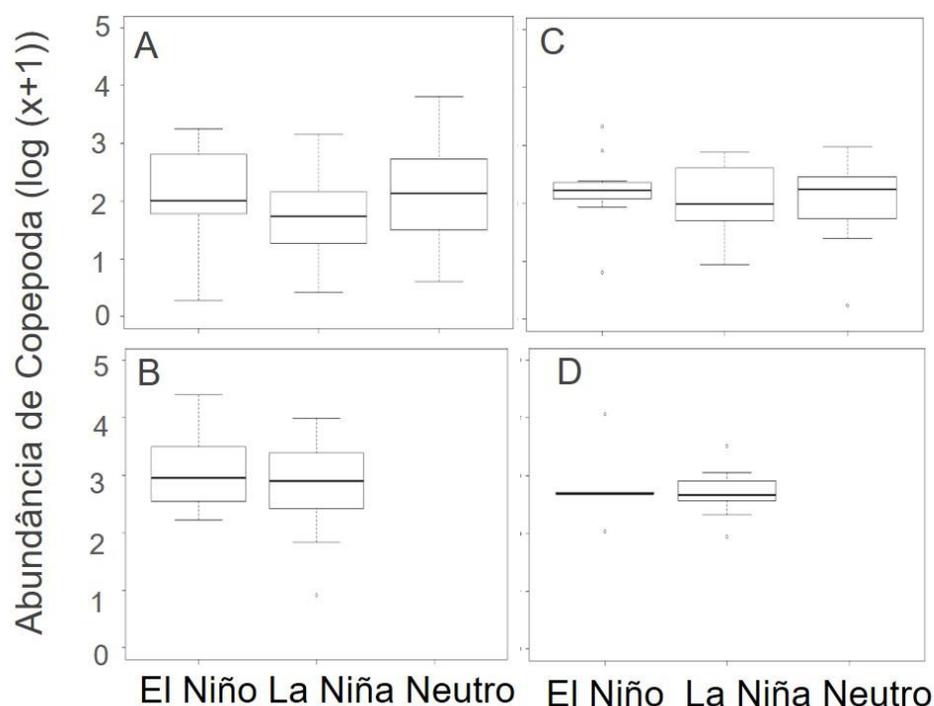


Figura 25 – Abundância de copépodes (org/m<sup>3</sup>) para os diferentes eventos ENSO entre os anos 2000 a 2003 no ELP (A) e ZAC (C), e entre 2009 a 2012 no ELP (B) e ZAC (C).

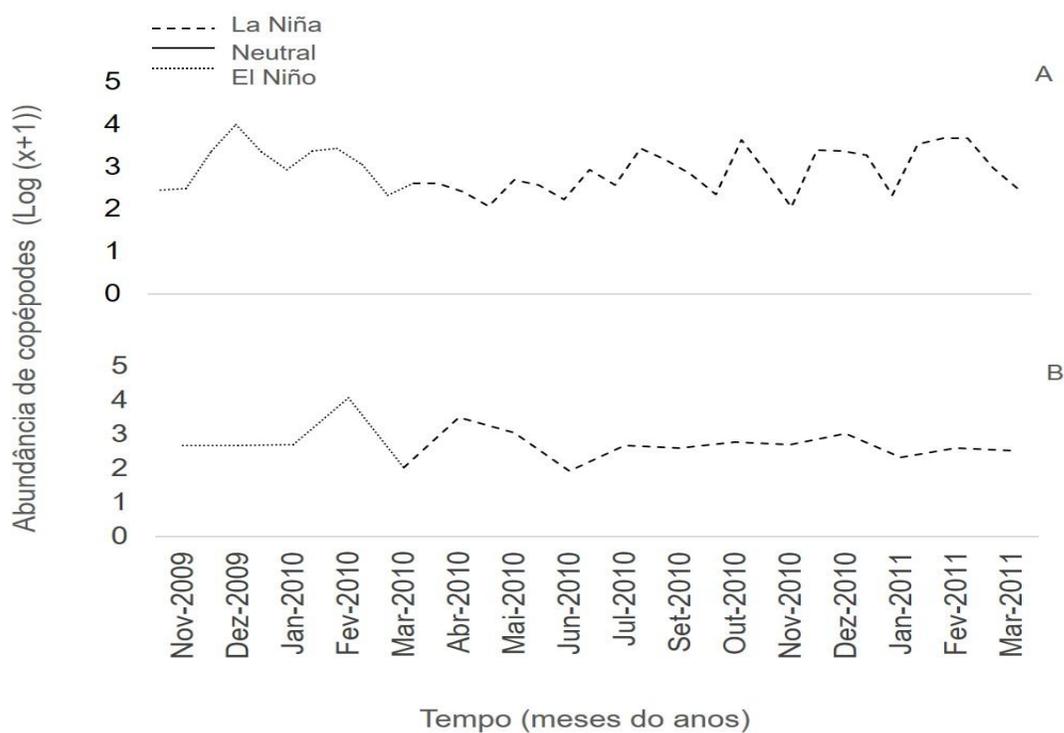


Figura 26 - Concentração de copépodes (org/m<sup>3</sup>) no ELP e na ZAC durante os anos 2009 a 2012.

A análise sazonal da abundância de copépodes entre 2000 a 2003 no ELP (Fig.27A) indicou diferenças significativas entre as diferentes estações, tendo o verão de 2000 uma quantidade significativamente menor destes organismos quando comparado com o verão de 2002 ( $p=0,003$ ) e a primavera deste mesmo ano ( $p=0,003$ ). Entre os anos 2009 a 2012 no ELP (Fig. 27B), observamos diferenças significativas ( $p=0,0003$ ) na abundância de copépodes entre as estações do ano, sendo a abundância significativamente menor no outono de 2010 em relação ao inverno de 2009. As outras estações não apresentaram diferenças entre si.

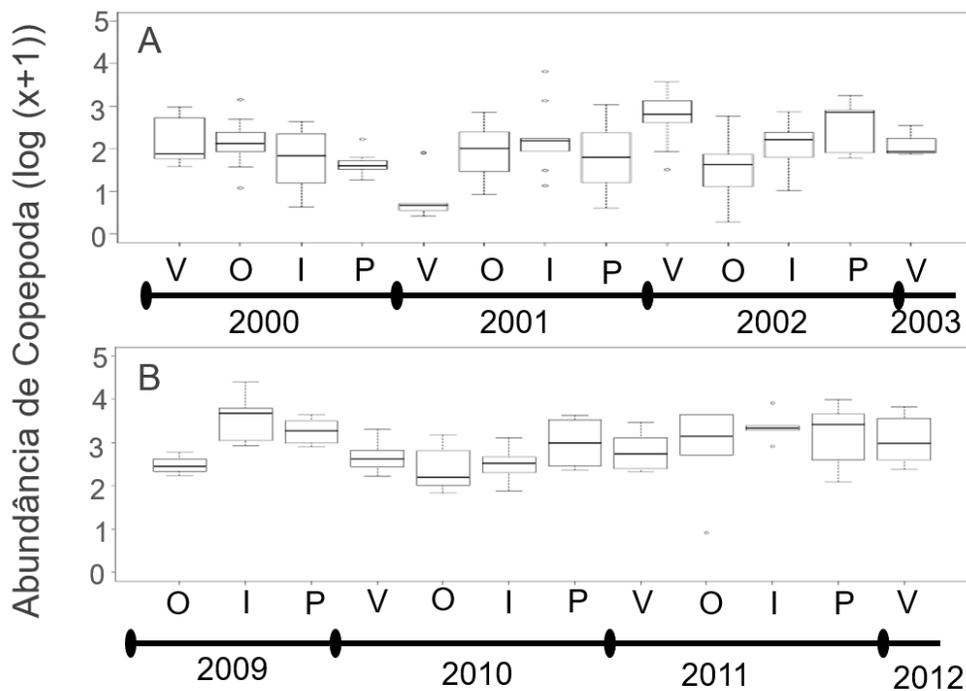


Figura 27 - Abundância sazonal de Copépodes no ELP durante os anos 2000 a 2003 (A) e 2009 a 2012 (B).

Durante os anos 2000 a 2003 (FIG 28A) na ZAC a análise sazonal da abundância deste grupo não apresentou diferença significativa ( $p=0,39$ ), porém podemos observar que o inverno de 2000 e o outono de 2002 apresentaram valores de abundância acima do geral estimado para todo o período. Na mesma região durante os anos 2009 a 2012 (Fig. 28B) não observamos diferenças significativas ( $p=0,45$ )

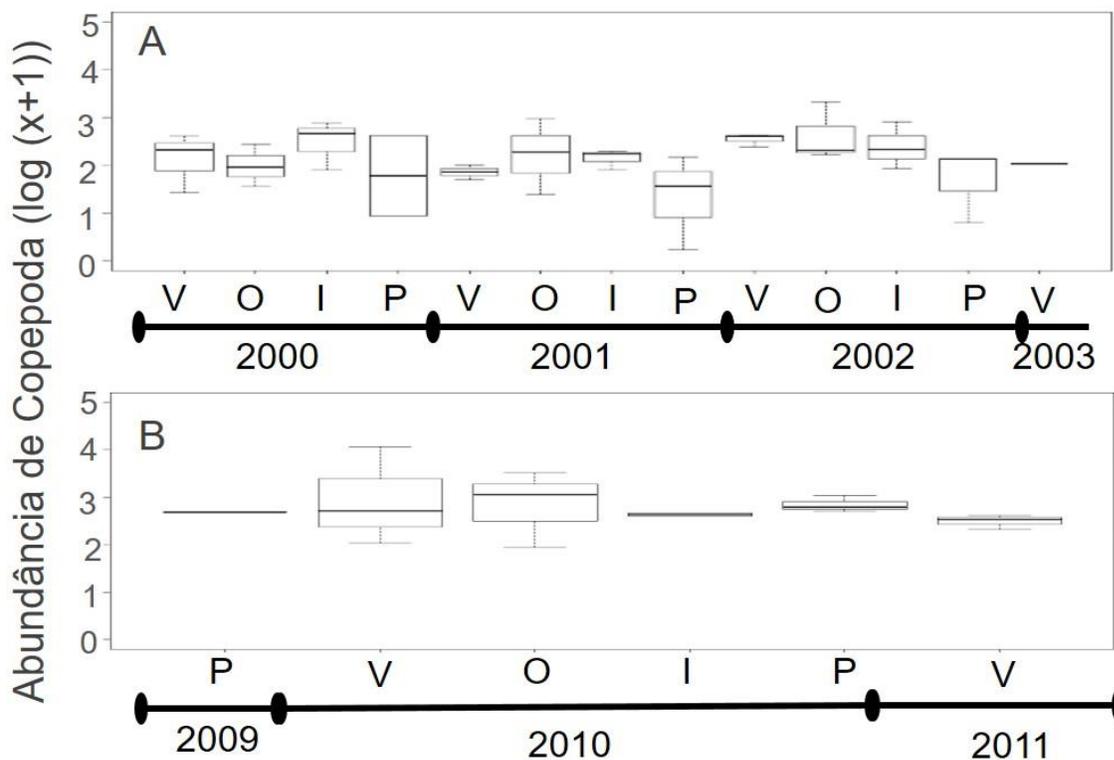


Figura 28 - Abundância sazonal de copépodes na ZAC durante os anos 2000 a 2003 (A) e 2009 a 2011 (B)

### Análise das séries Temporais

Série temporal da vazão dos principais tributários foi plotada em relação a série temporal do Índice de Oscilação Sul (SOI) e pode ser observado na figura 29. A correlação cruzada destas duas variáveis, onde a vazão foi defasada no tempo mostra correlação negativa e significativa entre as duas variáveis. A correlação foi significativa para defasagens entre -4 e +1, porém a correlação foi mais alta para lag =-1 ( $r=0,29$ ) e

lag= -2, ( $r=0,22$ ), indicando que entre um a dois meses ( $r=-0,22$ ) antes do aumento da vazão o Índice em questão sofreu uma diminuição.

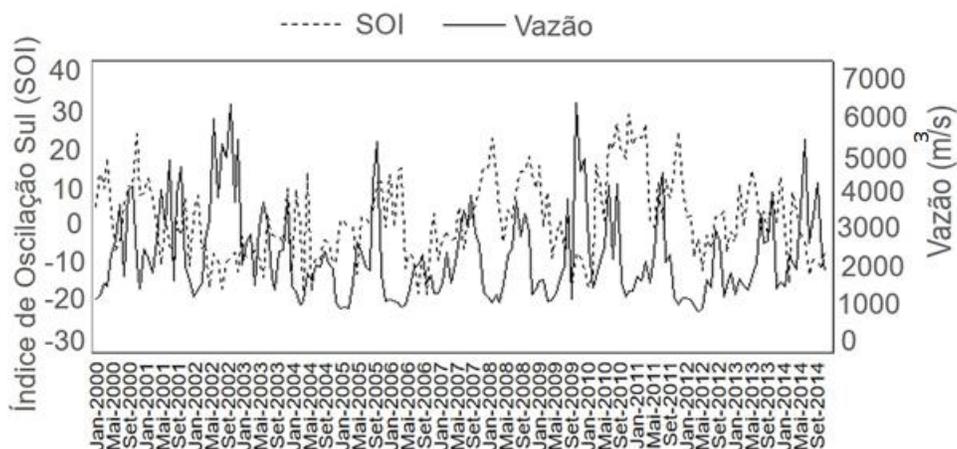


Figura 29 - Séries temporais do Índice de Oscilação Sul e da vazão dos principais tributários da Lagoa do Patos entre os anos 2000 a 2014.

