ISSN: 1679-3013

D.O.I.: 10.5914/1679-3013.2015.0119.

**AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DOS SEDIMENTOS DO SISTEMA ESTUARINO DO RIO
CAPIBARIBE (PERNAMBUCO, BRASIL) UTILIZANDO O COPÉPODO BENTÔNICO *Tisbe
biminiensis* VOLKMANN ROCCO (1973)**

Daniele Claudino MACIEL^{1,;}
Bruno Varella Motta da COSTA^{1;}
Lilia Pereira de Souza SANTOS^{1;}
José Roberto Botelho de SOUZA^{2;}
Eliete ZANARDI-LAMARDO^{1.}

Recebido em: 02/04/2015

Aceito em: 17/06/2015

RESUMO

Os sedimentos concentram uma fração considerável dos contaminantes que chegam aos estuários. Estes compostos podem comprometer a sobrevivência, fecundidade e desenvolvimento dos organismos bentônicos. O objetivo deste estudo foi avaliar a toxicidade dos sedimentos superficiais do Sistema Estuarino do Rio Capibaribe (SERC) sobre o copépodo bentônico *Tisbe biminiensis*. Amostras de sedimento foram realizadas em cinco estações do SERC. Hidrocarbonetos de petróleo dissolvidos e/ou dispersos na água (HAPDDs) foram

analisados em amostras de água de fundo para avaliação do aporte recente destes compostos. Efeitos subletais sobre *T. biminiensis* foram observados para as amostras coletadas em frente ao Porto do Recife, na desembocadura norte do Rio Capibaribe e na porção superior do estuário. As concentrações de HAPDDs registradas no SERC sugerem que a contaminação ocorre de forma crônica e é proveniente principalmente da descarga de efluentes domésticos e industriais, como também das atividades portuárias.

Palavras chave: Fecundidade total, percentual de copepoditos, contaminação, hidrocarbonetos de petróleo.

ABSTRACT

Part of the contaminants that reach the estuaries are deposited in sediments. These compounds may affect survival, fecundity and development of benthic organisms. This study aimed to evaluate the toxicity of the surface sediments from the Capibaribe Estuarine System (CES) on benthic copepod *Tisbe biminiensis*. Sediment samples were collected in five stations of the CES. Dissolved/dispersed petroleum hydrocarbons (DDPHs) was measured in bottom water

samples from the same sites, to estimate the recent input of such compounds. Sub-lethal effects on *T. biminiensis* were observed for samples collected in front of the Harbor of Recife, in the northern mouth of the Capibaribe River and in the upper portion of the estuary. The DDPHs concentrations recorded in the CES suggest chronic contamination and pointed out the domestic and industrial effluents, and harbor activities, as the main source to this system.

Key Words: Total fecundity, copepodites percentage, contamination and petroleum hydrocarbons.

INTRODUÇÃO

Estuários são ecossistemas costeiros que funcionam como barreiras biogeoquímicas, retendo as partículas em suspensão e os poluentes adsorvidos à estas (SHUBEL AND CARTER,

¹Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Av. Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, CEP 50610-901, Recife-PE, Brasil. ²Departamento de Zoologia, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Av. Professor Moraes Rego 1235, Cidade Universitária, CEP 50670-901 Recife-PE, Brasil.

E-mails: daniele_biologia@yahoo.com.br; brunovmcosta@gmail.com; liliapssantos@gmail.com; jrbsoouza@ufpe.br; eliete.zanardi@ufpe.br.

1984; TOLOSA et al., 2004). Nestes ecossistemas, o aporte de contaminantes se dá através do lançamento de efluentes industriais e domésticos; da lixiviação do solo na área da bacia de drenagem; de fontes pontuais localizadas no estuário (portos, marinas e estaleiros) e também através da deposição atmosférica de partículas (e.g., fuligem resultante da combustão de combustível fóssil) (MORAES et al., 2001).

O material particulado em suspensão e o sedimento podem atuar como vias de exposição a poluentes para organismos filtradores e detritívoros, bem como fontes secundárias de liberação de contaminantes para a coluna d'água (CHAPMAN, 1989; KIM et al., 2011). Estes poluentes podem ocasionar efeitos relevantes sobre a biota, tais como redução na fecundidade dos organismos e atrasos no desenvolvimento (CHAPMAN, 1990). Além disso, propriedades físico-químicas dos poluentes (ex. elevada capacidade de se particionar para matrizes orgânicas) e características ambientais (ex. anoxia na coluna d'água) podem favorecer a retenção destes poluentes no estuário, prolongando a toxicidade.

