



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE BIOCIÊNCIAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO  
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS COM ÊNFASE EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS

NYCOLLE VIRGÍNIA MAUX DE ANDRADE

**ECOTOXICIDADE DE ÁREAS RECIFAIS IMPACTADAS POR PETRÓLEO EM  
PERNAMBUCO (NE BRASIL) UTILIZANDO O *TISBE BIMINIENSIS* (COPEPODA:  
HARPACTICOIDA)**

Recife

2022

NYCOLLE VIRGÍNIA MAUX DE ANDRADE

**ECOTOXICIDADE DE ÁREAS RECIFAIS IMPACTADAS POR PETRÓLEO EM  
PERNAMBUCO (NE BRASIL) UTILIZANDO O *TISBE BIMINIENSIS* (COPEPODA:  
HARPACTICOIDA)**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Orientador (a): Dra. Lília Pereira de Souza Santos

Recife

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Andrade, Nycolle Virgínia Maux de.  
ECOTOXICIDADE DE ÁREAS RECIFAIS IMPACTADAS POR  
PETRÓLEO EM PERNAMBUCO (NE BRASIL) UTILIZANDO O TISBE  
BIMINIENSIS (COPEPODA: HARPACTICOIDA) / Nycolle Virgínia Maux de  
Andrade. - Recife, 2022.  
51 : il., tab.

Orientador(a): Lília Pereira de Souza-Santos  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas /Ciências  
Ambientais - Bacharelado, 2022.

1. poluição. 2. derrame de óleo. 3. ecotoxicologia. 4. desastre ambiental. 5.  
praia. I. Souza-Santos, Lília Pereira de. (Orientação). II. Título.

590 CDD (22.ed.)

NYCOLLE VIRGÍNIA MAUX DE ANDRADE

**ECOTOXICIDADE DE ÁREAS RECIFAIS IMPACTADAS POR PETRÓLEO EM  
PERNAMBUCO (NE BRASIL) UTILIZANDO O *TISBE BIMINIENSIS* (COPEPODA:  
HARPACTICOIDA)**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Dra. Lília Pereira de Souza Santos - UFPE

---

Dr. Paulo Sérgio Martins de Carvalho - UFPE

---

Dr. Bruno Varella Motta da Costa - UFPE

Recife

2022

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente a Deus e o Espírito da Verdade por me abençoarem e permitirem que chegasse até aqui, concluindo uma das fases mais importantes da minha vida.

À minha família por sempre me apoiarem e não medirem esforços em me ajudar nessa etapa acadêmica. Sempre me incentivaram, cuidaram de mim e me deram muito amor.

À minha orientadora Dra. Lília que me ensinou muito e confiou nos meus esforços, sempre me ajudando bastante.

À FACEPE, FAPESP, CNPq e ao PELD/TAMS pelo financiamento do projeto intitulado “Avaliação do impacto e monitoramento ecotoxicológico e químico de hidrocarbonetos de petróleo em áreas recifais e rios impactados pelo aporte de petróleo emulsificado no litoral Pernambucado”, ao qual tive a oportunidade de fazer parte.

Aos meus colegas do LACE, em especial Roberta, Carol, Bruno, Yasmin e Jayne por estarem presentes e dispostos a me ajudar sempre.

Ao meu grupo de amigas “Mean Girls”, em especial Sabrina, Beatriz, Marília, Marília, Giovanna, Bruna e Wanessa que me deram muito apoio, carinho e conselhos durante minha graduação e nunca as esquecerei. E a Vinícius e Gustavo que apesar de não estarem no grupo das meninas, foizeram o mesmo por mim.

“Na natureza nada se cria, nada se perde; tudo se transforma”

Lavoisier, 1785

## RESUMO

Em 2019 o Brasil vivenciou um dos piores desastres ambientais de sua história, milhares de manchas de óleo bruto atingiram a costa do Nordeste e depois do Sudeste brasileiro. Parte significativa deste óleo pode ter permanecido sedimentado ou soterrado, e pequenas porções penetraram os interstícios dos recifes, sendo impossível viabilizar ações de retirada e representando uma possível fonte de contaminantes. O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade ecotoxicológica do sedimento, água intersticial e água superficial de áreas recifais ao longo do litoral pernambucano previamente atingidos pela chegada deste óleo. Oito áreas recifais foram analisadas: Janga, Paiva, Suape, Muro Alto, Cupe, Serrambi, Carneiros e Mamucabas. Sete áreas em 2019 foram caracterizadas como bastante afetadas e a oitava, Serrambi, não teria sido afetada pela chegada do óleo, portanto serviria de controle. Em cada uma das estações foram obtidas 4 amostras de sedimento, 6 amostras de água intersticial e 3 de água superficial durante a maré baixa em março e outubro de 2021. Os organismos-testes utilizados foram náuplios recém-eclodidos do Copepoda *Tisbe biminiensis*, sendo avaliados a sobrevivência e o desenvolvimento. Como resultados, todas as regiões apresentaram toxicidade em alguma das 3 matrizes estudadas, mesmo que em baixas proporções. Serrambi apesar de sugerido como ponto controle, foi um dos pontos que apresentou pior qualidade ambiental tanto para sobrevivência quanto para o desenvolvimento do *T. biminiensis*, sugerindo outras fontes de contaminação na região. Mamucabas e Carneiros apresentaram uma grande melhora na qualidade ambiental em 2021 quando comparados a dados pretéritos de 2019 e 2020, indicando recuperação nestas áreas. Suape apresentou a pior qualidade ambiental devido sobretudo às atividades antrópicas que a região sofre com o Complexo industrial-Portuário. Concentrações baixas de HPAs sugerem que os efeitos aqui encontrados não foram causados pela contaminação por petróleo, mas associados a outras fontes de poluição.