A Correlação das séries temporais de salinidade (Fig. 30A) e concentração de clorofila *a* (Fig. 30B) no ELP em função do índice SOI indicaram correlação com esta variável. Para salinidade a correlação foi positiva e ocorreu para as defasagens -6 a -2, e também para defasagem 0. Porém a correlação mais alta ( $r=0,27$ , lag=-2) aconteceu para a defasagem de tempo de dois meses, o que indica que um aumento neste índice acarretaria um aumento significativo na salinidade do ELP dois meses depois. Em relação a concentração de clorofila *a* nessa mesma região a análise indica que uma diminuição no SOI acarretaria em um aumento significativo na concentração de clorofila *a* com uma defasagem de quatro meses ( $r=0,20$ , lag=-4). Houve correlações significativas também para defasagens -6 (0,17) e lag= -1 (0,14), porém essas foram mais baixas que a defasagem de 4 meses.

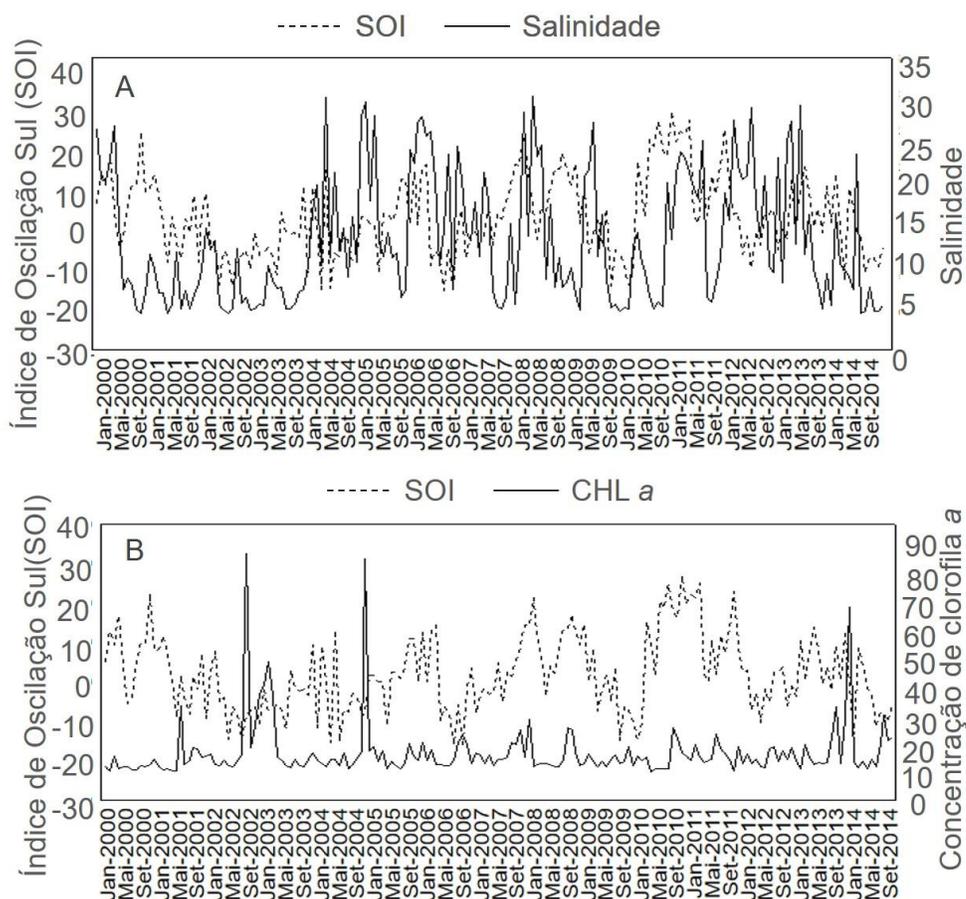


Figura 30 - Séries temporais da salinidade (A) e concentração de clorofila a (B) no ELP, plotadas em relação a série temporal do Índice de Oscilação Sul.

A correlação entre a vazão e a salinidade (Fig. 31A), onde a última foi defasada em relação a primeira observamos uma correlação negativa e significativa para as defasagens de  $-4$  ( $r=-0,25$ ),  $-3$  ( $r=-0,37$ ),  $-2$  ( $r=-0,46$ ) e  $-1$  ( $r=-0,63$ ).

Entre a série temporal de vazão e concentração de Clorofila a (Fig. 31B), observamos uma correlação positiva e significativa entre as defasagens de  $-4$  ( $r=0,23$ ),  $\text{lag}=-3$  ( $r=-0,40$ ),  $\text{lag}=-2$  ( $r=-0,22$ ),  $\text{lag}=-1$  ( $r=-0,20$ ).

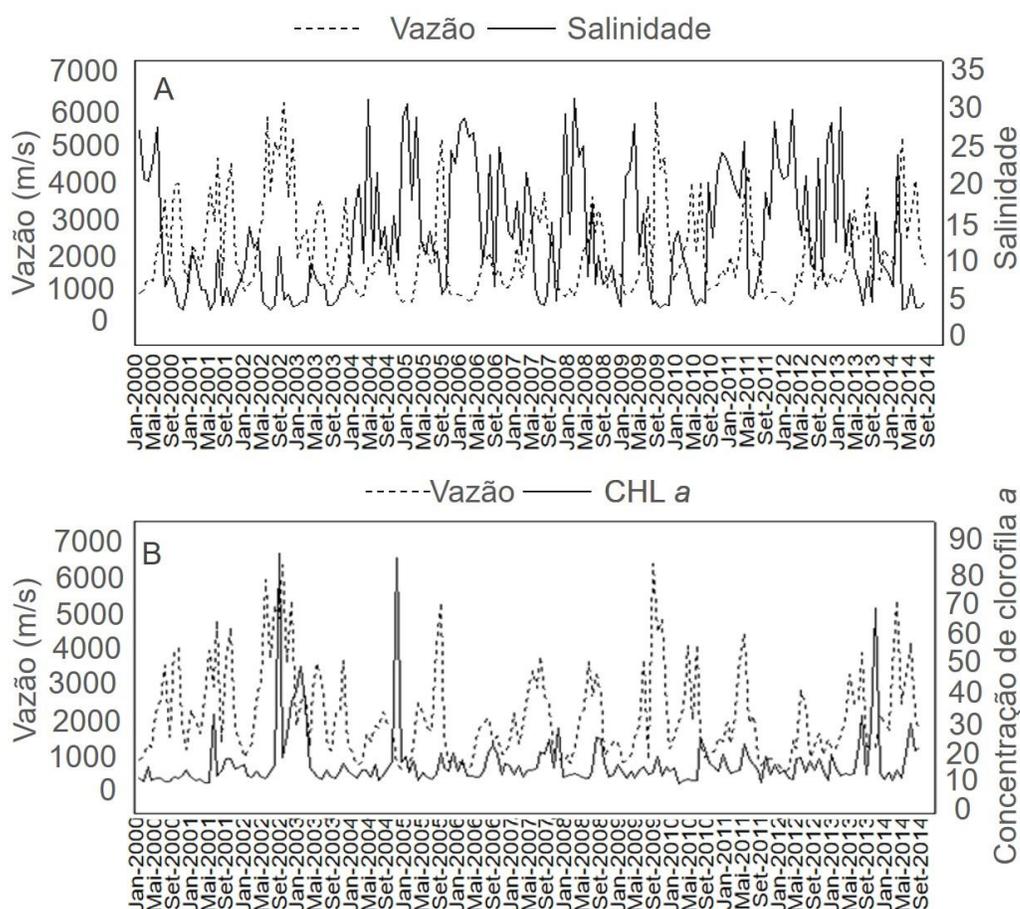


Figura 31 - Séries temporais de salinidade e concentração de clorofila a no ELP entre 2000 a 2014, plotadas em relação a série temporal da vazão

A observação da série temporal de salinidade na ZAC (Fig. 32A), indica que o Índice de Oscilação Sul apresenta uma correlação positiva e significativa em relação a essa variável, e que um aumento no SOI gera após dois meses um aumento na salinidade ( $r=0,19$ ,  $\text{lag}=-2$ ). Existiu também uma correlação positiva com defasagem 0 entre as duas variáveis, porém com uma significância menor ( $r=0,17$ ,  $\text{lag}=0$ ). Em

relação a concentração de Clorofila *a* na região não houve uma correlação significativa com o índice de oscilação Sul (Fig. 32B).

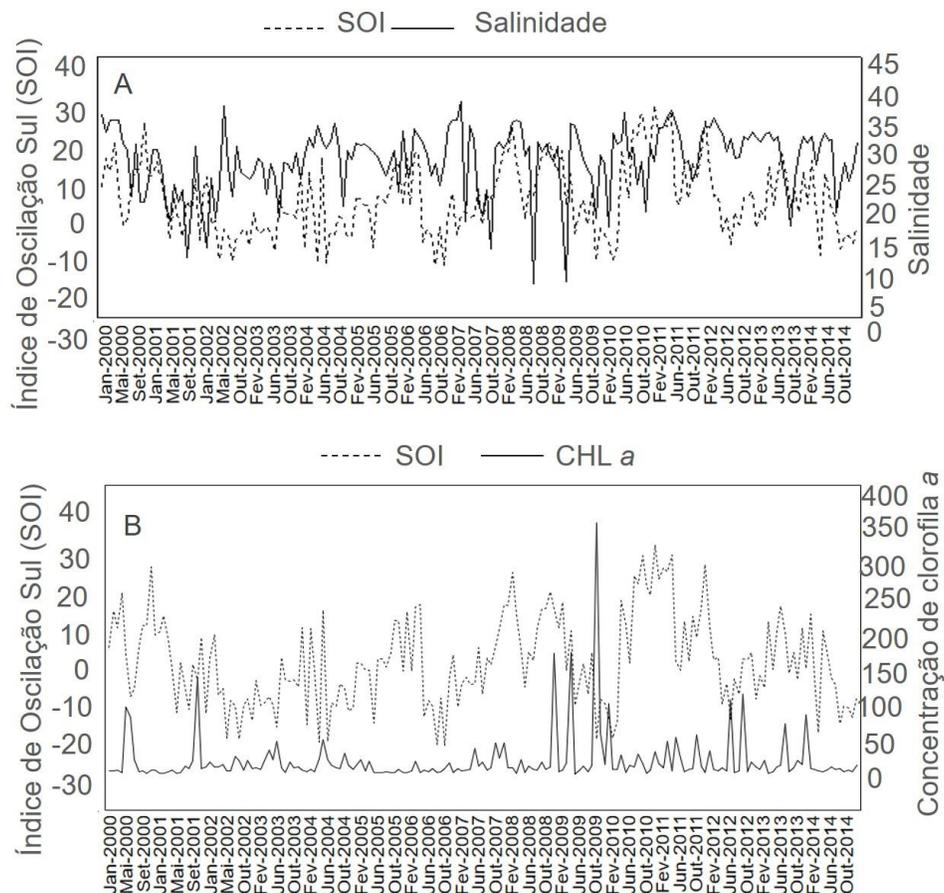


Figura 32 - Séries temporais da salinidade (A) e concentração de clorofila *a* (B) na ZAC, plotadas em relação a série temporal do Índice de Oscilação Sul.

Na Zona de Arrebentação do Cassino (ZAC), o efeito da vazão sobre a salinidade (Fig. 33A), mostrou uma correlação mais forte e negativa entre -2 ( $r=-0,20$ ), -1 ( $r=-0,32$ ), e 0 ( $r=0,31$ ) indicando que uma diminuição da vazão entre 2 a 0 meses de antecedência geram um aumento na salinidade da região. O efeito da vazão sobre a

clorofila a (Fig.33B) se mostrou positiva, indicando que o aumento da vazão acarreta em um aumento desta variável na região com uma defasagem de 3 meses ( $r=0,21$ ,  $\text{lag}=1$ ) e 1 mês ( $r=0,20$ ,  $\text{lag}=-1$ ). As duas variáveis indicaram também uma correlação contemporânea ( $r=15$ ,  $\text{lag}=0$ ).