Testes de toxicidade são comumente utilizados para avaliar a qualidade de sedimentos estuarinos (ABESSA et al., 2012; ARAÚJO-CASTRO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2014). Dentre os organismos utilizados nos bioensaios destacam-se os copépodos bentônicos. Estes microcrustáceos são fáceis de cultivar em laboratório, possuem ciclo de vida curto, e são sensíveis a poluentes (ARAÚJO et al., 2009). Além disso, copépodos com hábito epibentônico possibilitam avaliar diferentes vias de exposição a poluentes, tais como sedimento e água (ARAÚJO-CASTRO et al., 2009; ARAÚJO-CASTRO et al., 2013). O copépodo epibentônico *Tisbe biminiensis* é uma espécie promissora para ser utilizada em bioensaios, visto que se mostra sensível a poluentes inorgânicos (ARAÚJO-CASTRO et al., 2009; LAVORANTE et al., 2013) e orgânicos (COSTA et al., 2014), sendo cultivado em laboratório de forma padronizada (RIBEIRO e SOUZA-SANTOS, 2011). O Sistema Estuarino do Rio Capibaribe (SERC) está localizado na zona urbana da cidade do Recife, e recebe um elevado aporte de poluentes através de fontes difusas (e.g., inúmeras galerias de esgotos ou águas pluviais) e pontuais (e.g., Porto do Recife e marinas) (NÓBREGA, 2011). Apesar da intensa degradação, trata-se de um ambiente de relevante importância ecológica e socioeconômica. Entretanto, ainda são poucos os estudos visando avaliar o grau de contaminação e os efeitos da poluição neste estuário sobre a biota (SERICANO et al., 1995; FERNANDES et al., 1999; LIMA et al., 2002; MACEDO et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2014). Dentre os diversos contaminantes presentes, destacam-se os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, uma vez que alcançam os estuários através de diversas fontes, tais como derrames de óleo, queima de combustíveis fósseis e de efluentes domésticos (FAVROD, 2012; CABRAL, 2014; ZANARDI-LAMARDO et al., 2014). Estes autores registraram elevadas concentrações de HPAs na água (ex. $>7,00 \mu\text{g L}^{-1}$) e em sedimentos ($>400 \text{ ng g}^{-1}$) do SERC.

Alguns estudos têm investigado a presença de óleo na coluna d'água através da determinação de hidrocarbonetos de petróleo dissolvidos e/ou dispersos na água (HAPDDs) (ZARNADI et al., 1999; BÍCEGO et al., 2002; LEMOS et al., 2014). Esta técnica, apesar de não discriminar os componentes aromáticos individuais, é bastante simples, apresenta baixo custo e gera respostas em curto prazo. A quantificação destes compostos na água é importante, pois permite avaliar a contaminação recente de ambientes aquáticos.

O objetivo deste estudo foi investigar a toxicidade de sedimentos superficiais do SERC através de bioensaios com o copépodo bentônico *T. biminiensis*, bem como analisar as concentrações de HAPDDs em amostras de água de fundo do estuário, uma vez que, devido ao hábito epibentônico destes organismos, a água representa uma importante via de exposição.

ÁREA ESTUDADA

O SERC é formado pela confluência dos rios Capibaribe, Tejiipió, Jiquiá, Jordão e Pina, sendo separado do oceano através de um dique natural de arenito (SANTOS et al., 2009). Estes rios atravessam zonas urbanas e industriais, recebendo uma elevada carga de efluentes, a maior parte sem tratamento. O SERC é caracterizado como um ambiente estuarino bastante dinâmico, com a circulação determinada principalmente pelo regime de marés semidiurnas e o influxo de água doce modulado sazonalmente. O clima é do tipo As', tropical quente-úmido, com dois períodos pluviométricos distintos, uma estação seca (setembro a fevereiro) e uma

estação chuvosa (março a agosto) (FEITOSA et al, 1999). Apesar da intensa degradação, apresenta fundamental importância ecológica e socio-econômica para a população ribeirinha e todo o estado de Pernambuco, especialmente devido a sua atuação pesqueira. Seus bancos intermareais apresentam grande produtividade e são intensivamente explorados pela população local, especialmente para a captura de moluscos (LIMA, 2003).

MATERIAL E METÓDOS

Amostras de sedimento foram coletadas em duas campanhas, realizadas em março e maio de 2014. A primeira campanha teve um caráter exploratório, sendo coletados sedimentos em cinco estações do SERC (Fig. 1), os quais foram utilizados apenas para os bioensaios. Infelizmente, a amostra do ponto cinco foi perdida devido à um problema operacional. A partir dos resultados obtidos, uma nova coleta foi realizada (maio). Em ambas as campanhas, foram coletadas três réplicas por estação. Os sedimentos foram coletados com auxílio de um amostrador de fundo tipo "van Veen" de aço inoxidável, separando-se a camada superficial (2 cm) com auxílio de uma colher de aço inoxidável. Alíquotas de cada amostra foram armazenadas em recipientes de vidro para condução dos bioensaios. Na segunda campanha, uma alíquota de cada amostra também foi separada e acondicionada em recipientes de alumínio previamente descontaminados e, no laboratório, armazenadas em freezer a -20°C , até a realização das análises granulométricas e determinação dos teores de carbono orgânico total (COT). Amostras de água de fundo (4 L) foram coletadas em cada estação, com auxílio de garrafas âmbar presas à um suporte de aço inox, para a determinação dos HAPDDs. Em seguida, 20 mL de n-hexano (grau pesticida) foram adicionados em cada amostra para posterior extração em laboratório. Brancos de campo foram realizados adicionando-se 20 mL de n-hexano em frascos âmbar de forma a determinar possíveis contaminações durante a coleta. A localização geográfica dos pontos de coleta pode ser visualizada na Tabela 1.