**Palavras-chave:** poluição, derrame de óleo, ecotoxicologia, praia, desastre ambiental.

## ABSTRACT

In 2019 Brazil experienced one of the worst environmental disasters in its history, thousands of crude oil reached the Northeast and Southeast coast. A significant part of this oil may have remained sedimented or buried, and small portions penetrated the interstices of the reefs, making it impossible to carry out removal actions and representing a possible source of contaminants. The present study aimed to evaluate the ecotoxicological quality of the sediment, interstitial water and surface water of reef areas along the Pernambuco coast previously affected by this oil. Eight reef areas were analyzed: Janga, Paiva, Suape, Muro Alto, Cupe, Serrambi, Carneiros and Mamucabas. Seven areas were characterized as highly affected in 2019 and the eighth, Serrambi, would not have been affected by the arrival of the oil, therefore it would serve as a control area. In each area, 4 samples of sediment, 6 samples of interstitial water and 3 samples of surface water were obtained during low tide in March and October 2021. The test organisms used were newly hatched nauplii of Copepoda *Tisbe biminiensis*, and evaluated endpoints were survival and development. As a result, all regions showed some result indicating toxicity in any of the 3 matrices studied. Serrambi, despite being suggested as a control point, was one of the points that presented the worst environmental quality for both survival and development of *T. biminiensis*, suggesting other sources of contamination in the region. Mamucabas and Carneiros showed better environmental quality in 2021 when compared to past data from 2019 and 2020, indicating recovery in these areas. Suape presented the worst environmental quality, mainly due to the human activities that the region suffers with the Industrial-Port Complex. Low concentrations of PAHs indicated that the effects found in the sampled areas were probably not caused by oil contamination but associated with other sources of pollution.

**Keywords:** pollution, oil spill, ecotoxicology, beach, environmental disaster.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 –** Pontos de coleta de oito áreas recifais coletadas ao longo do litoral centro e sul pernambucano..... 20
- Figura 2 –** Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* na primeira campanha para sedimento - março de 2021, realizada em oito áreas recifais na plataforma continental de Pernambuco. Os asteriscos (\*) representam médias diferentes do controle pelo teste-t..... 25
- Figura 3 –** Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* na segunda campanha para sedimento - outubro de 2021, realizada em oito áreas recifais na plataforma continental de Pernambuco. Os asteriscos (\*) representam médias diferentes do controle pelo teste-t..... 26
- Figura 4 -** Percentual médio de desenvolvimento dos náuplios de *Tisbe biminiensis* nos pontos de coleta relativizadas ao controle, para sedimento, em comparação dos meses de março (3) e outubro (10) de 2021 realizada em oito áreas recifais na plataforma continental do litoral de Pernambuco. Ponto 1 = Janga, Ponto 2 = Paiva, Ponto 3 = Suape, Ponto 4 = Muro Alto, Ponto 5 = Cupe, Ponto 6 = Serrambi, Ponto 7= Carneiros, Ponto 8 = Mamucabas... 27
- Figura 5 -** Percentual médio de sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* nos pontos de coleta relativizadas ao controle, para sedimento, em comparação dos meses de março e outubro de 2021 realizada em oito áreas recifais na plataforma continental do litoral de Pernambuco. Ponto 1 = Janga, Ponto 2 = Paiva, Ponto 3 = Suape, Ponto 4 = Muro Alto, Ponto 5 = Cupe, Ponto 6 = Serrambi, Ponto 7= Carneiros, Ponto 8 = Mamucabas..... 28

- Figura 6 -** Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* na primeira campanha para água intersticial - março de 2021, realizada em oito áreas recifais na plataforma continental de Pernambuco. Os asteriscos (\*) representam médias diferentes do controle pelo teste-t..... 29
- Figura 7 -** Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* na segunda campanha para água intersticial - outubro de 2021, realizada em oito áreas recifais na plataforma continental de Pernambuco. Os asteriscos (\*) representam médias diferentes do controle pelo teste-t..... 30
- Figura 8 -** Percentual médio de desenvolvimento dos náuplios de *Tisbe biminiensis* nos pontos de coleta relativizadas ao controle, para água intersticial, em comparação dos meses de março e outubro de 2021 realizada em oito áreas recifais na plataforma continental do litoral de Pernambuco. Ponto 1 = Janga, Ponto 2 = Paiva, Ponto 3 = Suape, Ponto 4 = Muro Alto, Ponto 5 = Cupe, Ponto 6 = Serrambi, Ponto 7= Carneiros, Ponto 8 = Mamucabas..... 31
- Figura 9 -** Percentual médio de sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* nos pontos de coleta relativizadas ao controle, para água intersticial, em comparação dos meses de março e outubro de 2021 realizada em oito áreas recifais na plataforma continental do litoral de Pernambuco. Ponto 1 = Janga, Ponto 2 = Paiva, Ponto 3 = Suape, Ponto 4 = Muro Alto, Ponto 5 = Cupe, Ponto 6 = Serrambi, Ponto 7= Carneiros, Ponto 8 = Mamucabas..... 32
- Figura 10 -** Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* na primeira campanha para água superficial - março de 2021, realizada em oito áreas recifais na

plataforma continental de Pernambuco. Os asteriscos (\*) representam médias diferentes do controle pelo teste-t..... 33