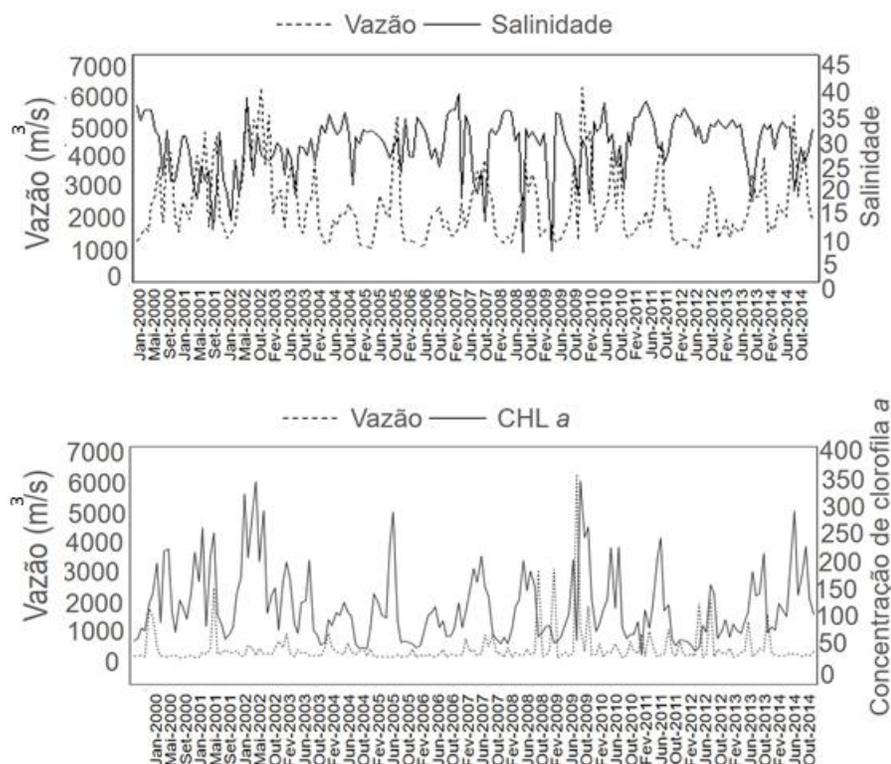


Figura 33 - Séries temporais da salinidade (A) e concentração de clorofila a (B) na ZAC, plotadas em relação a série temporal da vazão.

As correlações cruzadas das séries temporais desta sessão podem ser observadas no apêndice 1.

### 3.3 Mudanças de longo prazo na condição corporal das larvas de *B. pectinata*.

A série temporal do ICR das larvas de *Brevoortia pectinata* para o período de 2000 a 2014 e as demais variáveis ambientais no Estuário da Lagoa dos Patos pode ser observada na Figura 34. Não houve correlação significativa entre a condição residual e o Índice de Oscilação Sul (SOI) para nenhuma defasagem de tempo (Fig. 34A). A função de correlação cruzada indicou um efeito positivo da salinidade sobre a condição das larvas, com uma correlação significativa dentro do mesmo trimestre ( $r=0,39$ ,  $\text{lag}=0$ ) (Fig.34B). A vazão teve um efeito negativo ( $r=-0,37$ ,  $\text{lag}=0$ ) e significativo sobre a condição das larvas de savelha presentes no ELP também dentro do mesmo trimestre (Fig. 34C). (Fig. 34D,  $r=-0,32$ ). Por fim observamos que a concentração de clorofila a (Fig. 34D) e temperatura (Fig. 34E) não apresenta nenhum efeito significativo sobre a condição das larvas no ELP.

A série temporal do índice de condição residual das larvas de *Brevoortia pectinata* para o período de 2000 a 2014 e as demais variáveis ambientais na Zona de arrebentação da praia do Cassino, podem ser observadas na Figura 36. O Índice de Oscilação Sul não apresentou nenhuma correlação significativa com a condição das larvas de savelha nesta região (Fig. 35A), apesar disso um trimestre após a diminuição dos valores do SOI houve um aumento na condição das larvas de savelha na ZAC, porém essa correlação não foi significativa ( $r=-0,24$ ,  $\text{lag}=-3$ ). A salinidade apresentou um efeito significativo e negativo sobre a condição desses organismos (Fig. 35B), a análise de correlação cruzada indicou que houve uma diminuição na salinidade durante

o trimestre anterior ao aumento da condição das larvas nessa região ( $r=-0,31$ ,  $\text{lag}=-1$ ). A vazão também apresentou efeitos significativos sobre a condição das larvas presentes na ZAC, porém para um período muito grande entre as duas. As análises indicaram que um aumento na vazão seria responsável por um aumento na condição até 6 meses mais tarde ( $r=0,29$ ,  $\text{lag}=-2$ ) (Fig.36C). Concentração de Clorofila *a* (Fig. 35D) e a temperatura (35E) não apresentaram correlações significativas com a série do ICR das larvas.

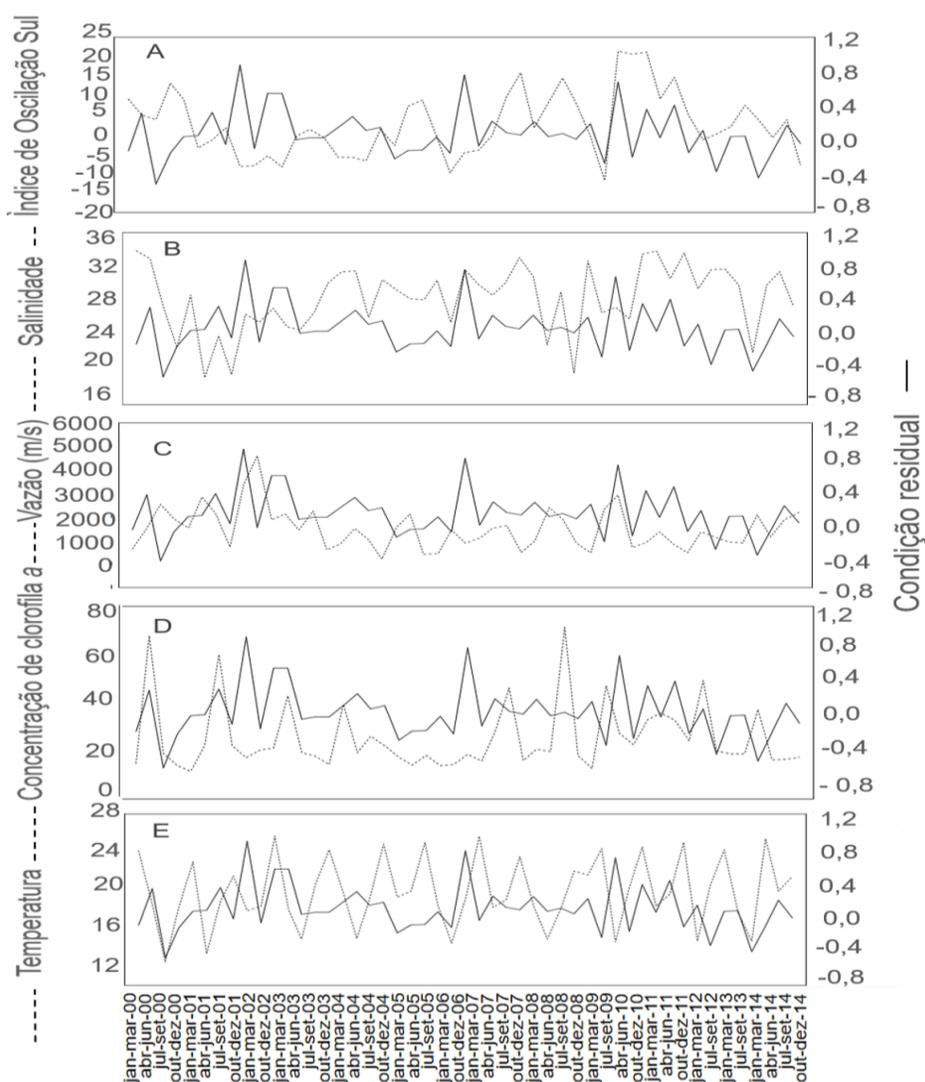


Figura 34 - série temporal trimestral para o período compreendido entre 2000 e 2014 do índice de condição residual de larvas de *Brevoortia pectinata* e do (A) Índice de Oscilação Sul (SOI), (B) salinidade, (C) vazão (m<sup>3</sup>/s), (D) concentração de clorofila no ELP.

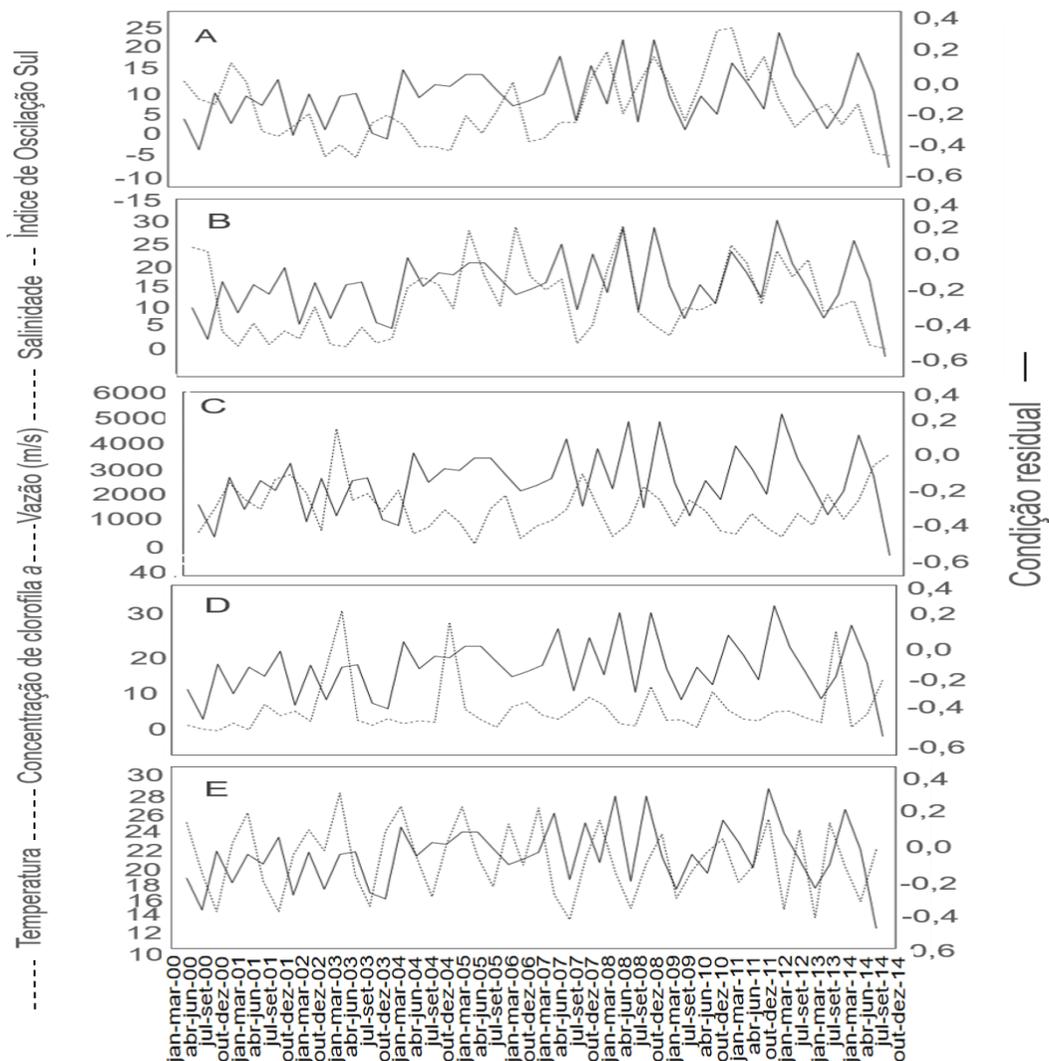


Figura 35 - Série temporal trimestral para o período compreendido entre 2000 e 2014 do índice de condição residual de larvas de *Brevoortia pectinata* e do (A) Índice de Oscilação Sul (SOI), (B) salinidade, (C) vazão (m<sup>3</sup>/s), (D) concentração de clorofila a (ug/L) e temperatura na ZAC

## 4.DISCUSSÃO

### 4.1. Variabilidade temporal da condição das larvas de savelha.

Este estudo mostrou que em relação a análise mensal do ICR, o ELP não apresentou diferenças importantes para os organismos presentes nessa região. Apenas março e novembro apresentaram diferenças significativas em relação a condição corporal das larvas. Esta falta de diferença na maioria dos meses pode estar relacionado a alta dinâmica no estuário, fazendo com que não exista um padrão claro entre a maioria dos meses em relação processos físicos e biológicos que controlam o ambiente planctônico, estando as larvas sujeitas a um processo de efeitos ambientais aleatórios. Na região da ZAC por sua vez, nos meses de abril e maio as larvas de savelha apresentaram melhor condição corporal quando comparados com os meses de janeiro a março, outubro a dezembro. Este resultado pode estar associado a dois fatores, 1) Período de recrutamento de juvenis ao ambiente marinho nos meses de abril e maio [Malanski 2011]. 2) Os juvenis apresentam um desenvolvimento mais avançado das estruturas de locomoção, o que facilitaria a captura de alimentos.

