



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR - LABOMAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

CAROLINA COELHO CAMPOS

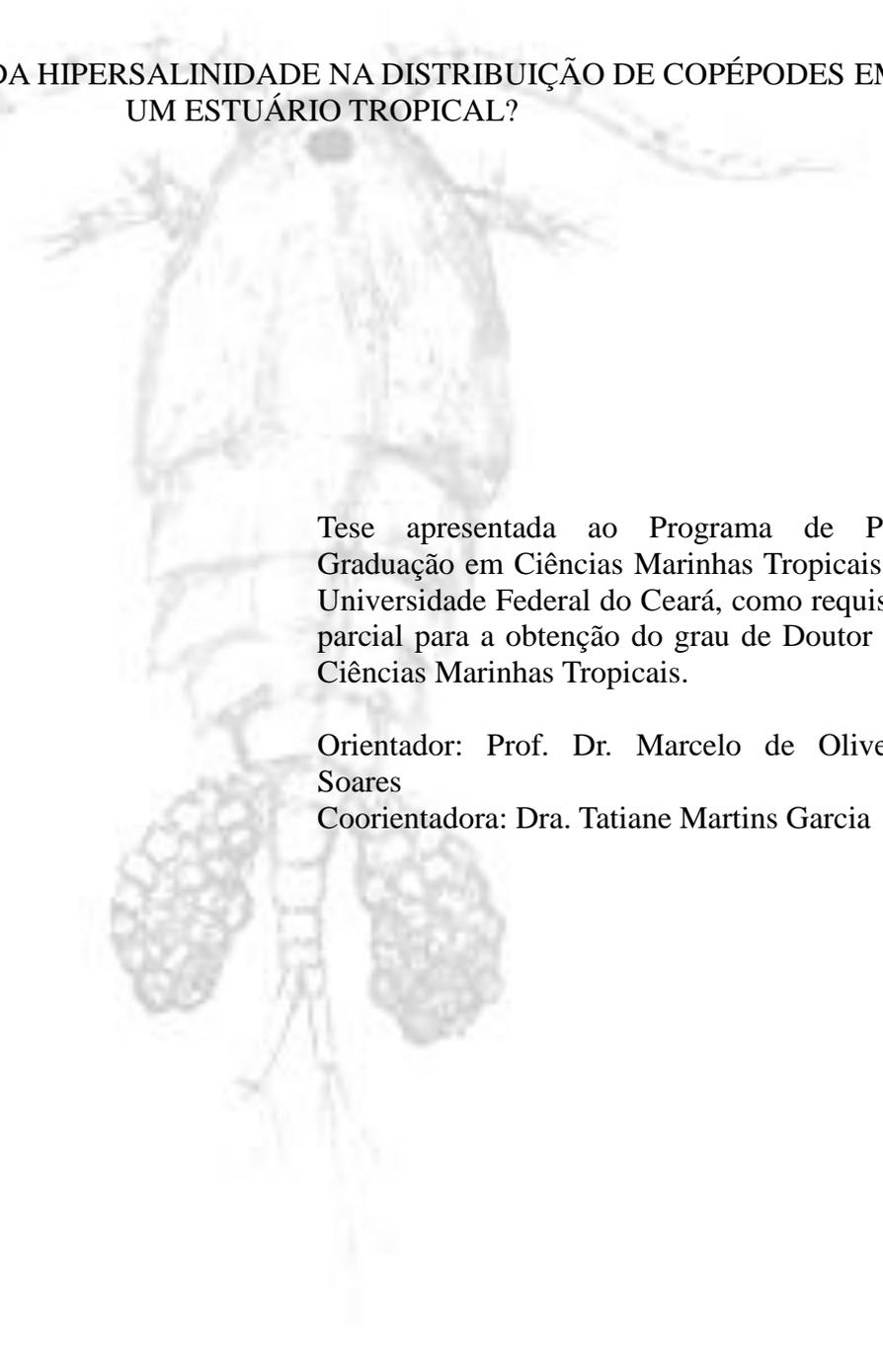
**QUAL O EFEITO DA HIPERSALINIDADE NA DISTRIBUIÇÃO DE COPÉPODES
EM UM ESTUÁRIO TROPICAL?**

FORTALEZA

2018

CAROLINA COELHO CAMPOS

QUAL O EFEITO DA HIPERSALINIDADE NA DISTRIBUIÇÃO DE COPÉPODES EM
UM ESTUÁRIO TROPICAL?



Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciências Marinhas Tropicais.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares

Coorientadora: Dra. Tatiane Martins Garcia

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C211q Campos, Carolina Coelho.
Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição de copépodes em um estuário tropical? / Carolina Coelho Campos. – 2018.
85 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares.
Coorientação: Profa. Dra. Tatiane Martins Garcia.

1. Zooplâncton. 2. Semiárido. 3. Salinidade. I. Título.

CDD 551.46

CAROLINA COELHO CAMPOS

QUAL O EFEITO DA HIPERSALINIDADE NA DISTRIBUIÇÃO DE COPÉPODES EM
UM ESTUÁRIO TROPICAL?

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Ciências Marinhas Tropicais.

Aprovada em: __/__/__.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr^a. Tatiane Martins Garcia (Coorientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Luis Ernesto Arruda Bezerra (Interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Carla Ferreira Rezende (Externo)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Rauquীরio André Albuquerque Marinho Da Costa (Externo)
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Prof^a. Dr^a. Eveline Pinheiro de Aquino (Externo)
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro (UNILAB)



À minha mãe (*in memoriam*).
Saudades eternas...

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar comigo em todos os momentos e por ter colocado pessoas maravilhosas ao meu lado. A minha família por todo apoio, em especial meu marido, pelo carinho e companheirismo e por estar ao meu lado sempre, meu pai e minhas irmãs. Amo vocês!

Ao meu orientador, prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares, que sempre esteve disposto a ajudar, pela confiança depositada e pelos valiosos ensinamentos que contribuíram na minha formação profissional e pessoal.

À minha coorientadora, Dra. Tatiane Martins Garcia, por mais uma vez estar ao meu lado, contribuindo na realização de todas as etapas deste estudo. Pela amizade e por todos os ensinamentos durante todos esses anos. Serei eternamente grata!

Ao Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) e ao Laboratório de Plâncton, por ter cedido a sua estrutura para concretização deste trabalho.

A todos os colegas do Laboratório de Plâncton, que de forma direta e indireta me ajudaram na concretização desta etapa. Obrigada por todos os momentos de ajuda (principalmente nas coletas) e descontração, que foram essenciais para eu enfrentar todas as dificuldades do dia-a-dia. As minhas amigas/irmãs Erika e Liana, por estarem ao meu lado em mais uma conquista, pelo apoio, amizade e por sempre me incentivarem a seguir em frente. As minhas companheiras nos momentos finais da tese Cecília, Polly e Renata (mesmo de longe, sempre presente), pela amizade e por fazerem parte desta conquista.

E a todos, que de alguma forma contribuíram para a conclusão desta jornada.

RESUMO

Os copépodes são importantes indicadores das condições ecológicas por ser um elo entre os produtores e os níveis elevados da teia trófica estuarina. No semiárido, a intensificação dos períodos de seca pode aumentar a hipersalinidade e influenciar a distribuição da salinidade no estuário, o que pode levar a mudanças sazonais e espaciais em importantes componentes da base da cadeia alimentar. Apesar da importância dos efeitos da hipersalinidade, o conhecimento sobre suas implicações no zooplâncton é escasso. O trabalho analisou a distribuição sazonal (seco e chuvoso), nictemeral (dia e marés) e espacial (ao longo do estuário) de copépodes em um estuário tropical na costa semiárida brasileira. A condição de hipersalinidade esteve presente na maior parte do estudo, até mesmo em períodos de chuva, alcançando o máximo de 62 em uma zona superior do estuário, em dezembro (2015). A comunidade, no geral, apresentou baixa riqueza, sendo dominada por poucas espécies resistentes às condições de hipersalinidade. *Oithona oswaldocruzi*, *O. hebes*, *Parvocalus crassirrostris*, *P. scotti* e *Euterpina acutifrons* foram as espécies mais abundantes. Os resultados indicam que a variação nictemeral é controlada pela salinidade, marés e clorofila *a*. A comunidade é similar entre o período seco e chuvoso, o que indica um processo de homogeneização e simplificação da biodiversidade ao longo do ano, provavelmente devido à hipersalinidade. A maior densidade foi no período seco, possivelmente devido ao aumento de abundância de espécies adaptadas. A variação sazonal foi controlada pela salinidade, nitrogênio total, sílica e clorofila *a*. Os resultados também mostraram variação espacial ao longo do estuário, sendo que a menor densidade foi encontrada mais distante da foz, em abril (hiposalino) e a maior, mais próximo à foz, em agosto (hipersalino). Considerando o cenário futuro de aumento das temperaturas, das taxas de evaporação, redução das chuvas e secas mais severas os resultados indicam que a hipersalinidade pode gerar uma baixa riqueza, com a consequente simplificação das comunidades estuarinas. São necessários estudos de longo prazo visando testar hipóteses, bem como a elaboração de estratégias de conservação no mundo, principalmente em estuários semiáridos.

Palavras-chave: Zooplâncton, semiárido, salinidade.

ABSTRACT

Copepods are important indicators of ecological conditions because they are the link between producers and elevated levels of the estuarine trophic web. In the semi-arid region, intensification of drought periods may increase hypersalinity and influence salinity distribution in the estuaries, which may lead to seasonal and spatial changes in important components of the food chain. Despite the importance of the effects of hypersalinity, knowledge about its implications in zooplankton is scarce. The study analyzed the seasonal (dry and rainy), nictemeral (day and tidal) and spatial (along the estuary) distribution of copepods in a tropical estuary on the Brazilian semiarid coast. The hypersalinity condition was present in most of the study, even in periods of rain, reaching a maximum of 62 in an upstream area of the estuary in December 2015. The community, in general, presented low wealth, being dominated by few species resistant to hypersalinity conditions. *Oithona oswaldocruzi*, *O. hebes*, *Parvocalus crassirrostris*, *P. scotti* e *Euterpina acutifrons* were the most abundant ones. The results indicated that the nictemeral variation is controlled by salinity, tides and chlorophyll *a*. The community is similar between the dry and rainy season, which indicates a process of homogenization and simplification of biodiversity throughout the year, probably due to hypersalinity. The highest density was observed in the dry period, possibly due to the increase of the abundance of adapted species. The seasonal variation was controlled by salinity, total nitrogen, silica and chlorophyll *a*. The results also showed spatial variation along the estuary, with the lowest density being found furthest from the estuary mouth, in April, when hyposaline waters dominated. The largest density was observed closest to the mouth, in August, when the estuary was hypersaline. Considering the future scenario of rising temperatures, evaporation rates, rainfall reduction and more severe droughts, we conclude that the hypersalinity can generate a low wealth, with the consequent simplification of estuarine communities. Long-term studies are needed to test this hypothesis, as well as the elaboration of conservation strategies, especially in semi-arid estuaries.

Keywords: Zooplankton, semiarid, salinity.

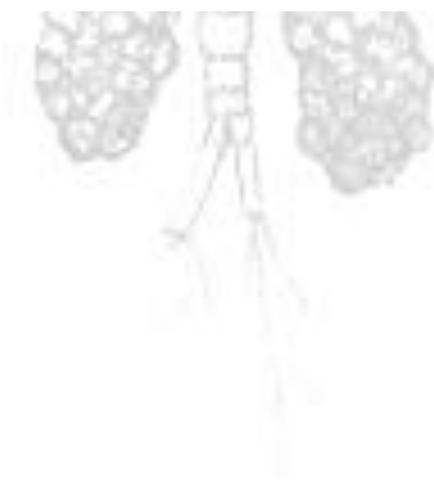
LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

- Figura 1 Piranji estuary, Semiarid Coast of Brazil, and location of the fixed sampling site. Highlight the sandspit.....26
- Figura 2 Historical rainfall series (1990-2011), last drought cycle (2012-2016) and sampling year (2015) at Semiarid Coast of Brazil (Piranji estuary).....27
- Figura 3 Comparison between tide level and salinity values in Piranji Estuary showing the delay due to the sandbar spit (NE, Brazil). Blue line: tide level; Red line: salinity.....28
- Figura 4 Salinity and, depth (m) in two distinct inflow events ERS (End of rainy season) and EDS (End of dry season). F-R: Flood-Rainy; E-R: Ebb-Rainy; F-D: Flood-Dry; E-D: Ebb-Dry. Similar letters show there is no statistically significant difference in variable considered.....31
- Figura 5 Variation of salinity in two distinct inflow events ERS (End of rainy season) and EDS (End of dry season), during the day and the night, of Piranji Estuary (NE, Brazil).....32
- Figura 6 Rarefaction curve of sampling in Piranji Estuary (NE, Brazil).....33
- Figura 7 Margalef richness (d), Pielou equitability (J') and Shannon-Weaver diversity index (H') of the copepod assembly of Piranji Estuary (NE, Brazil).....34
- Figura 8 Cluster and Simper analysis of copepod assemblage in two distinct inflow events ERS (End of rainy season) and EDS (End of dry season) of Piranji Estuary (NE, Brazil). E: ebb tide; F: flood tide.....36
- Figura 9 Variation in density of organisms at day and at night (A) and in ebb and flood tides (B), in two in two distinct inflow events ERS (End of rainy season) and EDS (End of dry season) of Piranji Estuary (NE, Brazil).....37
- Figura 10 Scenarios observed in two distinct inflow events ERS (End of rainy season) and EDS (End of dry season) of Piranji Estuary (NE, Brazil).....39

Capítulo 2

Figura 1	Médias pluviométricas de série histórica (2000-2014) e o ano de coleta (2015).....	58
Figura 2	Estuário do rio Piranji (NE, Brasil), com destaque para os três pontos de coleta (P1-3).....	60
Figura 3	Clorofila <i>a</i> (μgL^{-1}) nos meses de coleta, no Estuário do rio Piranji (NE, Brasil).....	63
Figura 4	Salinidade nos seis meses de coleta, nas condições de hiposalinidade e hipersalinidade, no Estuário do rio Piranji (NE, Brasil).....	63
Figura 5	Salinidade nos três pontos de coleta, nos períodos chuvoso e seco, no Estuário do rio Piranji (NE, Brasil).....	64
Figura 6	Densidade (ind./m^3) de copépodes e salinidade nos meses de estudo no Estuário do rio Piranji (NE, Brasil).....	65
Figura 7	Número de espécies (S), riqueza de Margalef (d), equitabilidade de Pielou (J') e índice de diversidade de Shannon-Weaver (H'), nos meses de coleta destacando os períodos hiposalino e hipersalino no Estuário do rio Piranji (NE, Brasil).....	67
Figura 8	Análise de similaridade dos copépodes evidenciando os grupos no estuário do rio Piranji (NE, Brasil).....	68



LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

- Tabela 1 Data sampling of Piranji Estuary (NE, Brazil) (Season, daytime, time, tide and tidal code).....29
- Tabela 2 Result of the BEST test no Piranji Estuary (NE, Brazil).....32

Capítulo 2

- Tabela 1 Variáveis ambientais nos períodos chuvoso e seco, no Estuário do rio Piranji (NE, Brasil). (T) Temperatura, (S) Salinidade, pH, (OD) Oxigênio dissolvido, (P) Profundidade.....62
- Tabela 2 Densidade média (ind./m³) e frequência de ocorrência (%) das espécies de copépodes, nos períodos chuvoso e seco, no Estuário do rio Piranji (NE, Brasil). Muito frequente (****), frequente (***), pouco frequente (**), esporádica (*) e ausente (-).....65
- Tabela 3 Número de espécies (S), riqueza de Margalef (d), equitabilidade de Pielou (J') e índice de diversidade de Shannon-Weaver (H'), nos períodos chuvoso e seco no Estuário do rio Piranji (NE, Brasil).....67
- Tabela 4 Resultado do teste BEST no estuário do rio Piranji (NE, Brasil). Sal: Salinidade; P: Profundidade; Nitrogênio amoniacal: N-NH₃; Nitrogênio Total: NT; Fósforo total: PT; Sólidos suspensos totais: SST; Clorofila *a*: Chl *a*.....69

INFORMAÇÃO SUPLEMENTAR

Capítulo 1

- Informação suplementar 1 Physic and chemical variables and chlorophyll a in two moments during the end of rainy (May - ERS) and dry (November - EDS) seasons of Piranji Estuary (NE, Brazil).....50
- Informação suplementar 2 Density (ind./m³) of copepod species, at day and night periods, in two distinct inflow events ERS (End of rainy season) and EDS (End of dry season) of Piranji Estuary (NE, Brazil). E: ebb tide; F: flood tide; CJ: copepodite juvenile.....51
- Informação suplementar 3 Copepod species and values of “p” with significant difference (p <0.05) between in daytime and tides in rainy and dry season of Piranji Estuary (NE, Brazil). *indicated statistically significant difference...53

Capítulo 2

- Informação suplementar 1 Nutrientes e clorofila a no estuário de Piranji (NE, Brasil). Nitrito: NO₂-; Nitrato: NO₃-; Nitrogênio amoniacal: N-NH₃; Nitrogênio Total: NT; Ortofosfato: P- PO₄³⁻; Fósforo total: PT; Sólidos suspensos totais: SST; Clorofila a: Chl a.....83
- Informação suplementar 2 Espécies de copépodes e seus valores de "p" entre o período seco e chuvoso (sazonal) e entre os pontos de coleta (espacial) no estuário de Piranji (NE, Brasil). * indica diferença significativa (p<0,05).....84

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
Referências.....	18
CAPÍTULO 1: Hypersalinity, chlorophyll <i>a</i> and tides drive day-night variations of estuarine copepods	22
1. Introdução.....	24
2. Materiais e métodos.....	25
3. Resultados.....	31
4. Discussão.....	37
5. Conclusões.....	42
Referências.....	43
Informações suplementares.....	50
CAPÍTULO 2: Influência da hipersalinidade nos copépodes estuarinos durante um ano de seca extrema	53
1. Introdução.....	55
2. Materiais e métodos.....	57
3. Resultados.....	61
4. Discussão.....	69
5. Conclusões.....	75
Referências.....	76
Informações suplementares.....	83
CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	85

INTRODUÇÃO GERAL

Os estuários são ambientes de transição entre o continente e o oceano e sofrem influência do aporte de água doce e marinha (Elliott e McIusky, 2002). Suas águas são biologicamente mais produtivas que as do rio e do mar adjacente, transformando-os em importantes áreas de alimentação e reprodução para muitas espécies de vertebrados e invertebrados (Elliott e McIusky, 2002). Diferentes definições foram propostas para estuário, sendo a maioria baseada nas características de regiões temperadas (Potter *et al.*, 2010). Uma definição mais recente abrangeu regiões tropicais e incluiu estuários com fechamento periódico de sua boca e com condições de hipersalinidade durante o período de estiagem. Segundo essa definição:

“Um estuário é um corpo d’água costeiro parcialmente fechado que está permanentemente ou periodicamente em conexão com o ambiente marinho e que recebe pelo menos a descarga periódica de um corpo de água doce, e assim, enquanto sua salinidade é tipicamente menor que a do mar e varia temporalmente e ao longo do seu comprimento, pode se tornar hipersalino nas regiões onde a perda de água por evaporação é elevada e a entrada de água doce é insignificante” (Potter *et al.*, 2010).

O fenômeno da hipersalinidade tende a aumentar em todo o mundo principalmente devido aos impactos locais como construção de barragens e açudes, bem como por impactos globais como aumento da temperatura da superfície do mar, das taxas de evaporação e redução das chuvas. O estudo de regiões hipersalinas pode auxiliar na compreensão dos efeitos das mudanças ambientais em estuários e na predição de cenários futuros (Riddin e Adams, 2010; Carrasco e Perissinotto, 2015; Leigh *et al.*, 2015). Nos trópicos, incluindo as regiões áridas e semiáridas, a intensificação dos períodos de seca pode aumentar o fenômeno da hipersalinidade e influenciar a distribuição da salinidade no estuário, o que pode levar a mudanças sazonais e espaciais em importantes componentes da base da cadeia alimentar, como a comunidade zooplânctônica (Hemraj *et al.*, 2017). Este tema, apesar da sua relevância, é pouco estudado mundialmente (Carrasco e Perissinotto, 2012; Hemraj *et al.*, 2017).

O zooplâncton é a fração animal do plâncton, e reúne a maioria dos organismos heterotróficos. Esse grupo pode ser classificado quanto à sua dimensão: macrozooplâncton

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

(de 2 a 20 mm); mesozooplâncton (de 200 a 2000 μm) e microzooplâncton (de 20 a 200 μm) (Omori e Ikeda, 1984) e quanto à permanência do plâncton na região pelágica. O holoplâncton vive nesta zona durante todo seu ciclo de vida, enquanto o meroplâncton passa apenas parte de seu ciclo de vida nesse compartimento (Boltovskoy, 1999).

O holoplâncton domina a comunidade zooplanctônica, sendo o táxon Copepoda o mais abundante. Os copépodes geralmente são o componente mais importante do mesozooplâncton em termos de abundância, biomassa e diversidade, e constituem um elo fundamental entre a produção primária e os níveis mais altos da teia trófica (Miyashita *et al.*, 2009; Armengol *et al.*, 2017). Esse grupo chega a representar, em média, 70-90% da densidade e abundância do zooplâncton (Brandini *et al.*, 1997). A classe Copepoda é dividida em dez ordens (Bradford-Grieve *et al.*, 1999). Destas ordens, apenas quatro (Calanoida, Cyclopoida, Harpacticoida e Monstriloida) estão representadas no zooplâncton marinho (Bonecker, 2006). Esses microcrustáceos apresentam dimorfismo sexual (Bradford-Grieve *et al.*, 1999) e hábitos alimentares bastantes diversificados, podendo ser onívoros, herbívoros, carnívoros ou detritívoros, ingerindo partículas aderidas aos detritos, agregados marinhos (incluindo bactérias, microalgas e protistas) e até larvas e juvenis de peixes (Turner, 2004; Calbet, 2008).

A distribuição dos copépodes nos estuários é influenciada pelas propriedades físicas, químicas e biológicas das massas de água (Villate, 1997), que nesse ambiente sofrem variações diárias. No ambiente estuarino, a principal variação da composição do zooplâncton depende do fluxo das marés, sendo necessárias coletas nictemerais para melhores estimativas (McLusky, 1989). Esse grupo sofre variações de curtos períodos, entre o dia e a noite, devido às migrações (Neumann-Leitão *et al.*, 2009). O padrão mais comum é a subida às camadas próximas da superfície ao entardecer e a descida a uma camada mais profunda ao amanhecer, sendo as horas intermediárias gastas a uma profundidade relativamente constante (migração noturna) (Heywood, 1996).

A composição da assembleia de copépodes apresenta variações importantes ao longo do ano (Gonçalves *et al.*, 2010; Rajkumar *et al.*, 2014; Truong *et al.*, 2014), e na região tropical, é influenciada principalmente pelas estações seca e chuvosa (Neumann-Leitão, 1999). Fatores que desempenham um papel importante na determinação da composição das comunidades estuarinas, como salinidade, temperatura, distribuições de nutrientes e tempo de residência, podem ser influenciados pela intensidade e descarga de água doce no ambiente (Breckenridge *et al.*, 2015).

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

Nos estuários, variações espaciais e temporais do zooplâncton são estimuladas pela interação de fatores ambientais (precipitação, maré, entre outros) e disponibilidade de alimento (Li *et al.*, 2006). Para sobreviver no ambiente estuarino, os copépodes desenvolveram mecanismos adaptativos que auxiliam a enfrentar as condições do ambiente (forte fluxo das marés, grandes flutuações de salinidade e intensa pressão da predação) (Chew *et al.*, 2015). Entre estes fatores, a salinidade é uma importante variável ambiental, delimitando a distribuição de organismos, sendo considerada uma barreira ecológica para algumas espécies (Paturej e Gutkowska, 2015). As mudanças na salinidade podem induzir estresse osmótico que aumentam o risco de mortalidade de espécies individuais e, em alguns casos, levam à redução da competição inter-específica (Vilas *et al.*, 2009).

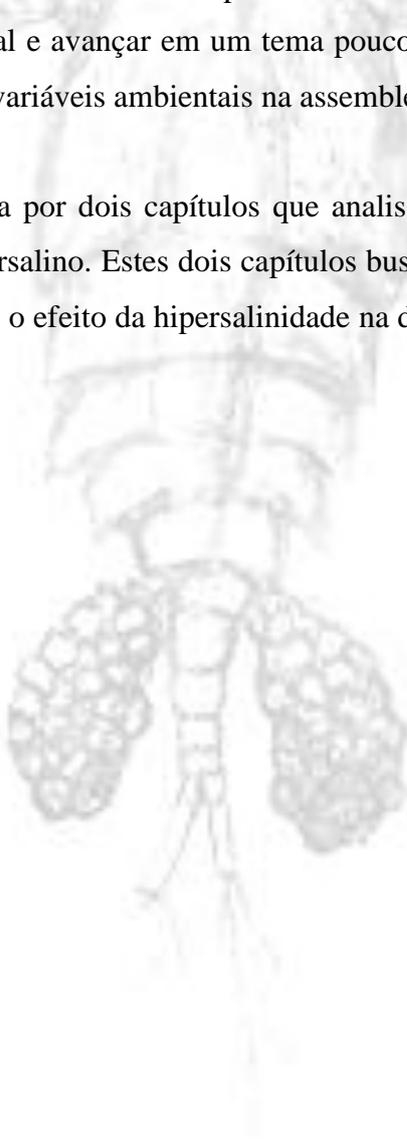
Pouco se sabe sobre os efeitos de salinidades extremas na distribuição sazonal, espacial e nictemeral em comunidades planctônicas estuarinas tropicais, principalmente em costas tropicais submetidas a climas áridos e semiáridos. O zooplâncton nessas regiões vem sendo estudado em países como a Austrália e em zonas temperadas como a África do Sul, porém existe carência de pesquisas principalmente com ênfase em grupos-chave como os copépodes (Cyrus *et al.*, 2011; Carrasco e Perissinotto, 2012; Hemraj *et al.*, 2017). No Brasil, os estudos com estuários tropicais são focados em áreas úmidas com estuários de baixo fluxo, como no estado de Pernambuco (Silva *et al.*, 2003; Mugrabe *et al.*, 2013; Guenther *et al.*, 2015; Figuerêdo *et al.*, 2016) ou úmidas com estuários de alto fluxo, como no estado de Amazonas (Magalhães *et al.*, 2006; Magalhães *et al.*, 2011; Magalhães *et al.*, 2015; Andrade *et al.*, 2016; Atique *et al.*, 2017). No contexto dos estuários tropicais semiáridos, uma região importante é o Nordeste do Brasil. Nessa região, a condição semiárida atinge não só o interior, mas também a faixa litorânea dos estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte. Essa região pode servir de modelo para entender a ecologia de estuários tropicais em zonas semiáridas. Alguns trabalhos podem ser citados, como pesquisas mostrando as variações espaciais e sazonais na composição e abundância da comunidade zooplanctônica (Serpe *et al.*, 2010; Almeida *et al.*, 2012) e revisão bibliográfica dos trabalhos com zooplâncton publicados no Nordeste (Garcia, 2012), mas existe uma lacuna em outras abordagens. Novos estudos, como em um estuário hipersalino, em um ano de seca e com coletas em um ciclo de 24 horas, pode diminuir essa carência.