Figura 1. (A) Localização do Sistema Estuarino do Capibaribe (SERC), Pernambuco, Brasil. (B) Estações de coleta de sedimento em março e maio de 2014. (T) = Rio Tejiptió, (J) = Rio Jordão e (P) = Rio Pina.

Testes de toxicidade com sedimento

Os bioensaios foram conduzidos segundo metodologia estabelecida por Araújo-Castro et al. (2009). Inicialmente, as amostras foram peneiradas em malha de 63 μm para remoção da fauna associada. Cerca de 2 g da fração lamosa de cada amostra foram pesados em recipientes de vidro. Após pesagem, 20 mL de suspensão da diatomácea *Chaetoceros calcitrans* (0,2 $\mu\text{g chl-a mL}^{-1}$), foram adicionados em cada recipiente. Os recipientes foram acondicionados em estufa incubadora à 28°C. Após 24 h, 10 fêmeas ovígeras de *T. biminiensis* com idade controlada (entre 10 e 12 dias) foram adicionadas em cada recipiente. Os bioensaios tiveram duração de 7 dias, mantendo-se os recipientes na estufa incubadora com fotoperíodo de 12/12 h (claro/escuro) e adicionando-se alimento a cada 2 dias. Para controle dos bioensaios, uma amostra de sedimento lamoso foi coletada no Estuário do Rio Maracáipe, no qual não há instalações portuárias nem marinas, e processada da mesma forma que as amostras do SERC. Para cada amostra foram feitas 3 réplicas. Ao fim do teste os organismos foram corados com Rosa de Bengala e fixados com formol a 4%. O parâmetro biológico utilizado para avaliar a toxicidade foi a fecundidade total (náuplios + copepoditos) e o percentual de copepoditos na prole das fêmeas. Para avaliar a sensibilidade do lote de fêmeas ovígeras, foram realizados bioensaios com a substância de referência Dicromato de Potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) (ARAUJO-CASTRO et al., 2009).

Análise granulométrica e do teor de COT

A análise granulométrica das amostras foi realizada conforme metodologia estabelecida por Suguio (1973). A fração arenosa ($> 63 \mu\text{m}$) foi separada com auxílio de um agitador de peneiras e a fração lamosa ($< 63 \mu\text{m}$) foi separada através do método da pipetagem. A determinação dos teores de COT foi feita na amostra total do sedimento em um Analisador Elementar acoplado a Espectrômetro de Massas de Razão Isotópica (EA-IRMS), após acidificação das amostras com HCl (1 M) por 24 h.

Extração e análise de HAPDDs

Para extração dos HAPDDs, as garrafas âmbar foram agitadas vigorosamente por 2 minutos e a fase orgânica separada em um funil de separação. Os extratos foram secos com Na_2SO_4 (previamente calcinado a 450 °C), concentrados a 10 mL em um rotaevaporador e armazenados em freezer a -22°C até as análises. Os HAPDDs foram quantificados em um espectrofluorímetro, usando um comprimento de onda de 310 nm para excitação e 360 nm para a medida de emissão (Zanardi et al, 1999; LEMOS et al., 2014). Uma série de diluições do óleo Carmópolis intemperizado (0 a 5,0 $\mu\text{g L}^{-1}$) foi preparada e utilizada na preparação da curva analítica e quantificação dos HAPDDs (Zanardi et al, 1999; Bícego et al., 2002; Lemos et al., 2014). A equação de reta obtida foi (sinal de fluorescência) = $5,3871[\text{HAPDDs}] + 0,0344$, $r^2 = 0,9998$. A média dos valores de fluorescência dos brancos de campo foi subtraída de cada amostra. O limite de detecção do método (LD) foi determinado como sendo três vezes o desvio padrão das concentrações do branco, resultando em 0,003 $\mu\text{g L}^{-1}$ equivalente em óleo Carmópolis.

Análise de dados

A Análise de Variância (ANOVA, $\alpha = 0,05$) foi utilizada para avaliar diferenças significativas em relação aos parâmetros toxicológicos entre as estações do SERC e o tratamento controle, aplicando-se o teste a posteriori de Dunnett. A normalidade dos dados foi verificada através do teste de Komolgorov-Smirnov. Análises de Correlação de Pearson foram realizadas entre os parâmetros ecotoxicológicos e os dados abióticos. Para dados não-paramétricos utilizou-se a Correlação de Spearman. A concentração letal a 50% dos organismos (CL50) foi calculada através do método Trimmed Spearman-Kärber.

RESULTADOS

As CL50-96 h do Dicromato de Potássio obtidas durante os bioensaios das duas campanhas de amostragem estiveram dentro da faixa estabelecida por Araújo-Castro et al. (2009) ($9,45 \pm 1,68$) mg L^{-1} .