Quando comparamos a condição interanualmente no ELP podemos considerar que o ano de 2000 e 2003 apresentaram as piores condições ambientais para as larvas de savelha, visto que esses organismos se apresentaram significativamente menos saudios em relação a larvas de outros anos (2002, 2005, 2008, 2011, 2012, 2004). A condição corporal de um organismo se refere ao seu status energético. Larvas menos saudias tendem a ter menos reservas energéticas que larvas em melhores condição

corporal [Shuelte-Hostedd et al. 2005]. O período compreendido entre 2000 a 2003 foi caracterizado por alta vazão e baixa salinidade, fatores que conhecidamente diminuem o tempo de residência da água do estuário e impedem o acúmulo de biomassa primária e secundária no ELP [Abreu et al. 2010; Teixeira-Amaral et al. 2017] Porém entre dezembro de 2000 (primavera) a março de 2003 (verão) a concentração de clorofila apresentou um dos maiores picos em comparação com todo o período, o que indica que haveria um alta produção primária. Porém o pico de clorofila a no verão de 2003 esteve associado a uma grande quantidade de cianobactérias, incluindo espécies tóxicas [Odebrecht et al. 2010] o que pode ter sido responsável por larvas em pior condição corporal durante esse período em comparação com outros anos.

No ELP os anos em que o ENSO esteve ausente (2005) e anos em que a La Niña esteve atuando por mais tempo (2011, 2012 e 2008) foram mais favoráveis a condição das larvas em relação ao ano de 2009, onde houve um predomínio do El Niño. Menor vazão, maior salinidade, maior tempo de residência da água e retenção da produção durante esses anos [Odebrecht et al. 2015], pareceu favorecer a nutrição das larvas de savelha . Na ZAC, observamos o padrão contrário ao observado no ELP, onde anos de maior vazão (2000) e períodos onde o El Niño esteve atuando 2003, 2009 foram significativamente mais favoráveis a condição das larvas de savelha presentes nessa região em relação a alguns períodos em que a La Niña esteve atuando (2010, 2011 e 2012) ou o ENSO esteve ausente (2014). Este resultado pode ser explicado pela dependência que o aumento da produção da zona costeira tem do aporte de água doce. Em períodos chuvosos e de maior vazão, a advecção da água é

responsável pela exportação não só de nutrientes como também da biomassa primária estuarina para regiões costeiras [Abreu et al. 2010; Ciotti et al. 1995] fatores que favorecem a produção secundária localmente, conseqüentemente aumentando a disponibilidade de alimentos e a nutrição das larvas que apresentam melhor condição corporal sob essas condições

Entre os anos 2000 a 2014 os distintos eventos ENSO não geraram diferenças significativas na condição de larvas de savelha presentes no Estuário da Lagoa dos Patos (ELP) e Zona de Arrebentação do Cassino (ZAC). Essas diferenças podem ter sido amenizadas na análise geral devido a diferentes efeitos do ENSO sobre a variabilidade das larvas de savelha nos distintos grupos de anos (2000 a 2003, 2006 a 2008, 2009 a 2010). Esses efeitos distintos por sua vez podem estar relacionadas a 1) diferentes intensidades e duração do eventos ENSO atuantes da região ou 2) que outros fatores relacionados a variabilidade sazonal sejam mais importantes sobre a condição desses organismos do que o fenômeno climático ENSO.

A La Niña vigente entre janeiro de 2000 e março de 2001, teve início em 1998, e foi considerado um evento moderado [Australian Bureau of Meteorology 2017]. Um período neutro de 11 meses antecedeu o início do El Niño, que esteve em vigência entre fevereiro de 2002 a janeiro de 2003, mas foi considerado um evento fraco. Durante este período no ELP a temperatura, a abundância de copépodes e a concentração de clorofila a não apresentaram diferenças significativas relacionadas ao evento ENSO. Apesar da salinidade e vazão se apresentarem, respectivamente, mais altas e mais baixas durante a La Niña em comparação com os outros eventos,

podemos observar pela visualização das séries temporais que a vazão e a salinidade se comportaram dessa maneira apenas no verão e outono de 2000. Com exceção destas estações do ano, praticamente todo o período foi caracterizado por alta vazão e salinidade próximas a zero. Vazão alta e salinidades baixas durante o inverno e a primavera são característicos da região [Möller et al. 2009] e apontam que o efeito sazonal sobre a hidrologia do ELP neste período foi de grande importância, mesmo durante períodos de La Niña.

A variabilidade dos ciclos hidrológicos alterara a produção biológica no ELP [Abreu et al. 2010; Odebrecht et al. 2015; Teixeira-Amaral et al. 2017] e a composição da assembleia de peixes, neste último caso altas quantidades de chuva geralmente associadas ao El Niño favorecem a expansão de espécies de água doce no ELP (Garcia et al., 2003). A primavera de 2002 e verão de 2003 apresentaram altas concentrações de Clorofila comparação com as outras estações. No ELP as maiores contribuições para a produção primária estão associadas a diatomáceas. Flagelados autotróficos são relativamente abundantes durante os meses frios, enquanto que as cianobactérias e clorofilas são mais abundantes durante a primavera austral, entre os meses de setembro a dezembro [Abreu et al. 1994; Haraguchi et al. 2015]. A biomassa secundária é dominada por copépodes [Kaminski 2009]. A concentração de clorofila costuma ser alta durante a primavera, diminuindo no verão devido ao forrageamento do zooplâncton [Abreu et al. 2010; Haraguchi et al. 2015], porém uma concentração alta de clorofila a foi observada durante o verão de 2003 mesmo com a maior abundância

de copépodes durante a mesma estação, indica que o efeito do forrageamento de zooplânctons herbívoros precisa ser quantificado [Odebrecht et al. 2010]

O efeito do ENSO sobre a condição das larvas no ELP entre 2000 a 2003 indicou que larvas em melhor condição estiveram associadas a eventos de El Niño e ausência do ENSO, quando comparados com a La Niña, porém estes organismos mais saudáveis foram observados apenas durante períodos onde a salinidade foi superior a cinco e a vazão menor que 2,000 m<sup>3</sup>/s (verão de 2002 e verão de 2003). Estudos com larvas de *Brevoortia* do atlântico norte indicam que esses organismos são filtradores, podendo se alimentar desde produtores primários, como diatomáceas e dinoflagelados, e de produtores secundários como copépodes, tintinídeos, palecípodas e pterópodes [Govoni et al. 1983; Stoecker & Govoni 1984]. Desta maneira podemos concluir que larvas em melhor condição corporal estão relacionadas a maior disponibilidade de alimentos [Ferron and Legget 1994; Koslow et al. 1985] associadas as maiores concentrações de fitoplâncton e copépodes durante o verão de 2002 e no verão de 2003. O efeito sazonal foi mais importante que o efeito do ENSO sobre a condição das larvas de savelha durante esse período.

Durante o mesmo período (2000-2003) na Zona de Arrebentação do Cassino não observamos nenhum efeito importante do ENSO sobre a condição das larvas de savelha, abundância de Copépodes, concentração de Clorofila *a* e temperatura. Apenas as variáveis vazão e salinidade se comportaram como esperado em relação aos eventos ENSO, sendo períodos de La Niña caracterizados por menor descarga continental e maior salinidade [Möller et al. 2009]. Quando analisamos a condição das

larvas em relação ao efeito sazonal, observamos larvas em melhor condição durante o outono de 2000, a primavera de 2001 e o verão de 2003, tal resultado pode estar relacionada a maiores concentrações de Clorofila *a* durante estes períodos. A contribuição de copépodes para melhor condição das larvas nessa região parece apresentar uma defasagem, entre picos de abundância de copépodes e larvas mais saudas. As populações de copépodes apresentaram picos principalmente durante o inverno, períodos de maior incremento de nutrientes na zona costeira [Abreu et al. 2010], e quando a pressão predatória por larvas de peixes e outros invertebrados é menor [Kaminski 2009]. As larvas mais saudas durante a primavera e verão coincidem com menores abundância de Copépodes, podendo indicar que boa parte da população foi predada pelas larvas de *B. pectinata*.

O período entre 2006 a 2008 foi o que apresentou El Niño e La Niña mais curtos, o El Niño que atuou na região durante oito meses foi considerado fraco. Um período de 5 meses de ausência do ENSO, ocorreu antes da La Niña entrar em vigência durante os seguintes nove meses, o impacto desta fase do ENSO foi classificado como fraco a moderado [Australian Bureau of Meteorology 2017]. Nenhum dos eventos ENSO indicou um efeito importante sobre a condição das larvas de savelha no ELP, nem sobre a vazão e a concentração de clorofila *a*. A temperatura também não diferiu entre La Niña e El Niño, porém foi mais alta durante períodos neutros. Em relação a salinidade o efeito desse fenômeno foi o oposto ao esperado, sendo maior durante El Niño em relação a La Niña e período Neutro. O efeito pouco pronunciado dos eventos ENSO estudados sobre as variáveis abióticas do ELP, podem estar relacionados a

intensidade mais fraca e duração mais curtas desses eventos. Quando observamos a vazão durante o El Niño em questão, notamos que esta variável apresenta valores muito abaixo em relação aos observados durante os mesmos eventos que ocorreram durante 2002-2003 e 2009-2010. Sazonalmente a condição das larvas também não apresentou diferenças, mas podemos observar claramente larvas menos saudáveis durante o inverno de 2007, período caracterizado por baixa temperatura, baixa salinidade e alta vazão [Möller et al. 2009; Teixeira-Amaral et al. 2017]. A concentração de clorofila *a* variou pouco durante o período, e apesar de observamos picos discretamente mais altos durante a primavera, as concentrações não foram significativamente diferentes entre as distintas estações, podendo ser consideradas altas também durante períodos de verão, outono e inverno. Como dados de abundância de copépodes não estiveram disponíveis para esse período, não foi possível inferir sua influência na condição das larvas.

Durante o mesmo período na ZAC, o ENSO também não apresentou efeitos importantes sobre a condição das larvas de savelha, nem sobre a vazão e a concentração de clorofila *a*. Em relação a temperatura e a salinidade não houveram diferenças importantes entre período neutro e fase quente do ENSO, porém períodos de ausência do evento apresentaram temperaturas mais altas e maior salinidade em relação aos períodos em que o ENSO atuou. Sazonalmente também não houve diferenças significativas em relação a condição das larvas e as diferentes estações climáticas, porém observamos ICR acima da média geral estimada ( $ICR \geq 0,1$ ) durante a primavera de 2006, 2007 e o verão de 2008. A primavera de 2006, o outono de 2007

e a primavera de 2007 foram os períodos em que a concentração de clorofila *a* se apresentou ligeiramente mais alta em relação as outras estações. A precipitação costuma ser alta durante invernos e primaveras, podendo proporcionar um maior aporte de nutrientes na zona costeira [Abreu et al. 2010] o que pode ter favorecido a produção primária na região. Apesar de dados de copépodes não estarem disponíveis nesse período, Kaminski [2009], relata que este grupo se beneficia da produção primária da primavera. Todos esses fatores pareceram favorecer a nutrição das larvas de savelha explicando a condição corporal mais alta desses organismos durante a primavera de 2006, 2007 e verão de 2008.

O último período analisado (2009-2012), diferente dos outros períodos mencionados não apresentou um intervalo de ausência do ENSO entre os eventos de El Niño e La Niña. O primeiro atuou entre março de 2009 a março de 2010, e seus efeitos foram classificados como fraco a moderado. A La Niña, que esteve em vigência entre abril de 2010 até março de 2012, foi classificado como um evento forte [Australian Bureau of Meteorology 2017]. O efeito do ENSO sobre a condição das larvas de savelha durante esse período foi o contrário do observado durante os anos 2000 a 2003, com larvas mais saudias durante a La Niña em relação ao El Niño. Associada a esses eventos observamos menor vazão, maior salinidade, maior concentração de clorofila *a* e temperaturas ligeiramente mais baixa em relação ao El Niño. A concentração de clorofila *a* mais baixa durante este evento de El Niño pode estar relacionada a maior descarga continental característica desses eventos (Moller et al., 2009), que atuaram impedindo o aumento da biomassa fitoplânctonica na região [Abreu

et al. 2010; Haraguchi et al. 2015]. Apesar do El Niño ser responsável por alta abundância de copépodes, Teixeira-Amaral et al. [2017] associou esses eventos a maior ocorrência de *Notodiaptomus incompositus*, que apesar de substituir *Acartia tonsa* durante períodos prolongados de baixa salinidade, não atingem níveis de produtividades tão altos quanto a última espécie. A menor produtividade secundária associada a uma menor concentração de clorofila a durante o El Niño, resultaram em menor disponibilidade de alimento no ELP e podem explicar a menor condição corporal das larvas de savelha. O efeito contrário sobre a condição das larvas foi observado durante a La Niña, que devido a menor vazão e maior tempo de residência da água, permitiu o acúmulo da biomassa primária neste ambiente [Abreu et al. 2010; Odebrecht et al. 2015] e um predomínio de *A. tonsa* no estuário [Teixeira-Amaral et al. 2017], espécie que é indicada por Govoni et al. [1983] como importante item alimentar de *Brevoortia*. Quando observamos a condição das larvas de savelha sazonalmente, observamos que organismos mais sadios coincidem com períodos de maior disponibilidade de alimento (primária e secundária), durante o verão e outono de 2011 e verão de 2012.