**Figura 11 -** Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* na segunda campanha para água superficial - outubro de 2021, realizada em oito áreas recifais na plataforma continental de Pernambuco. Os asteriscos (\*) representam médias diferentes do controle pelo teste-t..... 34

**Figura 12 -** Percentual médio de desenvolvimento dos náuplios de *Tisbe biminiensis* nos pontos de coleta relativizadas ao controle, para água superficial, em comparação dos meses de março e outubro de 2021 realizada em oito áreas recifais na plataforma continental do litoral de Pernambuco. Ponto 1 = Janga, Ponto 2 = Paiva, Ponto 3 = Suape, Ponto 4 = Muro Alto, Ponto 5 = Cupe, Ponto 6 = Serrambi, Ponto 7= Carneiros, Ponto 8 = Mamucabas..... 35

**Figura 13 -** Percentual médio de sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* nos pontos de coleta relativizadas ao controle, para água superficial, em comparação dos meses de março e outubro de 2021 realizada em oito áreas recifais na plataforma continental do litoral de Pernambuco. Ponto 1 = Janga, Ponto 2 = Paiva, Ponto 3 = Suape, Ponto 4 = Muro Alto, Ponto 5 = Cupe, Ponto 6 = Serrambi, Ponto 7= Carneiros, Ponto 8 = Mamucabas..... 36

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 –</b>	Resultados de ANOVA em relação ao desenvolvimento dos náuplios de <i>Tisbe biminiensis</i> para amostras de sedimento.....	27
<b>Tabela 2 –</b>	Resultados de ANOVA em relação a sobrevivência dos náuplios de <i>Tisbe biminiensis</i> para amostras de sedimento.....	28
<b>Tabela 3 –</b>	Resultados de ANOVA em relação ao desenvolvimento dos náuplios de <i>Tisbe biminiensis</i> para amostras de água intersticial, apresentado diferença significativa apenas na variável de Campanha.....	30
<b>Tabela 4 –</b>	Resultados de ANOVA em relação a sobrevivência dos náuplios de <i>Tisbe biminiensis</i> para amostras de água intersticial, não apresentado diferença significativa entre variáveis.....	31
<b>Tabela 5 –</b>	Resultados de ANOVA em relação ao desenvolvimento dos náuplios de <i>Tisbe biminiensis</i> para amostras de água superficial, não apresentado diferença significativa entre variáveis.....	34
<b>Tabela 6 –</b>	Resultados de ANOVA em relação a sobrevivência dos náuplios de <i>Tisbe biminiensis</i> para amostras de água superficial, apresentado diferença significativa apenas na variável de Campanha.....	35

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas

**ANOVA** - Análise de Variância

**APA** - Área de Proteção Ambiental

**CAT** - Atividade da catalase

**COMPESA** - Companhia Pernambucana de Saneamento

**HPA** – Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

**IBAMA** - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**LACE** – Laboratório de Cultivo e Ecotoxicologia

**OrganoMAR** – Laboratório de Compostos Orgânicos em Ecossistemas Costeiros e Marinheiros

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS	19
1.1.1	OBJETIVO GERAL	19
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>20</b>
2.1	ÁREAS DE ESTUDO	20
2.2	COLETA DAS AMOSTRAS	21
2.3	CULTIVO DOS ORGANISMOS EM LABORATÓRIO	21
2.4	OBTENÇÃO DO ORGANISMO-TESTE	22
2.5	BIOENSAIO COM <i>T. biminiensis</i>	23
2.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA	24
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>25</b>
3.1	SEDIMENTO	25
3.2	ÁGUA INTERSTICIAL	29
3.3	ÁGUA SUPERFICIAL	32
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO</b>	<b>37</b>
4.1	SEDIMENTO E ÁGUA INTERSTICIAL	37
4.2	ÁGUA SUPERFICIAL	41
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>45</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Em meados de 2019, o Brasil vivenciou o que seria um dos piores desastres ambientais de sua história, com milhares de manchas de óleo bruto emulsificado que atingiram a costa de 9 estados do Nordeste nos primeiros meses e alcançaram estados do Sudeste. Os registros das primeiras manchas de óleo a chegarem na costa brasileira foram nas praias de Jacumã e Tambaba, no município do Conde, no estado da Paraíba, em 30 de agosto de 2019 (Disner & Torres, 2020). Em 18 de novembro, a extensão da região afetada por elas já tinha chegado a 2.500 quilômetros (km), impactando 116 municípios e 651 localidades (Fioravanti, 2020). Após quatro meses desde a primeira ocorrência, as manchas já tinham se estendido por mais de 3.000 km e atingido mais de 980 praias, sendo considerado o maior desastre ambiental em extensão e gravidade da história não só do Brasil, mas também das regiões costeiras tropicais (Soares *et al.*, 2020b).

Foi constatado que o material oleoso era mais denso que a água do mar (Lourenço *et al.*, 2020), o que fazia com que essas manchas não fossem observadas em alto mar por embarcações ou aeronaves, a não ser quando já estivessem próximas à costa (Soares *et al.*, 2020a, 2020b). Lessa *et al.* (2021) afirmaram que esse material teria sido transportado abaixo de 17 metros da superfície marinha, e que parte dele teria sedimentado no leito marinho durante a primavera e verão (a primavera sendo uma estação característica pelo decréscimo da ação de ondas e sedimentação no fundo marinho), e no inverno esse óleo teria sido reexposto com a erosão do fundo - o que explicaria o surgimento de novas manchas em junho de 2020.