Na primeira campanha houve uma redução significativa na fecundidade total das fêmeas expostas ao sedimento das estações 1 e 2 em relação ao controle ($F_{(5,11)} = 4,0952$, $p = 0,0254$) (Fig. 2 (A)). Em todas as estações o percentual de copepoditos manteve-se acima de 80%, não havendo diferenças significativas relativas ao controle ($F_{(5,11)} = 0,7444$, $p = 0,5817$) (Fig. 2 (B)). Na segunda campanha foi observada uma redução significativa na fecundidade total das fêmeas expostas ao sedimento das estações 1 e 5 quando comparadas ao controle ($F_{(5,11)}=6,485$, $p=0,0052$) (Fig. 2 (A)). Em relação ao percentual de copepoditos, a estação 1 ($32 \pm 3.34\%$) diferiu significativamente em relação ao controle ($50 \pm 1.13\%$) ($F_{(5,11)}=3,4056$, $p=0,0419$) (Fig. 2 (B)).

A análise granulométrica das estações indicou que o percentual de lama variou de 24% (controle) a 92% (estação 1) (Tabela 1). O teor de COT variou entre 1,43% (controle) e 4,76% (estação 4) (Tabela 1). As concentrações médias de HAPDDs variaram de $0,47 \pm 0,08$ (estação 1) a $5,63 \pm 0,25 \mu\text{g L}^{-1}$ (estação 5) eq. de óleo Carmópolis (Tabela 1). A fecundidade total das fêmeas de *T. biminiensis* apresentou correlação inversa e significativa com o percentual de lama ($r=-0,8218$, $p=0,0448$) e o teor de COT ($r = -0,9429$, $p= 0,0048$) das estações (Fig. 3). Não houve correlações significativas entre o percentual de copepoditos e os parâmetros acima descritos.

Tabela 1 - Localização das estações de coleta e resultados da análise granulométrica (% de lama), teores de carbono orgânico total (% COT) e concentração média ($\mu\text{g L}^{-1}$ equivalente em óleo Carmópolis) e desvio padrão amostral ($n=3$) de HAPDDs de água de fundo. Amostras coletadas no Estuário de Maracaípe (controle) e no Sistema Estuarino do Rio Capibaribe, em maio de 2014.

	Latitude	Longitude	COT	Areia	Lama	HAPDDs
Controle	08°32'21.8"	35°00'14.5"	1,43	75,36	23,68	---
P1	08°03'21,2"	034°52'0,36"	2,98	5,64	92,27	0,47 ($\pm 0,08$)
P2	08°04'02,8"	034°52'24,9"	1,99	54,08	40,76	4,60 ($\pm 1,93$)
P3	08°04'43,9"	034°52'42,2"	2,26	58,06	37,05	3,78 ($\pm 1,18$)
P4	08°05'02,4"	034°53'28,3"	4,54	23,97	73,09	1,74($\pm 0,19$)
P5	08°04'59.3"	034°53'48,4"	4,76	33,53	66,2	5,63 ($\pm 0,25$)

(---) Não analisado.

Figura 2. (A) Fecundidade total média ($\pm$ D.P.) de náuplios + copepoditos e (B) percentual médio de copepoditos de *Tisbe biminiensis* após 7 dias de exposição a sedimentos coletados no Sistema Estuarino do Rio Capibaribe e Rio Maracáipe durante a 1º e 2º campanhas. (*) Amostras significativamente diferentes do controle.

Figura 3 – Gráfico de dispersão da fecundidade total (náuplios + copepoditos) das fêmeas de *Tisbe biminiensis* em função do percentual de lama (•) e do percentual de carbono orgânico total (COT) (◊) nas amostras de sedimento do controle e do Sistema Estuarino do rio Capibaribe (SERC).

DISCUSSÃO

Os resultados dos bioensaios indicam toxicidade nas amostras de sedimento coletadas nas estações 1 (localizada em frente ao Porto do Recife), 2 (na desembocadura norte do rio Capibaribe) e 5 (localizada na confluência dos rios que formam o SERC). O ponto 1 recebe, de forma contínua, o aporte de óleo e outros contaminantes, derivados das embarcações e

atividades portuárias. Os pontos 2 e 5 estão situados próximos às desembocaduras dos rios formadores do SERC, que atravessam a região metropolitana do Recife. O Rio Capibaribe ainda recebe uma elevada carga de efluentes de vários pólos industriais do estado de Pernambuco, localizados no seu entorno, em sua maior parte sem tratamento. Além disto, no SERC há o aporte atmosférico de contaminantes oriundos principalmente da queima de combustíveis fósseis (Zanardi-Lamardo et al., 2014). Estes resultados demonstram que em alguns pontos do SERC os sedimentos estão contaminados, e que estes contaminantes estão biodisponíveis e causam efeitos sobre a biota.