Ao contrário do observado no ELP durante os anos 2009 a 2012, as larvas em melhor condição na ZAC estiveram associados aos eventos de El Niño. Apesar da ocorrência do El Niño, outono de 2009 foi caracterizado por baixa vazão, baixas concentrações de clorofila a e baixas abundâncias de Copépodes [Teixeira-Amaral et al. 2017] uma maior precipitação durante a primavera [Möller et al. 2009], favorece a produção fitoplânctonica e conseqüentemente a produção de copépodes, o que pode

ter gerado maior disponibilidade de alimentos durante os períodos anteriores aos outono de 2009, quando observamos larvas em melhor condição. O verão de 2010 ainda sobre influência do El Niño e outono e inverno de 2010, sobre influência da La Niña, apresentaram vazão acima da média estimada para todo o período, e podem ter sido responsáveis por um maior escoamento de água estuarina para a região costeira. Esse incremento de água doce na região costeira parece ter favorecido a produção primária [Ciotti et al. 1995; Haraguchi et al. 2015], fato evidenciado pelo aumento da concentração de clorofila *a* durante o período. Apesar de não apresentar diferença sazonal significativa, durante verão e o outono deste mesmo ano a abundância de copépodes esteve acima da média geral estimada para o todo o período, diminuindo no inverno quando começamos a observar larvas em melhor condição. O aumento da abundância de copépodes, associado a um aumento na concentração de clorofila *a* pode ser responsável por larvas mais saudas durante o inverno de 2010. O mesmo parece ter ocorrido durante o verão de 2012, que foi antecedido por uma primavera com concentrações de clorofila *a* e abundância de copépodes ligeiramente mais altas, o que ao proporcionar maior disponibilidade de alimentos pode explicar larvas mais saudas durante a estação seguinte.

#### 4.2 Variação ambiental a longo prazo

A análise de correlação cruzada confirmou o efeito do fenômeno climático El Niño oscilação Sul sobre a quantidade de chuvas na região, e conseqüentemente sobre a descarga dos principais tributários da Lagoa dos Patos e sobre a salinidade no estuário [Möller et al. 2009]. Os resultados indicaram que uma diminuição no SOI entre

1 a 2 meses está relacionada ao aumento da vazão, enquanto o aumento do mesmo índice são responsáveis por um ambiente estuarino mais salino dois meses depois. Segundo o Australian Bureau of Meteorology [2017] valores positivos do SOI acima de +7, indicam La Niña, enquanto valores negativos abaixo de -7 indicam El Niño. Valores entre +7 e -7 indicam geralmente condições neutras. Os resultados obtidos estão de acordo com a literatura sobre os efeitos do ENSO na hidrologia do estuário, que indicam anos de La Niña mais salinos e menos chuvosos e anos de El Niño mais chuvosos e com menor salinidade [Möller et al. 2009]. O mesmo padrão é observado na ZAC, onde valores de SOI mais baixos foram responsáveis menor salinidade na região dois meses depois da diminuição deste índice.

A concentração de clorofila *a* também apresentou uma correlação significativa com o Índice de Oscilação Sul (SOI), sendo a diminuição desse índice responsável por um incremento na concentração dessa variável no ELP. Na análise da série temporal de clorofila *a* (1986, 1988 a 1990, 1993 a 2008), Abreu *et al.* [2010] relataram o incremento ou redução de clorofila *a* em anos característicos de El Niño e de La Niña, respectivamente, relacionados com a intensidade de chuvas na região. Entretanto, eventos com pluviosidade extrema ( $> 1.500$  mm ano<sup>-1</sup>), como associados com eventos de El Niño forte, resultam na redução das concentrações de clorofila *a* no estuário devido ao aumento da vazão. Como não observamos eventos fortes de El Niño durante o período em questão é plausível que em vez de prejudicar a concentração de Clorofila *a* no estuário, este evento tenha favorecido o incremento da biomassa fitoplânctonica devido a chegada de nutrientes novos no estuário [Ciotti et al. 1995]. A troca de

nutrientes entre águas estuarinas e costeiras não deve ser considerada como um processo unidirecional. Águas salgadas ricas em nutrientes provenientes do material exportado pelo estuário, em condições de baixa descarga continental e predomínio do vento sul retornam ao no estuário favorecendo a produção local [Abreu et al. 1995]

Na ZAC não foi observado efeito direto do ENSO sobre a concentração de clorofila *a*, mas as modificações climáticas associadas a este evento e seus efeitos na hidrologia estuarina são sentidas na zona costeira de maneira importante quando observamos uma correlação significativa entre o aumento da vazão e a concentração da variável na região. O aumento da concentração de clorofila *a*, ocorre entre 3 e 1 mês depois do aumento da vazão apontando a importância do aporte de nutrientes costeiros a região para a produção fitoplânctônica [Ciotti et al. 1995; Haraguchi et al. 2015]

#### 4.3 Variação de longo prazo da condição das larvas de savelha

O efeito do fenômeno climático ENSO sobre o clima da região, seus efeitos sobre a hidrodinâmica do Estuário da Lagoa dos Patos e região costeira e consequentemente seus efeitos sobre ciclos de salinidade, clorofila *a*, comunidades de peixes vem sendo estudados ao longo dos últimos anos, e indicam um efeito claro do fenômeno climático ENSO tanto sobre as variáveis bióticas como sobre comunidades biológicas. [Abreu et al. 2010; Garcia et al. 2003; Möller et al. 2009; Muxagata et al. 2012; Teixeira-Amaral et al. 2017]. Este trabalho porém não evidenciou nenhuma correlação importante entre o índice de Oscilação Sul e a condição corporal das larvas de savelha, nem para o ELP nem para a ZAC. Mas foram observados correlações

importantes entre a vazão e a salinidade sobre a condição corporal desses organismos. A análise de correlação cruzada indicou que uma diminuição na vazão e um aumento e na salinidade do ELP estão associadas a larvas em melhor condição. Observamos que de uma maneira geral as larvas apresentam melhor condição no ELP durante períodos de maior salinidade e menor vazão, e isto se deve conforme já discutido anteriormente a um favorecimento da retenção da produção primária local [Abreu et al. 2010; Odebrecht et al. 2015] e maiores concentrações de *A. tonsa* durante esses períodos [Teixeira-Amaral et al. 2017]. Ao aumentar a disponibilidade de alimento na região, a nutrição e a condição corporal das larvas de savelha são favorecidas.

O efeito da salinidade sobre a condição das larvas na ZAC foi o oposto ao observado no ELP. Na zona de arrebentação do Cassino, a diminuição da salinidade ocorreu um trimestre antes do aumento da ICR das larvas. A vazão também apresentou efeitos significativos sobre essa variável indicando, porém para uma defasagem de tempo muito alta (6 meses). Períodos de diminuição da salinidade associados ao ENSO ou a variabilidade sazonal regional, onde observamos maior aporte de nutrientes a zona costeira, favorece a produção [Ciotti et al. 1995] a disponibilidade de alimentos e conseqüentemente é responsável por larvas melhor alimentadas e mais sadias nessa região.

No presente trabalho apenas o efeito direto da concentração de clorofila *a* sobre a condição das larvas de savelha foi avaliado estatisticamente a partir de correlações cruzadas. A falta de correlação entre as duas séries temporais tanto no ELP como na ZAC pode estar relacionado a 1) escala utilizada, 2) a que medidas tanto de

concentração de clorofila *a* como de abundância de zooplâncton fornecerem apenas índices brutos e indiretos sobre a condição do ambiente onde as larvas de savelha estão inseridas, 3) e que a condição desses organismos integra efeitos de vários dias de alimentação, difíceis de serem estimados (Koslow et al, 1985). Devido à falta de dados de abundância de copépodes entre os anos 2006 a 2008, o efeito da variabilidade desse grupo sobre a condição das larvas de savelha foi estimada apenas a partir da observação da variabilidade da condição e da abundância maior ou menor de copépodes para os períodos em que esses dados estiveram disponíveis. Por se tratar de resultados obtidos a partir de um período longo de análises, juntamente com o conhecimento existente sobre a abundância e produção secundária desse grupo, foi possível inferir a importância do mesmo sobre a condição das larvas de savelha, que em geral estiveram associadas a maiores abundâncias de copépodes, especialmente *A. tonsa*, espécie importante na nutrição das larvas de *Brevoortia* [Govoni et al. 1983].

Esta é a primeira vez que análise de correlação cruzada é utilizada para determinar o efeito da variabilidade ambiental sobre a condição de larvas na região. Moraes et al. [2012] utilizou análise de correlação cruzada para determinar o efeito de mudanças ambientais sobre a abundância de peixes no ELP e ZAC, indicando que temperatura como principal fator controlando o recrutamento de espécies na praia do Cassino, enquanto que no Estuário da Lagoa dos Patos a salinidade e descarga de água doce apresentaram um papel importante no recrutamento estuarino. A resposta da abundância de peixes a estas variáveis em muitos momentos apresentou uma defasagem. A abundância de peixes estuarino dependentes, entre eles *B. pectinata*, aumentaram na ZAC e ELP, respectivamente, 1 a 2 meses depois do aumento da

temperatura. Indicando que as larvas que eclodiram na primavera levaram entre 1 a 2 meses para se beneficiar da disponibilidade de alimentos desta estação e atingir o tamanho necessário para serem capturadas. No ELP são necessários dois meses para que a abundância de peixes estuarinos dependentes aumente, e isto está relacionado com tempo necessário para o transporte dos recrutas de origem marinha. Moraes et al. [2012] mostraram a importância da variabilidade ambiental sobre a abundância de peixes nessa região, relacionando a defasagem da resposta desses organismos a estas variações ambientais. Da mesma maneira em que a abundância dos peixes é defasada no tempo em relação as variações ambientais, as defasagens da resposta na condição corporal das larvas encontradas neste trabalho também eram esperadas.

A maior fonte de variabilidade analisada em estudos lidando com medidas de condição em larvas de peixes é a disponibilidade de alimentos, visto que a inanição é considerada como a principal fonte de mortalidade de larvas em primeira alimentação [Leggett 1986]. Apesar disso, outras fontes de variação foram identificadas na literatura. Para índices morfológicos Blaxter & Hempel [1963] demonstraram que o comprimento, peso e largura de larvas de arenque eram influenciadas pelo estoque desovante do qual os espécimes eram originados. Tamanho do ovo [Panagiotaki and Geffen 1992] e diferenças genéticas [Martin & Wrigth 1987] também foram considerados como fonte de variabilidade da condição de larvas de peixes. Rossi-Rossi-Wongtschowski et al. [2003] utilizando a razão RNA/DNA observaram que algumas larvas cultivadas em laboratório apresentavam má condição mesmo com grande disponibilidade de alimento, determinando que outros fatores além da disponibilidade de alimento podem ser responsáveis pela variação desses índices e

precisam ser considerados com cuidado. Neste estudo variações de longo prazo na vazão e salinidade mostraram correlações importantes com a variabilidade da condição das larvas de savelha. O efeito dessas variáveis foram determinados como indiretos sobre o condição das larvas, sendo que variabilidade desse índice estaria na verdade mais relacionado a variabilidade biótica (disponibilidade de alimento) produzidas tanto no ELP como na ZAC durante diferentes ciclos de vazão e salinidade ao longo das estações e anos.

Lagoas costeiras estão entre os ecossistemas produtivos do planeta, e proporcionar uma variedade de serviços e recursos. Estes ambientes compartilham características em comum como circulação restrita, entrada de água doce e tempo de residência de água relativamente longos. A importância do efeito da variabilidade ambiental sobre comunidades biológicas não é observada apenas na Lagoa dos Patos, mas também em outras lagoas costeiras ao redor do mundo. Félix et al. [2015] determinaram que a variabilidade na descarga de água doce em duas lagoas costeiras no sul de Portugal influenciam de maneira importante padrões de distribuição e abundância de comunidades bentônicas nesta região. A descarga de água doce mostrou também efeitos importantes sobre a riqueza de peixes da Lagoa costeira Términos localizada no Golfo do México. A maior riqueza de peixes está associada a entrada de água doce neste ambiente, por permitir a colonização deste hábitat por parte de espécies de água doce e pela natureza estuarina das espécies dominantes, mais adaptadas a ambientes de baixa salinidade [Sosa-López et al. 2007]. Estes exemplos mostram a importância do efeito hidrodinâmica sobre a história de vida dos organismos vivos presentes nestes ambientes.