É possível afirmar que este desastre ambiental é sem precedentes devido a extensão territorial afetada, quantidade de petróleo retirado da região costeira (aproximadamente 5.000 toneladas em 5 meses) e pela falta de ações e medidas rápidas, ou fortes o suficiente por parte do governo federal para lidar com essa crise ambiental e social (Soares *et al.*, 2020a; Brum *et al.*, 2020; Escobar, 2019). Parte significativa deste óleo permanece sedimentado ou soterrado sobre o sedimento, e pequenas porções penetraram os interstícios de rochas e recifes de corais, sendo impossível viabilizar ações de retirada e trazendo preocupações a respeito de ser

uma constante fonte de contaminantes. Com isso, agravando ainda mais as ameaças sobre a biodiversidade, uma vez que mais de 55 áreas de conservação costeiras e marinhas rasas foram afetadas pela sua chegada, incluindo ecossistemas de margens e subaquáticos, como recifes de corais, de arenito e bancos de rodolitos que abrigam espécies de grande valor econômico e ecológico (Soares *et al.*, 2020b; Nasri Sissini *et al.*, 2020).

Nas primeiras semanas deste desastre não se tinha conhecimento a respeito da origem desse material oleoso e nem os responsáveis pelo derramamento. Contudo, análises da composição química desse material recolhido das praias obtiveram como resultado características similares e compatíveis com o petróleo venezuelano (Fioravanti, 2020; Oliveira *et al.*, 2020). Oliveira *et al.* (2020) apontaram esse petróleo como severamente intemperizado ou advindo de produtos derivados de petróleo pesado. Assim como as primeiras alegações das autoridades do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) que, a respeito das características do óleo, informaram ter baixas concentrações de compostos voláteis e baixo potencial tóxico para organismos marinhos pois exibia baixas concentrações de compostos aromáticos (IBAMA, 2019).

No entanto, uma equipe do Instituto de Oceanografia da Universidade de São Paulo (IO-USP) responsável por análises de amostras de óleo coletadas em Pernambuco, Sergipe e Bahia, encontraram também a presença de hidrocarbonetos alifáticos, com menos de 15 átomos de carbono (Fioravanti, 2020; Lourenço *et al.*, 2020). Esses hidrocarbonetos leves são voláteis e, portanto, alguns dos primeiros a serem liberados no ambiente durante o processo de intemperismo. Lourenço *et al.* (2020) sugeriram que processos como evaporação, dissolução e biodegradação foram mínimos, protegidos do intemperismo induzido pelo contato com o ar e pela incidência da luz devido uma camada cerosa da natureza química desse petróleo.

O petróleo é composto principalmente por uma mistura complexa de hidrocarbonetos policíclico aromáticos (HPAs), hidrocarbonetos monoaromáticos como benzeno e tolueno (mais susceptíveis à degradação pela presença de um único anel aromático), fenóis, compostos heterocíclicos que possuem nitrogênio e enxofre nas suas cadeias, além de metais pesados (Rodrigues *et al.*, 2010; Saeed & Al-Mutairi, 1999). Que traz preocupações a respeito da qualidade ambiental desses ecossistemas afetados, uma vez que os recifes costeiros, por exemplo, são áreas de

grande relevância ecológica e econômica, uma vez que acomoda uma grande biodiversidade de organismos aquáticos que também servem como recursos pesqueiros para comunidades costeiras.

Foi observado que o petróleo que chegou em nossas praias tinha iniciado processo de dissolução em águas mais rasas com sua exposição à atmosfera e raios solares, sugerindo que houve a liberação de compostos como os HPAs. Estes têm caráter hidrofóbico e apresentam complexidade molecular, devido principalmente a presença de dois ou mais anéis benzênicos condensados e podendo ser bastante persistentes nos ambientes, além de conferir alto potencial tóxico de contaminação. O que possibilita o acúmulo destes nos sedimentos, e podendo servir como fonte secundária para as águas intersticiais. Essas fontes podem resultar em efeitos deletérios aos organismos expostos a esses contaminantes, como efeitos na sobrevivência (letais) e no desenvolvimento (subletais). Pode-se englobar nos efeitos subletais, disfunções metabólicas, como no metabolismo de esteróides que interfere na reprodução e desenvolvimento (Singer & Lee, 1977) e na incubação de ovos de espécies de copépodes planctônicos (Almeda *et al.*, 2014).

Devido a estas preocupações e ameaças que os compostos do óleo exercem sobre espécies residentes dos diversos ecossistemas costeiros afetados pelas manchas, alguns estudos foram realizados para identificar e quantificar os possíveis efeitos sobre esses organismos. Dentre estes pode-se citar Campelo *et al.* (2021) que identificaram traços de ingestão de óleo em zoeas de *Brachyura* e *Calanoida*, e em copépodes *Paracalanidae* e *Oithonidae*, apontando papel importante destes na degradação e destino do óleo disperso e sugerindo impacto no recrutamento de invertebrados bentônicos. Craveiro *et al.* (2021) investigaram o efeito imediato do óleo em comunidade da macrofauna bentônica associadas a duas algas (*Jania Capillacea* e *Penicillus Capitatus*), e em ambas houve a diminuição da riqueza e abundância das espécies dessas comunidades em paralelo com o aumento dos táxons oportunistas, no entanto, em 2 meses estas comunidades se reestruturaram quase que em níveis anteriores ao desastre. Soares *et al.* (2021) analisaram amostras de água do mar, bivalves da espécie *Anomalocardia brasiliiana* e peixes *Diapterus rhombeus* que apresentaram os principais hidrocarbonetos policíclicos aromáticos: naftaleno, fenantreno, fluoreno e acenaftaleno; além de

investigarem a atividade da catalase (CAT) no fígado do *D. rhombeus*, onde foi encontrado um aumento na sua atividade enzimática apontando que esse mecanismo de defesa foi ativado devido ao estresse oxidativo pela presença de HPAs e/ou metais pesados. Magalhães *et al.* (2022) investigaram o impacto imediato a curto-prazo dos HPAs totais em pescados comercializados, indicando concentrações acima dos níveis preocupantes em menos de 3% das amostras de tecidos comestíveis de peixes e mariscos, sugerindo baixa probabilidade de risco à saúde humana.