Para suprir essa deficiência na costa semiárida, e para auxiliar na predição de cenários futuros destes ecossistemas estuarinos modificados é fundamental entender como a hipersalinidade influencia as comunidades planctônicas. O litoral do Ceará e, em especial, o

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

estuário do rio Piranji fornecem condições geográficas peculiares para o entendimento deste fenômeno, o que permite utilizá-lo como modelo de estudo científico. Estuários rasos se combinam com o clima semiárido, chuvas concentradas em uma única época, altas taxas de temperatura e evaporação, bem como impactos antropogênicos (como salinas, barragens e açudes) levando a ocorrência frequente do fenômeno da hipersalinidade. Além disso, nos últimos anos (2012 -2016) este fenômeno foi intensificado devido à baixa ocorrência de chuvas devido a pior seca já registrada (Marengo *et al.*, 2016), e do represamento praticamente total da água doce nas barragens visando o abastecimento humano. Assim, a tese buscou estudar este ecossistema estuarino peculiar visando preencher uma lacuna do conhecimento científico global e avançar em um tema pouco abordado, analisando variações nictemeraias e a influência de variáveis ambientais na assembleia de copépodes em um estuário tropical.

A tese é composta por dois capítulos que analisaram as variações nictemeraias e sazonais em um estuário hipersalino. Estes dois capítulos buscam responder a pergunta-chave que é o título desta tese "Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição de copépodes em um estuário tropical?".



Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

Capítulo 1

Objetivo:

- Analisar as variações nictemerais (período do dia e marés) e a influência de variáveis ambientais (físico-químicas e clorofila *a*) na assembleia de copépodes em um estuário tropical raso sob influência da hipersalinidade (Piranji, NE Brasil).

Hipóteses:

- A dinâmica do estuário (variáveis físicas e químicas, clorofila *a*) apresenta diferença entre o dia e a noite e entre as marés vazantes e enchente;
- As densidades de copépodes são maiores no período da noite e nas marés vazante;
- A salinidade é a variável que mais influencia as mudanças diárias nas densidades de copépodes.

Capítulo 2

Objetivo:

- Avaliar a distribuição temporal e espacial da assembleia de copépodes em um estuário tropical raso sob influência de hipersalinidade (Piranji, NE Brasil), durante um período de seca severa.

Hipótese:

- As densidades de copépodes são maiores no período chuvoso.
- A assembleia apresenta diferenças temporais (seco/chuvoso) e espaciais ao longo do estuário.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. R.; COSTA, I. S.; ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M. Composition and abundance of zooplankton community of an impacted estuarine lagoon in Northeast Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 1, p. 12-24, 2012. ISSN 1519-6984.
- ANDRADE, M. P. et al. Effects of a La Niña event on hydrological patterns and copepod community structure in a shallow tropical estuary (Taperaçu, Northern Brazil). **Journal of Marine Systems**, v. 164, p. 128-143, 2016/12/01/ 2016. ISSN 0924-7963. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924796316302032> >.
- ARMENGOL, L. et al. Effects of copepods on natural microplankton communities: do they exert top-down control? **Marine Biology**, v. 164, n. 6, p. 136, 2017. ISSN 0025-3162.
- ATIQUE, P. et al. Copepod assemblages in a highly dynamic equatorial estuary on the Brazilian Amazon Coast. **Marine Ecology**, v. 38, n. 1, 2017. ISSN 1439-0485.
- BOLTOVSKOY, D. **South Atlantic zooplankton** Leiden: Backhuys Publishers, 1999. 1706.
- BONECKER, S. L. C. **Atlas de zooplâncton da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2006. 232.
- BRADFORD-GRIEVE, J. M. et al. Copepoda. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). **South Atlantic Zooplankton**. Leiden: Backhuys Publishers., v.2 1999. p.869-1098.
- BRANDINI, F. P.; LOPES, R. M.; GUTSEIT, K. S. Planctonologia na plataforma continental do Brasil: diagnose e revisao bibliografica. In: (Ed.). **Planctonologia na plataforma continental do Brasil: diagnose e revisao bibliografica**: MMA, 1997.
- BRECKENRIDGE, J. K. et al. Plankton assemblage variability in a river-dominated temperate estuary during late spring (high-flow) and late summer (low-flow) periods. **Estuaries and Coasts**, v. 38, n. 1, p. 93-103, 2015. ISSN 1559-2723.
- CALBET, A. The trophic roles of microzooplankton in marine systems. **ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil**, v. 65, n. 3, p. 325-331, 2008. ISSN 1054-3139.
- CARRASCO, N. K.; PERISSINOTTO, R. Development of a halotolerant community in the St. Lucia Estuary (South Africa) during a hypersaline phase. **PloS one**, v. 7, n. 1, p. e29927, 2012. ISSN 1932-6203.
- CARRASCO, N. K.; PERISSINOTTO, R. Zooplankton community structure during a transition from dry to wet state in a shallow, subtropical estuarine lake. **Continental Shelf Research**, v. 111, p. 294-303, 2015. ISSN 02784343.
- CHEW, L. et al. Vertical migration and positioning behavior of copepods in a mangrove estuary: Interactions between tidal, diel light and lunar cycles. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 152, p. 142-152, 2015. ISSN 0272-7714. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771414003394> >.
- CYRUS, D. et al. Lake St Lucia, Africa's largest estuarine lake in crisis: combined effects of

- mouth closure, low levels and hypersalinity. **South African Journal of Science**, v. 107, n. 3-4, p. 01-13, 2011. ISSN 0038-2353.
- ELLIOTT, M.; MCLUSKY, D. S. The Need for Definitions in Understanding Estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 55, n. 6, p. 815-827, 2002/12/01/ 2002. ISSN 0272-7714. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771402910310> >.
- FIGUERÊDO, L. G. P. et al. Mesozooplâncton do estuário do Rio dos Passos, Pernambuco, Brasil. **Tropical Oceanography-ISSN: 1679-3013**, v. 42, n. 3, 2016. ISSN 1679-3013.
- GARCIA, T. M. **Ecologia do mesozooplâncton de um estuário semiárido tropical**. 2012. 107 Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE
- GONÇALVES, A. M. M. et al. Spatial and temporal distribution of harpacticoid copepods in Mondego estuary. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 90, n. 07, p. 1279-1290, 2010. ISSN 1469-7769.
- GUENTHER, M. et al. Spatial variation of the plankton community over a short-term survey at a tropical hypereutrophic estuary. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 48, n. 1, p. 10, 2015-07-01 2015. ISSN 0374-5686. Disponível em: <
<http://periodicos.ufc.br/index.php/arquivosdecienciadomar/article/view/5860> >.
- HEMRAJ, D. A. et al. Plankton bioindicators of environmental conditions in coastal lagoons. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 184, p. 102-114, 2017. ISSN 0272-7714.
- HEYWOOD, K. J. Diel vertical migration of zooplankton in the Northeast Atlantic. **Journal of Plankton Research**, v. 18, n. 2, p. 163-184, 1996. ISSN 0142-7873.
- LEIGH, C. et al. Ecological effects of extreme climatic events on riverine ecosystems: insights from Australia. **Freshwater Biology**, v. 60, n. 12, p. 2620-2638, 2015. ISSN 00465070.
- LI, K. Z. et al. Spatial and temporal variations of mesozooplankton in the Pearl River estuary, China. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 67, n. 4, p. 543-552, 2006. ISSN 0272-7714. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771405004257> >.
- MAGALHÃES, A. et al. Spatial and temporal distribution in density and biomass of two *Pseudodiaptomus* species (Copepoda: Calanoida) in the Caeté river estuary (Amazon region-North of Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, n. 2A, p. 421-430, 2006. ISSN 1519-6984.
- MAGALHÃES, A. et al. Seasonal and short-term variations in the copepod community of a shallow Amazon estuary (Taperaçu, Northern Brazil). **Journal of Coastal Research**, n. 64, p. 1520, 2011. ISSN 0749-0208.
- MAGALHÃES, A.; PEREIRA, L. C. C.; DA COSTA, R. M. Relationships between copepod community structure, rainfall regimes, and hydrological variables in a tropical mangrove

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

- estuary (Amazon coast, Brazil). **Helgoland Marine Research**, v. 69, n. 1, p. 123-136, 2015/03/01 2015. ISSN 1438-387X. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s10152-014-0421-4> >.
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-12, 2016. ISSN 0177-798X.
- MCLUSKY, D. S. **The estuarine ecosystem**. Glasgow: Blackie: 1989.
- MIYASHITA, L. K.; DE MELO JÚNIOR, M.; LOPES, R. M. Estuarine and oceanic influences on copepod abundance and production of a subtropical coastal area. **Journal of Plankton Research**, v. 31, n. 8, p. 815-826, August 1, 2009 2009. Disponível em: < <http://plankt.oxfordjournals.org/content/31/8/815.abstract> >.
- MUGRABE, G. et al. DYNAMICS OF *Acartia lilljeborgii* GIESBRECHT, 1889 IN A HEAVILY INDUSTRIALIZED TROPICAL ESTUARY. **Revista Nordestina de Zoologia Recife**, v. 7, n. 2, p. 1-62, 2013.
- NEUMANN-LEITÃO, S.; DE OLIVEIRA GUSMÃO, L. M.; NETO, F. F. P. Variação nictemeral do macrozooplâncton na barra Orange-canal de Santa Cruz, estado de Pernambuco (Brasil). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 3, n. 2, p. 30-49, 2009. ISSN 2175-3008.
- NEUMANN-LEITÃO, S. G., L.M.; SILVA, T.; NASCIMENTO-VIEIRA, D.A.; SILVA, A. P. Meso zooplankton biomass and diversity in coastal and oceanic Waters off North-eastern Brazil. **Archive of Fishery and Marine Research**, v. 47, p. 153-165, 1999.
- OMORI, M.; IKEDA, T. **Methods in marine zooplankton ecology**. New York: J. Wiley & Sons, 1984. 332.
- PATUREJ, E.; GUTKOWSKA, A. The effect of salinity levels on the structure of zooplankton communities. **Archives of Biological Sciences**, v. 67, n. 2, p. 483-492, 2015.
- POTTER, I. C. et al. The concept of an estuary: a definition that incorporates systems which can become closed to the ocean and hypersaline. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 87, n. 3, p. 497-500, 2010. ISSN 0272-7714.
- RAJKUMAR, M. et al. Seasonal variations in the structure of copepod assemblages in tropical marine and estuarine waters, Coleroon, south-east India. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 94, n. 03, p. 521-535, 2014. ISSN 1469-7769. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1017/S0025315413001768> >. Acesso em: 2014.
- RIDDIN, T.; ADAMS, J. B. The effect of a storm surge event on the macrophytes of a temporarily open/closed estuary, South Africa. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 89, n. 1, p. 119-123, 2010. ISSN 02727714.
- SERPE, F. R. et al. Comunidade zooplanctônica em um estuário hipersalino no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 5, n. 3, p. 51-73, 2010. ISSN 2175-3008.

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

SILVA, T. A. et al. Diel and seasonal changes in the macrozooplankton community of a tropical estuary in Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 20, n. 3, p. 439-446, 2003.

TRUONG, T.-H. et al. Seasonal and spatial distribution of mesozooplankton in a tropical estuary, Nha Phu, South Central Viet Nam. **Biologia**, v. 69, n. 1, p. 80-91, 2014/01/01 2014. ISSN 0006-3088. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2478/s11756-013-0289-9> >.

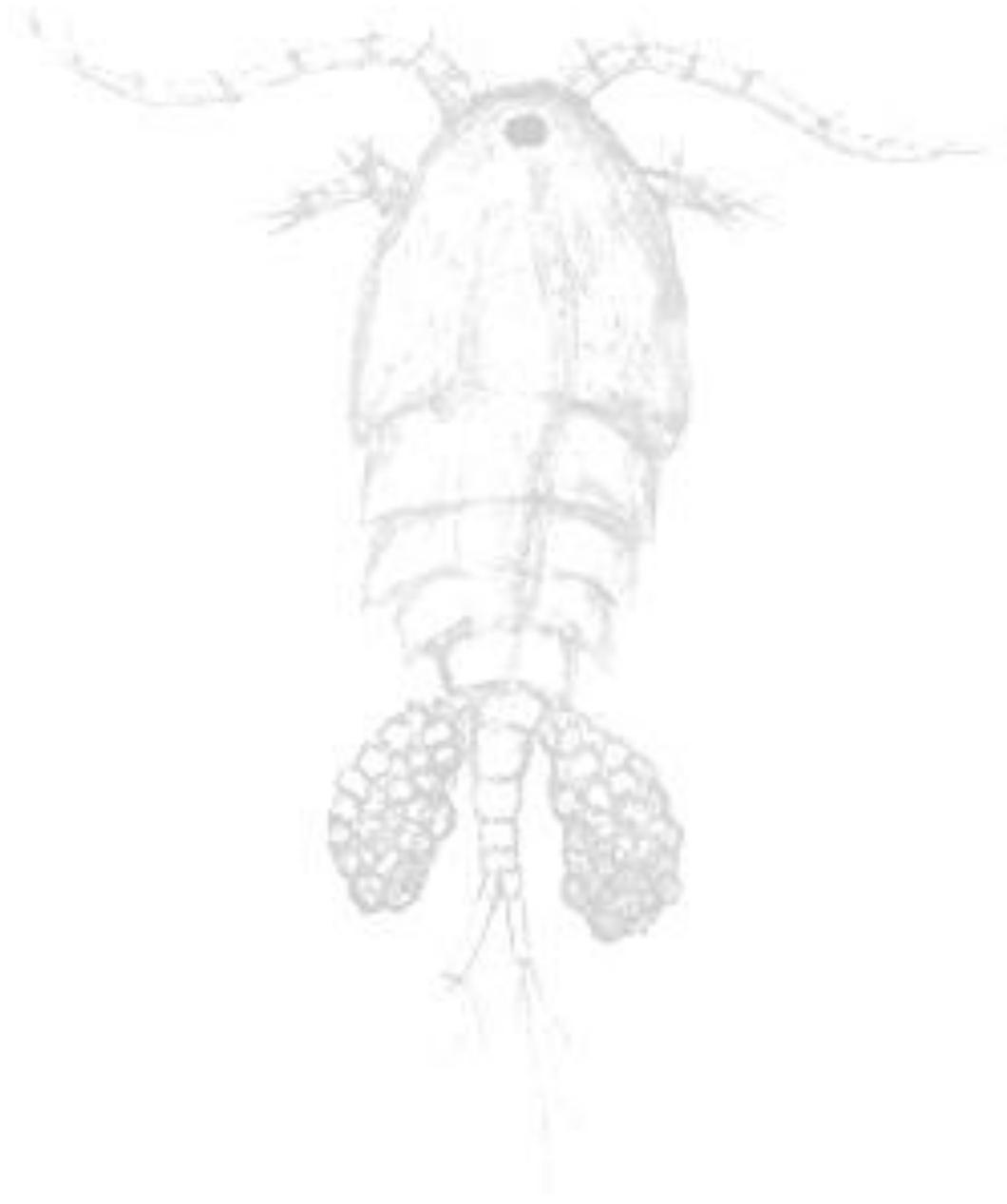
TURNER, J. T. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. **Zoological Studies**, v. 43, n. 2, p. 255-266, 2004.

VILAS, C.; DRAKE, P.; PASCUAL, E. Inter- and intra-specific differences in euryhalinity determine the spatial distribution of mysids in a temperate European estuary. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 369, n. 2, p. 165-176, 2009/02/28/ 2009. ISSN 0022-0981. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022098108005741> >.

VILLATE, F. Tidal influences on zonation and occurrence of resident and temporary zooplankton in a shallow system (Estuary of Mundaka, Bay of Biscay). **Scientia Marina**, v. 61, n. 2, p. 173-188, 1997.



Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?



1

Hypersalinity, chlorophyll *a* and tides drive day-night variations of estuarine copepods

Hypersalinity, chlorophyll *a* and tides drive day-night variations of estuarine copepods

ABSTRACT

The study of hypersaline regions can help to understand the effects of global climate change on estuaries and to predict of future scenarios. We analyzed the day-night variations of copepods and the influence of environmental drivers in a shallow estuary characterized by hypersalinity. We conducted the sampling under the worst drought of in Brazilian Northeast. The results indicated that the marine origin species *Oithona oswaldocruzi*, *Oithona hebes*, *Parvocalanus crassirostris*, *Parvocalanus cf. scotti* and *Euterpina acutifrons* were the most abundant species, being adapted to hypersaline conditions. Salinity and depth differed significantly between ebbs and flood mesotides mainly due to the intrusion of marine water. PERMANOVA analyses indicated that the copepod assemblages were different between tides and between day and night, suggesting a nocturnal migration. Moreover, the BEST test showed that salinity and chlorophyll *a* explained most of day-night variations of estuarine copepods. Considering that hypersalinity trend to increase worldwide due to local (e.g., multiple dams) and global impacts (reduced rainfall, sea-level rise, increase in temperature and evaporation rates), studying the effects of severe droughts in estuarine dynamics can bring important information regarding biological adaptability.

Keywords: Zooplankton, Drought, Salinity, Mangrove, Brazil

1. INTRODUCTION

In arid and semiarid tropical regions, an estuary can become hypersaline, that is, the salinity increases monotonically from the mouth to the upstream, with values higher than that in coastal waters, when negative water budgets occur (Largier, 2010). Furthermore, local impacts (e. g., multiple river dams) may reduce river flows into the sea, increasing saline intrusion and residence time and decreasing the transport of organic matter and sediments to coastal waters (Schettini *et al.*, 2017). Additionally to local impacts, global climate changes on the coastal zone (like higher temperatures and reduced rainfall) tend to increase the phenomenon of hypersalinity around the world (Robins *et al.*, 2016; Sloterdijk *et al.*, 2017).

Salinity is an important environmental variable in estuarine environments, delimiting the distribution of organisms, being an ecological barrier for some species (Paturej and Gutkowska, 2015). Changes in salinity may induce osmotic stress, which increase the mortality risk of individual species and, in some cases, lead to reduction of inter-specific competition (Vilas *et al.*, 2009). However, most studies that evaluate direct or indirect influence of salinity and other physical and chemical factors on zooplankton community are from temperate environments (Sautour and Castel, 1995; Moser *et al.*, 2012) or non-hypersaline tropical estuaries (Chew *et al.*, 2015; Seguro *et al.*, 2015).

In addition to seasonal variations due to the influence of water column quality (Villate, 1997), the zooplankton has daily variations according to day/night alternation (nycthemeral cycles) (Neumann-Leitão *et al.*, 2009). The most common pattern is nocturnal migration, with organisms occurring deeper in the water column during the day and shallower at night (Heywood, 1996; Bozzano *et al.*, 2013). In estuarine environments, the main variation in zooplankton composition depends of tidal flow. Therefore, to get accurate estimates of zooplankton community it is necessary to take samples over a 24-hour period (McLusky, 1989).

Copepods constitute a link in the food chain (in water column and benthic-pelagic coupling processes) (Ruppert and Barnes, 1996; Miyashita *et al.*, 2009). These group usually comprise 70–90% of total mesozooplankton abundance in pelagic systems (Brandini *et al.*, 1997). Copepods developed adaptations to survive in estuaries

due to the strong bi-directional tidal-river flow, large salinity fluctuations and intense predation pressure (Chew *et al.*, 2015). An adaptive mechanism is nocturnal migration, where adult copepods ascend in the water column at night, while small or young copepods may adopt reverse migration behavior to avoid nocturnal predators (Ohman, 1990). Such behavior that interacts with the tidal current periodicity could explain retention or upstream penetration of zooplankton in the estuary (Chew *et al.*, 2015). Some studies show that small estuarine copepods are unable to escape tidal water flows due to their poor swimming ability (Kimmerer *et al.*, 2002; Devreker *et al.*, 2008; Schmitt *et al.*, 2011).

Studies with copepods in arid and semiarid regions are scarce (Serpe *et al.*, 2010; Hemraj *et al.*, 2017). When referring to nycthemeral dynamics of plankton in such environments, subject to long periods of hydrological deficit, the knowledge gap is even bigger. However, the study of hypersaline regions impacted by intense droughts can help to understand the effects of climate change on estuaries and to predict future scenarios (Riddin and Adams, 2010; Carrasco and Perissinotto, 2015; Leigh *et al.*, 2015).

Here we analyzed the nycthemeral variations (day-night and tidal regimens) and the influence of environmental drivers on copepods in a shallow low-inflow estuary during a severe period of drought. The hypotheses tested were: 1) estuarine dynamics (physical and chemical variables and chlorophyll *a*) show difference between day and night and between ebb and flood mesotides, 2) Copepod densities are higher at night and at flood tide and 3) the salinity is major driver of day-night variations of copepods.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study area

The estuary of the Piranji river is a shallow (<5 m deep) and hypersaline (>38 salinity) coastal system located on the semiarid coast of Brazil (Tropical Atlantic Ocean) (Fig. 1). Local tides are semi-diurnal, ranging between 1.0 and 2.5m at neap and spring tides, respectively (Schettini *et al.*, 2011). The Piranji estuary crosses a sparsely populated area, although most of the mangrove forests were replaced by former salt ponds that are now shrimp farms (Schettini *et al.*, 2017).

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

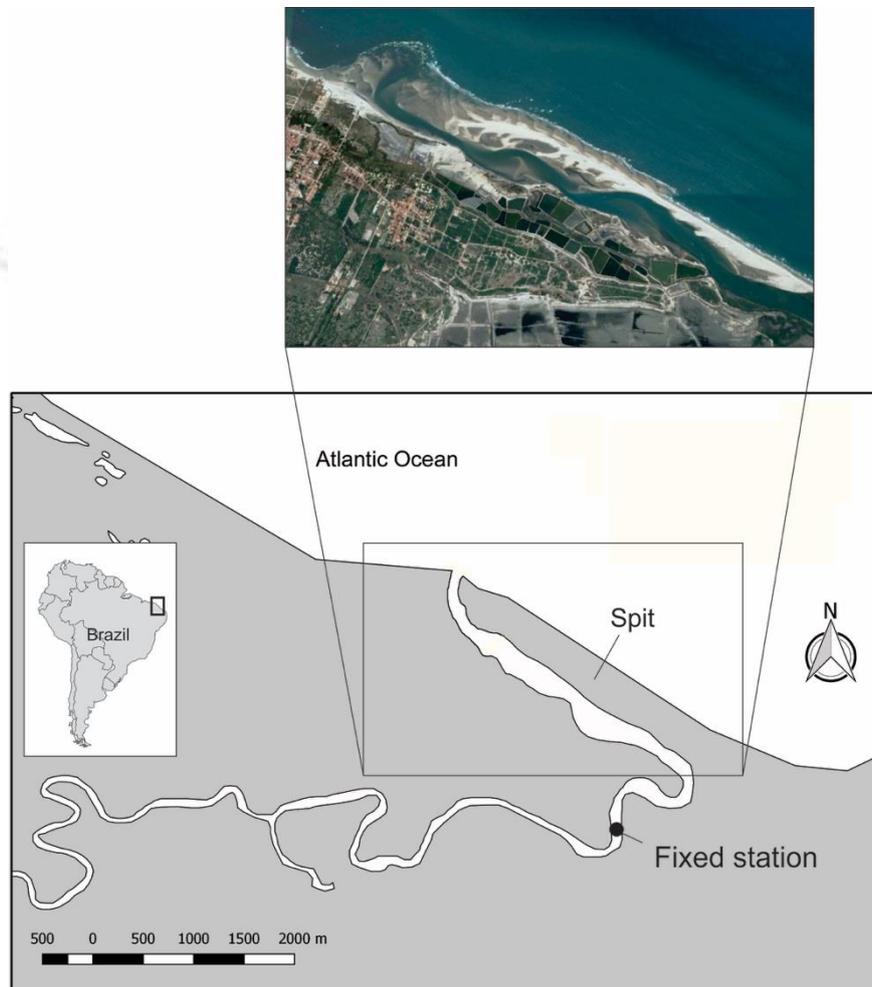


Fig. 1: Piranji estuary, Semiarid Coast of Brazil, and location of the fixed sampling site. Highlight in the sandspit.

This low-inflow estuary is formed by tidal channels, extensive intertidal flats, and a shallow (<6m depth) navigation channel (Campos and Morais, 2007; Paula *et al.*, 2007). At the mouth, there is a sandbar (spit type), parallel to the coastline, which is approximately 3.2 km long and 230 m wide (Silva and Da Silva, 2016) (Fig. 1). This sandbar can delay the tides within the estuary in about 2 hours compared to oceanic tides (Paula *et al.*, 2007)

The hypersaline structure of the estuary is related to the semiarid conditions, the climatic seasonality of the tropical region, and the presence of multiple dams upstream. The region average annual precipitation rate is about 1200 mm, concentrated

between January and June with a peak during March–April (Fig. 2). The average annual evaporation rate is about 1900 mm/year with the highest values occurring between August and October.