A presença de contaminantes em sedimentos do SERC foi reportada em estudos prévios. Elevados níveis de contaminação por metais pesados já foram registrados (MACEDO et al., 2007). OLIVEIRA et al. (2014) indicaram o efeito dos metais Zn e Cr sobre a toxicidade dos sedimentos no Parque dos Manguezais situado próximo a porção superior do SERC. Uma grande preocupação em relação à introdução de metais pesados no ambiente deve-se ao fato de que os mesmos podem bioacumular e causar efeitos tóxicos para diferentes espécies da biota e para o homem (TAVARES E CARVALHO, 1992; VIRGA et al., 2007). A exposição a metais pesados pode causar efeitos adversos, afetando principalmente o sistema neurológico (efeitos neurotóxicos), sistema reprodutivo (efeitos na reprodução e teratogênicos), sistema imunológico e hematológico, entre outros, além dos efeitos carcinogênicos (JÄRUP, 2003). A contaminação de sedimentos do SERC por hidrocarbonetos de petróleo foi reportada recentemente (Maciel et al., 2014a). Estes mesmos pesquisadores também observaram elevadas concentrações de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), com concentrações do dibenzo[a,h]antraceno superiores aos limites de segurança estabelecidos pela "Canadian Environmental Agency" (CCME) (ZANARDI-LAMARDO et al., 2014). O dibenzo[a,h]antraceno está entre os 16 HPAs considerados como poluentes prioritários pela USEPA (United States Environmental Protection Agency) devido ao seu elevado potencial mutagênico e carcinogênico, o que o torna uma ameaça a biota (IARC, 1983).

Além de metais pesados e hidrocarbonetos, a ocorrência de compostos orgânicos de estanho (OTs) também já foi reportada no SERC, com concentrações elevadas de Tributilestanho (TBT) em diversos pontos (MACIEL et al., 2014b). As maiores concentrações ($> 100 \text{ ng Sn g}^{-1}$) foram registradas em frente ao Porto do Recife e na desembocadura do Rio Pina, onde estão localizadas as estações 1 e 5, respectivamente, do presente estudo. O TBT é considerado o mais perigoso de todos os compostos de estanho e um dos compostos mais tóxicos lançados no ambiente aquático (PLETSCH et al., 2010). Vários estudos em diversas partes do mundo têm mostrado os efeitos deletérios do TBT sobre os organismos (RUIZ et al., 1995; McALLISTER e KIME, 2003; ROACH e WILSON, 2009; GRACELI et al., 2013). Dentre estes, os mais significativos estão relacionados à ação de desregulador endócrino que o TBT apresenta, afetando principalmente a reprodução de organismos aquáticos. A presença destes contaminantes (hidrocarbonetos, metais, organoestânicos) pode estar relacionada com a toxicidade dos sedimentos amostrados. Vale ressaltar que o efeito sinérgico entre estes contaminantes pode ocorrer, ocasionando um aumento significativo da toxicidade (Costa et al., 2008).

Aliado a estes dados pretéritos, a presença de HAPDDs nas amostras de água de fundo, indica um aporte recente de óleo na região. O gradiente observado no sentido porção superior - baixo estuário confirma que o aporte ocorre principalmente pelos rios que formam o SERC. As concentrações de HAPDDs foram, em média, 10 vezes superiores à linha de base proposta para as águas do Atlântico Sul ($0,31 \mu\text{g L}^{-1}$ eq. óleo Carmópolis), indicando que as amostras estão potencialmente contaminadas por HPAs (BÍCEGO et al., 2002), e classificam o estuário como cronicamente contaminado (Lemos et al., 2014). Estas concentrações também foram maiores do que as registradas para outras áreas estuarinas do estado de Pernambuco, como o Canal de Santa Cruz ($0,23$ a $0,37 \mu\text{g L}^{-1}$ eq. óleo Carmópolis) (SANTOS, 2015) e Suape ($0,05$ – $4,59 \mu\text{g L}^{-1}$ eq. óleo Carmópolis) (LEMOS et al.; 2014). A contaminação por HAPDDs no SERC já havia sido reportada para águas superficiais por Favrod (2012), que registrou concentrações entre $0,27$ e $7,86 \mu\text{g L}^{-1}$ eq. óleo Carmópolis, com as menores concentrações em frente ao Porto do Recife, e as maiores na porção superior do estuário, onde desembocam os rios formadores do SERC. Estes resultados confirmam o observado neste estudo e corroboram com a hipótesede

que estes rios são a principal via de aporte de poluentes para o estuário, e que a entrada de hidrocarbonetos políciclicos aromáticos neste sistema estuarino ocorre de forma contínua. A baixa concentração observada na estação em frente ao Porto do Recife é provavelmente resultante da influência da entrada das águas oceânicas, uma vez que a hidrodinâmica local é um fator preponderante na dispersão e diluição destes contaminantes (FAVROD, 2012; CABRAL et al., 2014).