Considerando o discutido acima podemos considerar que a hipótese inicial deste trabalho é verdadeira, visto que observamos que no ELP as modificações ambientais como maior vazão (menor tempo de residência e menor retenção da produção estuarina), são responsáveis por larvas em pior condição corporal. Enquanto na ZAC o efeito é contrário ao observado no ELP, já que o maior aporte de nutrientes associados a períodos de alta vazão favorecem a condição das larvas de savelha.

## 5. CONCLUSÕES

Conclusões relevantes obtidas a partir desse trabalho foram 1) importância de analisar as variáveis ambientais bióticas e abióticas e não apenas os índices de oscilação do ENSO, quando buscamos descrever o efeito do ambiente sobre a história de vida de estágios iniciais de peixes, 2) a hidrologia local tem um importante impacto sobre a disponibilidade de alimentos e conseqüentemente sobre a condição desses organismos tanto no ELP como na ZAC, e, 3) Interanualmente apenas eventos moderados de El Niño a fortes La Niña parecem ter efeitos relevantes sobre a condição desses organismos.

## Literatura Citada

- Able, K. W. (2005). A re-examination of fish estuarine dependence: Evidence for connectivity between estuarine and ocean habitats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 64, n. 1, p. 5–17.
- Abreu, P. C., Bergesch, M., Proença, L. A., Garcia, C. A. E. and Odebrecht, C. (2010). Short- and Long-Term Chlorophyll a Variability in the Shallow Microtidal Patos Lagoon Estuary, Southern Brazil. *Estuaries and Coasts*, v. 33, n. 2, p. 554–569.
- Abreu, P. C., Hartmann, C. and Odebrecht, C. (1995). Nutrient-rich Saltwater and, its Influence on the Phytoplankton of the Patos Lagoon Estuary, Southern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 40, p. 219–229.
- Abreu, P. C., Odebrecht, C. and González, A. (1994). Particulate and dissolved phytoplankton production of the Patos Lagoon estuary, southern Brazil: comparison of methods and influencing factors. *Journal of Plankton Research*, v. 16, n. 7, p. 737–753.
- Ahrenholz, D. W. (1991). Population Biology and Life History of the North American Menhadens, *Brevoortia* spp. *Marine Fisheries Review*, v. 53, n. 4, p. 3–19.
- Asmus, M. L. (1998). A Planície Costeira e a Lagoa dos Patos. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT C. CASTELLO, J. [Eds.]. . *Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Rio Grande*. 1. ed. Rio Grande: . p. 9–12.
- Australian Bureau of Meteorology (2017). Australian Bureau of Meteorology. <http://www.bom.gov.au/climate/enso/enlist/>, [accessed on Apr 15].
- Blaxter, J. H. S. and Hempel, G. (1 sep 1963). The Influence of Egg Size on Herring Larvae (*Clupea harengus* L.). *ICES Journal of Marine Science*, v. 28, n. 2, p. 211–240.
- Buckley, L. J. (1984). RNA-DNA ratio: an index of larval fish growth in the sea. *Marine Biology*, v. 80, n. 3, p. 291–298.
- Ciotti, Á. M., Odebrecht, C., Fillmann, G. and Moller, O. O. (dec 1995). Freshwater outflow and Subtropical Convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazilian continental shelf. *Continental Shelf Research*, v. 15, n. 14, p. 1737–1756.
- Chen, W., Govoni, J. J. and Warlen, S. M. (1992). Comparison of feeding and growth of larval round herring *Etrumeus teres* and gulf menhaden *Brevoortia patronus*. *Fishery Bulletin*, v. 90, n. 1, p. 183–189.
- Ehrlich, K. F., Blaxter, J. H. S. and Pemberton, R. (1976). Morphological and histological

changes during the growth and starvation of herring and plaice larvae. *Marine Biology*, v. 35, n. 2, p. 105–118.

Félix, P. M., Correia, M. J., Chainho, P., et al. (2015). Impact of freshwater inputs on the spatial structure of benthic macroinvertebrate communities in two landlocked coastal lagoons. *Hydrobiologia*, v. 758, n. 1, p. 197–209.

Ferron, A. and Leggett, W. C. (1994). An appraisal of condition measures for marine fish larvae. *Advances in Marine Biology*, v. 30, p. 217–303.

Fogarty, M. (aug 1993). Recruitment in randomly varying environments. *ICES Journal of Marine Science*, v. 50, n. 3, p. 247–260.

Garcia, A. M., Raseira, M. B., Vieira, J. P., Winemiller, K. O. and Grimm, A. M. (2003). Spatiotemporal Variation in Shallow-Water Freshwater Fish Distribution and Abundance in a Large Subtropical Coastal Lagoon. *Environmental Biology of Fishes*, v. 68, n. 3, p. 215–228.

Garcia, A. M., Vieira, J. P., Winemiller, K. O., Moraes, L. E. and Paes, E. T. (2012). Factoring scales of spatial and temporal variation in fish abundance in a subtropical estuary. *Marine Ecology Progress Series*, v. 461, n. June, p. 121–135.

Govoni, J. J., Hoss, D. E. and Chester, A. J. (1983). Comparative feeding of three species of larval fishes in the Northern Gulf of Mexico: *Brevoortia patronus*, *Leiostomus xanthurus*, and *Micropogonias undulatus*. *Marine Ecology Progress Series*, v. 13, n. 2–3, p. 189–199.

Haraguchi, L., Carstensen, J., Abreu, P. C. and Odebrecht, C. (2015). Long-term changes of the phytoplankton community and biomass in the subtropical shallow Patos Lagoon Estuary, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 162, p. 76–87.

Hjort, J. (1914). Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions*, p. 607.

Houde, E. . (1987). Fish early life dynamics and recruitment variability. *American Fisheries Society Symposium* , v. 2, p. 17–29.

Jakob, E. M., Marshall, S. D., Uetz, W. G. and Uetz, G. W. (1996). Estimating fitness: a comparison of body condition indices. *Oikos*, v. 77, n. 1, p. 61–67.

Kaminski, S. M. (2009). Mesozooplâncton do Estuário da Lagoa dos Patos e Zona Costeira Adjacente com ênfase para os copépodes *Acartia tonsa*, *Pseudodiaptomus richardi* e *Notodiaptomus incompositus* (2000-2005).

Kjerfve, B. (1986). Comparative oceanography of coastal lagoons. *Estuarine Variability*. p. 63–81.

Koslow, J. A. (feb 1992). Fecundity and the Stock–Recruitment Relationship. *Canadian*

*Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 49, n. 2, p. 210–217.

Koslow, J. a, Brault, S., Dugas, J., Fournier, R. O. and Hughes, P. (1985). Condition of larval cod (*Gadus morhua*) off southwest Nova Scotia in 1983 in relation to plankton abundance and temperatura. *Marine Biology*, v. 86, p. 113–121.

Lasker, R. (1975). Field criteria for survival of anchovy larvae: the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. *Fishery Bulletin*, v. 73, n. 17, p. 453–462.

Leggett, W. C. (1986). The Dependence of Fish Larval Survival on Food and Predator Densities. *The Role of Freshwater Outflow in Coastal Marine Ecosystems*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. p. 117–137.

Malanski, E. (2011). Os primeiros estágios de vida da savelha (*Brevoortia pectinata*) no estuário da Lagoa dos Patos. Universidade Federal do Rio Grande.

Martin, F. D. and Wrigth, D. A. (1987). Nutritional state analysis and its use in predicting striped bass recruitment: Laboratory calibration. *American Fisheries Society Symposium Series*, v. 2, p. 109–114.

Möller, O. O., Castello, J. P. and Vaz, A. C. (5 jul 2009). The Effect of River Discharge and Winds on the Interannual Variability of the Pink Shrimp *Farfantepenaeus paulensis* Production in Patos Lagoon. *Estuaries and Coasts*, v. 32, n. 4, p. 787–796.

Moraes, L. E., Paes, E., Garcia, A., Möller, O. and Vieira, J. (2012). Delayed response of fish abundance to environmental changes: A novel multivariate time-lag approach. *Marine Ecology Progress Series*, v. 456, n. December 2015, p. 159–168.

Muelbert, J. H. and Weiss, G. (1991). Abundance and Distribution of Fish Larvae in the Channel Area of the Patos Lagoon Estuary, Brazil. n. 750 m, p. 43–54.

Muxagata, E., Amaral, W. J. A. and Barbosa, C. N. (2012). *Acartia tonsa* production in the Patos Lagoon estuary, Brazil. *ICES Journal of Marine Science*, v. 69, n. 3, p. 475–482.

Odebrecht, C., Abreu, P. C., Bemvenuti, C. E., et al. (2010). Coastal Lagoons. *Coastal Lagoons: Critical Habitats of Environmental Change*. p. 434–451.

Odebrecht, C., Abreu, P. C. and Carstensen, J. (2015). Retention time generates short-term phytoplankton blooms in a shallow microtidal subtropical estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 162, p. 35–44.

Panagiotaki, P. and Geffen, A. J. (dec 1992). Parental effects on size variation in fish larvae. *Journal of Fish Biology*, v. 41, n. sb, p. 37–42.

Rice, J. A., Miller, T. J., Rose, K. A., et al. (jan 1993). Growth Rate Variation and Larval Survival: Inferences from an Individual-Based Size-Dependent Predation Model.

*Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 50, n. 1, p. 133–142.

Richard, P., Bergeron, J.-P., Boulhic, M., Galois, R. and Person-Le Ruyet, J. (1991). Effect of starvation on RNA, DNA and protein content of laboratory-reared larvae and juveniles of *Solea solea*. *Marine Ecology Progress Series*, v. 72, n. 1–2, p. 69–77.

Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B., Clemmesen, C., Ueberschär, B. and Dias, J. F. (2003). Larval condition and growth of *Sardinella brasiliensis* (Steindachner, 1879): preliminary results from laboratory studies. *Scientia Marina*, v. 1, n. 67, p. 13–23.

Shuelte-Hostedde, A. I., Zinner, B., Millar, J. S. and Hickling, G. J. (2005). Restitution of Mass-Size Residuals : Validating Body Condition Indices. *The Ecological Society of America*, v. 86, n. 1, p. 155–163.

Sosa-López, A., Mouillot, D., Ramos-Miranda, J., Flores-Hernandez, D. and Chi, T. Do (2007). Fish species richness decreases with salinity in tropical coastal lagoons. *Journal of Biogeography*, v. 34, n. 1, p. 52–61.

Stoecker, D. K. and Govoni, J. J. (1984). Food selection by young larval gulf menhaden (*Brevoortia patronus*). *Marine Biology*, v. 80, n. 3, p. 299–306.

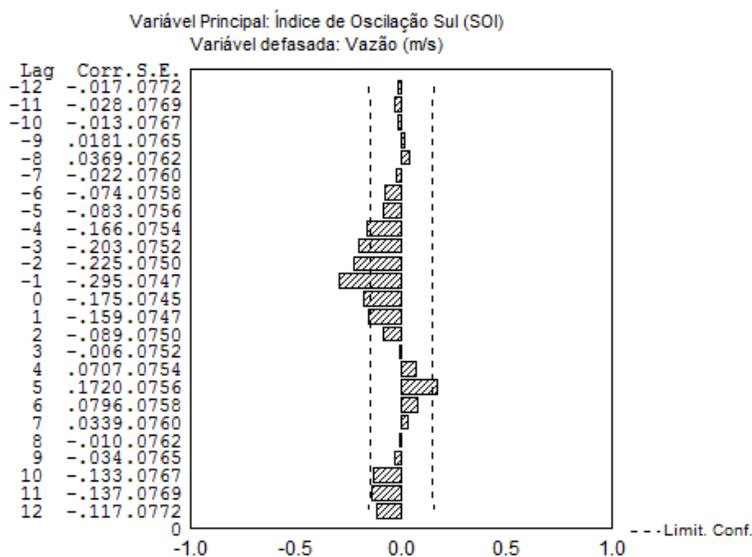
Teixeira-Amaral, P., José Appolinário Amaral, W., Ortiz de Ortiz, D., Ochi Agostini, V. and Muxagata, E. (2017). The mesozooplankton of the Patos Lagoon Estuary, Brazil: trends in community structure and secondary production. *Marine Biology Research*, v. 0, n. 0, p. 1–14.

Theilacker, G. H. (1978). Effect of starvation on the histological and morphological characteristics of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, larvae. *Fisheries Bulletin U.S.*, v. 76, n. 2, p. 403–414.