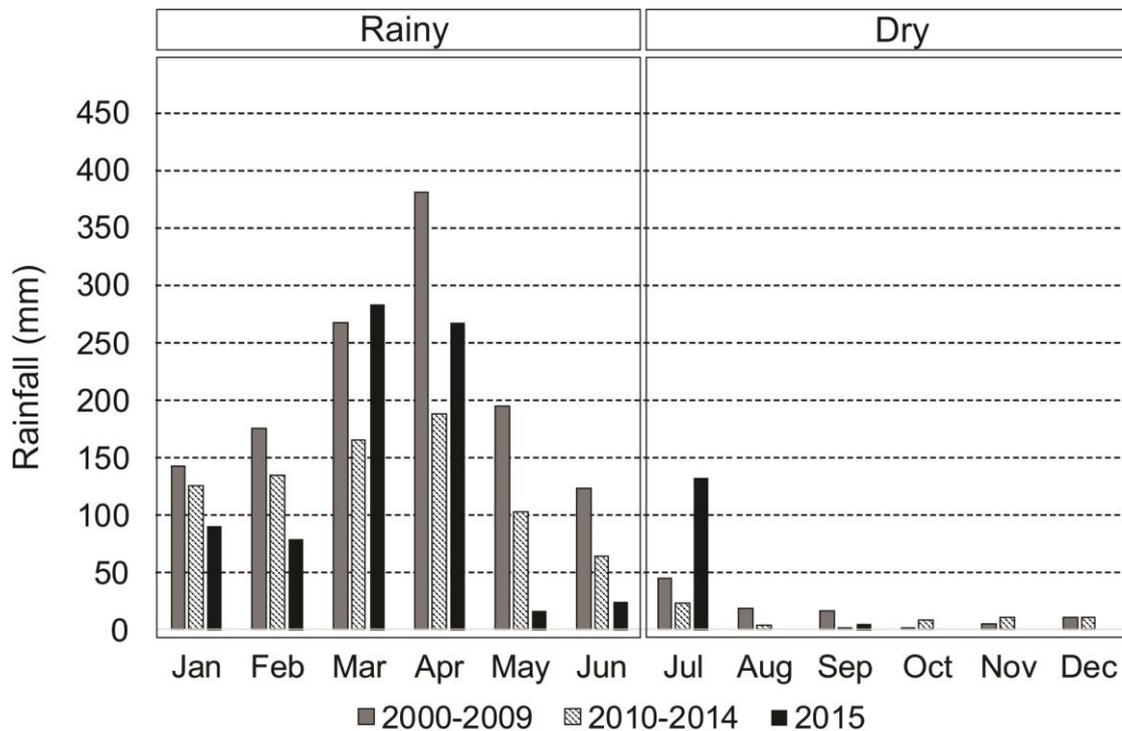


Fig. 2: Historical rainfall series (2000-2009), last drought cycle (2010-2014) and sampling year (2015) at the Semiarid Coast of Brazil (Piranji estuary).

The regional precipitation and evaporation is mainly influenced by the Intertropical Convergence Zone position; when ITCZ is located in the southern hemisphere it promotes intense and regular rains (March and April), and when ITCZ is in the northern hemisphere it promotes sunny and warm days - the dry season (Branco *et al.*, 2005). The ITCZ position also controls the trade winds intensity in the region, which are more intense during dry season (Marengo *et al.*, 2016).

Natural drought cycles are characteristic of this semiarid region and have increased in the first two decades of the 21st century correlated with El Niño conditions and /or positive phase of the Atlantic Meridional Mode (AMM) (Marengo *et al.*, 2017). The combination of both mechanisms from 2010 to 2016 has led to the most severe drought recorded in this semiarid region (Fig. 2) (Marengo *et al.*, 2017).

2.2. Field methods

We conducted sampling during 24-hour periods in two extreme flow events (Freshwater flow due to the rainfall in May, and the absence of rainfall in November). They aimed to understand the environmental drivers (hypersalinity, chlorophyll-a, and tides) in day-night variations of copepods. All the field procedures were performed at a fixed site (04°23'59,21"S 37°49'18,34"W) at a 3 hours interval during 24 hours, starting at low tide (Table I). A total of 16 samples were obtained. Due to the delay that the tide suffers inside the estuary, due to a sandy bar located in its mouth, a correction in the tides was made taking into account the values of salinity measured at the time of sampling (Fig. 3). The tide table used as reference was that of a port near the point of collection (Mucuripe Harbor). The tides that were considered in the work at each collection time are found in Table I.

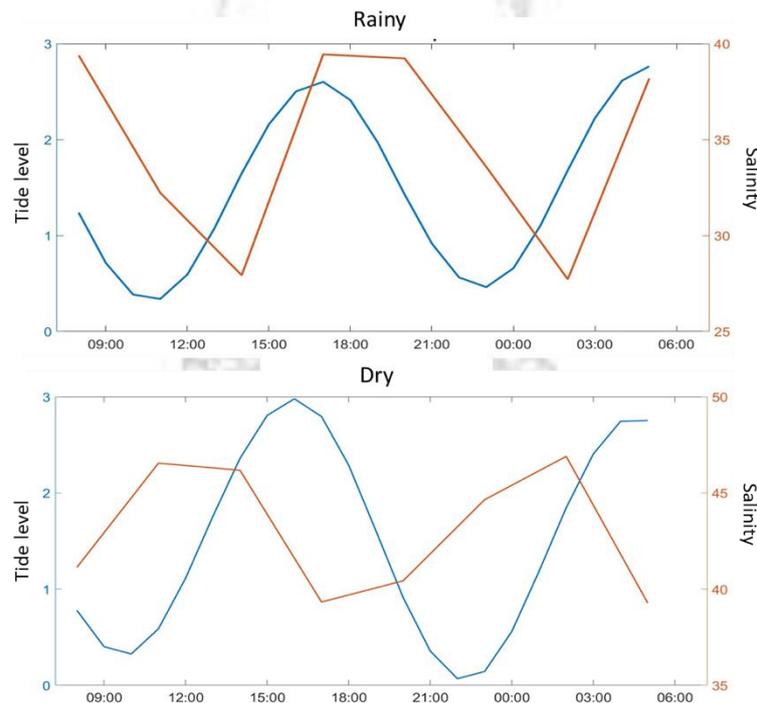


Fig. 3: Comparison between tide level and salinity values in the Piranji Estuary showing the delay due to the sandbar spit (NE, Brazil). Blue line: tide level; Red line: salinity.

Table I: Sampling data of the Piranji Estuary (NE, Brazil) (Season, daytime, time, modified tide).

Season	Daytime	Time	Modified tide		
Rainy	Day	08h	Flood		
		11h	Ebb		
		14h	Ebb		
		17h	Flood		
		20h	Flood		
	Night	23h	Ebb		
		02h	Ebb		
		05h	Flood		
		Dry	Day	08h	Flood
				11h	Ebb
14h	Ebb				
17h	Flood				
20h	Flood				
Night	23h		Ebb		
	02h		Ebb		
	05h		Flood		

The zooplankton samples were collected by horizontal trawls of the subsurface water with plankton net (120 μm mesh size) fitted with a General Oceanic flowmeter. Immediately after the collection, the samples were preserved in a buffered formaldehyde solution at a final concentration of 4%. Additional subsurface water samples were collected with Van Dorn bottles for the measurement of chlorophyll *a* concentration. Temperature, salinity, pH and dissolved oxygen were measured at each sampling time using YSI 6660 multisensor probe.

2.3. Laboratory procedures

Zooplankton samples were firstly analyzed under a stereoscopic microscope to identify the copepods to the lowest possible taxonomic level using appropriate identification keys (Tregouboff and Rose, 1957; Björnberg, 1981; Bradford-Grieve *et al.*, 1999). Samples were further sub-sampled (from 1/16 to 1/512) using a Motoda splitter (Omori and Ikeda, 1984), and all taxa present were counted. The density of copepod species was expressed as number of individuals per cubic meter of filtered water (ind.m^3).

The estuarine sampled water was filtered for evaluate the chlorophyll *a*, corresponding to the phytoplankton biomass ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), with pigment extraction. For this, was used Macherey-Nagel filters ($0.47\ \mu\text{m}$ of diameter and $0.7\ \mu\text{m}$ of porosity), and acetone 90% followed by spectrophotometer analysis (Eatone *et al.*, 1995).

2.4. Data analysis

Diversity of taxa was estimated by calculating the Shannon-Wiener index (*H'*) in terms of loge, evenness with the Pielou index (*J'*) and Margalef richness index (*d*). Chlorophyll *a* concentration, temperature, salinity, pH and dissolved oxygen densities were analyzed using Kruskal-Wallis test ($p < 0,05$), to see whether there were distributional differences among tidal phases (ebbs and floods).

To compare copepod assemblages during tidal phases of each period (Rainy and Dry), cluster analysis was used in conjunction with the Bray-Curtis similarity index. The data were $\log(x+1)$ transformed. Cluster analysis was performed using the unweighted pair group method with arithmetic mean (UPGMA) method, which was based on the Bray-Curtis similarity index. Sources of differences among cluster groups were tested using similarity profile analysis (SIMPROF) using PRIMER v6 with PERMANOVA add on. The species that contributed in each group were evidenced by the similarity percentage (SIMPER) analysis. Also, copepodes assemblages were analyzed using Factorial three-way ANOVA ($p < 0.05$) to see whether there were distributional differences between three factors: (1) daytime; (2) tidal phases (ebbs and floods); and 3) Seasonal, in the rainy and the dry seasons.

We conducted multivariate analysis (PERMANOVA and BIOENV) to understand the occurrence of the copepods assemblages and their relationships with environmental variables. We then used PERMANOVA to identify whether copepod assemblages were significantly different between day and night. In order to determine the importance of environmental drivers on copepod assemblage, a multivariate BEST (BIO-ENV Stepwise) procedure was performed.

3. RESULTS

3.1 Environmental drivers

Overall, dissolved oxygen and chlorophyll *a* decreased at night, however pH (in both periods) and temperature (Rainy) increased at night. Salinity and depth had significant difference (Kruskal-Wallis $p < 0.05$) between ebbs and flood tides, but other variables showed no significant difference (Kruskal-Wallis $p > 0.05$) (Fig. 4). The values of the physical and chemical variables and chlorophyll *a*, in the rainy and the dry seasons are described in Supplementary information I.

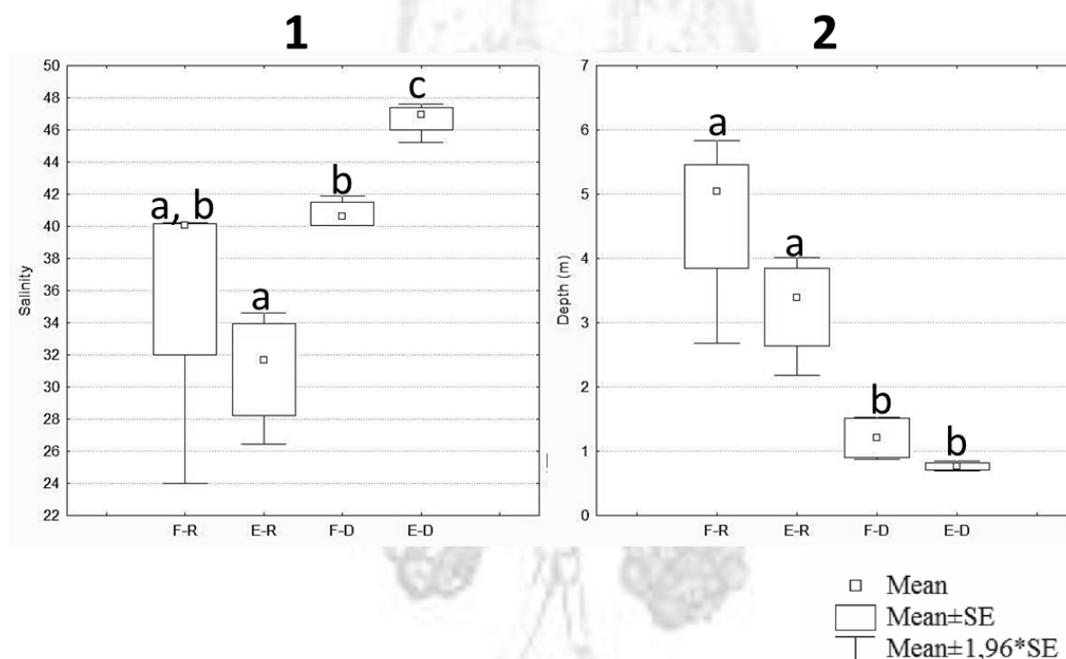


Fig. 4: Salinity (1) and depth (m) (2) in the rainy and dry seasons. F-R: Flood-Rainy; E-R: Ebb-Rainy; F-D: Flood-Dry; E-D: Ebb-Dry. Similar letters show there is no statistically significant difference in the variable considered.

The hypersalinity condition was present mainly during dry season. The rainy season, presented a salinity of 34.71 ± 5.06 , which varied from 27.72 at ebb tide to 39.44 at flood tide. Even during this rainy period, hypersalinity was observed in flood tides (8, 17, 20 and 5 hours) (Fig. 5). In November, in the dry season, the salinity was 43.05 ± 3.34 , with a variation from 39.28 (flood) to 46.90 (ebb).

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

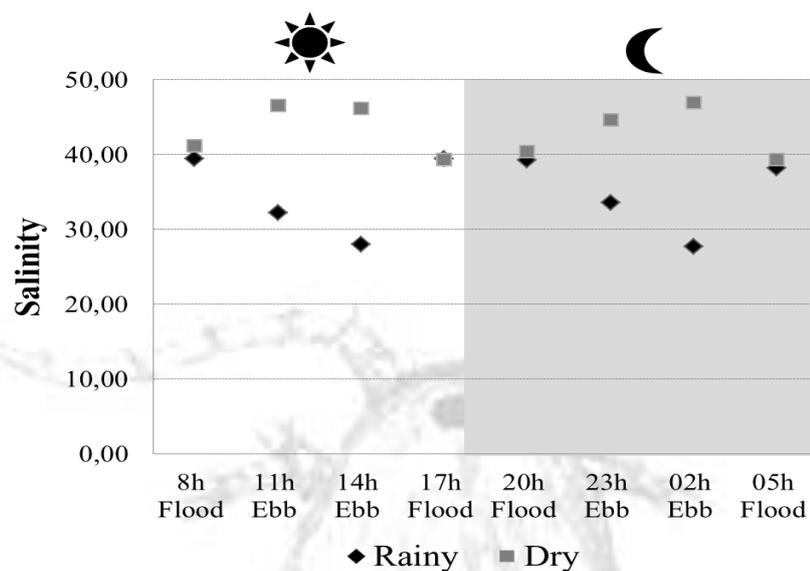


Fig. 5: Variation of salinity in the rainy and dry seasons, during the day and the night, of Piranji Estuary (NE, Brazil).

Four different scenarios were observed considering the salinity and copepod densities. In the rainy season, during the flood tide, salinity and density increase, while during ebb tide salinity and density decrease. In the dry season, during the flood tide, salinity and density decrease, while during ebb tide salinity and density increase (Fig. 10). The BEST test showed that salinity and chlorophyll *a* were the main drivers of copepods, with $p = 0.52$ ($p < 0.01$) (Table II).

Table II: Result of the BEST test no Piranji Estuary (NE, Brazil).

Correlation Selections	Number of Vars	Variables
0.52	2	Chlorophyll <i>a</i> and Salinity
0.48	3	Chlorophyll <i>a</i> , Salinity and Dissolved oxygen
0.42	1	Chlorophyll <i>a</i>
0.41	4	Chlorophyll <i>a</i> , Salinity, Dissolved oxygen and Depth
0.40	3	Chlorophyll <i>a</i> , Salinity and pH
0.40	4	Chlorophyll <i>a</i> , Salinity, pH and Dissolved oxygen
0.39	2	Chlorophyll <i>a</i> and Dissolved oxygen
0.37	3	Chlorophyll <i>a</i> , Salinity and Depth
0.35	5	Chlorophyll <i>a</i> , Salinity, pH, Dissolved oxygen and Depth
0.32	4	Chlorophyll <i>a</i> , Salinity, pH and Depth

3.2 Community structure and composition of copepods

The species accumulation curve was performed for indicate that the sampling effort was enough to describe the diversity of copepods and the day-night variations in study site (Fig.6).

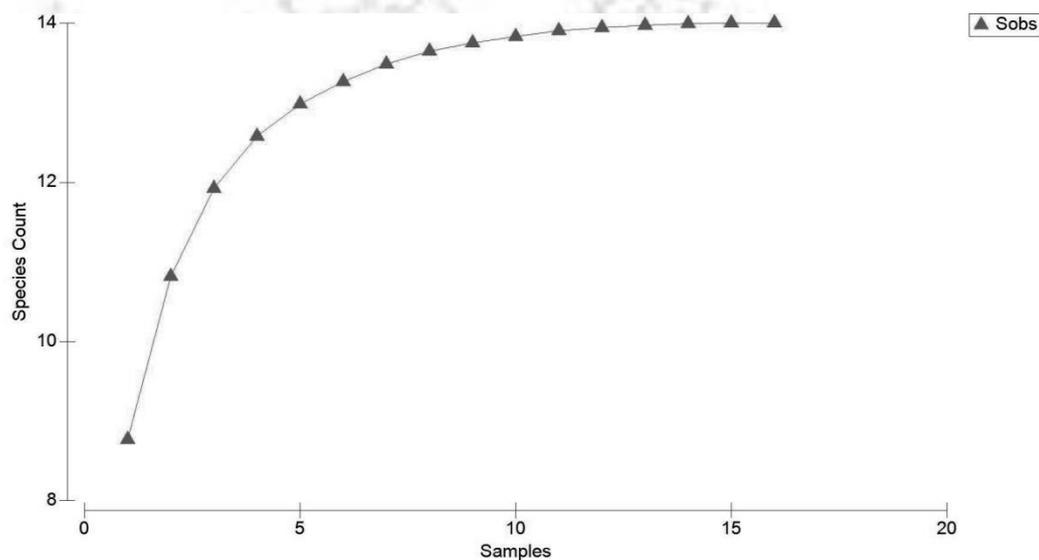


Fig. 6: Rarefaction curve of sampling in Piranji Estuary (NE, Brazil).

In both seasons, the structure of the copepod assembly varied throughout the day. In rain, the ebb tides showed greater richness; and in the dry season, the flood tides showed greater richness. The Pielou equitability (J'), at all sampling times, was higher than 0.50, indicating a homogeneous distribution of copepod assembly (Fig. 7).

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

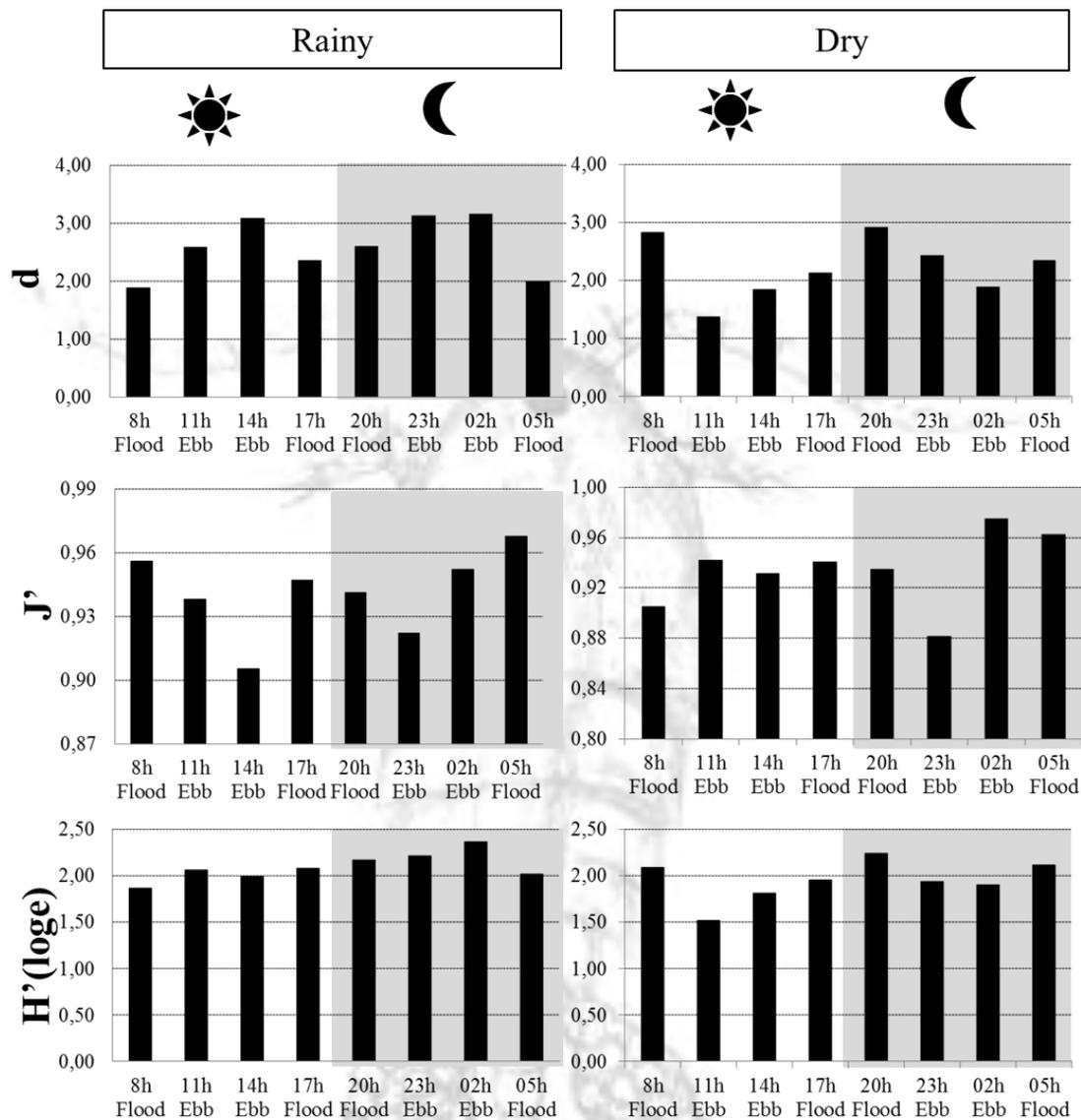


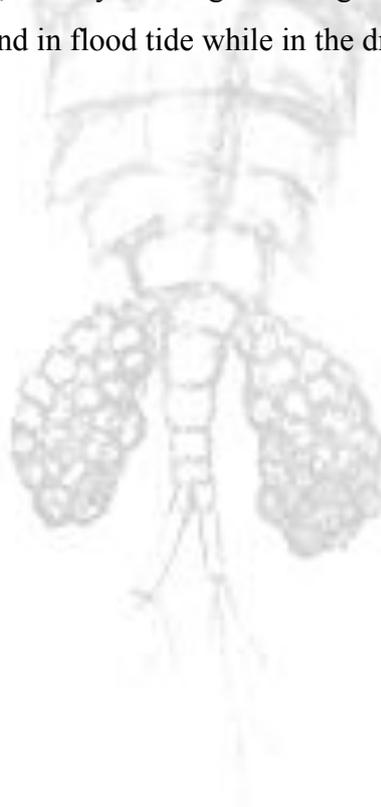
Fig. 7: Margalef richness (d), Pielou equitability (J') and Shannon-Weaver diversity index (H') of the copepod assembly of the Piranji Estuary (NE, Brazil).

Cluster analysis of the copepod assembly brought together two groups in the rainy season and three groups in the dry season (Fig. 9). In both periods, the groups were formed according to the tides. In the rainy season, group 2 was composed by ebb tides, with the exception of flood tide at 8 h, and group 1 was composed by flood tides. In the dry season, group 3 was composed by ebb tides, group 2 by flood tides of 8 h and 20 h, and group 1 by flood tides of 5 h and 17 h. The species that contributed in each grouping were evidenced by SIMPER analysis. *Oithona oswaldocruzi*, *Oithona hebes*, *Parvocalus crassirostris*, *Parvocalanus cf. scotti* and *Euterpina acutifrons* were the

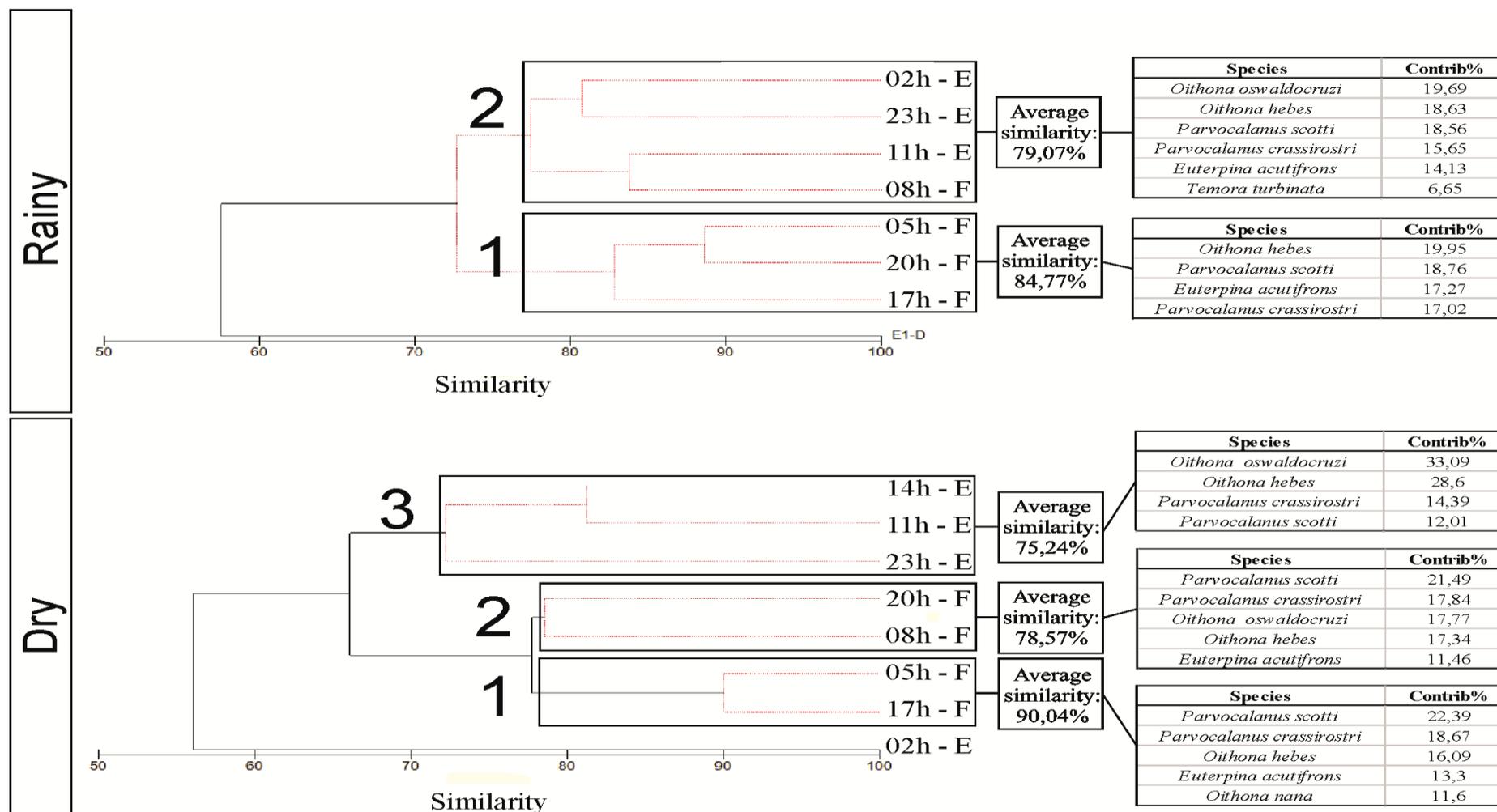
most abundant and frequent species, indicators of the cluster groups (Fig. 8).