Em Pernambuco, estima-se que cerca de 1.500 toneladas deste óleo foram recolhidas das praias até o dia 28/10/2019 (apresentação do governador do Estado na COMPEA, Secretaria de Planejamento e Gestão, SEPLAG, 29/11/2019) em grande parte pelos esforços primários da população que em pouco tempo conseguiu retirar as manchas maiores que chegaram às praias. Com isso, sete áreas recifais da costa pernambucana foram selecionadas para o presente estudo em função dos municípios que mais foram afetados pelo aporte de petróleo emulsificado, além de mais uma área recifal controle que não foi afetada pelo derrame. Estes municípios foram Paulista (33 toneladas), Cabo de Santo Agostinho (1018 toneladas), Ipojuca (134 toneladas) e Tamandaré (208 toneladas), e suas respectivas áreas recifais: Janga, Paiva, Suape, Muro Alto, Cupe, Carneiros e próximo a foz do Rio Mamucabas. A área recifal controle fica no pontal de Serrambi, que segundo estudos anteriores de concentrações de HPAs biliares e marcadores bioquímicos em *Stegastes fuscus*, foi a área que apresentou as menores concentrações e níveis basais dos biomarcadores na costa de Pernambuco (Alves, 2020). Contudo, devido principalmente a pandemia do Covid-19 em 2020, as amostras de sedimento, água intersticial e água superficial só puderam ser coletadas a partir de 2021, mais de um ano após a chegada do óleo.

Os contaminantes provenientes do óleo e seus respectivos efeitos podem exercer ainda mais pressão sobre os organismos com hábitos bentônicos e epibentônicos, por estes estarem em contato direto com o sedimento contaminado que funciona como repositório desses xenobióticos. Os copépodos marinhos harpacticóides bentônicos vêm sendo frequentemente utilizados em testes letais e subletais de toxicidade (Kusk & Wollenberger, 2007). Sua importância ecológica é indiscutível, pois são o segundo grupo mais abundante na meiofauna marinha (Hicks

& Coull, 1983). Entre as vantagens citadas para o seu uso em bioensaios estão: ciclos de vida curtos, facilidade de cultivo, facilidade de manutenção em laboratório, alta fecundidade, sensibilidade a poluentes, resistência a condições laboratoriais e tamanhos reduzidos, o que facilita a realização dos testes. No Brasil, os copépodos *Tisbe biminiensis* e *Nitokra sp* são amplamente usados para avaliação da toxicidade de amostras de sedimento (p. ex.: Araújo-Castro 2008; Oliveira *et al.*, 2014; Regis *et al.*, 2018; Camargo *et al.*, 2015; Soroldoni *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2018; Campos *et al.*, 2019).

O Copepoda Harpacticoida epibentônico *Tisbe biminiensis* vem sendo cultivado e utilizado como organismo-modelo para testes ecotoxicológicos de água e sedimento marinho e estuarino desde 2002 pelo Laboratório de Cultivo e Ecotoxicologia (LACE) do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). O presente estudo tem como objetivo usar os náuplios do *T. biminiensis* para avaliar a qualidade ecotoxicológica do sedimento, água intersticial e água superficial de áreas recifais ao longo do litoral pernambucano que previamente foram atingidos pela chegada do óleo em 2019.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. OBJETIVO GERAL**

Avaliar a qualidade ecotoxicológica do sedimento, água intersticial e água superficial de áreas recifais ao longo do litoral pernambucano que previamente foram atingidos pela chegada do óleo em 2019.

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a toxicidade letal e subletal das amostras de sedimento, água intersticial e água superficial coletadas nos recifes das praias arenosas da região centro-sul de Pernambuco;
- Comparar os efeitos letais e subletais obtidos entre as estações de coletas dos recifes do Janga, Paiva, Suape, Muro Alto, Cupe, Serrambi, Carneiros e Mamucabas;
- Comparar os efeitos letais e subletais obtidos entre as campanhas de coleta dos meses de março e outubro de 2021;