Vilas Boas, D. F. (1990). Distribuição e comportamento dos sais nutrientes, elementos maiores e metais pesados na Lagoa dos Patos, RS. Universidade Federal do Rio Grande.

Yáñez-Arancibia, A., Lara Domínguez, A. L. and Pauly, D. (1994). Coastal Lagoons as Fish Habitats. p. 363–376.

APÊNDICE 1 – Gráficos de correlação cruzada da variação ambiental a longo prazo.



. Figura 1 – Função de correlação cruzada entre o Índice de Oscilação Sul e a vazão entre 2000 a 2014

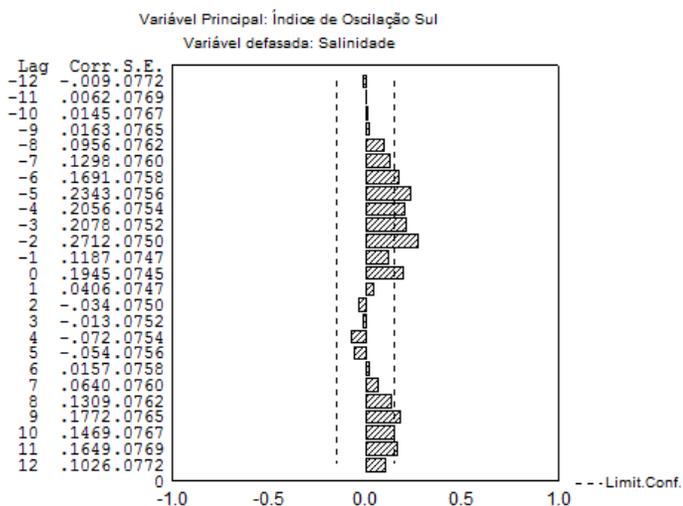


Figura 2- Função de correlação cruzada entre o Índice de Oscilação Sul e Salinidade para o ELP entre 2000 a 2014

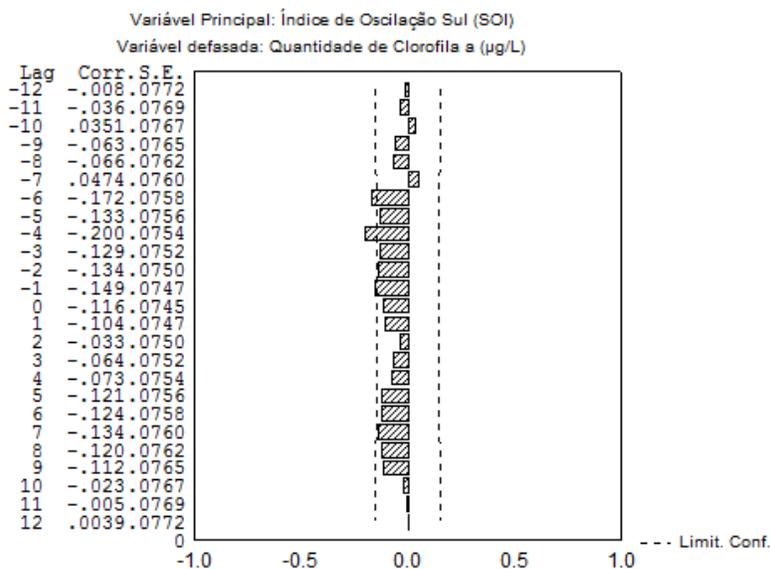


Figura 3 - Função de correlação cruzada entre Índice de Oscilação Sul e concentração de Clorofila a no ELP entre 2000 a 2014

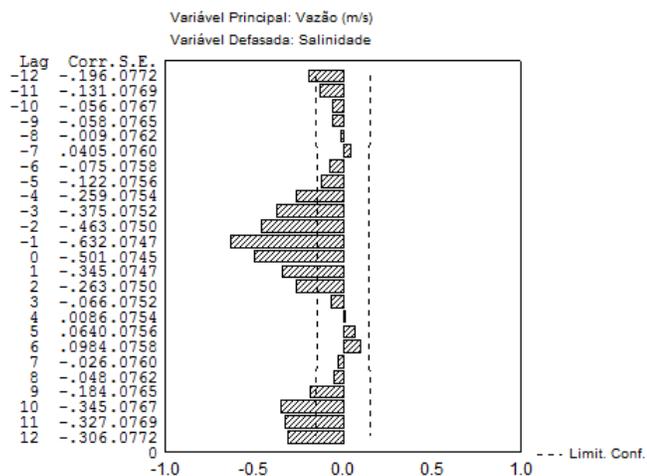


Figura 4 – Função de correlação cruzada entre salinidade e vazão no ELP, entre os anos 2000 a 2014

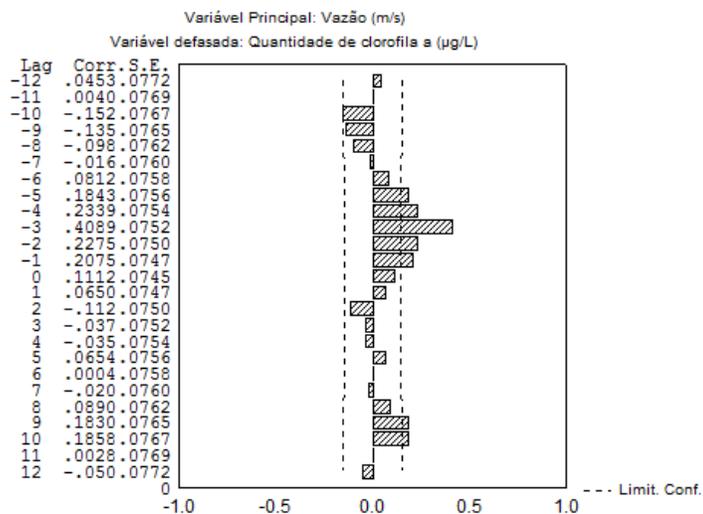


Figura 5- Função de correlação cruzada entre quantidade de Clorofila a e vazão no ELP, entre os anos 2000 a 2014.

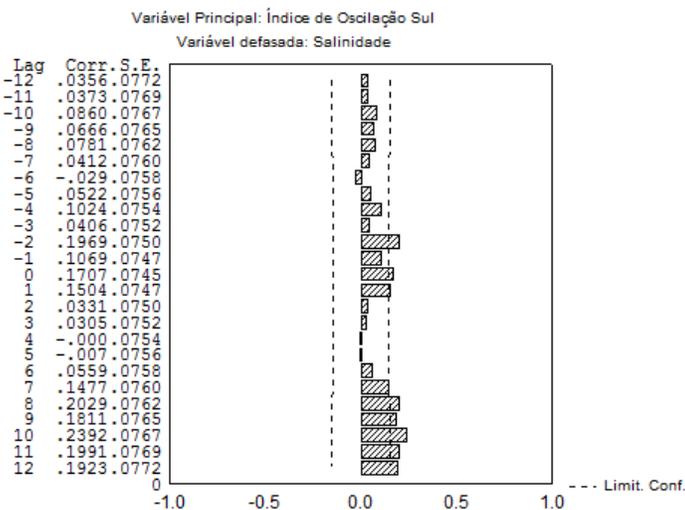


Figura 6 – Função de correlação cruzada entre o Índice de índice de Oscilação sul e a salinidade na ZAC entre 2000 a 2014

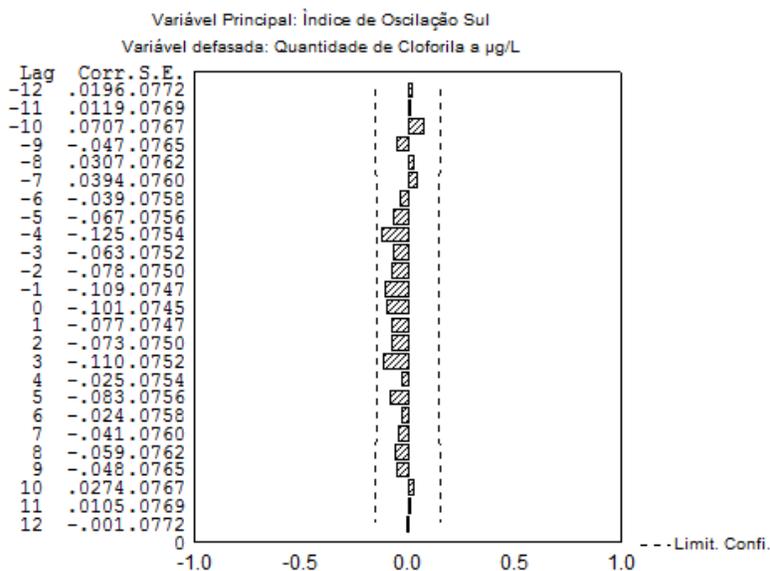


Figura 7 – Função de correlação cruzada entre o Índice de índice de Oscilação Sul e a concentração de Clorofila na ZAC, entre 2000 a 2014

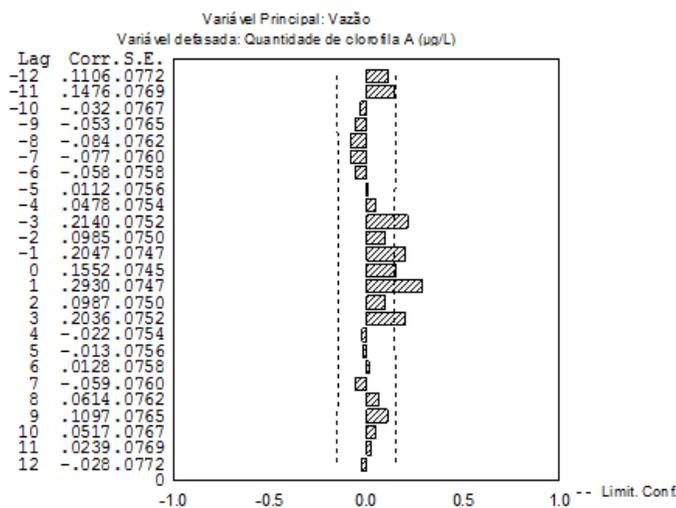


Figura 8 – Função de correlação cruzada entre vazão e a concentração de Clorofila a na ZAC entre 2000 a 2014.

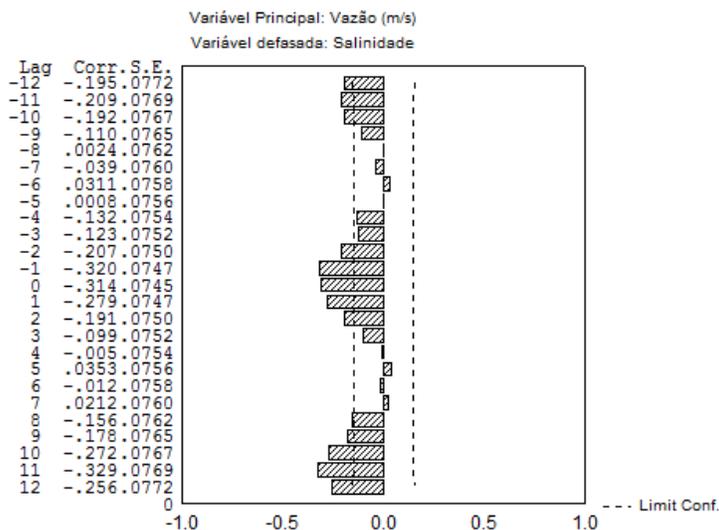


Figura 8 – Função de correlação cruzada entre vazão e a salinidade na ZAC entre 2000 a 2014.

APÊNDICE 2 - Gráficos de correlação cruzada da variação de longo prazo da condição das larvas de savelha

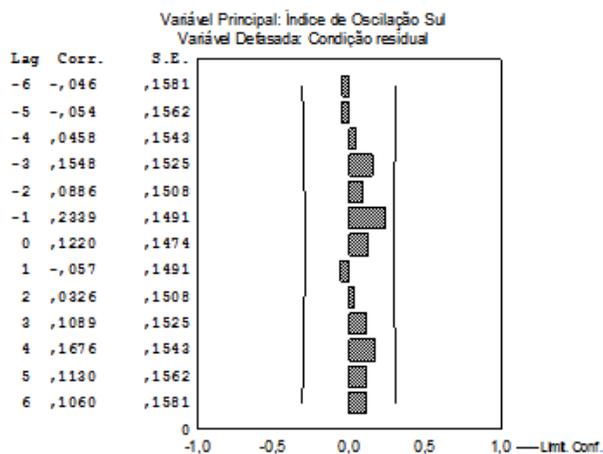


Figura. 1 - Função de Correlação cruzada entre a condição residual e o índice de Oscilação Sul entre 2000 e 2014 no ELP.