The assembly of copepods consisted of 14 species, being nine Calanoida, three Cyclopoida and two Harpacticoida. In the Calanoida order, Paracalanidae and Pseudodiaptomidae families were the most important taxa in this semiarid estuary, both in number of species and density. Cyclopoida order was represented only by the family Oithonidae, with three species of the genus *Oithona*, all with high densities. High densities of copepodite juvenile of all families were found (Supplementary information II). Copepod assemblages were different between day and night periods (PERMANOVA, $p = 0.003$) and between tides (PERMANOVA $p = 0.005$). According to the Factorial ANOVA analysis, only four species had significant difference between day-night and tidal phases (ebbs and floods) in the rainy and dry seasons (Supplementary information III).

In both periods, density was higher at night than at day (Fig. 9A). In rain, the highest density was found in flood tide while in the dry was in ebb tide (Fig. 9B).



Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?



1
2 Fig. 8: Cluster and Simper analysis of copepod assemblage in the rainy and dry seasons of Piranji Estuary (NE, Brazil). E: ebb tide; F: flood tide.

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

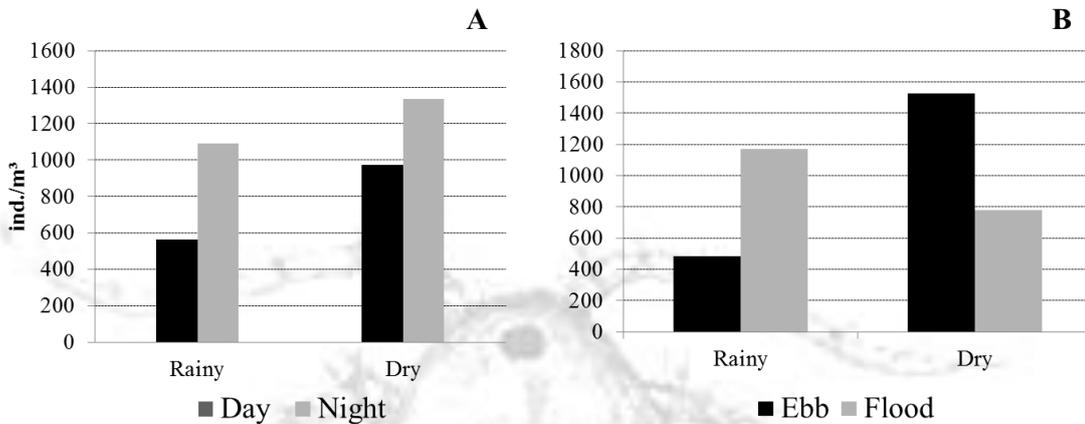


Fig. 9: Variation in density of organisms at day and at night (A) and in ebb and flood tides (B), Cluster and Simper analysis of copepod assemblage in the rainy and dry seasons of Piranji Estuary (NE, Brazil). E: ebb tide; F: flood tide. of Piranji Estuary (NE, Brazil).

4. DISCUSSION

Our results provided evidence about the impacts of severe droughts and hypersalinity in day-night variations of copepods. A direct reflection of climate change in estuaries is the increase of salinity with the presence of a hypersalinity condition (salinity greater than that of the ocean) (Riddin and Adams, 2010; Carrasco and Perissinotto, 2015; Leigh *et al.*, 2015). The results highlighted the importance to study the effects of severe droughts in estuarine dynamics considering the local (e.g., multiple dams) and global impacts (reduced precipitation, sea-level rise, and increase in temperature and evaporation rates) and their effects on salinity. Although hypersalinity may be natural to some estuaries located in tropical and subtropical regions due to the high evaporation rates (Valle-Levinson, 2010), the reduction in river flows, associated with climate change (Riddin and Adams, 2010; Petra Muha *et al.*, 2012) or local stress (e.g., dams) (Montagna *et al.*, 2002) may intensify the hypersalinity levels and prolong their period of occurrence. Our results provided some results to better understand this poorly studied phenomenon (Largier, 2010), mainly in shallow low-inflow estuaries.

4.1 Environmental drivers and their implications on the ecological dynamics of copepods

Salinity fluctuations along the nycthemeral cycle were the main tool for understanding the estuarine dynamics. Salinity and depth had significant variations between ebbs and flood tides, which is common to the estuarine environment considering small-scale fluctuations, such as tide and intrusion of marine waters (Miranda *et al.*, 2002). However this knowledge is scarce for shallow low-inflow estuaries affected by mesotides, such as the estuary studied here. Shallow low-inflow estuaries are vulnerable to hypersalinity, mainly during severe drought periods (Cyrus *et al.*, 2011; Carrasco and Perissinotto, 2012; Schettini *et al.*, 2017). Temperature, dissolved oxygen and pH values detected by our results were similar to other tropical estuaries near the Earth's Equator (Macedo Silva *et al.*, 2015; Andrade *et al.*, 2016; Bastos *et al.*, 2016) and did not explain the day-night variations of copepods in this tropical estuary.

The results suggested distinct copepod assemblages according to the ebb and flood mesotides, and identified important environmental drivers, such as chlorophyll *a* and salinity. This demonstrates the importance of trophic and hydrological conditions to regulate the dynamics of zooplankton in low-inflow tropical estuaries. The first factor (mesotides) could be justified by the narrow width of the tropical estuary (~80 m) and by the overwhelming effects of the mesotides over river discharge. Chlorophyll *a* has a great ecological importance and can provide indications about quantity of organic matter available to other trophic levels (Yebra *et al.*, 2017). In the study site, chlorophyll *a* was an environmental driver for the copepods' assembly and their values decreased at night, possibly due to the predation by copepods (Armengol *et al.*, 2017) and absence of phytoplankton production (Cox *et al.*, 2015).

The estuary of the Piranji river is considered a classic estuary during the rainy season and inverted during the dry season (Schettini *et al.*, 2017). A classic estuary is when salinity increases toward the mouth of the river, and the inverted is when the salinity decreases toward the mouth (Pritchard, 1967). In the Piranji River estuary, the classic condition occurs in rain events. The same was observed in the Colorado River, which, in a year of high precipitation, increases freshwater intake and the estuary develops the classical condition (Luis and Jones, 2004). The two conditions of the estuary (classical and hypersaline) promoted different scenarios for the copepod assembly in relation to the tides ebb and flood: while in the rainy period salinity and density decreased in the ebb tide, they increased in the

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

flood tide. In the dry season, salinity and density increased at low tide and decreased at low tide. This result shows the tolerance of copepods to the salinity. The density values accompanied salinity increases in both ebb and flood tide (Fig. 10).

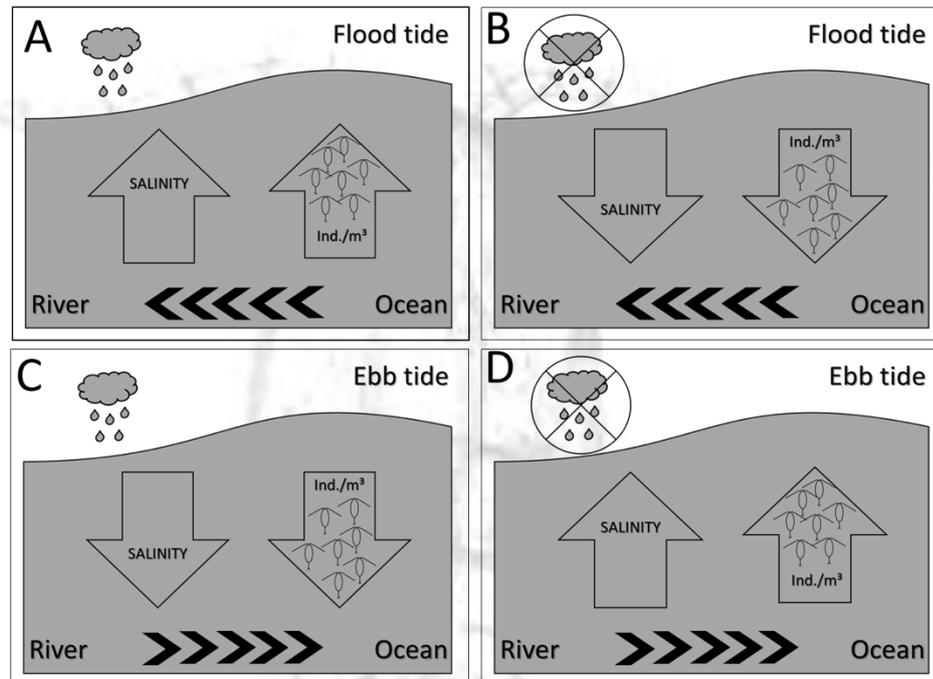


Fig. 10: Scenarios observed in the rainy and dry seasons of Piranji Estuary (NE, Brazil). A: Flood tide (Rainy); B: Flood tide (Dry); C: Ebb tide (Rainy); D: Ebb tide (Dry).

The multivariate analysis also indicates the tolerance of copepods to salinity. BIO-ENV suggested that salinity is an environmental driver of day-night variations of the copepod assemblage. Salinity has been shown to be a key abiotic factor regulating the structure of estuarine plankton communities (Rippingale and Hodgkin, 1977; Froneman, 2004), including hypersaline estuaries in South Africa (Cyrus *et al.*, 2011; Carrasco and Perissinotto, 2012). Salinity may influence spawning, incubation, survival rate, growth and breathing, as well as the vertical migration of copepod species (Lawrence *et al.*, 2004; Matias-Peralta *et al.*, 2005). However, the results indicated that the copepod assemblage was able to survive under salinity levels around 46, despite the physiological stress. The presence juvenile copepodites with higher abundance in the region demonstrates that this assembly has adaptations to hypersaline conditions even during a strong period of drought induced by El Niño (2015) (Marengo *et al.*, 2016).

4.2. Day-night and tides variations of copepods in a tropical estuary during a severe drought

Considering the definition of nocturnal migration (move up to surface layer at night and move down to deeper layer at day), the results suggested that nocturnal variation occurred in the study site despite the shallow waters. PERMANOVA results suggested such migration pattern, with significant difference between the assembly structure in the day and night and higher densities at night. Another result that indicated this migration was the comparison of the tides during day and night. The nocturnal ebb tide showed higher density, since the organisms would have migrated to the surface and would have been carried by the current to the point of collection. The same occurred between the flood tides, with the night showing higher density. We did not consider that differences in density were influenced by water column stratification, since this estuary is well mixed and does not present stratification promoted by flow into estuary of marine water (Schettini *et al.*, 2017). Hypotheses that explain nocturnal migration are related to feeding and escape of predators that are guided by vision (Haney, 1988). Experiments in field and laboratory have shown that the onset and rate of vertical movement by zooplankton can be influenced by both endogenous and exogenous factors (Richards *et al.*, 1996). Light is generally agreed to be the most important exogenous factors cue for the timing of diel vertical movement in many copepod species (Gal *et al.*, 1999; Probst and Eckmann, 2009; Brierley, 2014).

In the flood tide of the rainy season, when the water that passes through the collection point is more saline, the diversity is low. In the ebb tide of the dry season, the water that passes at the point of collection is hypersaline, decreasing the diversity, since the community is dominated by few species. Similar results were found to ichthyoplankton community in a African estuary impacted by intense drought (Sloterdijk *et al.*, 2017). Some researches on the effects on higher salinity conditions have pointed to a community with low species richness and high density (Toumi *et al.*, 2005; Cyrus *et al.*, 2011; Carrasco and Perissinotto, 2012). Some species have the capacity to tolerate abrupt changes in environmental variables (Hammer, 1993). Therefore, higher salinities that act as an obstacle to some organisms, benefit others that are able to tolerate extreme conditions and then thrive with reduced competition (Toumi *et al.*, 2005). The copepod assemblage had lower species richness and mean density than other tropical regions (Costa *et al.*, 2008; Andrade *et al.*, 2016). Low diversity may be related to stress conditions of the region (mainly the hypersalinity), which causes few resistant zooplankton species to dominate the environment.

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

In the Cluster analysis, the groups were formed according to the tides, evidencing the influence of this variable in the assembly of copepods. *Oithona oswaldocruzi*, *O. hebes*, *Parvocalanus crassirostris*, *P. cf. scotti* and *Euterpina acutifrons* have marine origin and were the most abundant copepods found in this estuarine ecosystem. They be considered ecological indicators of tides variations, according SIMPER analyses. These species are frequent in tropical areas around the world (Lam-Hoai *et al.*, 2006; Chew and Chong, 2011; Champalbert *et al.*, 2014) probably due the adaptation to wide ecological conditions, including stressful conditions induced by hypersalinity

In the groups formed by the ebb tides, the species of the genus *Oithona* had a greater contribution. *O. oswaldocruzi* and *O. hebes* are euryhaline species and can be considered estuarine and marine because they are found in a wide range of salinities (Lopes *et al.*, 1998). *O. hebes* is common in estuarine waters, being indicative of mangrove areas, usually associated with *O. oswaldocruzi* (Björnberg, 1981). In the groups formed by the flood tides, the species the family Paracalanidae had a greater contribution. Copepods of the family Paracalanidae are small (0.5 to 1.5mm) (Boltovskoy, 1999) and are widely distributed in the tropics and subtropics (Bowman, 1971; Magris *et al.*, 2011; Almeida *et al.*, 2012; Guenther *et al.*, 2015). Paracalanidae are exclusively marine and occur in coastal waters and open oceans, where they are concentrated mainly in waters close to the surface and may be dominant in the epipelagic community of plankton (Boxshall and Halsey, 2004). *Parvocalanus crassirostris* is widely found in tropical coastal waters and is often the most abundant calanoid in collections taken with plankton nets with a mesh size smaller than 150µm (Mckinnon *et al.*, 2003). Information about *Parvocalanus cf. scotti* is scarce, and there is a lack even in identification keys for the male.

Another species that contributed to the formation of the groups in the Cluster analysis was *Euterpina acutifrons*. It is a small and neritic copepod (Villate, 1997) that lives in coastal ecosystems with high concentration of particulate matter (Sautour and Castel, 1993), such as the studied tropical estuary. It is cosmopolitan in the plankton of shallow ecosystems, between 66° S and 40°S (Boxshall and Halsey, 2004) and inhabits from coastal regions to upstream areas of estuary, having wide geographic distribution due to their environmental tolerance (Björnberg, 1963).

The species of the genus *Oithona* excelled in terms of density at all times of sampling. Species of this genus have biological strategies that contribute for their successful colonization. *Oithona* has low respiration rates and spend much of their time waiting to

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

capture their prey through a quick jump (Nakamura and Turner, 1998; Turner, 2004). Such strategy allows the investment of more energy in reproduction (Turner, 2004). Efficient feeding on small particles, including nanophytoplankton and cells $>50\mu\text{m}$, can also favor its dominance in eutrophic conditions (Calbet *et al.*, 2000). All these characteristics demonstrate that this genus is highly adapted to environmental conditions of high primary productivity, low transparency, and high concentrations of suspended particulate matter, which are common in estuarine systems. This makes this genus a potential bioindicator (Almeida *et al.*, 2012). Although most *Oithona* species are less than 1 mm body length, they are an important component of mesozooplankton due to their high density (Boxshall and Halsey, 2004).

5. CONCLUSIONS

We concluded that the estuarine dynamics of copepods was different for day and night as well as for different tides, with salinity and chlorophyll as environmental drivers of such changes. Also, the copepods densities answered to such dynamics, evidencing nocturnal migration patterns for the mesozooplankton assembly and response to hypersalinity. On the other side, copepods richness responded negatively to hypersalinity, in all tides, suggesting that such condition have impacts on the biodiversity. This is reinforced by the dominance of *Oithona* genus, a taxon with opportunistic features.

REFERENCES

- ALMEIDA, L. R.; COSTA, I. S.; ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M. Composition and abundance of zooplankton community of an impacted estuarine lagoon in Northeast Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 1, p. 12-24, 2012. ISSN 1519-6984.
- ANDRADE, M. P. et al. Effects of a La Niña event on hydrological patterns and copepod community structure in a shallow tropical estuary (Taperaçu, Northern Brazil). **Journal of Marine Systems**, v. 164, p. 128-143, 2016. ISSN 0924-7963.
- ARMENGOL, L. et al. Effects of copepods on natural microplankton communities: do they exert top-down control? **Marine Biology**, v. 164, n. 6, p. 136, 2017. ISSN 0025-3162.
- BASTOS, R. B.; FEITOSA, F. A. N.; MUNIZ, K. Variabilidade espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica e hidrologia no estuário do rio Una (Pernambuco-Brasil). **Tropical Oceanography**, v. 33, n. 1, 2016.
- BJÖRNBERG, T. K. S. On the marine free-living copepods off Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 13, p. 03-142, 1963. ISSN 0373-5524.
- BJÖRNBERG, T. S. K. Copepoda Mar del Plata. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). **Atlas del Zooplankton del Atlántico Sudoccidental y Metodos de Trabajo con el Zooplankton Marino**: INIDEP, 1981. p.587-679.
- BOLTOVSKOY, D. **South Atlantic zooplankton** Leiden: Backhuys Publishers, 1999. 1706.
- BOWMAN, T. E. **The Distribution of Calanoid Copepods Off the Southeastern United States between Cape Hatteras and Southern Florida**. Smithsonian Contributions to Zoology, 1971. 1-58.
- BOXSHALL, G. A.; HALSEY, S. H. **An introduction to copepod diversity**. Ray Society, 2004. ISBN 0903874318.
- BOZZANO, R. et al. Temporal variations of zooplankton biomass in the Ligurian Sea inferred from long time series of ADCP data. **Ocean Science Discussions**, v. 10, n. 4, 2013. ISSN 1812-0806.
- BRADFORD-GRIEVE, J. M. et al. Copepoda. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). **South Atlantic Zooplankton**. Leiden: Backhuys Publishers., v.2 1999. p.869-1098.
- BRANCOA, M. P. N. C. et al. Morfodinâmica das Praias Arenosas à Barlamar e à Sotamar do Promontório Ponta do Iguape – Estado do Ceará - Brasil. **Revista de Geologia**, v. 18, n. 2, 2005.
- BRANDINI, F. P.; LOPES, R. M.; GUTSEIT, K. S. Planctonologia na plataforma continental do Brasil: diagnose e revisao bibliografica. In: (Ed.). **Planctonologia na plataforma continental do Brasil: diagnose e revisao bibliografica**: MMA, 1997.
- BRIERLEY, A. S. Diel vertical migration. **Current Biology**, v. 24, n. 22, p. R1074-R1076,

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

2014. ISSN 0960-9822. Disponível em: <

[//www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982214010677](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982214010677) >.

CALBET, A.; LANDRY, M. R.; SCHEINBERG, R. D. Copepod grazing in a subtropical bay: species-specific responses to a midsummer increase in nanoplankton standing stock. **Marine Ecology Progress Series**, v. 193, p. 75-84, 2000. ISSN 0171-8630.

CAMPOS, J. N. B.; MORAIS, J. O. **Avaliação do uso potencial de áreas estuarinas a partir da identificação e caracterização do comportamento de variáveis hidro-climáticas, oceanográficas e ambientais - estudo de caso: rio Piranji-CE**. Fortaleza, p.219. 2007

CARRASCO, N. K.; PERISSINOTTO, R. Development of a halotolerant community in the St. Lucia Estuary (South Africa) during a hypersaline phase. **PloS one**, v. 7, n. 1, p. e29927, 2012. ISSN 1932-6203.

CARRASCO, N. K.; PERISSINOTTO, R. Zooplankton community structure during a transition from dry to wet state in a shallow, subtropical estuarine lake. **Continental Shelf Research**, v. 111, p. 294-303, 2015. ISSN 02784343.

CHAMPALBERT, G. et al. Effects of the sandbar breaching on hydrobiological parameters and zooplankton communities in the Senegal River Estuary (West Africa). **Marine Pollution Bulletin**, v. 82, n. 1-2, p. 86-100, 2014. ISSN 0025-326X. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X14001453> >.

CHEW, L.; CHONG, V. C. Copepod community structure and abundance in a tropical mangrove estuary, with comparisons to coastal waters. **Hydrobiologia**, v. 666, n. 1, p. 127-143, 2011. ISSN 0018-8158.

CHEW, L. et al. Vertical migration and positioning behavior of copepods in a mangrove estuary: Interactions between tidal, diel light and lunar cycles. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 152, p. 142-152, 2015. ISSN 0272-7714. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771414003394> >.

COSTA, K. G.; PEREIRA, L. C. C.; COSTA, R. M. Short and long-term temporal variation of the zooplankton in a tropical estuary (Amazon region, Brazil). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v. 3, n. 2, p. 127-141, 2008. ISSN 1981-8114.

COX, T. J. S. et al. Estimating primary production from oxygen time series: A novel approach in the frequency domain. **Limnology and Oceanography: Methods**, v. 13, n. 10, p. 529-552, 2015. ISSN 1541-5856.

CYRUS, D. et al. Lake St Lucia, Africa's largest estuarine lake in crisis: combined effects of mouth closure, low levels and hypersalinity. **South African Journal of Science**, v. 107, n. 3-4, p. 01-13, 2011. ISSN 0038-2353.

DEVREKER, D. et al. Trade-offs of the copepod *Eurytemora affinis* in mega-tidal estuaries: insights from high frequency sampling in the Seine estuary. **Journal of Plankton Research**, v. 30, n. 12, p. 1329-1342, 2008. ISSN 0142-7873.

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

EATONE, A. D.; CLOSCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. Standard methods for the examination of water and wastewater. **American Public Health Association, Washington, DC**, p. 18-25, 1995.

FRONEMAN, P. W. Zooplankton community structure and biomass in a southern African temporarily open/closed estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 60, n. 1, p. 125-132, 2004. ISSN 0272-7714.

GAL, G. et al. Light and diel vertical migration: spectral sensitivity and light avoidance by *Mysis relicta*. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 56, n. 2, p. 311-322, 1999/02/01 1999. ISSN 0706-652X. Disponível em: < <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/f98-174> >. Acesso em: 2017/01/27.

GUENTHER, M. et al. Spatial variation of the plankton community over a short-term survey at a tropical hypereutrophic estuary. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 48, n. 1, p. 10, 2015-07-01 2015. ISSN 0374-5686. Disponível em: < <http://periodicos.ufc.br/index.php/arquivosdecienciadomar/article/view/5860> >.

HAMMER, U. T. Zooplankton distribution and abundance in saline lakes of Alberta and Saskatchewan, Canada. **International Journal of Salt Lake Research**, v. 2, n. 2, p. 111-132, 1993. ISSN 1573-8590. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/BF02905904> >.

HANEY, J. F. Diel patterns of zooplankton behavior. **Bulletin of Marine Science**, v. 43, n. 3, p. 583-603, 1988. ISSN 0007-4977.

HEMRAJ, D. A. et al. Plankton bioindicators of environmental conditions in coastal lagoons. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 184, p. 102-114, 2017. ISSN 0272-7714.

HEYWOOD, K. J. Diel vertical migration of zooplankton in the Northeast Atlantic. **Journal of Plankton Research**, v. 18, n. 2, p. 163-184, 1996. ISSN 0142-7873.

KIMMERER, W. J.; BURAU, J. R.; BENNETT, W. A. Persistence of tidally-oriented vertical migration by zooplankton in a temperate estuary. **Estuaries**, v. 25, n. 3, p. 359-371, 2002. ISSN 0160-8347.

LAM-HOAI, T.; GUIRAL, D.; ROUGIER, C. Seasonal change of community structure and size spectra of zooplankton in the Kaw River estuary (French Guiana). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 68, n. 1, p. 47-61, 2006. ISSN 0272-7714.

LARGIER, J. **Low-inflow estuaries: hypersaline, inverse, and thermal scenarios**. 2010. 247-272.

LAWRENCE, D.; VALIELA, I.; TOMASKY, G. Estuarine calanoid copepod abundance in relation to season, salinity, and land-derived nitrogen loading, Waquoit Bay, MA. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 61, n. 3, p. 547-557, 2004. ISSN 0272-7714.

LEIGH, C. et al. Ecological effects of extreme climatic events on riverine ecosystems: insights from Australia. **Freshwater Biology**, v. 60, n. 12, p. 2620-2638, 2015. ISSN 00465070.

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

LOPES, R. M.; VALE, R.; BRANDINI, F. P. Composição, abundância e distribuição espacial do zooplâncton no complexo estuarino de Paranaguá durante o inverno de 1993 e o verão de 1994. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 46, p. 195-211, 1998. ISSN 1413-7739.

Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-77391998000200008&nrm=iso >.

LUIS, G. A.; JONES, S. E. Short-Term Observations of Suspended Particulate Matter in a Macro-Tidal Inverse Estuary: The Upper Gulf of California. **Journal of Coastal Research**, v. 20, n. 3, p. 645-654, 2004. ISSN 07490208, 15515036. Disponível em: < <http://www.jstor.org/stable/4299323> >.

MACEDO SILVA, M. A. A.; SOUZA, M. F. L.; ABREU, P. C. Spatial and temporal variation of dissolved inorganic nutrients, and chlorophyll-a in a tropical estuary in northeastern Brazil: dynamics of nutrient removal. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 63, n. 1, 2015. ISSN 1679-8759.

MAGRIS, R. A.; PEREIRA, J. B.; FERNANDES, L. F. L. Interannual variability in tropical estuarine copepod assemblages off Northeastern Brazil. **Journal of Crustacean Biology**, v. 31, n. 2, p. 260-269, 2011. ISSN 1937-240X.

MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, p. 0-0, 2017. ISSN 0001-3765. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652017005019115&nrm=iso >.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-12, 2016. ISSN 0177-798X.

MATIAS-PERALTA, H. et al. Effects of some environmental parameters on the reproduction and development of a tropical marine harpacticoid copepod *Nitocra affinis* f. *californica* Lang. **Marine Pollution Bulletin**, v. 51, n. 8, p. 722-728, 2005. ISSN 0025-326X.

MCKINNON, A. D. et al. The potential of tropical paracalanid copepods as live feeds in aquaculture. **Aquaculture**, v. 223, n. 1-4, p. 89-106, 2003. ISSN 0044-8486. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848603001613> >.

MCLUSKY, D. S. **The estuarine ecosystem**. Glasgow: Blackie: 1989.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física dos Estuários**. São Paulo: Editora da USP, 2002.

MIYASHITA, L. K.; DE MELO JÚNIOR, M.; LOPES, R. M. Estuarine and oceanic influences on copepod abundance and production of a subtropical coastal area. **Journal of Plankton Research**, v. 31, n. 8, p. 815-826, August 1, 2009 2009. Disponível em: < <http://plankt.oxfordjournals.org/content/31/8/815.abstract> >.

MONTAGNA, P. A. et al. Freshwater Inflow: Science, Policy, Management. **Vol. , No. , p. December** v. 25, n. 6B, p. 1243-1245, 2002.

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

- MOSER, G. et al. Changes in phytoplankton composition in response to tides, wind-induced mixing conditions, and freshwater outflows in an urbanised estuarine complex. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, p. 97-111, 2012. ISSN 1519-6984. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842012000100012&nrm=iso >.
- NAKAMURA, Y.; TURNER, J. T. Predation and respiration by the small cyclopoid copepod *Oithona similis*: How important is feeding on ciliates and heterotrophic flagellates? **Oceanographic Literature Review**, v. 2, n. 45, p. 308, 1998. ISSN 0967-0653.
- NEUMANN-LEITÃO, S.; DE OLIVEIRA GUSMÃO, L. M.; NETO, F. F. P. Variação nictemeral do macrozooplâncton na barra Orange-canal de Santa Cruz, estado de Pernambuco (Brasil). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 3, n. 2, p. 30-49, 2009. ISSN 2175-3008.
- OHMAN, M. D. The demographic benefits of diel vertical migration by zooplankton. **Ecological Monographs**, v. 60, n. 3, p. 257-281, 1990. ISSN 1557-7015.
- OMORI, M.; IKEDA, T. **Methods in marine zooplankton ecology**. New York: J. Wiley & Sons, 1984. 332.
- PATUREJ, E.; GUTKOWSKA, A. The effect of salinity levels on the structure of zooplankton communities. **Archives of Biological Sciences**, v. 67, n. 2, p. 483-492, 2015.
- PAULA, D. P. et al. **A Hidrodinâmica do Estuário do Rio Piranji, Ceará-Brasil: implicações para o Manejo e Uso Sustentável**. XI Congresso da ABEQUA. Belém: Universidade Federal do Pará. XI: 1-3 p. 2007.
- PETRA MUHA, T. et al. The effect of distinct hydrologic conditions on the zooplankton community in an estuary under mediterranean climate influence. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 12, n. 4, p. 327-335, 2012. ISSN 16423593.
- PRITCHARD, D. W. What is an estuary: a physical viewpoint. In: LAUFF, G. H. (Ed.). **Estuaries**. Washington: American Association of Advancement of Science, 1967. p.3-5.
- PROBST, W. N.; ECKMANN, R. The influence of light on the diel vertical migration of young - of - the - year burbot *Lota lota* in Lake Constance. **Journal of fish biology**, v. 74, n. 1, p. 150-166, 2009. ISSN 1095-8649.
- RICHARDS, S. A.; POSSINGHAM, H. P.; NOYE, J. Diel vertical migration: modelling light-mediated mechanisms. **Journal of Plankton Research**, v. 18, n. 12, p. 2199-2222, 1996. ISSN 0142-7873.
- RIDDIN, T.; ADAMS, J. B. The effect of a storm surge event on the macrophytes of a temporarily open/closed estuary, South Africa. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 89, n. 1, p. 119-123, 2010. ISSN 02727714.
- RIPPINGALE, R. J.; HODGKIN, E. P. Food availability and salinity tolerance in a brackish

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

water copepod. **Marine and Freshwater Research**, v. 28, n. 1, p. 1-7, 1977. ISSN 1448-6059.

ROBINS, P. E. et al. Impact of climate change on UK estuaries: A review of past trends and potential projections. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 169, p. 119-135, 2016/02/05/2016. ISSN 0272-7714. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771415301669>>.

RUPPERT, E. E.; BARNES, R. D. **Zoologia dos Invertebrados**. . São Paulo Ed. Roca, 1996. 1028.

SAUTOUR, B.; CASTEL, J. Feeding behaviour of the coastal copepod *Euterpina acutifrons* on small particles. **Cahiers de Biologie Marine**, v. 34, n. 2, p. 239-251, 1993.

SAUTOUR, B.; CASTEL, J. Comparative spring distribution of zooplankton in three macrotidal European estuaries. **Hydrobiologia**, v. 311, n. 1, p. 139-151, 1995. ISSN 1573-5117. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/BF00008577> >.

SCHETTINI, C. A. F.; MAIA, L. P.; TRUCCOLO, E. C. Análise da variabilidade do nível da água na costa de Fortaleza, Ceará. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 44, n. 1, 2011. ISSN 0374-5686.

SCHETTINI, C. A. F.; VALLE-LEVINSON, A.; TRUCCOLO, E. C. Circulation and transport in short, low-inflow estuaries under anthropogenic stresses. **Regional Studies in Marine Science**, 2017. ISSN 2352-4855.

SCHMITT, F. G. et al. Direct evidence of tidally oriented behavior of the copepod *Eurytemora affinis* in the Seine estuary. **Ecological research**, v. 26, n. 4, p. 773-780, 2011. ISSN 0912-3814.

SEGURO, I. et al. Seasonal changes of the microplankton community along a tropical estuary. **Regional Studies in Marine Science**, v. 2, p. 189-202, 2015. ISSN 2352-4855. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235248551500064X> >.

SERPE, F. R. et al. Comunidade zooplancônica em um estuário hipersalino no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 5, n. 3, p. 51-73, 2010. ISSN 2175-3008.

SILVA, J. M. O.; DA SILVA, E. V. Análise geoambiental do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Pirangi-CE. **REVISTA GEONORTE**, v. 3, n. 6, p. 593-605, 2016. ISSN 2237-1419.

SLOTEDIJK, H. et al. Composition and structure of the larval fish community related to environmental parameters in a tropical estuary impacted by climate change. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 197, n. Supplement C, p. 10-26, 2017/10/15/2017. ISSN 0272-7714. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027277141630628X>>.

TOUMI, N. et al. Zooplankton distribution in four ponds of different salinity: a seasonal study in the solar salterns of Sfax (Tunisia). **Hydrobiologia**, v. 534, n. 1-3, p. 1-9, 2005/02/01

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

2005. ISSN 0018-8158. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-004-9356-0> >.

TREGOUBOFF, G.; ROSE, M. **Manuel de Planctonologia Méditerranéenne**. Paris: C.N.R.S., 1957.

TURNER, J. T. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. **Zoological Studies**, v. 43, n. 2, p. 255-266, 2004. Disponível em: < <http://zoolstud.sinica.edu.tw/Journals/43.2/255.pdf> >.

VALLE-LEVINSON, A. Definition and classification of estuaries. In: VALLE-LEVINSON, A. (Ed.). **Contemporary Issues in Estuarine Physics**. New York: Cambridge University Press, 2010. p.1-11.

VILAS, C.; DRAKE, P.; PASCUAL, E. Inter- and intra-specific differences in euryhalinity determine the spatial distribution of mysids in a temperate European estuary. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 369, n. 2, p. 165-176, 2009. ISSN 0022-0981. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022098108005741> >.

VILLATE, F. Tidal influences on zonation and occurrence of resident and temporary zooplankton in a shallow system (Estuary of Mundaka, Bay of Biscay). **Scientia Marina**, v. 61, n. 2, p. 173-188, 1997.

YEBRA, L. et al. Trophic conditions govern summer zooplankton production variability along the SE Spanish coast (SW Mediterranean). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 187, n. Supplement C, p. 134-145, 2017/03/05/ 2017. ISSN 0272-7714. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771416307892> >.

SUPPLEMENTARY INFORMATION

Supplementary information I: Physical and chemical variables and chlorophyll *a* in two moments during the end of rainy (May - ERS) and dry (November - EDS) seasons of Piranji Estuary (NE, Brazil).

	Tide code	Temperature (°C)	Salinity	pH	O ₂ (mg/L)	Depth (m)	Chlorophyll <i>a</i> (µg.L ⁻¹)	
Rainy	Flood 8:00	28.01	39.39	7.98	5.14	5	1.62	
	Ebb 11:00	29.1	32.23	7.97	4.3	3.1	1.83	
	Ebb 14:00	29.5	27.93	7.89	4.01	4.02	2.02	
	Flood 17:00	29.3	39.44	8.23	5.68	5.83	1.01	
	Flood 20:00	29.2	39.23	8.36	5.35	5.1	1.25	
	Ebb 23:00	29.5	33.58	8.15	4.62	3.68	0.68	
	Ebb 02:00	29.07	27.72	7.99	3.69	2.18	0.92	
	Flood 05:00	28.87	38.19	7.92	3.54	2.69	1.75	
	Dry	Flood 8:00	27.38	41.13	7.54	5.88	1.52	2.41
		Ebb 11:00	28.14	46.55	7.68	5.88	0.84	5.87
Ebb 14:00		28.73	46.18	7.26	5.67	0.73	6.7	
Flood 17:00		29.01	39.33	8.02	5.69	1.5	0.53	
Flood 20:00		28.95	40.43	8.27	5.44	0.88	1.18	
Ebb 23:00		28.33	44.65	8.19	4.66	0.79	3.35	
Ebb 02:00		28.41	46.90	8.1	3.31	0.69	4.84	
Flood 05:00		27.33	39.28	8.24	5.96	0.92	0.59	

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

Supplementary information II: Density (ind./m³) of copepod species, at day and night periods, in two distinct inflow events ERS (End of rainy season) and EDS (End of dry season) of Piranji Estuary (NE, Brazil). E: ebb tide; F: flood tide; CJ: copepodite juvenile.

	End of rainy season								End of dry season							
	08h-F	11h-E	14h-E	17h-F	20h-F	23h-E	02h-E	05h-F	08h-F	11h-E	14h-E	17h-F	20h-F	23h-E	02h-E	05h-F
Cyclopoida																
<u>Oithonidae</u>																
Oithonidae (CJ)	67.90	80.80	40.83	63.76	85.66	78.54	191.16	207.12	68.24	494.04	246.91	61.54	68.53	1131.50	222.29	44.59
<i>Oithona oswaldocruzi</i>	47.01	61.54	23.55	1.82	14.28	58.91	95.58	10.36	68.24	398.64	327.53	5.13	46.42	907.00	222.29	14.86
<i>Oithona nana</i>	0.00	2.82	3.04	25.50	6.12	0.00	6.69	34.52	4.22	0.00	5.04	18.80	11.05	0.00	0.00	22.29
<i>Oithona hebes</i>	161.9	34.76	4.56	169.42	307.97	46.10	71.42	459.11	42.21	153.32	168.80	80.34	112.74	574.73	0.00	61.93
Harpacticoida																
<u>Ectinosomatidae</u>																
<i>Microsetella rosea</i>	0.00	1.88	1.14	0.00	0.00	0.00	4.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Microsetella rosea</i> (CJ)	0.00	1.88	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<u>Euterpinidae</u>																
<i>Euterpina acutifrons</i>	28.73	10.80	0.95	109.31	95.86	24.76	47.25	279.61	21.11	3.41	52.91	95.72	19.89	7.86	7.87	79.27
<i>Euterpina acutifrons</i> (CJ)	91.40	41.81	13.10	78.34	59.15	52.08	110.04	96.65	14.77	6.81	5.04	56.41	11.05	4.49	3.93	29.73
Calanoida																
<u>Paracalanidae</u>																
Paracalanidae (CJ)	49.62	15.03	6.65	127.52	32.63	24.76	44.45	51.78	21.81	6.81	57.95	70.08	64.11	1.12	9.84	34.68
<i>Parvocalanus crassirostris</i>	33.95	25.37	7.60	85.62	112.18	18.78	35.38	131.17	47.14	23.85	136.05	150.42	90.63	7.86	21.64	121.38
<i>Parvocalanus cf. scotti</i>	151.4	50.73	12.34	125.70	224.35	32.44	64.30	214.02	105.53	6.81	146.13	317.94	227.68	8.98	29.51	359.18
<u>Pseudodiaptomidae</u>																
<i>Pseudodiaptomus</i> spp. (CJ)	0.00	2.35	2.09	3.64	28.55	9.39	22.01	27.62	17.59	17.04	42.83	8.55	15.47	105.52	0.00	0.00
<i>Pseudodiaptomus acutus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	6.12	0.85	3.88	6.90	0.70	0.00	0.00	0.00	13.26	1.12	41.31	0.00
<i>Pseudodiaptomus marshi</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	2.04	4.27	9.71	0.00	1.41	0.00	0.00	0.00	4.42	110.01	41.31	4.95
<i>Pseudodiaptomus trihamatus</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	2.52	0.00	2.21	3.37	17.70	0.00
<u>Acartiidae</u>																
<i>Acartia (Odontacartia) lilljeborgi</i> (CJ)	18.28	6.58	2.85	10.93	48.95	2.56	18.12	13.81	4.22	0.85	22.68	111.11	37.58	14.59	9.84	24.77

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

<i>Acartia (Odontacartia) lilljeborgi</i> Temoridae	2.61	2.82	0.38	16.40	4.08	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.71	4.42	1.12	0.00	2.48
<i>Temora turbinata</i> (CJ)	83.57	29.59	7.79	85.62	116.26	40.98	210.80	110.46	0.70	0.00	0.00	11.97	2.21	0.00	0.00	4.95
<i>Temora turbinata</i> Pontellidae	5.22	1.41	0.76	10.93	6.12	5.98	14.67	17.26	1.41	0.00	0.00	5.13	0.00	0.00	0.00	22.29
<i>Calanopia americana</i> (CJ)	0.00	0.94	0.00	18.22	2.04	0.00	0.00	10.36	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.95
<i>Calanopia americana</i> Clausocalanidae	0.00	0.00	0.00	1.82	0.00	2.56	2.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00
<i>Clausocalanus furcatus</i> Nauplii	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.86	0.00	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	23.50	21.61	17.28	20.04	44.87	17.93	26.97	79.39	11.96	34.07	70.55	37.61	28.74	141.44	31.47	64.40



Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

Supplementary information III: Copepod species and values of “p” with significant difference ($p < 0.05$) between in daytime and tides in rainy and dry season of Piranji Estuary (NE, Brazil). *indicated statistically significant difference.

	Seasonal	Daytime	Tide	Seasonal X Daytime	Seasonal X Tide	Daytime X Tide	Seasonal X Daytime X Tide
<i>Oithona oswaldocruzi</i>	0.06	0.65	0.05	0.73	0.1	0.49	0.64
<i>Oithona nana</i>	0.51	0.46	0.09	0.93	0.73	0.37	0.74
<i>Oithona hebes</i>	0.89	0.25	0.67	0.81	0.05	0.78	0.47
<i>Microsetella rosea</i>	0.2	0.76	0.2	0.76	0.2	0.76	0.76
<i>Euterpina acutifrons</i>	0.06	0.23	0.08	0.25	0.14	0.43	0.5
<i>Parvocalanus crassirostri</i>	0.77	0.41	0.03*	0.33	0.32	0.05	0.36
<i>Parvocalanus scotti</i>	0.63	0.09	0.00*	0.78	0.83	0.03*	0.16
<i>Pseudodiaptomus acutus</i>	0.44	0.18	0.7	0.47	0.48	0.66	0.45
<i>Pseudodiaptomus marshi</i>	0.55	0.57	0.55	0.3	0.31	0.3	0.53
<i>Pseudodiaptomus trihamatus</i>	0.18	0.24	0.23	0.27	0.26	0.34	0.39
<i>Acartia (Odontacartia) lilljeborgi</i>	0.29	0.6	0.18	0.17	0.45	0.7	0.31
<i>Temora turbinata</i>	0.26	0.18	0.21	0.84	0.79	0.8	0.35
<i>Calanopia americana</i>	0.02*	0.13	0.28	0.28	0.13	0.02*	0.01*
<i>Clausocalanus furcatus</i>	0.09	0.09	0.09	0.01*	0.01*	0.01*	0.09

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?



2

Influência da hipersalinidade nos copépodes estuarinos durante um ano de seca extrema

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

Influência da hipersalinidade nos copépodes estuarinos durante um ano de seca extrema

RESUMO

O estudo de secas severas em zonas costeiras semiáridas pode fornecer importantes informações para a predição das mudanças climáticas e seus efeitos no zooplâncton estuarino. Entretanto, este conhecimento é escasso mundialmente. O objetivo do trabalho foi avaliar a distribuição sazonal da assembleia de copépodes em um estuário sob influência de hipersalinidade durante um período que foi considerado a pior seca registrada no Nordeste do Brasil. Testaram-se as hipóteses de que 1) as densidades de copépodes são menores durante o período seco e que 2) a assembleia apresenta diferenças sazonais (seco/chuvoso) e espaciais ao longo do estuário. Os resultados indicam que a salinidade média no período chuvoso foi $36,46 \pm 14,56$ e no seco $49,24 \pm 8,75$, configurando a hipersalinidade. As maiores densidades, nos dois períodos, foram dos mesmos táxons: Oithonidae (copepodito juvenil), *Parvocalanus* cf. *scotti*, *Parvocalanus crassirostris*, *Oithona hebes* e *Oithona oswaldocruzi*. Os resultados indicam que a densidade média foi maior no período seco, o que levou a refutação da hipótese 1. A assembleia de copépodes não apresentou diferença significativa entre o período chuvoso e seco (PERMANOVA $p > 0,05$) o que negou a hipótese 2. A análise de agrupamento formou dois grupos, um com as amostras próximas a foz e outro com as amostras mais a montante do rio sugerindo diferenças espaciais no estuário invertido. O teste BEST apontou que as variáveis salinidade, nitrogênio total, sílica e clorofila *a* foram responsáveis pelas variações na assembleia de copépodes. A comunidade foi influenciada significativamente pelo período de seca extrema, apresentando uma homogeneização temporal em termos de composição, e a um aumento expressivo e inesperado da densidade no período seco, possivelmente devido florações do fitoplâncton resistente a hipersalinidade e ocorrência de espécies de copépodes marinhos adaptados às condições de estresse. Os resultados indicam que a hipersalinidade pode induzir mudanças no funcionamento e dinâmica dos copépodes em estuários tropicais.

Palavras-chave: Mesozooplâncton, Salinidade, Mudanças climáticas.

1. INTRODUÇÃO

Em ecossistemas aquáticos, copépodes são normalmente o componente mais importante do mesozooplâncton, tanto em termos de abundância como de biomassa (Ara, 2004). Copepoda é considerado um grupo chave nos estuários por predação de outros consumidores do plâncton (Gismervik, 2006) e servir como bioindicadores de mudanças ambientais (Hemraj *et al.*, 2017). Estes organismos constituem um elo importante na transferência de energia entre o fitoplâncton e os demais níveis tróficos (Miyashita *et al.*, 2009; Armengol *et al.*, 2017). Portanto, sua distribuição tem implicações ecológicas importantes para a produção pesqueira e para os ciclos biogeoquímicos regionais e globais (Miyashita *et al.*, 2009). Níveis tróficos inferiores vivem em condições de extremos fisiológicos, mas os poucos táxons que são adaptados ao ambiente estuarino prosperam e podem alcançar densidades muito altas, dando suporte para o macrozooplâncton, peixes e outras populações de consumidores de nível mais alto (Breckenridge *et al.*, 2015). Essas condições de extremo fisiológico podem ser observadas através das variações intra-anuais em que um estuário está submetido (Sarma *et al.*, 2010).

Na região tropical, a assembleia de copépodes não apresenta uma composição homogênea ao longo do tempo, podendo apresentar variações sazonais entre os períodos seco e chuvoso (Gonçalves *et al.*, 2010; Rajkumar *et al.*, 2014; Truong *et al.*, 2014). A duração e a intensidade da descarga de água doce pode influenciar na salinidade, temperatura, nutrientes, tempo de residência, entre outros fatores, que podem desempenhar um papel importante na composição das comunidades estuarinas (Breckenridge *et al.*, 2015).

Em relação à distribuição espacial, os copépodes são impulsionados por fatores ambientais, disponibilidade de alimentos, e, geralmente, pela interação desses fatores (Li *et al.*, 2000; Froneman, 2001; 2004; Breckenridge *et al.*, 2015). A salinidade é reconhecida como um importante fator ecológico, com potencial para influenciar drasticamente a composição e a dinâmica dos ecossistemas aquáticos (Carrasco and Perissinotto, 2012). Essa variável sofre mudanças ao longo do estuário e do ano, e pode influenciar os organismos, delimitando a distribuição, sendo considerada fator-chave para algumas espécies (Feitosa *et al.*, 1999). Entretanto, impactos locais e globais tem modificado os padrões de salinidade em estuários ao redor do mundo levando a hipersalinidade, o que pode ter implicações importantes na estrutura e dinâmica dos organismos (Robins *et al.*, 2016; Sloterdijk *et al.*, 2017).

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

Em determinadas regiões do mundo submetidas a condições naturais específicas, a salinidade pode atingir altos níveis configurando situações de hipersalinidade em estuários. Um estuário hipersalino é aquele em que sua salinidade é maior que as águas adjacentes (oceânicas) e um estuário hiposalino (clássico) é o oposto, sua salinidade é menor que a do oceano adjacente (Largier, 2010). As águas hipersalinas podem ocorrer em estuários rasos, com baixo fluxo fluvial, altas taxas de evaporação e baixas taxas de precipitação (Cyrus *et al.*, 2011; Carrasco and Perissinotto, 2012). Tais fatores são comuns em regiões estuarinas localizadas em regiões semiáridas e áridas (Medeiros *et al.*, 2010; Hemraj *et al.*, 2017; Schettini *et al.*, 2017). Apesar de natural em muitas regiões, a hipersalinidade tem se intensificado ao redor do mundo devido a uma combinação de impactos antropogênicos locais (barragens, açudes, uso de água para irrigação, etc.) e globais (como aumento da temperatura da superfície do mar e redução da precipitação).

No contexto das mudanças climáticas globais, o aumento do déficit de precipitação (seca) desponta como um fator de grande importância ecológica em ambientes estuarinos. Nos trópicos, incluindo as regiões áridas e semiáridas, a intensificação dos períodos de seca aparece como um fator de grande importância ecológica no controle de características das populações e comunidades (Bacon, 1973). A estiagem pode intensificar a ocorrência de águas hipersalinas e influenciar a distribuição da salinidade do estuário, o que pode levar a mudanças sazonais e espaciais em importantes componentes da base da cadeia alimentar, como a comunidade zooplancônica (Hemraj *et al.*, 2017). Estudos mostram a influência das chuvas nos estuários tropicais, onde as maiores densidades de copépodes são encontradas nesse período (Andrade *et al.*, 2016; Atique *et al.*, 2017; Salvador and Bersano, 2017). Entretanto, este tema tem sido pouco investigado em estuários tropicais sob influência da hipersalinidade e em zonas áridas e semiáridas.

Trabalhos na região tropical do Brasil e do mundo seguem abordagem sazonal (Magalhães *et al.*, 2011; Almeida *et al.*, 2012; Rajkumar *et al.*, 2014) e também espacial (Magalhães *et al.*, 2006; Gonçalves *et al.*, 2010; Truong *et al.*, 2014), mas pouco se conhece sobre a resposta dos copépodes em estuários semiáridos sob a influência da hipersalinidade e de períodos longos de seca. O conhecimento ecológico em estuários naturalmente submetidos a condições de hipersalinidade pode fornecer um importante panorama para a predição dos cenários sob efeito das mudanças ambientais globais. Um dos locais no mundo importantes como modelo para este tema científico são os estuários na costa semiárida do Nordeste do Brasil. As secas naturais são características desta região semiárida, e esta zona já vem nessas

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

condições há cinco anos (2012-2017) consecutivas, sendo considerada a pior seca já registrada (Marengo *et al.*, 2016). Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a distribuição sazonal da assembleia de copépodes em um estuário sob influência de hipersalinidade durante um período que foi considerado a pior seca registrada. Testaram-se, as hipóteses de que 1) as densidades de copépodes são menores durante o período seco e que 2) a assembleia apresenta diferenças temporais (seco/chuvoso) e espaciais ao longo do estuário.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O estuário do rio Piraji, localizado na costa semiárida do Nordeste do Brasil (Estado do Ceará, município de Beberibe), é formado por canais estreitos, rasos e com uma descarga fluvial pequena (Schettini *et al.*, 2017). A área de estudo é influenciada pelo clima semiárido, durante o período seco não possui entrada de água doce e pode ser classificado como estuário de baixo fluxo (Largier, 2010). A região comumente apresenta precipitação de acordo com a sazonalidade climática própria do semiárido (período seco e chuvoso) (Figura 1). Entretanto, no ano da coleta de dados (2015), o padrão de chuvas foi abaixo da média decorrente de anomalias de precipitação associadas ao evento “El Niño”. Além disso, a seca severa já vinha acumulada desde o ano de 2012 (Marengo *et al.*, 2016). O clima regional é influenciado, principalmente, pelo posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Quando esta se encontra no hemisfério sul promove chuvas intensas e relativamente regulares (meses de março e abril) e quando posicionada no hemisfério norte, configura o início da estiagem, com dias ensolarados e quentes (Brancoa *et al.*, 2005).