A correlação negativa observada entre a fecundidade total e o percentual de lama, bem como com o %COT, é indicativo da dinâmica de concentração de poluentes orgânicos nos sedimentos mais finos e com maiores teores de carbono, e do potencial de toxicidade da amostra. Nos bioensaios com *T. biminiensis*, a maior toxicidade (menor fecundidade) foi observada na estação com maior %COT (estação 5). Quanto ao hábito alimentar, o *T. biminiensis* pode ser classificado como um detritívoro epibentônico e, portanto, os detritos no sedimento são uma importante via de exposição a poluentes para esta espécie. A ausência de correlação significativa entre o percentual de copepoditos e os parâmetros acima mencionados pode ser um efeito secundário da poluição orgânica no SERC (predominantemente oriunda de esgotos domésticos). Este aporte pode ter estimulado o crescimento das comunidades microbianas, utilizadas por *T. biminiensis* como alimento, e garantido o desenvolvimento dos náuplios nos bioensaios. Esta hipótese, entretanto, deve ser testada em futuros bioensaios. Esta correlação negativa entre teor de finos e COT com a fecundidade pode ser explicada pelo fato de que a maioria dos contaminantes, devido a sua baixa solubilidade, são rapidamente adsorvidos ao material particulado em suspensão, e posteriormente tendem a se depositar no sedimento, ligando-se especialmente às partículas finas (WANG et al., 2001; TOLOSA et al., 2004; YANG et al., 2012). Além disto, os sedimentos que possuem elevados teores de silte e argila apresentam maior capacidade de retenção de matéria orgânica e, conseqüentemente, dos contaminantes (KOWALSKA et al., 1994). Vários estudos têm reportado fortes correlações entre o COT e diversos poluentes, corroborando com esta teoria (NAN et al., 2008; HE et al., 2009; PINOCHET et al., 2009; MARTÍNEZ-SANTOS et al., 2015).

CONCLUSÕES

Os sedimentos de alguns pontos do SERC apresentaram toxicidade sub-letal para *Tisbe biminiensis*, sugerindo que o mesmo possa estar ocorrendo para outros organismos bentônicos. Alguns pontos críticos foram identificados e associados à proximidade das fontes de poluição, tais como a desembocadura do SERC, onde está instalado o Porto do Recife, e a desembocadura dos rios que formam o estuário, que recebem o aporte de esgotos domésticos e industriais na bacia de drenagem do SERC.

As concentrações de HAPDDs observadas nas amostras de água de fundo reforçam a idéia de que a contaminação do SERC ocorre de forma crônica e que os contaminantes são, principalmente, trazidos pelos rios formadores do SERC. Este estudo mostra que é fundamental a realização de pesquisas mais direcionadas/específicas que avaliem os níveis de contaminação do SERC, investigando as principais fontes de contaminantes para área. O monitoramento contínuo de parâmetros biológicos torna-se imprescindível para avaliar os possíveis efeitos desta contaminação sobre a biota.

AGRADECIMENTOS

A MsC. Maciel agradece à CAPES pela concessão de sua bolsa nível doutorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABESSA, D. M. S.; MORAIS, L. G.; PERINA, F. C.; DAVANSO, M. B.; BURUAEM, L. M.; MARTINS, L. M. P.; RODRIGUES, V. G. S. Toxicidade de águas e sedimentos em um rio afetado por atividades mineradoras pretéritas. **Revista O Mundo da Saúde**, v. 36, p. 610-618, 2012.
- ARAUJO, C. V. M.; DIZ, F. R.; LAIZ, I.; LUBIAN, L. M.; BLASCO, J.; MORENO-GARRIDO, I. Sediment integrative assessment of the Bay of Cadiz (Spain): An ecotoxicological and chemical approach. **Environment International**, v. 35, n. 6, p. 831-841, 2009.
- ARAUJO-CASTRO, C. M. V.; SOUZA-SANTOS, L. P.; TORREIRO, A. G. A. G.; GARCIA, K. S. Sensitivity of the marine benthic copepod *Tisbe biminiensis* (Copepoda, Harpacticoida) to

potassium dichromate and sediment particle size. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 57, n. 1, p. 33-41, 2009.

ARAÚJO-CASTRO, C. M. V.; OLIVEIRA, D. D.; SOUZA-SANTOS, L. P.; COSTA, M. F.; CARREIRA, R. S.; REZENDE, C. E.; SILVA JÚNIOR, J. M. **Avaliação da toxicidade dos sedimentos entorno do Porto de Suape (Pernambuco) utilizando o copépodo *Tisbe biminiensis***. In: KATO, M. T.; GAVAZZA, S. (Coord). Gestão e tratamento de resíduos líquidos gerados na cadeia produtiva do Petróleo: Livro Rápido, 2013. p. 1 – 32.

BÍCEGO, M. C., ZANARDI, E., TANIGUCHI, S., WEBER, R. R. Natural levels of dissolved/dispersed petroleum hydrocarbons in the South West Atlantic. **Marine Pollution Bulletin**, v. 44, n. 10, p. 1166-1169, 2002.

CABRAL, C. B. **Variabilidade Longitudinal e Mareal das concentrações de Hidrocarbonetos de Petróleo no Estuário do Rio Capibaribe**. Recife, 2014. 50f. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais) – Centro de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Pernambuco.

CABRAL, C. B., MACIEL, D. C., SANTOS, R. H. A., SCHETTINI, C. A. F., ZANARDI- LAMARDO, E. Variabilidade mareal das concentrações de hidrocarbonetos de petróleo no Sistema Estuarino do Rio Capibaribe (Pernambuco). In: **XIII Congresso Brasileiro de Oceanografia**. 2014, Itajaí, p. 416-417.