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 ÁREAS DE ESTUDO

As áreas alvo deste estudo são ambientes recifais localizados no litoral pernambucano, em municípios que tiveram suas praias afetadas pela chegada do óleo emulsificado de setembro a dezembro de 2019. Com isso, oito áreas recifais entre a praia do Janga e Tamandaré foram coletadas e analisadas: Janga ( $7^{\circ}55'8.35''\text{S}$ ;  $34^{\circ}49'12.35''\text{O}$ ), Paiva ( $8^{\circ}16'56.94''\text{S}$ ;  $34^{\circ}56'51.75''\text{O}$ ), Suape ( $8^{\circ}23'17.46''\text{S}$ ;  $34^{\circ}57'27.37''\text{O}$ ), Muro Alto ( $8^{\circ}25'55.76''\text{S}$ ;  $34^{\circ}58'41.89''\text{O}$ ), Cupe ( $8^{\circ}27'27.62''\text{S}$ ;  $34^{\circ}58'59.37''\text{O}$ ), Serrambi ( $8^{\circ}33'37.85''\text{S}$ ;  $35^{\circ}0'25.08''\text{O}$ ), Carneiros ( $8^{\circ}42'15.50''\text{S}$ ;  $35^{\circ}4'42.40''\text{O}$ ) e Mamucabas ( $8^{\circ}46'57.12''\text{S}$ ;  $35^{\circ}5'50.79''\text{O}$ ) (Fig.1). Dentre estas, sete áreas foram caracterizadas como impactadas com óleo, com presença de grandes manchas, e apenas uma, a estação de Serrambi, não teria sido afetada pela chegada do óleo, portanto uma estação recifal controle.

**Figura 1** – Pontos de coleta de oito áreas recifais coletadas ao longo do litoral centro e sul pernambucano.



Fonte: a autora.

## 2.2 COLETA DAS AMOSTRAS

Para o presente estudo foram coletadas amostras de 3 compartimentos ambientais: sedimento recifal, água intersticial e água superficial. Em cada um dos pontos foram obtidas 4 amostras de sedimento, 6 amostras de água intersticial e 3 de água superficial durante a maré baixa em duas campanhas em 2021, a primeira em março e a segunda em outubro. Amostras de sedimento foram coletadas com auxílio de potes de vidro de 800 mL, por meio de raspagem da superfície do sedimento e, em laboratório, foram armazenadas na geladeira a 4°C por pelo menos 48h para eliminação da meiofauna associada. A água intersticial foi coletada com o auxílio de seringas de plástico de 20 mL e colocadas em potes de vidro de 25 mL, posteriormente congeladas em freezer a - 22 °C. A água superficial foi coletada em pequenas garrafas plásticas de 100 mL e congeladas em laboratório (- 22 °C). Para a primeira campanha, ocorrida em março de 2021, as amostras coletadas foram divididas em dois bioensaios para evitar diferenças com relação ao tempo de armazenamento. Apenas na estação de Suape não houve a coleta de água intersticial devido esta apresentar uma coloração acinzentada, indicando presença importante de H<sub>2</sub>S que seria imprópria para este teste ecotoxicológico.

## 2.3 CULTIVOS DOS ORGANISMOS EM LABORATÓRIO

São cultivados em laboratório copépodos da espécie *Tisbe biminiensis*, organismos testes inoculados nas amostras ambientais, e microalgas da espécie *Chaetoceros muelleri* para alimentação destes.

### 2.3.1 Cultivo da alga *Chaetoceros muelleri*

O cultivo da microalga foi feito em meio f/2 de Guillard. Para a preparação desse meio, a água do mar, coletada na Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais em Tamandaré, foi tratada com cloro, desclorada e filtrada a 5 µm. Foram adicionadas a esta água a solução de nutrientes e o tampão Tris (pH = 7,8) e passada pelo processo de esterilização na autoclave a 120 °C por 15 min em 1 atm de pressão. Após isso foram adicionadas as vitaminas previamente filtradas a 0,2 µm e inoculadas ao meio já resfriado. O cultivo foi mantido em fotoperíodo natural 12h:12h claro/escuro, a 28 °C e repicado semanalmente (Lourenço, 2006).

### 2.3.2 Cultivo do copépodo *Tisbe biminiensis*

Os copépodos foram coletados a partir de amostras de algas associadas ao sedimento da Praia do Farol em Olinda-PE. Estes vêm sendo cultivados e utilizados em testes ecotoxicológicos pelo LACE (Laboratório de Cultivo e Ecotoxicologia) do Departamento de Oceanografia da UFPE desde 1998, usando metodologia de escrita em Ribeiro & Souza-Santo (2011). O cultivo foi realizado em caixas transparentes com capacidade de 20 litros, onde foram colocados apenas 4,5 litros de água filtrada e adicionados 400 mL de suspensão algal e 0,2 a 0,4 g de ração INVE® para peixes marinhos. Ocorreram de uma a duas trocas semanais completas de água e a reposição de alimento para a manutenção do cultivo. Este foi mantido sob aeração constante, através de mangueira conectada a um compressor, a uma temperatura de  $28\pm 2^{\circ}\text{C}$  e salinidade  $35\pm 1$ .

### 2.4. OBTENÇÃO DOS ORGANISMOS-TESTE

Os organismos-testes utilizados para este estudo foram as larvas (náuplios) recém-eclodidas de *T. biminiensis* com menos de um dia de vida obtidas seguindo protocolo de Lavorante *et al.* (2013). É montado um sistema de separação de prole para obtenção de náuplios recém eclodidos que serão utilizados no teste. Este consiste em duas caixas sobrepostas separadas por uma malha de 120  $\mu\text{m}$  que já continham 3 L de água do mar filtrada e diatomáceas *Chaetoceros muelleri* sedimentadas. Esse sistema foi montado um dia antes do experimento ecotoxicológico, onde os adultos, incluindo fêmeas ovadas ( $>250 \mu\text{m}$ ) foram retirados do cultivo e colocados sobre a malha na caixa superior. Apenas náuplios são capazes de passar por esta malha e ir atrás da microalga sedimentada para se alimentarem. Já no dia do teste o sistema foi desfeito e o material contido na caixa de baixo foi concentrado em 100 mL com o auxílio de uma malha de 64  $\mu\text{m}$ . Então, alíquotas de 0,5 mL foram coletadas e, com auxílio de um microscópio estereoscópico, foi estimado por contagem o número de náuplios contido neste volume. A partir da média desta densidade por 0,5 mL, foi feito um cálculo para determinar o volume que seria inoculado em cada recipiente-teste que conteria uma média aproximada de 200 náuplios.