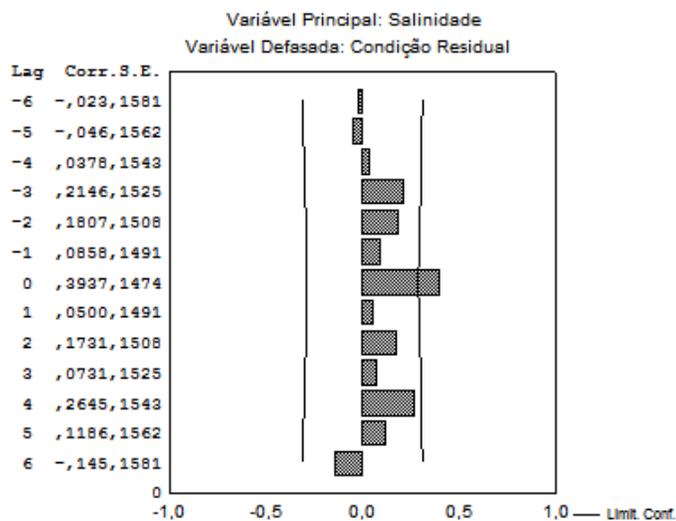


Figura 2 - Função de Correlação cruzada entre o índice de condição residual e salinidade entre 2000 e 2014 no ELP.

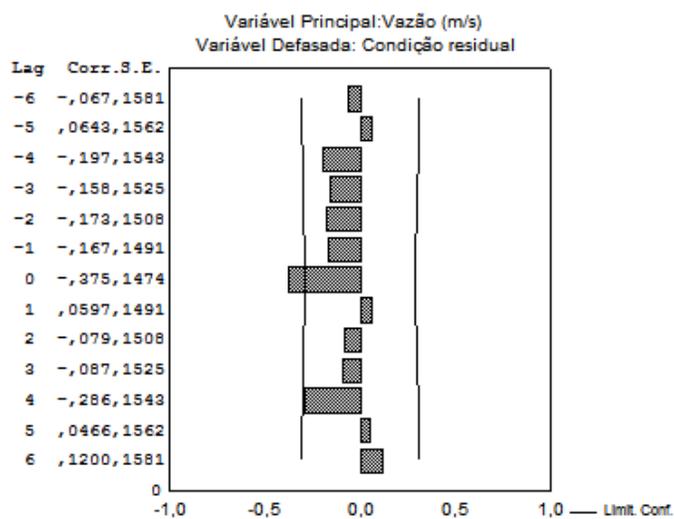


Figura 3 – Função de correlação cruzada entre a condição residual e a vazão no ELP entre 2000 a 2014.

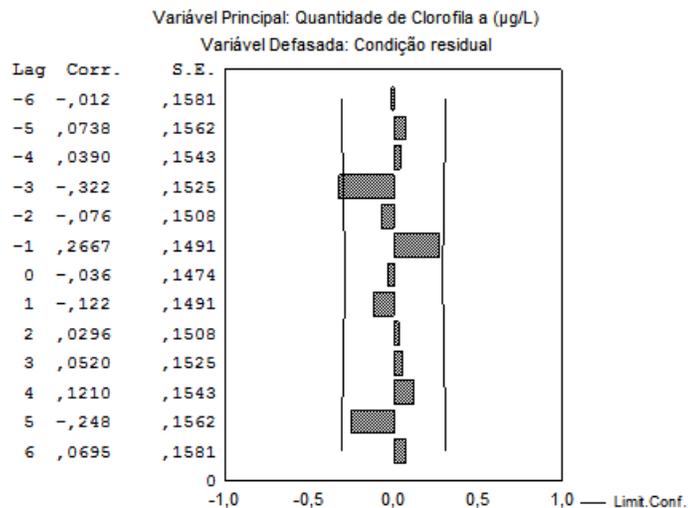


Figura 4-Função de correlação cruzada entre a quantidade de Clorofila a e o índice de condição residual no ELP entre os anos 2000 a 2014.

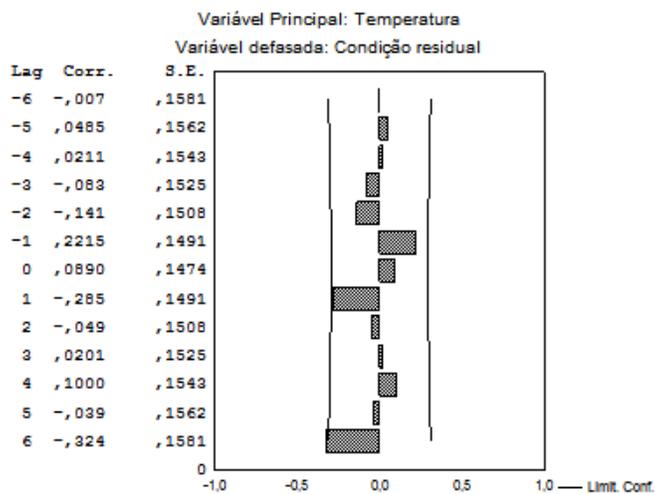


Figura 5- Função de correlação cruzada entre a condição residual e a temperatura no ELP entre os anos 2000 a 2014.

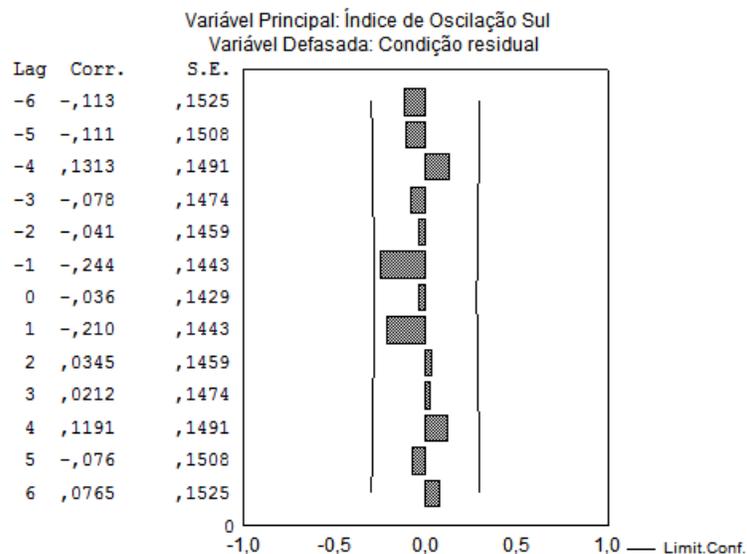


Figura 6 - Função de correlação cruzada entre índice de condição e o índice de Oscilação Sul na ZAC entre os anos 2000 a 2014.

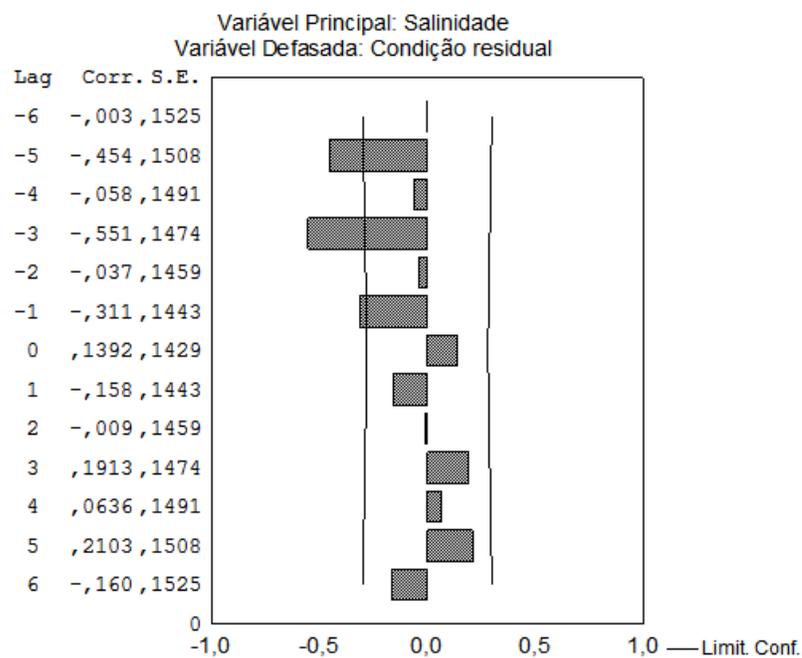


Figura 7 - Função de correlação cruzada entre o índice de condição e a salinidade na ZAC entre os anos 2000 a 2014

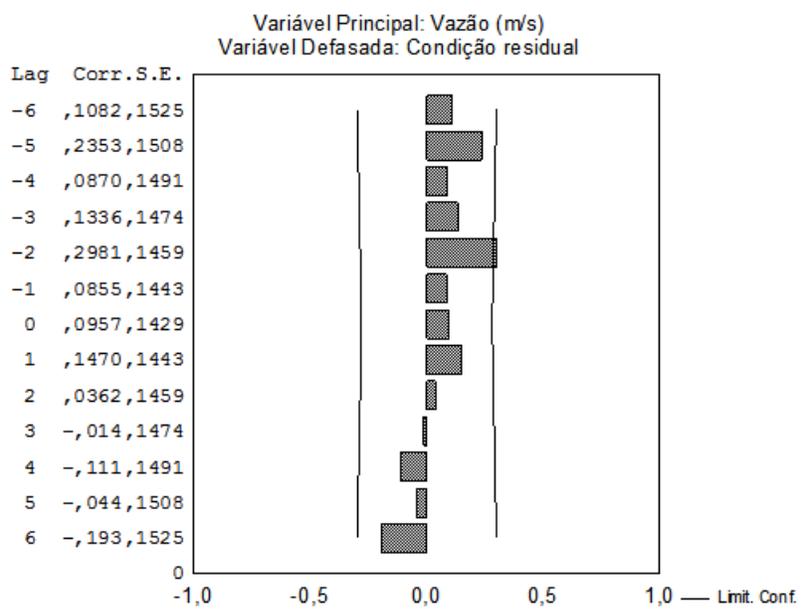


Figura 8- Função de correlação cruzada entre o índice de condição e a vazão na ZAC entre os anos 2000 a 2014.

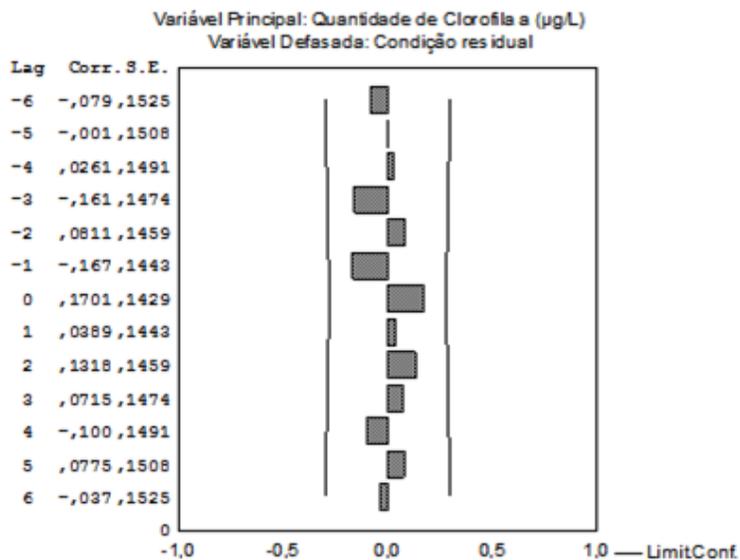


Figura 9 – Função de correlação cruzada entre quantidade de Clorofila a e do índice de condição na ZAC entre os anos 2000 a 2014.

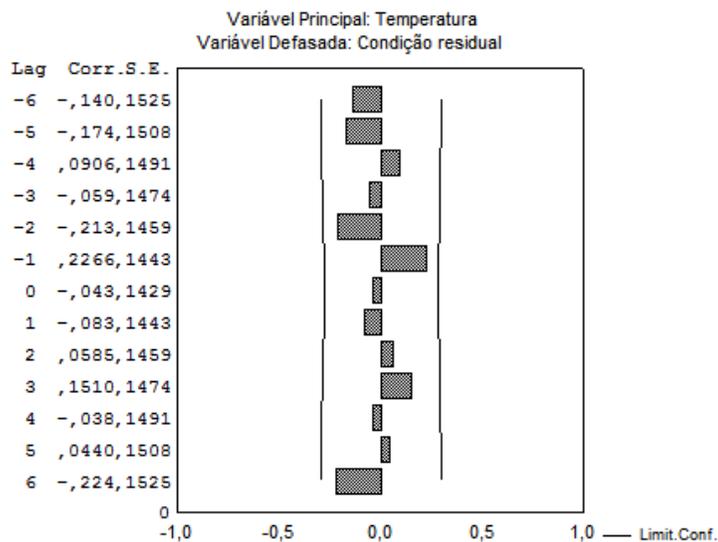


Fig. 10 – Função de correlação cruzada entre a temperatura e o índice de condição na ZAC entre os anos 2000 a 2014