CHAPMAN, P. M. Current approaches to developing sediment quality criteria. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 8, n. 7, p. 589-599, 1989.

CHAPMAN, P. M. The sediment quality triad approach to determining pollution-induced degradation. **Science of The Total Environment**, v. 97-98, n. 0, p. 815-825, 1990.

COSTA, B. V. M.; YOGUI, G. T.; SOUZA-SANTOS, L. P. Acute toxicity of tributyltin on the marine copepod *Tisbe biminiensis*. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 62, n. 1, p. 65-69, 2014.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n.7, pp. 1820-1830, 2008.

FAVROD, N. **Determinação de hidrocarbonetos do petróleo dissolvidos e/ou dispersos nas águas do Complexo Estuarino da Bacia do Pina – Bacia Portuária (Porto de Recife)**. Recife, 2012. 45f. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais) – Centro de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Pernambuco.

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

FERNANDES, M. B.; SICRE, M. A.; CARDOSO, J. N.; MACÊDO, S. J. Sedimentary 4-desmethyl sterols and n-alkanols in an eutrophic urban estuary, Capibaribe River, Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 231, n. 1, p. 1-16, 1999.

GRACELI, J. B.; SENA, G. C.; LOPES, P. F. I.; et al. Organotins: A review of their reproductive toxicity, biochemistry, and environmental fate. **Reproductive Toxicology**, v. 36, n. 0, p. 40-52, 2013.

HE, F.; ZHANG, Z.; WAN, Y.; et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of Beijing and Tianjin region: Vertical distribution, correlation with TOC and transport mechanism. **Journal of Environmental Sciences**, v. 21, n. 5, p. 675-685, 2009.

IARC. **Polynuclear Aromatic Compounds, Part 1, Chemical, Environmental and Experimental Data**. CANCER, I. A. F. R. O.: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 32: 55 p. 1983.

JÄRUP, L. Hazards of heavy metal contamination. **British Medical Bulletin**, v. 68, n. 1, p. 167-182, 2003.

- KIM, N. S.; SHIM, W. J.; YIM, U. H.; et al. Three decades of TBT contamination in sediments around a large scale shipyard. **Journal of Hazardous Materials**, v. 192, n. 2, p. 634–642, 2011.
- KOWALSKA, M.; GÜLER, H.; COCKE, D. L. Interactions of clay minerals with organic pollutants. **Science of The Total Environment**, v. 141, n. 1–3, p. 223–240, 1994.
- LAVORANTE, B. R. B. O.; OLIVEIRA, D. D.; COSTA, B. V. M.; SOUZA-SANTOS, L. P. A new protocol for ecotoxicological assessment of seawater using nauplii of *Tisbe biminiensis* (Copepoda:Harpacticoida). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 95, n. 1, p. 52–59, 2013.
- LEMO, R. T. D. O.; CARVALHO, P. S. M. D.; ZANARDI-LAMARDO, E. Petroleum hydrocarbons in water from a Brazilian tropical estuary facing industrial and port development. **Marine Pollution Bulletin**, v. 82, n. 1–2, p. 183–188, 2014.
- LIMA, E. S. et al. Fast environmental impact assessment through ICP-MS: application to bivalves from a tropical estuary (Pina Bay, Recife, Brazil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 74, p. 554–555, 2002.
- LIMA, M. P. R. **Variação espacial da macrofauna bentônica do Estuário da Bacia do Pina – Recife-PE**. 2003. 33f. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Centro de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Pernambuco.
- MACEDO, S. J. D. et al. Heavy metal concentrations in sediments of the Capibaribe River Estuary in the Metropolitan Region of Recife, Pernambuco-Brazil. **Sustainable Development and Planning III.**, v. 2, p. 357–365, 2007.
- MACIEL, D. C. ; SOUZA, J. R. B. ; TANIGUCHI, S. ; BICEGO, M. C. ; SCHETTINI, C. A. F. ; ZANARDI-LAMARDO, E. ; MIRANDA, D. A. Hidrocarbonetos em sedimentos do Sistema Estuarino do Rio Capibaribe e o potencial de transferência para plataforma adjacente. In: **XIII Congresso Brasileiro de Oceanografia**. 2014a, Itajaí, p. 418–419.
- MACIEL, D. C., CASTRO, Í., FILLMANN, G., YOGUI, G. T., LAMARDO, E. Z. Contaminação por organoestênicos em sedimentos do Sistema Estuarino do Rio Capibaribe, Pernambuco. In: **XIII Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia**. 2014b, Guarapari, p. 1824–1825.
- MARTÍNEZ-SANTOS, M.; PROBST, A.; GARCÍA-GARCÍA, J.; RUIZ-ROMERA, E. Influence of anthropogenic inputs and a high-magnitude flood event on metal contamination pattern in surface bottom sediments from the Deba River urban catchment. **Science of The Total Environment**, v. 514, n. 0, p. 10–25, 2015.
- MCALLISTER, B. G.; KIME, D. E. Early life exposure to environmental levels of the aromatase inhibitor tributyltin causes masculinisation and irreversible sperm damage in zebrafish (Daniorerio). **Aquatic Toxicology**, v. 65, n. 3, p. 309–316, 2003.
- MORAES, R.; PFEIFFER, W.; TEIXEIRA, A. B. V. **Efeitos de Poluentes em Organismos Marinhos** São Paulo: Arte & Ciência, 2001. 288p.
- NAM, J. J. et al. Relationships between organic matter, black carbon and persistent organic pollutants in European background soils: Implications for sources and environmental fate. **Environmental Pollution**, v. 156, n. 3, p. 809–817, 2008.
- NÓBREGA, A. S. C. **Fontes de contaminação no estuário do Rio Capibaribe, Pernambuco**. Recife, 2011. 57f. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais) – Centro de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Pernambuco.
- OLIVEIRA, D. D.; SOUZA-SANTOS, L. P.; SILVA, H. K. P.; MACEDO, S. J. Toxicity of sediments from a mangrove forest patch in an urban area in Pernambuco (Brazil). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 104, n. 0, p. 373–378, 2014.
- PINOCHET, H.; TESSINI, C.; BRAVO, M.; QUIROZ, W.; GREGORI, I. DE. Butyltin compounds and their relation with organic matter in marine sediments from San Vicente Bay—Chile. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 155, n. 1–4, p. 341–353, 2009.