## 2.5. BIOENSAIO COM *T. biminiensis*

Os bioensaios seguiram a metodologia de Lavorante *et al.* (2013) para água e de Regis *et al.* (2018) para sedimento. As amostras de água foram descongeladas em temperatura ambiente. Para água superficial, cada amostra de 100 mL (n=3) foi distribuída em 3 sub-réplicas de 25 mL. Cada amostra ambiental de água intersticial permaneceu sem ser subdividida (n=6). Para ambas as águas foram adicionadas *Chaetoceros muelleri* até chegar na concentração de  $2,5 \times 10^5$  células. mL<sup>-1</sup>. As amostras de sedimento, cada uma (n=4) foram distribuídas em duas sub-réplicas experimentais com aproximadamente 5 gramas, o suficiente para cobrir o fundo do recipiente-teste. Nelas foram adicionados 25 mL de suspensão de diatomáceas *C. muelleri* na concentração de  $2,5 \times 10^5$  células. mL<sup>-1</sup>. Posteriormente foram inoculados os náuplios e os recipientes-teste incubados a  $28 \pm 1$  °C por 72h com fotoperíodo natural de 13h:11h claro/escuro. Tanto no início quanto ao final do teste foram medidos parâmetros físico-químicos de salinidade (refratômetro), oxigênio dissolvido (oxímetro) e pH (pHmetro) para ter certeza de que estes estão dentro dos valores normais para água do mar, próximos à faixa de tolerância da espécie. Ao final do teste, os conteúdos dos recipientes foram fixados a formaldeído 4% e corando em rosa bengala.

Para estimar o número de náuplios inicialmente introduzidos nos recipientes e possibilitar estimativas de sobrevivência ao final do teste são colocados aleatoriamente, entre os recipientes-teste, 8 a 10 recipientes-amostradores, que recebem o mesmo inóculo de náuplios e que ao final da distribuição são conservados com formaldeído a 4% e corados com rosa de bengala. A contagem do número inicial dos náuplios é realizada em microscópio com câmara de Sedgewick Rafter após 48h, devido ao pequeno tamanho dos náuplios recém-nascidos. A média e o coeficiente de variação (CV) do número inicial de náuplios nos inóculos são estimados e o CV esteve abaixo de 20% para validação da amostragem realizada no teste.

Ao final do experimento o material dos recipientes foi fixado em formol a 4% e corado com Rosa de Bengala. Dois parâmetros serão medidos neste bioensaio: um letal que é a sobrevivência dos copépodos e outro sub-letal que é o desenvolvimento

dos náuplios para copepoditos. A sobrevivência é estimada pela relação entre copépodos vivos ao final do teste (corados em vermelho, uma vez que os claros já estavam mortos no momento da fixação) e a média de náuplios introduzidos nos recipientes no início do teste. O desenvolvimento dos náuplios é estimado pela percentagem de copepoditos vivos (corados em vermelho) em relação ao total vivo (náuplios + copepoditos em vermelho) no fim do experimento.

Paralelamente para avaliar a sensibilidade do lote de animais usados nos testes foram realizados testes de referência utilizando sulfato de zinco heptahidratado nas concentrações de 1 mg/L, 3 mg/L, 6 mg/L e 9 mg/L. E com o uso da transformação PROBIT foi estimada a concentração mediana efetiva que impedia o desenvolvimento a copepodito de 50% dos organismos-teste ( $EC_{50}$ 72h) e comparados com carta controle estabelecida anteriormente.

## 2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Inicialmente foram verificados a normalidade dos dados e homoscedasticidade das variâncias utilizando o Teste de Kolmogorov-Smirnov ( $\alpha=0,05$ ) e teste-F. Para os dados paramétricos, as médias dos controles de água do mar serão comparadas com teste-t de Student às médias dos pontos amostrados e verificados os efeitos letais (% de sobrevivência) e efeitos subletais (% de desenvolvimento). Para dados que não apresentaram normalidade ou homocedasticidade, foi utilizado o teste não-paramétrico U de Mann-Whitney.