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

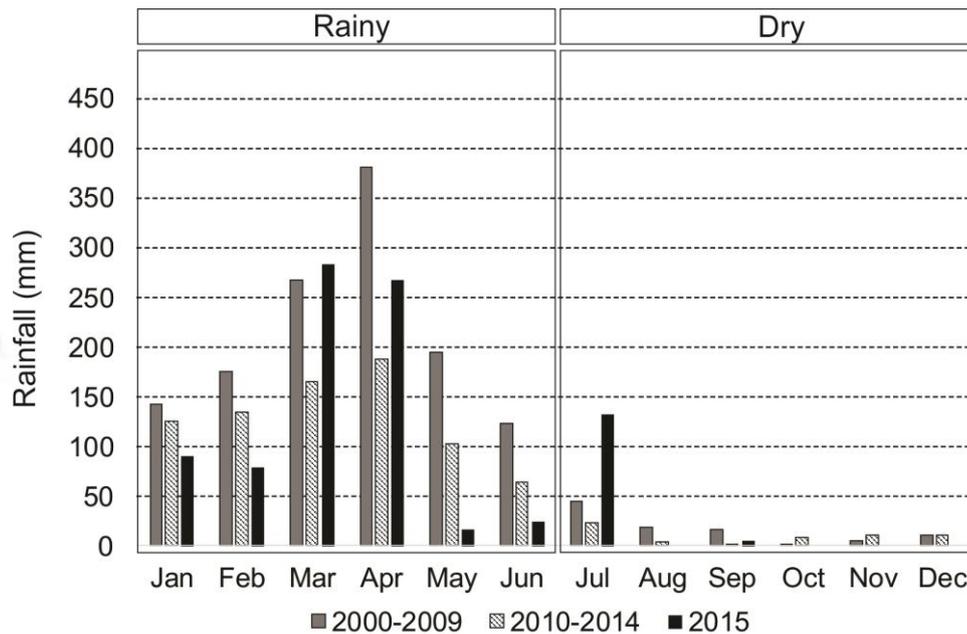


Figura 1: Médias pluviométricas de série histórica (2000-2014) e o ano de coleta (2015).

O sistema de correntes no estuário apresenta variações de direção e intensidade vinculadas, sobretudo às oscilações de mesomarés. Tais características tornam o sistema estuarino complexo, principalmente na região da desembocadura, onde existem extensos bancos de sedimentação e canais de navegação com baixas profundidades (Paula *et al.*, 2007). Na foz do rio, há a presença de barreira arenosa, do tipo *spit* (Figura 2), paralela ao rio, que tem aproximadamente 3,2 km de comprimento e 230 m de largura (Silva and Da Silva, 2016). Essa barreira causa um atraso na maré enchente e vazante dentro do estuário. A presença de águas hipersalinas em alguns períodos do ano é uma característica importante desse estuário, que está relacionado a vários fatores locais e globais: localização em uma região semiárida, barramentos ao longo do estuário para a captação de água e instalação de açudes (Paula *et al.*, 2007), alta taxa de evaporação e o escoamento superficial (Savenije and Pagès, 1992), baixa profundidade (média 2,44m) (Campos and Morais, 2007) e a pior seca já registrada (Marengo *et al.*, 2016).

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

2.2. Amostragem

As amostras foram coletadas no estuário em três estações (P1, P2 e P3) visando entender a distribuição espacial, onde P1 se localizou mais à montante, o P2 em uma zona intermediária e o P3 mais próximo à foz (Figura 2). Foram realizadas seis campanhas, três no período chuvoso (fevereiro, abril e junho) e três no período seco (agosto, outubro e dezembro) de 2015, com coletas na maré vazante um dia antes da lua cheia. Os arrastos horizontais subsuperficiais (3 min) foram realizados a bordo de uma embarcação, com rede cilíndrico-cônica de 120 μm e abertura de boca de 30 cm, equipadas com fluxômetro modelo “General Oceanics”. Após a coleta, as amostras foram imediatamente fixadas em solução de formaldeído 4%, tamponada com tetraborato de sódio (0,5 g/L).

Em laboratório, cada amostra foi fracionada com um subamostrador do tipo Motoda (Omori and Ikeda, 1984). Após obtenção das alíquotas, cujos fracionamentos variaram de 1/32 a 1/1024, todos os copépodes presentes nas subamostras foram contados através de microscópio estereoscópico. Os táxons foram identificados até o menor nível taxonômico possível. As espécies foram identificadas de acordo com bibliografia especializada (Tregouboff and Rose, 1957; Björnberg, 1981; Bradford-Grieve *et al.*, 1999).

As variáveis ambientais (temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido e profundidade) foram mensuradas por uma sonda multiparamétrica (YSI 6660). Para a determinação da Clorofila *a*, alíquotas de água coletadas na subsuperfície com garrafa Van Dorn foram filtradas em filtros de fibra de vidro de porosidade 0,7 μm (47 mm de diâmetro, tipo GF - 3, Macherey-Nagel, Düren, Alemanha) em triplicata. Após a filtração, os filtros foram mantidos congelados para subsequente determinação espectrofotométrica da clorofila *a* e feopigmentos pela extração com acetona 90% (método 10200H) (Eatone *et al.*, 1995). As amostras destinadas às determinações de nutrientes dissolvidos foram filtradas em filtros de fibra de vidro de porosidade de 0,7 μm (47 mm de diâmetro, tipo GF-3, Macherey-Nagel, Düren, Alemanha), com exceção das amostras destinadas à determinação de sílica, que foram filtradas em membranas de ésteres mistos de celulose de porosidade 0,45 μm (47 mm de diâmetro, HATF, Millipore, Billerica, MA, EUA). As determinações dos nutrientes dissolvidos (N-amoniaco, nitrito, nitrato, fosfato e silicato) foi realizada de acordo com os métodos espectrofotométricos indicados por Baumgarten *et al.* (1996) para águas marinhas e estuarinas. As amostras destinadas às determinações de nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT) não foram filtradas, sendo analisadas de acordo com os métodos espectrofotométricos

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

(Unesco, 1983). Após as filtrações das amostras para as determinações de nutrientes, também foram realizadas filtrações com filtros de fibra de vidro com porosidade 1,2 μm (Millipore APFC) previamente secos em estufa a 105 $^{\circ}\text{C}$ e calcinados em forno mufla a 480 $^{\circ}\text{C}$ para posterior determinação de sólidos suspensos totais (SST), que foram realizadas por gravimetria conforme o método 2540 D. Eaton *et al.* (2005).

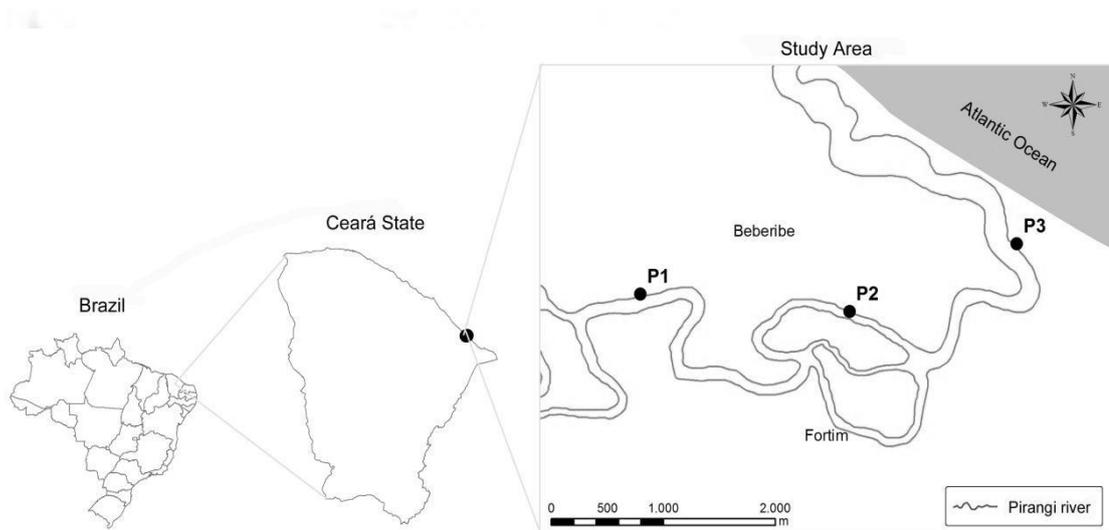


Figura 2: Estuário do rio Pirangi (NE, Brasil), com destaque para os três pontos de coleta (P1-3).

2.3. Análise dos dados

A densidade (ind./m^3) de todas as espécies de copépodes foi calculada nas estações amostradas. Foi calculada a frequência de ocorrência de cada espécie no período chuvoso e no período seco, onde os valores foram classificados em muito frequente ($>70\%$), frequente ($70\% \text{ — } 30\%$), pouco frequente ($30\% \text{ — } 10\%$) e esporádico ($\leq 10\%$). Esta classificação é comumente utilizada em estudos sobre Copepoda por diversos autores (Neumann-Leitão *et al.*, 2008; Dias and Bonecker, 2009; Nascimento-Vieira *et al.*, 2010). A estrutura da comunidade foi descrita através da riqueza de Margalef (d), da equitabilidade de Pielou (J') e do índice de diversidade de Shannon-Weaver (H'); este último com logaritmo neperiano. Para analisar a similaridade entre os períodos foi utilizada a análise de agrupamento baseada na similaridade de Bray-Curtis (com amalgamento por UPGMA). Os agrupamentos formados foram testados com o teste SIMPROF com significância de 5%. Uma rotina de percentual de similaridade (Simpser) foi realizada para constatar quais espécies contribuíram mais para o agrupamento.

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

Visando testar a hipótese de diferenças na estrutura das comunidades no período chuvoso e seco, as assembleias de copépodes foram comparadas através da análise de PERMANOVA, utilizando o programa Primer (*Plymouth Routine in Multivariate Ecology*) 6.0. Os dados foram transformados previamente para $\log(x+1)$. O software Primer 6.0 foi usado para os cálculos. Foi realizada uma ANOVA bi-fatorial ($p < 0,05$) para comparar as densidades das espécies de copépodes, entre 1) variável sazonal, entre o período chuvoso e seco e 2) variável espacial entre os três pontos de coleta. Para determinar a importância das variáveis ambientais na distribuição dos copépodes, foi realizado um teste BEST (BIO-ENV *Stepwise*).

3. RESULTADOS

3.1. Variáveis ambientais

O estuário do rio Piranji apresentou uma baixa profundidade nos dois períodos estudados, com temperaturas, pH e oxigênio dissolvido estáveis ao longo do ano. A salinidade apresentou variação, com média de $36,97 \pm 11,55$ no período chuvoso e altos valores no período seco ($45,99 \pm 8,58$) (Tabela I). A clorofila *a* variou espacialmente com os valores diminuindo do ponto mais à montante do rio (P1) para o ponto mais próximo à foz (P3). Uma variação durante o ano foi observada nos pontos 1 e 2, onde a clorofila foi inicialmente muito baixa, mas depois teve um aumento expressivo nos meses de outubro ($P1=41,31 \mu\text{gL}^{-1}$) e dezembro ($P1=38,60 \mu\text{gL}^{-1}$) (Figura 3). Os valores encontrados para os nutrientes podem ser observados na Informação suplementar I.

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

Tabela I: Variáveis ambientais nos períodos chuvoso e seco, no Estuário do rio Piranji (NE, Brasil). (T) Temperatura, (S) Salinidade, pH, (OD) Oxigênio dissolvido, (P) Profundidade.

		T	S	pH	OD	P	
Chuvoso	Fevereiro	P1	29,15± 0,09	48,61±0,08	8,83±0,02	3,79±0,51	1,95±0,63
		P2	29,06± 0,42	48,35±0,17	8,76±0,49	3,84±0,73	1,47±0,47
		P3	28,07±0,25	44,45±5,90	8,75±0,09	5,55±0,33	2,79±1,40
	Abril	P1	28,19±0,06	11,43±0,02	7,30±0,01	4,18±0,59	2,87±1,12
		P2	28,12±0,03	27,66±0,26	7,62±0,01	4,71±0,11	2,28±0,38
		P3	27,94±0,01	38,24±0,01	7,81±0,04	5,68±0,06	3,08±1,72
	Junho	P1	28,42±0,01	36,83±0,01	8,05±0,01	4,77±0,02	2,02±0,44
		P2	28,07±0,03	38,56±10,65	8,07±0,01	4,58±0,81	2,56±0,73
		P3	27,15±0,01	38,60±0,06	8,03±0,07	5,48±0,04	3,35±1,06
Seco	Agosto	P1	27,02±0,01	42,32±0,02	7,92±0,01	4,64±0,04	1,59±0,27
		P2	25,89±0,01	39,25±0,01	8,18±0,01	5,13±0,10	1,65±0,65
		P3	25,60±0,01	36,87±0,01	8,13±0,01	5,94±0,03	3,30±0,90
	Outubro	P1	27,58±0,01	54,57±0,01	7,89±0,01	6,01±0,05	1,78±0,45
		P2	27,02±0,02	47,09±0,19	7,73±0,01	4,65±0,65	2,82±1,07
		P3	26,15±0,01	39,73±,01	7,66±0,01	5,73±0,10	2,86±0,93
	Dezembro	P1	28,28±0,02	62,22±0,25	8,60±0,05	5,77±0,80	1,82±0,82
		P2	27,64±0,20	51,82±0,06	8,48±0,01	5,00±0,94	1,59±0,41
		P3	26,83±0,05	40,04±0,03	8,47±0,03	6,04±0,01	2,81±0,78

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

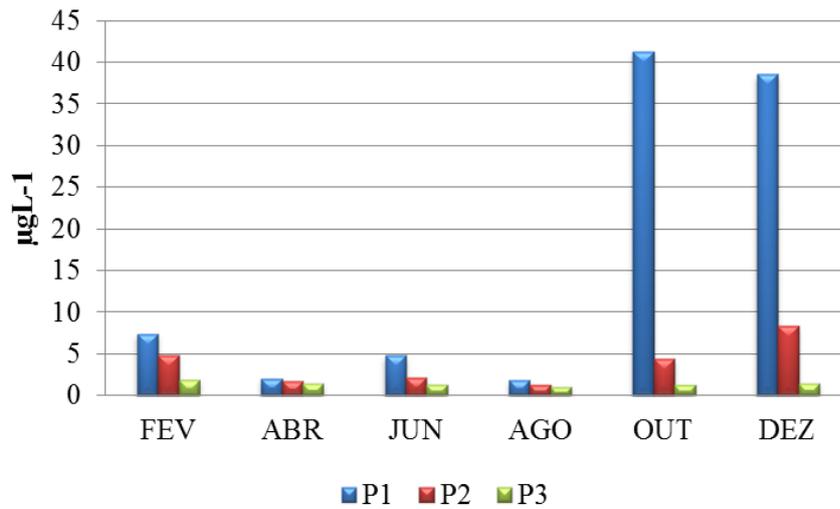


Figura 3: Clorofila *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$) nos meses de coleta, no Estuário do rio Piranji (NE, Brasil).

A condição de hipersalinidade (>38) esteve presente na maior parte do período estudado (fevereiro, agosto, outubro e dezembro), sendo o maior valor encontrado na estação mais distante da foz no mês de dezembro (62,22). O estuário também apresentou um período hiposalino no mês de abril e no final do período chuvoso (junho), onde o menor valor foi reportado nesta mesma estação à montante no mês de abril (11,43) (Figura 4). A salinidade se comportou espacialmente de maneira oposta nos dois períodos. No chuvoso, ela aumentou em direção à foz ($P1 < P2 < P3$), e no período seco ela aumentou em direção à montante ($P1 > P2 > P3$) (Figura 5).

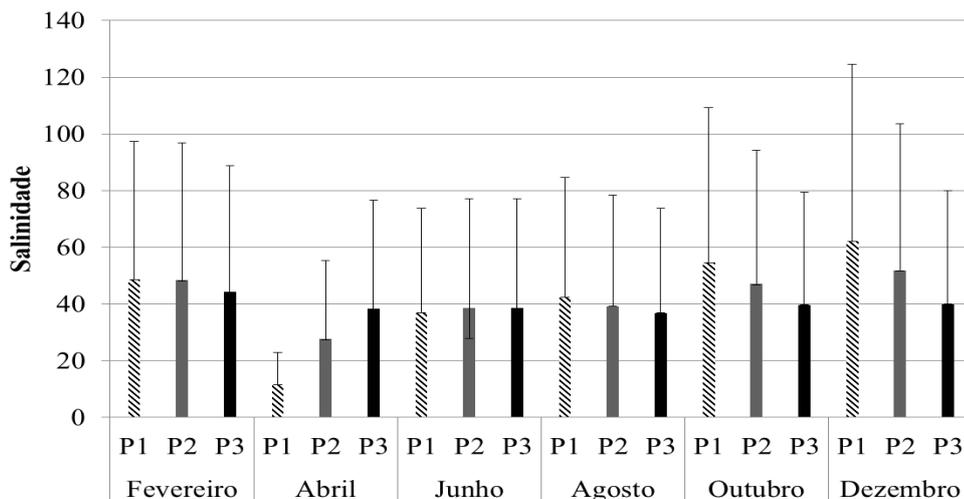


Figura 4: Salinidade média nos seis meses de coleta, nas condições de hiposalinidade e hipersalinidade, no Estuário do rio Piranji (NE, Brasil).

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

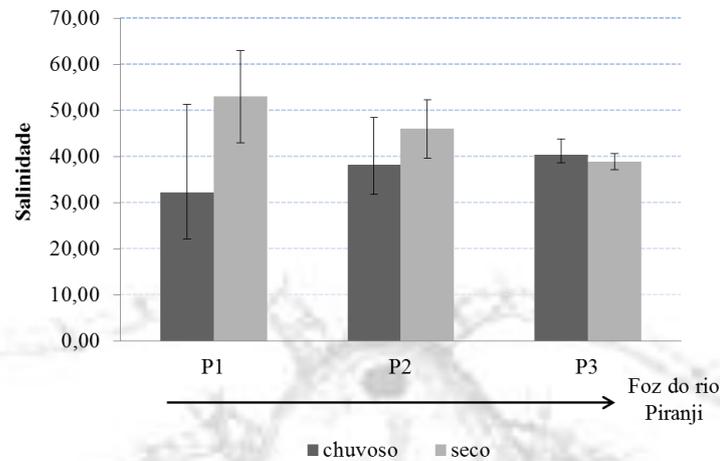


Figura 5: Salinidade média nos três pontos de coleta, nos períodos chuvoso e seco, no Estuário do rio Piranji (NE, Brasil).

3.2. Estrutura e composição da assembleia de copépodes

A assembleia de copépodes foi composta por 19 espécies, classificadas em três ordens. A ordem Calanoida foi representada por 9 espécies, Harpacticoida por 6 e Cyclopoida por 4. A densidade foi maior no período seco (1124,09 ind./m³) em relação ao chuvoso (683,71 ind./m³). A assembleia de copépodes não foi significativamente diferente ($p > 0,05$) entre o período seco e chuvoso (PERMANOVA, $p = 0,305$), porém foram significativamente diferentes ($p < 0,05$) entre os pontos de coleta (P1, P2 e P3) (PEMANOVA $p = 0,004$). Ou seja, não apresenta variação sazonal, mas apresenta variação espacial. A menor densidade (166,34 ind./m³) foi encontrada no P1 de abril (período chuvoso e hiposalino) e a maior (2084,61 ind./m³) no P3 de agosto (período seco e hipersalino) (Figura 5). Foi observado nos três pontos de coleta que as densidades tiveram uma redução (>50%) considerável no mês de outubro para o de dezembro, mês no qual a média da salinidade foi $>50 \pm 11$ (limiar de salinidade) (Figura 6). As maiores densidades em todo período de estudo foram: espécies da família Oithonidae (copepodito juvenil), *Parvocalanus* cf. *scotti*, *Parvocalanus crassirostris*, *Oithona hebes* e *Oithona oswaldocruzi* (Tabela 2). De acordo com a análise ANOVA bifatorial ($p < 0,05$), algumas espécies e estágios de copepodito juvenil apresentaram diferença significativa entre os períodos seco e chuvoso e entre os pontos de coleta (Informações suplementares II).

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

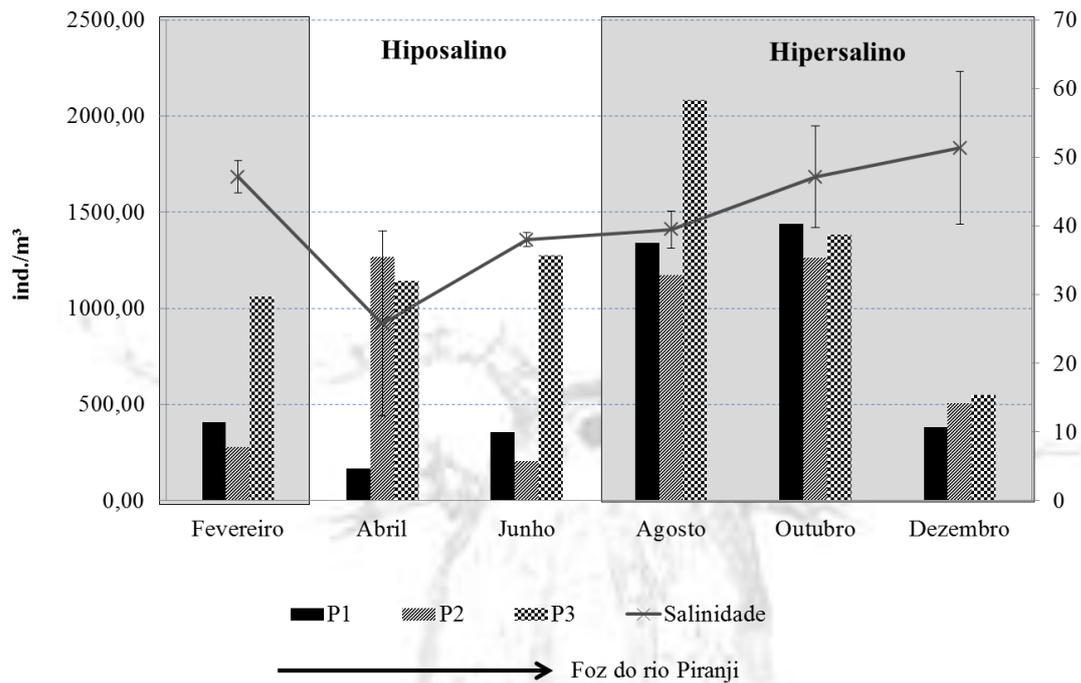


Figura 6: Densidade (ind./m³) de copépodes e salinidade nos meses de estudo no Estuário do rio Piranji (NE, Brasil).

No período chuvoso, os táxons considerados muito frequentes (>70%) corresponderam a 29%, com destaque para os estágios de copepodito juvenil de Oithonidae, Paracalanidae, Pseudodiaptomidae e *Acartia (Odontacartia) lilljeborgi*, e o Calanoida *Parvocalanus crassirostris*, com 100% de frequência (Tabela II). No período seco, os táxons considerados muito frequentes (>70%) corresponderam a 29%, destacando os copepoditos juvenis de Oithonidae e Pseudodiaptomidae, e o Calanoida *Parvocalanus crassirostris*.

Tabela II: Densidade média (ind./m³) e frequência de ocorrência (%) das espécies de copépodes, nos períodos chuvoso e seco, no Estuário do rio Piranji (NE, Brasil). Muito frequente (****), frequente (***), pouco frequente (**), esporádica (*) e ausente (-).