PLETSCH, A. L.; BERETTA, M.; TAVARES, T. M. Distribuição espacial de compostos orgânicos de estanho em sedimentos costeiros e em *Phallusia nigra* da Baía de Todos os Santos e litoral norte da Bahia - Brasil. **Química Nova**, v. 33, p. 451-457, 2010.

RIBEIRO, A. C. B.; SOUZA-SANTOS, L. P. Mass culture and offspring production of marine harpacticoid copepod *Tisbe biminiensis*. **Aquaculture**, v. 321, n. 3-4, p. 280-288, 2011.

ROACH, A. C.; WILSON, S. P. Ecological impacts of tributyltin on estuarine communities in the Hastings River, NSW Australia. **Marine Pollution Bulletin**, v. 58, n. 12, p. 1780-1786, 2009.

RUIZ, J. M.; BRYAN, G. W.; WIGHAM, G. D.; GIBBS, P. E. Effects of tributyltin (TBT) exposure on the reproduction and embryonic development of the bivalve *Scrobicularia plana*. **Marine Environmental Research**, v. 40, n. 4, p. 363-379, 1995.

SANTOS, G. T.; BEZERRA-JUNIOR, J. L.; COSTA, K. M. P.; FEITOSA, F. A. N. Dinâmica da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário tropical (Bacia Do Pina, Recife, PE). **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v.4, n.1, p.95-109. 2009.

SANTOS, R. H. A. **Avaliação dos níveis de hidrocarbonetos na água e sedimentos do Canal de Santa Cruz-PE**. 2015. 52f. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais) – Centro de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Pernambuco.

SCHUBEL, J.; CARTER, H. **Estuary as a Filter for Fine-Grained Suspended Sediment**. The Estuary as a Filter, Academic Press, Orlando FL. 1984.p 81-105.

SERICANO, J. L.; WADE, T. L.; JACKSON, T. J.; et al. Trace organic contamination in the Americas: An overview of the US National Status & Trends and the International "Mussel Watch" programmes. **Marine Pollution Bulletin**, v. 31, n. 4-12, p. 214-225, 1995.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. Editora E. Blücher, 1973.

TAVARES, T. M.; CARVALHO, F. M. Avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do Recôncavo Baiano. **Química Nova**, v.15, n.2, p.147-154, 1992.

TOLOSA, I.; MORA, S. DE; SHEIKHOESLAMI, M. R.; et al. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal caspian Sea sediments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 48, n. 1-2, p. 44-60, 2004.

VIRGA, R. H. P.; GERALDO, L. P.; SANTOS, F. D. Avaliação de contaminação por metais pesados em amostras de siris azuis. **Ciênc Tecnol Aliment**, v. 27, n. 4, p. 787-792, 2007.

WANG, X.-C.; ZHANG, Y.-X.; CHEN, R. F. Distribution and Partitioning of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Different Size Fractions in Sediments from Boston Harbor, United States. **Marine Pollution Bulletin**, v. 42, n. 11, p. 1139-1149, 2001.

YANG, H.; ZHUO, S.; XUE, B.; ZHANG, C.; LIU, W. Distribution, historical trends and inventories of polychlorinated biphenyls in sediments from Yangtze River Estuary and adjacent East China Sea. **Environmental Pollution**, v. 169, n. 0, p. 20-26, 2012.

ZANARDI, E.; BICEGO, M. C.; WEBER, R. Dissolved/dispersed petroleum aromatic hydrocarbons in the São Sebastião Channel, São Paulo, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 38, n. 4, p. 261-267, 1999.

ZANARDI-LAMARDO, E., MACIEL, D. C., LEMOS, R. T., TANIGUCHI, S., BÍCEGO, M. C., SOUZA, J. R. B. Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos em sedimentos do Sistema Estuarino do Rio Capibaribe, Pernambuco. In: **XIII Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia**. 2014, Guarapari, p. 418-419.