	Chuvoso	%	Seco	%
Cyclopoida				
Oithonidae				
Oithonidae (copepodito juvenil)	176,01±181,52	****	384,76±310,98	****
<i>Oithona oswaldocruzi</i>	37,95±32,77	****	231,54±208,76	****
<i>Oithona nana</i>	17,57±20,24	***	24,75±22,86	***
<i>Oithona hebes</i>	81,50±77,05	***	37,91±48,11	****
Corycaeidae				
<i>Ditrichocorycaeus amazonicus</i>	2,78±1,11	**	0,77±0,00	**
<i>Ditrichocorycaeus</i> spp. (copepodito juvenil)	2,27±2,42	**	-	-

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

Harpacticoida				
Harpacticoida sp1	2,26±1,43	***	5,21±6,10	***
Harpacticoida sp1 (copepodito juvenil)	2,76±0,82	***	11,13±10,41	***
Harpacticoida sp2	2,26±0,00	**	1,73±0,34	***
Harpacticoida sp2 (copepodito juvenil)	-	-	0,98±0,00	**
Harpacticoida (copepodito juvenil)	-	-	7,77±6,35	***
Harpacticoida sp3	-	-	8,02±11,49	***
Harpacticoida sp3 (copepodito juvenil)	-	-	0,92±0,00	**
Euterpinidae				
<i>Euterpina acutifrons</i>	11,97±19,88	****	20,82±28,78	****
<i>Euterpina acutifrons</i> (copepodito juveni)	33,23±61,52	****	14,91±15,46	****
<i>Microsetella norvegica</i> (copepodito juvenil)	8,15±5,43	***	-	-
Ectinosomatidae				
<i>Microsetella norvegica</i>	5,26±0,00	**	-	-
<i>Microsetella rosea</i>	2,27±2,42	**	-	-
Calanoida				
Paracalanidae				
Paracalanidae (copepodito juvenil)	30,25±53,03	****	17,28±32,05	***
<i>Parvocalanus crassirostris</i>	81,52±119,94	****	60,24±98,85	****
<i>Parvocalanus cf. scotti</i>	78,65±125,92	****	44,32±69,01	***
<i>Paracalanus aculeatus</i>	-	-	2,94±0,00	**
Pseudodiaptomidae				
<i>Pseudodiaptomus</i> spp. (copepodito juvenil)	8,41±7,28	****	11,98±7,69	****
<i>Pseudodiaptomus marshi</i>	1,00±0,80	***	0,55±0,31	**
<i>Pseudodiaptomus trihamatus</i>	-	-	0,36±0,04	**
<i>Pseudodiaptomus acutus</i>	2,42±2,70	***	1,69±0,88	***
Acartiidae				
<i>Acartia (Odontacartia) lilljeborgi</i>	17,81±31,44	***	1,74±1,43	****
<i>Acartia (Odontacartia) lilljeborgi</i> (copepodito juvenil)	9,81±11,01	****	15,69±20,32	****
Temoridae				
<i>Temora turbinata</i> (copepodito juvenil)	34,30±48,53	***	44,67±43,22	***
<i>Temora turbinata</i>	6,98±11,42	***	3,96±3,65	***
Pontellidae				
<i>Calanopia americana</i> (copepodito juvenil)	1,80±0,82	***	2,94±0,00	**
Centropagidae				
<i>Centropages velificatus</i>	-	-	-	-
<i>Centropages velificatus</i> (copepodito juvenil)	10,78±12,88	**	-	-
Calanoida (copepodito juvenil)	7,53±7,97	***	4,15±5,40	**
Náuplio	28,36±17,11	****	34,97±31,59	****

Todos os descritores da comunidade (número de espécies (S), riqueza de Margalef (d), equitabilidade de Pielou (J') e índice de diversidade de Shannon-Weaver (H')) apresentaram maiores valores médios no ponto próximo à foz do estuário (P3), em ambos os períodos, com exceção da riqueza de Margalef (d) no ponto mais distante da foz (P1), no

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

período chuvoso. A equitabilidade de Pielou (J') foi maior que 0,50 em todo período de estudo, indicando distribuição homogênea da assembleia de copépodes. O ponto mais distante da foz (P3) no período seco apresentou o menor valor para esse índice (Tabela III). Quando comparamos os meses de coleta, observamos que abril e dezembro apresentaram maior número de espécies (S) e riqueza de Margalef (d), bem como o mês de outubro apresentou menor de equitabilidade de Pielou (J') (Figura 7).

Tabela III: Número de espécies (S), riqueza de Margalef (d), equitabilidade de Pielou (J') e índice de diversidade de Shannon-Weaver (H'), nos períodos chuvoso e seco no Estuário do rio Piranji (NE, Brasil).

		S	d	J'	$H'(\log_e)$
Chuvoso	P1	$7,67 \pm 1,53$	$2,71 \pm 0,70$	$0,87 \pm 0,02$	$1,76 \pm 0,20$
	P2	$7,00 \pm 2,65$	$2,39 \pm 0,71$	$0,83 \pm 0,08$	$1,56 \pm 0,42$
	P3	$9,33 \pm 1,15$	$2,48 \pm 0,23$	$0,93 \pm 0,02$	$2,08 \pm 0,15$
Seco	P1	$7,00 \pm 1,00$	$2,38 \pm 0,50$	$0,77 \pm 0,16$	$1,51 \pm 0,38$
	P2	$8,00 \pm 1,00$	$2,50 \pm 0,46$	$0,88 \pm 0,06$	$1,81 \pm 0,03$
	P3	$9,67 \pm 0,58$	$2,62 \pm 0,28$	$0,93 \pm 0,01$	$2,12 \pm 0,03$

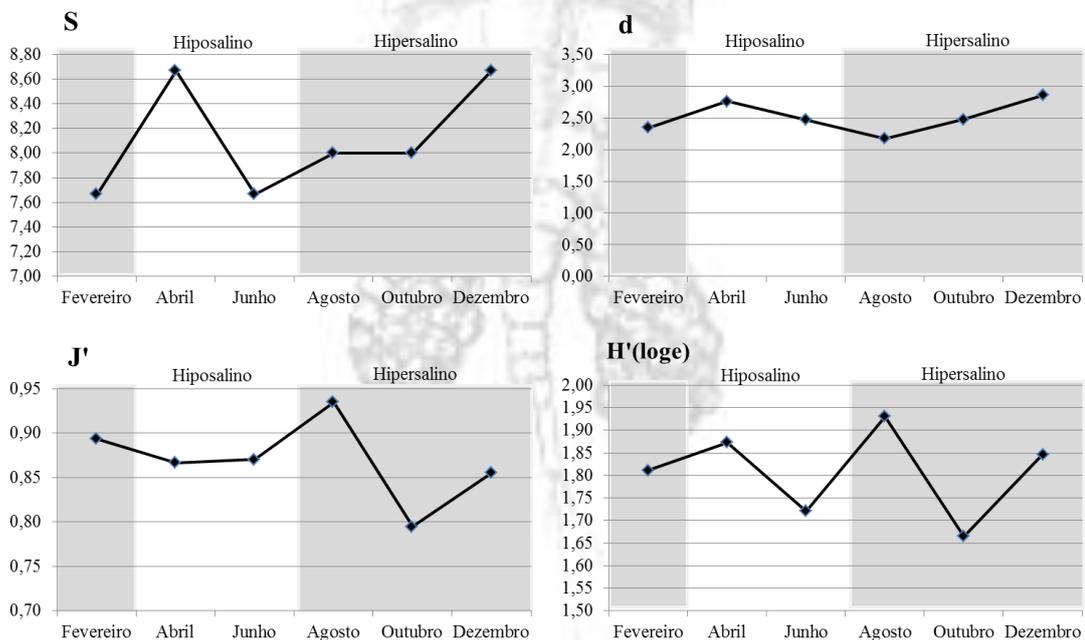


Figura 7: Número de espécies (S), riqueza de Margalef (d), equitabilidade de Pielou (J') e índice de diversidade de Shannon-Weaver (H'), nos meses de coleta destacando os períodos hiposalino e hipersalino no estuário do rio Piranji (NE, Brasil).

A análise de agrupamento de cluster mostrou a formação de dois grupos (Figura 7). O primeiro grupo reuniu as amostras do ponto mais próximo à foz (P3) e o segundo grupo,

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

as amostras dos pontos mais distantes da foz (P1 e P2), de ambos os períodos sugerindo variação espacial no estuário.

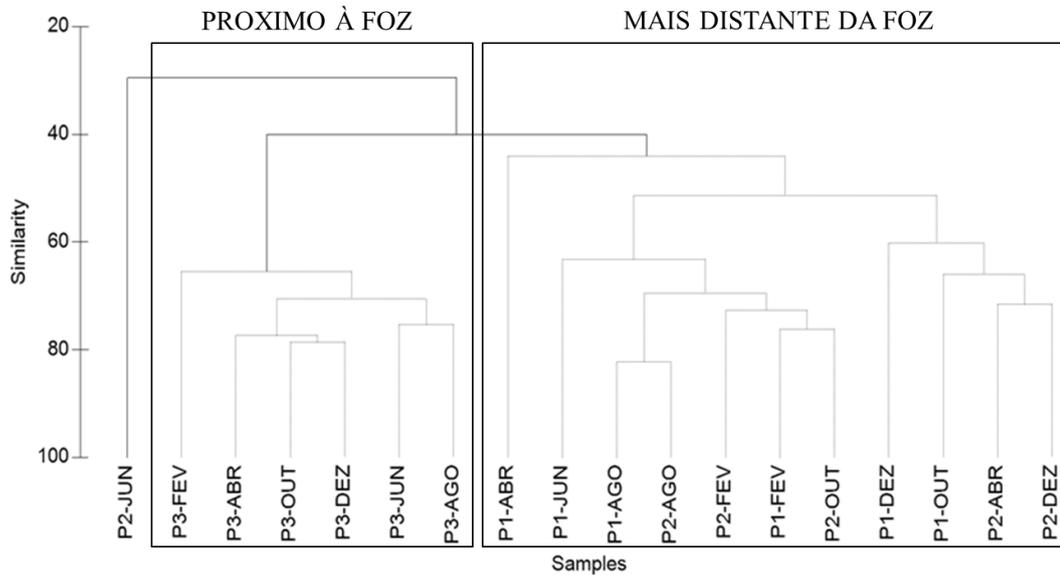


Figura 8: Análise de similaridade dos copépodes evidenciando os grupos no estuário do rio Piranji (NE, Brasil).

A análise de Simper evidenciou a contribuição das espécies para o agrupamento obtido pelas análises de cluster. No grupo próximo à foz as espécies que mais contribuíram foram *Parvocalanus crassirostris* (26,65%), *Parvocalanus cf. scotti* (21,31%) e *Oithona hebes* (14,49%) e no grupo formado pelas estações mais distantes da foz foram *Oithona oswaldocruzi* (51,71%), *Parvocalanus crassirostris* (10,28%) e *Oithona hebes* (10,17%).

3.3. Assembleia de copépodes e as variáveis ambientais

O teste BEST mostrou que a salinidade, nitrogênio total, sílica e clorofila *a* foram as variáveis que explicaram a maioria das variações na assembleia de copépodes, com $p=0,58$ ($p<0,01$) (Tabela IV).

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

Tabela IV: Resultado do teste BEST no estuário do rio Piranji (NE, Brasil). Sal: Salinidade; P: Profundidade; Nitrogênio amoniacal: N-NH₃; Nitrogênio Total: NT; Fósforo total: PT; Sólidos suspensos totais: SST; Clorofila *a*: Chl *a*.

Correlação	Número de variáveis	Variáveis
0,576	4	Sal, NT, Sílica e Chl <i>a</i>
0,564	5	Sal, N-NH ₃ , NT, Sílica e Chl <i>a</i>
0,563	5	P, Sal, NT, Sílica e Chl <i>a</i>
0,561	3	Sal, Sílica e Chl <i>a</i>
0,559	7	P, Sal, N-NH ₃ , NT, PT, Sílica e Chl <i>a</i>
0,559	6	P, Sal, N-NH ₃ , NT, Sílica e Chl <i>a</i>
0,558	7	P, Sal, N-NH ₃ , NT, Sílica, SST e Chl <i>a</i>
0,558	5	Sal, NT, Sílica, Chl <i>a</i> e Feofitina <i>a</i>
0,557	5	Sal, NT, PT, Sílica e Chl <i>a</i>
0,555	6	Sal, N-NH ₃ , NT, Sílica, SST e Chl <i>a</i>

4. DISCUSSÃO

4.1. Variáveis ambientais em um estuário raso com altas salinidades e sob influência de uma seca severa

As variáveis ambientais no período de coleta seguiram o padrão sazonal de uma região semiárida, porém com altos índices de salinidade possivelmente devido a anomalia de precipitação induzida pelo evento “El Niño” (Marengo *et al.*, 2016) e pelo controle da vazão fluvial alterada pelas barragens ao longo do rio (Schettini *et al.*, 2017). O evento recente de “El Niño” (2015-16) foi um dos mais fortes desde o primeiro evento registrado (Rossi and Soares, 2017). O dipolo do Atlântico é outro fator que afeta os valores de precipitação em escalas regionais, incluindo a costa semiárida do Brasil (Campos *et al.*, 2009). Os anos de ENSO (El Niño e Oscilação Sul) positivos estão associados a anomalias negativas de precipitação, como ocorreu no ENSO de 1997/1998, que reduziram as chuvas durante o período úmido na região nordeste brasileiro, estendendo o período seco de um ano para o outro (Schettini *et al.*, 2017). Estudos recentes (Marengo *et al.*, 2016; Marengo *et al.*, 2017) preveem mudanças no padrão de chuva induzido pelo El Niño e pela La Niña nas costas semiáridas tropicais, incluindo o Nordeste do Brasil.

A redução significativa de chuva, a pouca profundidade e as altas taxas de evaporação fazem com que a hipersalinidade seja estabelecida nesse ecossistema estuarino

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

(Schettini *et al.*, 2017) inclusive no período comumente caracterizado como chuvoso (Fevereiro), tornando-o particular para estudos ecológicos e análise dos efeitos de salinidades extremas. Neste estuário, essa condição de hipersalinidade prevaleceu durante o ano de coleta, com seis meses hipersalinos e apenas dois hiposalinos. As variações de salinidade mostram que esse estuário se comporta de duas maneiras distintas durante o ano. No chuvoso, a salinidade aumenta em direção à foz ($P1 < P2 < P3$), característica de um estuário clássico, e no período seco ela aumenta em direção à montante ($P1 > P2 > P3$), característica de um estuário hipersalino (Largier, 2010). A salinidade é reconhecida como um importante fator abiótico chave que age regulando a estrutura de comunidades estuarinas, embora pouco estudada em ecossistemas hipersalinos (Lance, 1963; Rippingale and Hodgkin, 1977; Froneman, 2002; Carrasco and Perissinotto, 2012). O aumento do assoreamento devido ao desmatamento das margens e barragens, o aumento da evaporação e das temperaturas globais, a redução das chuvas e elevação do nível do mar tendem a ampliar a ocorrência de águas hipersalinas em inúmeras regiões do mundo (Statham, 2012; Robins *et al.*, 2016). Assim, os resultados são particularmente interessantes considerando este contexto das mudanças ambiental globais.

4.2. Estrutura e composição de copépodes sob influência da hipersalinidade

Os táxons com altas densidades (Oithonidae (copepodito juvenil), *Parvocalanus* cf. *scotti*, *Parvocalanus crassirostris*, *Oithona hebes* e *Oithona oswaldocruzi*), são organismos encontrados em outros ambientes estuarinos com características semelhantes (Costa *et al.*, 2008; Champalbert *et al.*, 2014; Andrade *et al.*, 2016). Vários estágios de copepodito juvenil foram muito frequentes, o que sugere uma adaptação das espécies a estas condições de hipersalinidade. Uma parcela considerável da densidade e da produção secundária é sustentada por copepoditos de várias espécies (Andrade *et al.*, 2016; Blanda *et al.*, 2017; Campos *et al.*, 2017). A presença desses estágios demonstra que as espécies conseguem se reproduzir nas condições extremas de hipersalinidade (38-50), o que é um indicador de resiliência das populações. Possivelmente, as secas naturais características da região nos últimos séculos (Marengo *et al.*, 2016) podem ter induzido processos de adaptação e seleção de espécies eurialinas que se reproduzem nessas condições. Os copépodes podem alterar seus processos biológicos dependendo da salinidade, considerando a energia indispensável para as necessidades fisiológicas (Pan *et al.*, 2016). Os valores de salinidade podem ter influenciado também a diversidade da assembleia. No mês de maior chuva (abril),

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

no qual o ambiente se encontrava hiposalino e no mês de dezembro, onde foram reportados os maiores valores de salinidade, o número de espécies (S) e o índice riqueza de Margalef apresentaram os maiores valores. Isso pode indicar que, nos extremos das salinidades (11 e 62), a assembleia encontra condições para se tornar mais diversa.

A assembleia de copépodes não apresentou diferença significativa entre o período chuvoso e seco (PERMANOVA $p > 0,05$), o que sugere uma homogeneização sazonal das comunidades. Outra evidência deste padrão são os valores semelhantes de riqueza, diversidade e equitabilidade entre estes períodos, o que reforça a falta de variação intra-anual. Este resultado é uma evidência que refuta a hipótese inicial de variação sazonal entre o período chuvoso e seco (resultado esperado para a região tropical) (Andrade *et al.*, 2016; Salvador and Bersano, 2017). Devido à refutação da hipótese original, sugere-se uma hipótese alternativa que pode ser levantada sobre essa questão. Devido ao prolongado período de seca (2012-2015), altas taxas de evaporação e o controle de vazão pelas barragens, um quadro de ausência de variação sazonal pode estar sendo estabelecido nessa região. Previsões climáticas para a área mostram aumento de 2°C de temperatura e reduções das chuvas nas próximas quatro décadas, que juntamente com a tendência de períodos consecutivos mais secos, sugerem a ocorrência de frequentes e intensos períodos de estiagem (Marengo *et al.*, 2016) o que leva a uma condição predominante no estuário invertido ligado a estiagem e hipersalinidade.

A quantidade de espécies no estuário do rio Piranji foi baixa quando comparada com outros estuários no mundo (Gonçalves *et al.*, 2012; Truong *et al.*, 2014; Tseng *et al.*, 2016) e no Brasil (Magalhães *et al.*, 2006; Magalhães *et al.*, 2015; Salvador and Bersano, 2017). Os efeitos da estiagem e da falta de vazão regular pelos açudes induzem um aumento da hipersalinidade no ecossistema estuarino (Schettini *et al.*, 2017). Esse aumento na salinidade pode modificar a estrutura e dinâmica das comunidades planctônicas pela seleção de espécies predominantemente marinhas adaptadas (Sloterdijk *et al.*, 2017) e consequente simplificação das comunidades planctônicas, como observados em estuário hipersalinos, que apresentam baixa quantidade de espécies com altas densidades (Toumi *et al.*, 2005; Cyrus *et al.*, 2011; Carrasco and Perissinotto, 2012). A hipersalinidade e seus efeitos podem levar a um ecossistema menos diverso e mais estressado (Rossi and Soares, 2017).

A assembleia de copépodes esteve bem distribuída ($J' > 0,50$) em todo período de estudo. Na estação mais à montante (P1) no período seco foi encontrado o valor mais baixo. Isso pode ser um reflexo das condições estressantes (salinidade > 60). Nesse momento de

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

coleta, a assembleia foi dominada pela *Oithona oswaldocruzi*. Espécies desse gênero possuem estratégias que contribuem para o sucesso colonizador do gênero. Elas apresentam baixas taxas de respiração e passam grande parte do tempo imóvel esperando capturar suas presas através de um salto rápido (Nakamura and Turner, 1998; Turner, 2004). Tal estratégia resulta em economia de energia que pode ser canalizada para a reprodução (Turner, 2004). A eficiência em ingerir partículas relativamente pequenas, incluindo nanofitoplâncton e células grandes (> 50 µm), também pode favorecer seu domínio em condições eutróficas (Calbet *et al.*, 2000). *O. oswaldocruzi* é uma espécie eurialina e pode ser considerada estuarina e marinha, por ser encontrada em uma ampla faixa de salinidade (Lopes *et al.*, 1998).

Os copépodes mostraram um padrão espacial, com a distribuição dos organismos sendo influenciada pelo ecossistema hipersalino. A estrutura da assembleia mais próxima à foz se mostrou diferente da estrutura da assembleia localizada mais à montante do rio, possivelmente devido à intrusão marinha e aumento do tempo de residência nas porções superiores do estuário (Schettini *et al.*, 2017). Essa diferença significativa entre os pontos de coleta foi comprovada através da PERMANOVA que demonstra uma variação espacial, possivelmente decorrente de variações da salinidade (P1=43; P2=42; P3=40) e de produtividade fitoplanctônica (P1=16,0 µgL⁻¹; P2=3,8 µgL⁻¹; P3=1,4 µgL⁻¹) (Barroso *et al.*, 2018).

A variação espacial é corroborada pela análise de agrupamento onde foi observado que as amostras se agruparam de acordo com a distância da foz do rio. No grupo próximo a foz do rio, as espécies que mais contribuíram para sua formação foram *Parvocalanus crassirostris* e *Parvocalanus cf. scotti*. Estas espécies apresentam adaptação ao ambiente marinho e ocorrem tanto em águas costeiras como em oceanos abertos, onde se concentram principalmente em águas próximas à superfície e podem ser dominantes na comunidade epipelágica do plâncton (Boxshall and Halsey, 2004). As estações mais à montante no estuário (P1 e P2) se reuniram no grupo B, independente das estações do ano, o que reforça que a variável espacial é predominante em relação à sazonalidade. Nesse grupo, as espécies que mais contribuíram para sua formação foram *Oithona oswaldocruzi* e *Oithona hebes*. *O. hebes* é comum em águas estuarinas, sendo indicadora de áreas de manguezal, estando normalmente associada à *O. oswaldocruzi* (Björnberg, 1981).

As espécies do gênero *Pseudodiaptomus* estiveram presentes somente nas amostras mais à montante (P1 e P2), e algumas com pouca frequência (exemplo, *Pseudodiaptomus acutus*). Esse gênero é o único considerado tipicamente estuarino

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

(Björnberg, 1981; Bradford-Grieve *et al.*, 1999). Suas espécies são frequentemente encontradas nos estuários brasileiros (Magalhães *et al.*, 2009; Marcolin *et al.*, 2010; Magris *et al.*, 2011; Almeida *et al.*, 2012) e são influenciadas principalmente pela salinidade na regulação da composição, densidade e distribuição (Magalhães *et al.*, 2006).

4.3. Como as variáveis ambientais influenciam a assembleia de copépodes estuarinos?

Através do teste BEST, as variações na estrutura da assembleia de copépodes durante o ano de coleta foram explicadas, em sua maioria, pela salinidade, nitrogênio total, sílica e clorofila *a*. No estuário analisado, os resultados demonstraram um gradiente espacial de salinidade e distribuição da densidade de copépodes. Nas maiores salinidades são encontradas as maiores densidades, evidenciando que espécies adaptadas ao extremo de salinidade conseguem proliferar principalmente no período de estiagem prolongada. Em copépodes, a salinidade pode influenciar diversos processos metabólicos, como também a variação da dominância de espécies eurialinas no ambiente através da seleção de indivíduos adaptados (Lawrence *et al.*, 2004; Matias-Peralta *et al.*, 2005). Em um estudo realizado no mesmo período de seca severa e no mesmo estuário, a biomassa fitoplanctônica atingiu o pico no meio e no final da estação seca, quando a salinidade chegou a níveis máximos e o tempo de residência da água foi maior (Barroso *et al.*, 2018). Estes resultados explicam porque variáveis ambientais (sílica, NT e clorofila) foram fundamentais para explicar os padrões da assembleia de copépodes, possivelmente como uma resposta da cadeia alimentar clássica (fitoplâncton-zooplâncton). Em um estudo nas Ilhas Canárias, a clorofila *a* mostrou aumentos positivos e significativos com a concentração do copépodes, resultado oposto ao encontrado no estuário do Piranji (Armengol *et al.*, 2017). A clorofila *a* tem grande importância ecológica e pode fornecer indicações sobre matéria orgânica disponível para outros níveis tróficos (Yebra *et al.*, 2017).

Os resultados sugeriram que ao longo do estuário as densidades tiveram uma diminuição considerável no mês de outubro para o de dezembro; mês no qual a salinidade atingiu seu extremo ($>50 \pm 11$). Apesar do estresse fisiológico e ecológico, esses organismos estão presentes no ambiente, porém em menores densidades. Assim, hipotetiza-se que esta salinidade-limite seria também o limite de resistência da comunidade de copépodes ao ambiente hipersalino. Seriam necessárias coletas ao longo de vários anos (série interanual)

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

para verificar a recuperação destas densidades, conforme houvesse uma diminuição da salinidade.

Os copépodes são afetados indiretamente por mudanças na concentração de nitrogênio, que limitam a disponibilidade de suas fontes de alimento (Johnson and Luecke, 2012). A excreção (orgânica e inorgânica) de nitrogênio total por um grupo de copépodes pode ter um impacto significativo sobre os requerimentos de nitrogênio das comunidades de fitoplâncton (Pérez-Aragón *et al.*, 2011). As diatomáceas estão entre o fitoplâncton mais abundante (Chowdhury *et al.*, 2017; Madhu *et al.*, 2017), e representam um componente principal na dieta do zooplâncton em ambientes marinhos e estuarinos (Liu *et al.*, 2016). Esse grupo possui uma carapaça de sílica, que quando consumida pelo zooplâncton, voltam para o ambiente através de células mortas, agregados e pelotas fecais (Liu *et al.*, 2016; Liu and Wu, 2016). A sílica também está presente em estruturas na base das mandíbulas dos copépodes (“dentes”) que são o resultado da evolução das frústulas silicosas de diatomáceas (Hamm *et al.*, 2003).

As hipóteses inicialmente estabelecidas foram refutadas, provavelmente devido à seca severa que gerou mudanças drásticas no funcionamento do ecossistema estuarino e na assembleia de copépodes. Os resultados sugerem que o aumento da intensidade e frequência de secas, previsto pelas mudanças climáticas, pode levar a uma homogeneização das comunidades planctônicas em termos sazonais e levar a uma mudança nos períodos de alta produtividade fitoplanctônica e zooplanctônica, inferido pelas maiores densidades no período seco. Este desacoplamento da cadeia alimentar clássica pode levar a uma simplificação das comunidades, aumento de mortalidade e impactando a função de berçário dos manguezais principalmente para os níveis tróficos superiores.

A hipótese “Match-Mismatch” pode explicar esses eventos. Essa hipótese tenta esclarecer as variações no recrutamento de uma população. Segundo ela, se o momento de maior gasto energético dos níveis tróficos superiores (copépodes) ocorrerem durante um pico de abundância do nível trófico inferior (fitoplâncton), o recrutamento do predador será alto, uma vez que suas necessidades energéticas estão acopladas às presas. Porém se acontecer um desacoplamento (“mismatch”) entre a necessidade e a disponibilidade de alimento, o recrutamento do predador será baixo (Durant *et al.*, 2007). Em um ano com muita variação climática, o desacoplamento entre os copépodes e o fitoplâncton pode ter consequências graves para os níveis superiores (Durant *et al.*, 2007). As hipóteses levantadas nesta tese necessitam de um monitoramento de longo prazo em estuários semiáridos sob influência da

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

hipersalinidade comparando anos de seca extrema, anos de precipitação normal e anos de precipitação acima da média.

5. CONCLUSÕES

A comunidade foi influenciada significativamente pelo período de seca extrema levando a uma homogeneização temporal em termos de composição, e a um aumento da densidade no período seco, possivelmente devido florações do fitoplâncton resistente a hipersalinidade. A distribuição espacial da salinidade no estuário influenciou a distribuição dos copépodes. Os resultados negaram as seguintes hipóteses: a assembleia não apresentou diferença significativa entre os períodos chuvoso e seco e as maiores densidades foram no período de estiagem.



REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. R.; COSTA, I. S.; ESKINAZI-SANT'ANNA, E. M. Composition and abundance of zooplankton community of an impacted estuarine lagoon in Northeast Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 1, p. 12-24, 2012. ISSN 1519-6984.
- ANDRADE, M. P. et al. Effects of a La Niña event on hydrological patterns and copepod community structure in a shallow tropical estuary (Taperaçu, Northern Brazil). **Journal of Marine Systems**, v. 164, p. 128-143, 2016/12/01/ 2016. ISSN 0924-7963. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924796316302032> >.
- ARA, K. Temporal Variability and Production of the Planktonic Copepod Community in the Cananéia Lagoon Estuarine System, São Paulo, Brazil. **Zoological Studies**, v. 43, n. 2, p. 179-186, 2004.
- ARMENGOL, L. et al. Effects of copepods on natural microplankton communities: do they exert top-down control? **Marine Biology**, v. 164, n. 6, p. 136, 2017. ISSN 0025-3162.
- ATIQUE, P. et al. Copepod assemblages in a highly dynamic equatorial estuary on the Brazilian Amazon Coast. **Marine Ecology**, v. 38, n. 1, 2017. ISSN 1439-0485.
- BACON, P. R. Plankton studies in a Caribbean estuarine environment. **Caribbean Journal of Science**, v. 11, n. 1-2, p. 81-89, 1973.
- BARROSO, H. S. et al. Intra-annual variability of phytoplankton biomass and nutrients in a tropical estuary during a severe drought. **Estuarine and Shelf Science**, 2018. Disponível em: < *Submetido* >.
- BAUMGARTEN, M. G. Z.; DE BARROS ROCHA, J. M.; NIENCHESKI, L. F. H. **Manual de análises em oceanografia química**. Rio Grande: Furg, 1996. 132.
- BJÖRNBERG, T. S. K. Copepoda Mar del Plata. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). **Atlas del Zooplancton del Atlántico Sudoccidental y Metodos de Trabajo con el Zooplancton Marino**: INIDEP, 1981. p.587-679.
- BLANDA, E. et al. An analysis of how to improve production of copepods as live feed from tropical Taiwanese outdoor aquaculture ponds. **Aquaculture**, v. 479, p. 432-441, 2017/10/01/ 2017. ISSN 0044-8486. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848616312613> >.
- BOXSHALL, G. A.; HALSEY, S. H. **An introduction to copepod diversity**. Ray Society, 2004. ISBN 0903874318.
- BRADFORD-GRIEVE, J. M. et al. Copepoda. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). **South Atlantic Zooplankton**. Leiden: Backhuys Publishers., v.2 1999. p.869-1098.
- BRANCOA, M. P. N. C. et al. Morfodinâmica das Praias Arenosas à Barlamar e à Sotamar do Promontório Ponta do Iguape – Estado do Ceará - Brasil. **Revista de Geologia**, v. 18, n. 2,

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

2005.

BRECKENRIDGE, J. K. et al. Plankton assemblage variability in a river-dominated temperate estuary during late spring (high-flow) and late summer (low-flow) periods. **Estuaries and Coasts**, v. 38, n. 1, p. 93-103, 2015. ISSN 1559-2723.

CALBET, A.; LANDRY, M. R.; SCHEINBERG, R. D. Copepod grazing in a subtropical bay: species-specific responses to a midsummer increase in nanoplankton standing stock. **Marine Ecology Progress Series**, v. 193, p. 75-84, 2000. ISSN 0171-8630.

CAMPOS, C. C. et al. Ecological indicators and functional groups of copepod assemblages. **Ecological Indicators**, v. 83, p. 416-426, 2017/12/01/ 2017. ISSN 1470-160X. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X17304958> >.

CAMPOS, J. N. B.; ALVES, J. M. B.; SERVAIN, J. Relationship between ocean climatic variability and rain-fed agriculture in northeast Brazil. **Climate Research**, v. 38, p. 225-236, 2009. ISSN 0936-577X.

CAMPOS, J. N. B.; MORAIS, J. O. **Avaliação do uso potencial de áreas estuarinas a partir da identificação e caracterização do comportamento de variáveis hidro-climáticas, oceanográficas e ambientais - estudo de caso: rio Piranji-CE**. Fortaleza, p.219. 2007

CARRASCO, N. K.; PERISSINOTTO, R. Development of a halotolerant community in the St. Lucia Estuary (South Africa) during a hypersaline phase. **PloS one**, v. 7, n. 1, p. e29927, 2012. ISSN 1932-6203.

CHAMPALBERT, G. et al. Effects of the sandbar breaching on hydrobiological parameters and zooplankton communities in the Senegal River Estuary (West Africa). **Marine Pollution Bulletin**, v. 82, n. 1, p. 86-100, 2014. ISSN 0025-326X.

CHOWDHURY, M. et al. Nutrient stoichiometry and freshwater flow in shaping of phytoplankton population in a tropical monsoonal estuary (Kundalika Estuary). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 198, p. 73-91, 2017/11/05/ 2017. ISSN 0272-7714. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771416303936> >.

COSTA, K. G.; PEREIRA, L. C. C.; COSTA, R. M. Short and long-term temporal variation of the zooplankton in a tropical estuary (Amazon region, Brazil). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v. 3, n. 2, p. 127-141, 2008. ISSN 1981-8114.

CYRUS, D. et al. Lake St Lucia, Africa's largest estuarine lake in crisis: combined effects of mouth closure, low levels and hypersalinity. **South African Journal of Science**, v. 107, n. 3-4, p. 01-13, 2011. ISSN 0038-2353.

DIAS, C. O.; BONECKER, S. L. C. The copepod assemblage (Copepoda: Crustacea) on the inner continental shelf adjacent to Camamu Bay, northeast Brazil. **Zoologia (Curitiba)**, v. 26, p. 629-640, 2009. ISSN 1984-4670. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-46702009000400007&nrm=iso >.

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

DURANT, J. M. et al. Climate and the match or mismatch between predator requirements and resource availability. **Climate Research**, v. 33, n. 3, p. 271-283, 2007. ISSN 0936-577X.

EATON, A. D. et al. **Standard Methods: for the examination of water & wastewater** Washington: Centennial: 2005.

EATON, A. D.; CLOSCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. Standard methods for the examination of water and wastewater. **American Public Health Association, Washington, DC**, p. 18-25, 1995.

FEITOSA, F. A. N.; NASCIMENTO, F. C. R.; COSTA, K. M. P. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos na Baía do Pina, Recife-PE. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, v. 27, n. 2, p. 1-13, 1999.

FRONEMAN, P. W. Seasonal changes in zooplankton biomass and grazing in a temperate estuary, South Africa. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 52, n. 5, p. 543-553, 2001. ISSN 0272-7714.

_____. Seasonal changes in selected physico-chemical and biological variables in the temporarily open/closed Kasouga estuary, Eastern Cape, South Africa. **African Journal of Aquatic Science**, v. 27, n. 2, p. 117-123, 2002. ISSN 1608-5914.

_____. Zooplankton community structure and biomass in a southern African temporarily open/closed estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 60, n. 1, p. 125-132, 2004. ISSN 0272-7714.

GISMERVIK, I. Top-down impact by copepods on ciliate numbers and persistence depends on copepod and ciliate species composition. **Journal of Plankton Research**, v. 28, n. 5, p. 499-507, May 1, 2006 2006.

GONÇALVES, A. M. M. et al. Spatial and temporal distribution of harpacticoid copepods in Mondego estuary. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 90, n. 07, p. 1279-1290, 2010. ISSN 1469-7769.

GONÇALVES, A. M. M. et al. Diel vertical behavior of Copepoda community (naupliar, copepodites and adults) at the boundary of a temperate estuary and coastal waters. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 98, n. 0, p. 16-30, 2012. ISSN 0272-7714. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771411004690> >.

HAMM, C. E. et al. Architecture and material properties of diatom shells provide effective mechanical protection. **Nature**, v. 421, n. 6925, p. 841-843, 2003. ISSN 0028-0836.

HEMRAJ, D. A. et al. Plankton bioindicators of environmental conditions in coastal lagoons. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 184, p. 102-114, 2017. ISSN 0272-7714.

JOHNSON, C. R.; LUECKE, C. Copepod dominance contributes to phytoplankton nitrogen deficiency in lakes during periods of low precipitation. **Journal of Plankton Research**, v. 34, n. 5, p. 345-355, 2012. ISSN 0142-7873. Disponível em: <

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

<http://dx.doi.org/10.1093/plankt/fbs009> >.

LANCE, J. The salinity tolerance of some estuarine planktonic copepods. **Limnology and Oceanography**, v. 8, n. 4, p. 440-449, 1963. ISSN 1939-5590.

LARGIER, J. **Low-inflow estuaries: hypersaline, inverse, and thermal scenarios**. 2010. 247-272.

LAWRENCE, D.; VALIELA, I.; TOMASKY, G. Estuarine calanoid copepod abundance in relation to season, salinity, and land-derived nitrogen loading, Waquoit Bay, MA. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 61, n. 3, p. 547-557, 2004. ISSN 0272-7714.

LI, M.; GARGETT, A.; DENMAN, K. What determines seasonal and interannual variability of phytoplankton and zooplankton in strongly estuarine systems? **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 50, n. 4, p. 467-488, 2000. ISSN 0272-7714.

LIU, H. et al. Effect of Diatom Silica Content on Copepod Grazing, Growth and Reproduction. **Frontiers in Marine Science**, v. 3, n. 89, 2016-June-02 2016. ISSN 2296-7745. Disponível em: < <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2016.00089> >.

LIU, H.; WU, C. Effect of the silica content of diatom prey on the production, decomposition and sinking of fecal pellets of the copepod *Calanus sinicus*. **Biogeosciences**, v. 13, n. 16, p. 4767-4775, 2016. ISSN 1726-4170.

LOPES, R. M.; VALE, R.; BRANDINI, F. P. Composição, abundância e distribuição espacial do zooplâncton no complexo estuarino de Paranaguá durante o inverno de 1993 e o verão de 1994. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 46, p. 195-211, 1998. ISSN 1413-7739. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-77391998000200008&nrm=iso >.

MADHU, N. V. et al. Differential environmental responses of tropical phytoplankton community in the southwest coast of India. **Regional Studies in Marine Science**, v. 16, p. 21-35, 2017/11/01/ 2017. ISSN 2352-4855. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352485517300191> >.

MAGALHÃES, A. et al. Variação temporal da composição, ocorrência e distribuição dos Copepoda (Crustacea) do estuário do Taperaçu, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v. 4, n. 2, p. 133-148, 2009.

MAGALHÃES, A. et al. Spatial and temporal distribution in density and biomass of two *Pseudodiaptomus* species (Copepoda: Calanoida) in the Caeté river estuary (Amazon region-North of Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 66, n. 2A, p. 421-430, 2006. ISSN 1519-6984.

MAGALHÃES, A. et al. Seasonal and short-term variations in the copepod community of a shallow Amazon estuary (Taperaçu, Northern Brazil). **Journal of Coastal Research**, n. 64, p. 1520, 2011. ISSN 0749-0208.

MAGALHÃES, A.; PEREIRA, L. C. C.; DA COSTA, R. M. Relationships between copepod

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

- community structure, rainfall regimes, and hydrological variables in a tropical mangrove estuary (Amazon coast, Brazil). **Helgoland Marine Research**, v. 69, n. 1, p. 123-136, 2015/03/01 2015. ISSN 1438-387X. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s10152-014-0421-4> >.
- MAGRIS, R. A.; PEREIRA, J. B.; FERNANDES, L. F. L. Interannual variability in tropical estuarine copepod assemblages off Northeastern Brazil. **Journal of Crustacean Biology**, v. 31, n. 2, p. 260-269, 2011. ISSN 1937-240X.
- MARCOLIN, C. R. et al. Mesozooplankton and Ichthyoplankton composition in two tropical estuaries of Bahia, Brazil. **Check List**, v. 6, n. 2, p. 210-216, 2010.
- MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, p. 0-0, 2017. ISSN 0001-3765. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-37652017005019115&nrm=iso >.
- MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, p. 1-12, 2016. ISSN 0177-798X.
- MATIAS-PERALTA, H. et al. Effects of some environmental parameters on the reproduction and development of a tropical marine harpacticoid copepod *Nitocra affinis* f. *californica* Lang. **Marine Pollution Bulletin**, v. 51, n. 8, p. 722-728, 2005. ISSN 0025-326X.
- MEDEIROS, A. M. A. et al. Salinity and freshwater discharge determine rotifer distribution at the Mossoró River Estuary (Semiarid Region of Brazil). **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 3, p. 551-557, 2010. ISSN 1519-6984.
- MIYASHITA, L. K.; DE MELO JÚNIOR, M.; LOPES, R. M. Estuarine and oceanic influences on copepod abundance and production of a subtropical coastal area. **Journal of Plankton Research**, v. 31, n. 8, p. 815-826, August 1, 2009 2009. Disponível em: < <http://plankt.oxfordjournals.org/content/31/8/815.abstract> >.
- NAKAMURA, Y.; TURNER, J. T. Predation and respiration by the small cyclopoid copepod *Oithona similis*: How important is feeding on ciliates and heterotrophic flagellates? **Oceanographic Literature Review**, v. 2, n. 45, p. 308, 1998. ISSN 0967-0653.
- NASCIMENTO-VIEIRA, D. A. D. et al. Mesozooplâncton de área recifal do Atlântico Sudoeste Tropical. **Tropical Oceanography**, v. 38, n. 1, p. 47-59, 2010.
- NEUMANN-LEITÃO, S. et al. Diversity and distribution of the mesozooplankton in the tropical Southwestern Atlantic. **Journal of Plankton Research**, v. 30, n. 7, p. 795-805, July 1, 2008 2008. Disponível em: < <http://plankt.oxfordjournals.org/content/30/7/795.abstract> >.
- OMORI, M.; IKEDA, T. **Methods in marine zooplankton ecology**. New York: J. Wiley & Sons, 1984. 332.
- PAN, Y. et al. Effects of salinity on the reproductive performance of *Apocyclops royi* (Copepoda, Cyclopoida). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 475, p.

108-113, 2016. ISSN 0022-0981. Disponível em: <
[//www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022098115300617](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022098115300617)>.

PAULA, D. P. et al. **A Hidrodinâmica do Estuário do Rio Piranji, Ceará-Brasil: implicações para o Manejo e Uso Sustentável**. XI Congresso da ABEQUA. Belém: Universidade Federal do Pará. XI: 1-3 p. 2007.

PÉREZ-ARAGÓN, M.; FERNANDEZ, C.; ESCRIBANO, R. Nitrogen excretion by mesozooplankton in a coastal upwelling area: Seasonal trends and implications for biological production. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 406, n. 1, p. 116-124, 2011/09/30/ 2011. ISSN 0022-0981. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022098111002449>>.

RAJKUMAR, M. et al. Seasonal variations in the structure of copepod assemblages in tropical marine and estuarine waters, Coleroon, south-east India. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 94, n. 03, p. 521-535, 2014. ISSN 1469-7769. Disponível em: <
<http://dx.doi.org/10.1017/S0025315413001768>>. Acesso em: 2014.

RIPPINGALE, R. J.; HODGKIN, E. P. Food availability and salinity tolerance in a brackish water copepod. **Marine and Freshwater Research**, v. 28, n. 1, p. 1-7, 1977. ISSN 1448-6059.

ROBINS, P. E. et al. Impact of climate change on UK estuaries: A review of past trends and potential projections. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 169, p. 119-135, 2016/02/05/ 2016. ISSN 0272-7714. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771415301669>>.

ROSSI, S.; SOARES, M. O. Effects of el niño on the coastal ecosystems and their related services. **Mercator**, v. 16, 2017. ISSN 1984-2201.

SALVADOR, B.; BERSANO, J. G. F. Zooplankton variability in the subtropical estuarine system of Paranaguá Bay, Brazil, in 2012 and 2013. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 199, p. 1-13, 2017/12/05/ 2017. ISSN 0272-7714. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771417303050>>.

SARMA, V. V. S. S. et al. Intra-annual variability in nutrients in the Godavari estuary, India. **Continental Shelf Research**, v. 30, n. 19, p. 2005-2014, 2010/11/30/ 2010. ISSN 0278-4343. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278434310003080>>.

SAVENIJE, H. H.; PAGÈS, J. Hypersalinity: a dramatic change in the hydrology of Sahelian estuaries. **Journal of Hydrology**, v. 135, n. 1, p. 157-174, 1992. ISSN 0022-1694.

SCHETTINI, C. A. F.; VALLE-LEVINSON, A.; TRUCCOLO, E. C. Circulation and transport in short, low-inflow estuaries under anthropogenic stresses. **Regional Studies in Marine Science**, 2017. ISSN 2352-4855.

SILVA, J. M. O.; DA SILVA, E. V. Análise geoambiental do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Pirangi–CE. **REVISTA GEONORTE**, v. 3, n. 6, p. 593-605, 2016. ISSN 2237-1419.

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

SLOTERDIJK, H. et al. Composition and structure of the larval fish community related to environmental parameters in a tropical estuary impacted by climate change. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 197, n. Supplement C, p. 10-26, 2017/10/15/ 2017. ISSN 0272-7714. Disponível em: <

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027277141630628X> >.

STATHAM, P. J. Nutrients in estuaries — An overview and the potential impacts of climate change. **Science of The Total Environment**, v. 434, p. 213-227, 2012/09/15/ 2012. ISSN 0048-9697. Disponível em: <

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969711011715> >.

TOUMI, N. et al. Zooplankton distribution in four ponds of different salinity: a seasonal study in the solar salterns of Sfax (Tunisia). **Hydrobiologia**, v. 534, n. 1-3, p. 1-9, 2005. ISSN 0018-8158.

TREGOUBOFF, G.; ROSE, M. **Manuel de Planctonologia Méditerranéenne**. Paris: C.N.R.S., 1957.

TRUONG, T.-H. et al. Seasonal and spatial distribution of mesozooplankton in a tropical estuary, Nha Phu, South Central Viet Nam. **Biologia**, v. 69, n. 1, p. 80-91, 2014/01/01 2014. ISSN 0006-3088. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2478/s11756-013-0289-9> >.

TSENG, L. et al. Influence of Kuroshio water on the annual copepod community structure in an estuary in the northwest Pacific Ocean. **Continental Shelf Research**, v. 118, p. 165-176, 2016/04/15/ 2016. ISSN 0278-4343. Disponível em: <

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278434316300917> >.

TURNER, J. T. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. **Zoological Studies**, v. 43, n. 2, p. 255-266, 2004.

UNESCO. **Chemical methods for use in marine environment monitoring**. Intergovernmental Oceanographic Commission, 1983. 56.

YEBRA, L. et al. Trophic conditions govern summer zooplankton production variability along the SE Spanish coast (SW Mediterranean). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 187, n. Supplement C, p. 134-145, 2017/03/05/ 2017. ISSN 0272-7714. Disponível em: <

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771416307892> >.

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

INFORMAÇÃO SUPLEMENTAR

Informação suplementar I: Nutrientes no estuário de Piranji (NE, Brasil). Nitrito: NO_2^- ; Nitrato: NO_3^- ; Nitrogênio amoniacal: N-NH_3 ; Nitrogênio Total: NT; Ortofosfato: P-PO_4^{3-} ; Fósforo total: PT; Sólidos suspensos totais: SST.

		NO ₂ -	NO ₃ -	N-NH ₃	NT	P- PO ₄ ³⁻	PT	Sílica	SST
Chuvoso	P1-FEV	2,04	3,30	17,38	77,51	1,50	4,57	65,41	54,70
	P2-FEV	1,39	2,28	17,30	64,60	1,26	3,15	46,27	34,96
	P3-FEV	0,07	0,14	1,25	18,25	0,20	1,19	7,68	34,88
	P1-ABR	2,66	2,69	39,65	78,76	2,24	4,89	97,67	52,22
	P2-ABR	1,87	1,14	39,94	60,07	1,40	2,52	61,94	26,27
	P3-ABR	0,32	0,14	4,30	17,84	0,20	1,76	10,18	33,33
	P1-JUN	2,76	3,41	36,52	88,07	2,88	5,89	69,32	34,86
	P2-JUN	0,92	1,49	19,76	49,60	1,38	2,94	39,83	24,93
	P3-JUN	0,00	0,29	2,50	18,08	0,14	0,97	9,00	28,64
Seco	P1-AGO	2,55	1,87	34,38	74,93	3,09	5,15	57,49	64,00
	P2-AGO	0,85	1,22	15,01	39,09	1,13	2,69	26,12	61,44
	P3-AGO	0,10	0,12	0,53	13,83	0,16	1,03	4,58	40,45
	P1-OUT	0,09	0,07	0,00	85,70	1,33	8,25	75,16	91,53
	P2-OUT	0,47	2,72	12,81	47,50	1,51	4,39	48,08	47,53
	P3-OUT	0,10	0,64	1,22	18,19	0,23	1,75	7,60	44,61
	P1-DEZ	0,73	0,00	0,06	96,64	2,24	6,81	44,47	111,21
	P2-DEZ	1,04	0,72	23,60	75,52	1,99	3,99	45,39	51,06
	P3-DEZ	0,10	0,18	0,42	12,79	0,18	1,09	6,18	46,36

Qual o efeito da hipersalinidade na distribuição nictemeral e sazonal de copépodes em um estuário tropical?

Informação suplementar II: Espécies de copépodes e seus valores de "p" entre o período seco e chuvoso (sazonal) e entre os pontos de coleta (espacial) no estuário de Piranji (NE, Brasil). * indica diferença significativa ($p < 0,05$).

	Sazonal	Espacial	Sazonal X Espacial
Oithonidae (copepodito juvenil)	0,05	0,04*	0,10*
<i>Oithona oswaldocruzi</i>	0,19	0,18	0,39
<i>Oithona nana</i>	0,57	0,01*	0,93
<i>Oithona hebes</i>	0,47	0,11	0,33
<i>Ditrichocorycaeus amazonicus</i>	0,16	0,05*	0,15
<i>Ditrichocorycaeus spp.</i> (copepodito juvenil)	0,28	0,45	0,45
<i>Harpacticoida sp1</i>	0,30	0,65	0,65
<i>Harpacticoida sp1</i> (copepodito juvenil)	0,26	0,72	0,54
<i>Harpacticoida sp2</i>	0,45	0,76	0,63
<i>Harpacticoida sp2</i> (copepodito juvenil)	0,34	0,40	0,40
<i>Harpacticoida</i> (copepodito juvenil)	0,06	0,47	0,47
<i>Harpacticoida sp3</i>	0,28	0,45	0,45
<i>Harpacticoida sp3</i> (copepodito juvenil)	0,34	0,40	0,40
<i>Euterpina acutifrons</i>	0,29	0,09	0,91
<i>Euterpina acutifrons</i> (copepodito juveni)	0,47	0,08	0,39
<i>Microsetella novergica</i> (copepodito juvenil)	0,06	0,35	0,35
<i>Microsetella novergica</i>	0,34	0,40	0,40
<i>Microsetella rosea</i>	0,28	0,45	0,45
<i>Paracalanidade</i> (copepodito juvenil)	0,31	0,07	0,58
<i>Parvocalanus crassirostri</i>	0,50	0,00*	0,68
<i>Parvocalanus scotti</i>	0,33	0,01*	0,44
<i>Paracalanus aculeatus</i>	0,34	0,40	0,40
<i>Pseudodiaptomus spp.</i> (copepodito juvenil)	0,28	0,90	0,04*
<i>Pseudodiaptomus marshi</i>	0,10	0,11	0,37
<i>Pseudodiaptomus triamatus</i>	0,18	0,62	0,62
<i>Pseudodiaptomus acutus</i>	0,39	0,55	0,58
<i>Acartia (Odontacartia) lilljeborgi</i>	0,38	0,36	0,51
<i>Acartia (Odontacartia) lilljeborgi</i> (copepodito juvenil)	0,71	0,05	0,39
<i>Temora turbinata</i> (copepodito juvenil)	0,86	0,00*	0,96
<i>Temora turbinata</i>	0,46	0,06	0,60
<i>Calanopia americaao</i> (copepodito juvenil)	0,47	0,01*	0,58
<i>Centropages velificatus</i> (copepodito juvenil)	0,30	0,43	0,43
<i>Calanoida</i> (copepodito juvenil)	0,47	0,32	0,87
Náuplio	0,60	0,11	0,30

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nossos resultados fornecem evidências sobre os efeitos da hipersalinidade e das secas severas nas variações sazonais, espaciais e nictemerais da assembleia de copépodes. No capítulo 1, todas as hipóteses foram corroboradas. A assembleia de copépodes pode seguir o padrão de migração noturna e mostra adaptação às condições de hipersalinidade e são principalmente influenciadas pelas marés, salinidade e clorofila *a*. No capítulo 2, as hipóteses foram negadas, pois a assembleia não apresentou diferença significativa entre os períodos chuvoso e seco e as maiores densidades foram no período de estiagem.

A tese apresenta informações importantes para expandir conceitos e teorias sobre a estrutura e dinâmica de estuários tropicais, que são principalmente restritos a estuários subtropicais e temperados de alto fluxo. Nesses estuários tropicais semiáridos, a variação da salinidade pode ser usada para estabelecer linhas de base de ambientes hipersalinos e para entender melhor como esses ambientes estão enfrentando mudanças locais e globais. Para isso, é necessário um monitoramento de longo prazo em estuários semiáridos sob influência da hipersalinidade comparando anos de seca extrema, anos de precipitação normal e anos de precipitação acima da média. Estuários como o do rio Piranji, por fornecer condições geográficas peculiares para o entendimento da hipersalinidade, podem ser utilizados como modelo de estudo científico para esses monitoramentos.

Considerando o cenário futuro de aumento das temperaturas, das taxas de evaporação e redução das chuvas em diversas regiões costeiras, os efeitos da hipersalinidade em estuários necessitam ser melhor entendidos visando a elaboração de estratégias como por exemplo o controle de construções de barragens em rios com baixo aporte de água doce.