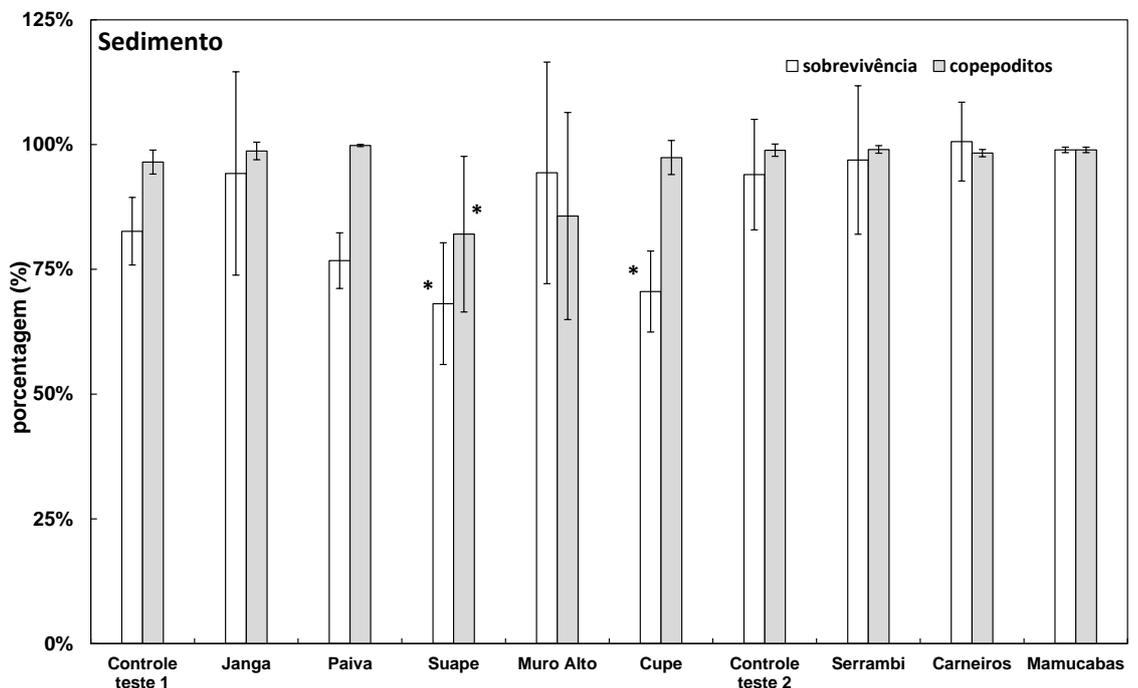
Para análise das diferenças das médias entre estações de coleta e meses de amostragem foi utilizada ANOVA bifatorial ou Kruskal-Wallis, caso os dados não sejam paramétricos, seguidos dos testes Tukey e Dunn, respectivamente. Para esta análise todos os valores foram relativizados em relação aos seus respectivos controles (média da amostra x 100/média do controle).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 SEDIMENTO

Nas amostras de sedimento coletadas durante a campanha realizada no mês março de 2021, dentre as oito áreas apenas Suape apresentou diferença significativa na porcentagem de copepoditos, com queda de 15% em relação ao controle (Fig. 2). Já para sobrevivência, amostras de Suape e Cupe tiveram as suas médias significativamente reduzidas em relação ao controle indicando efeito letal, apesar de apresentar uma redução de apenas 15% e 12% relativamente ao controle, respectivamente.

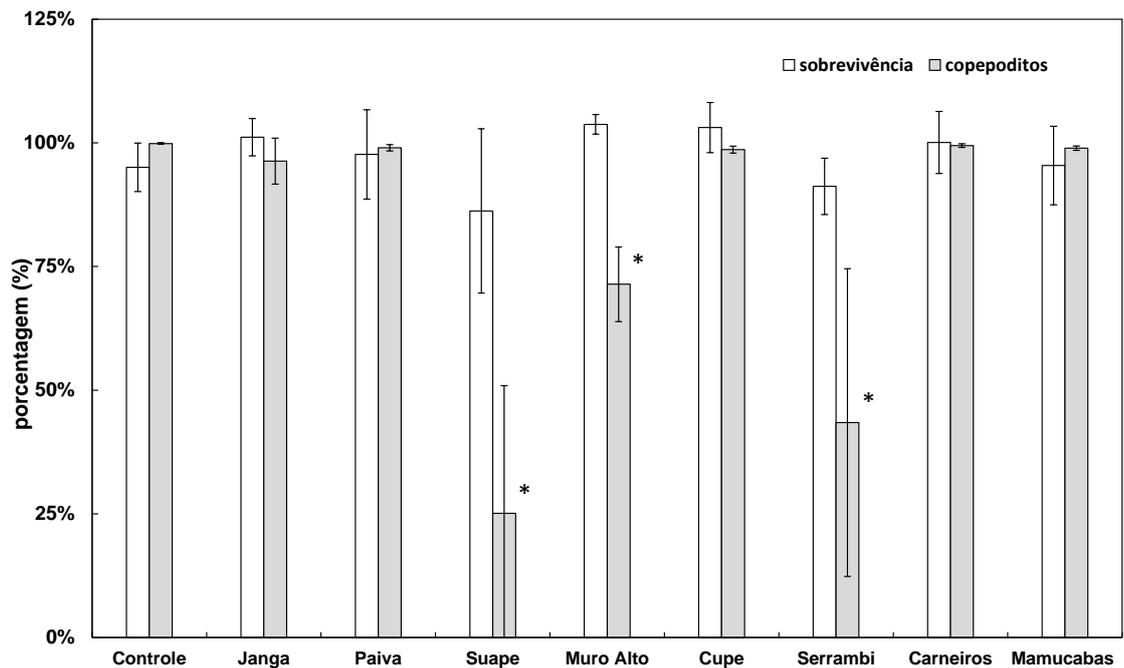
**Figura 2** – Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* na primeira campanha para sedimento - março de 2021, realizada em oito áreas recifais na plataforma continental de Pernambuco. Os asteriscos (\*) representam médias diferentes do controle pelo teste-t.



Já para a campanha realizada em outubro de 2021, constatou-se queda significativa no desenvolvimento dos náuplios para os pontos de Suape, Muro Alto e Serrambi quando comparados ao controle de água do mar (Fig. 3), com efeitos de

75%, 29% e 57%, respectivamente. Nenhuma das amostras indicou efeito letal significativo.

**Figura 3** – Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* na segunda campanha para sedimento - outubro de 2021, realizada em oito áreas recifais na plataforma continental de Pernambuco. Os asteriscos (\*) representam médias diferentes do controle pelo teste-t.



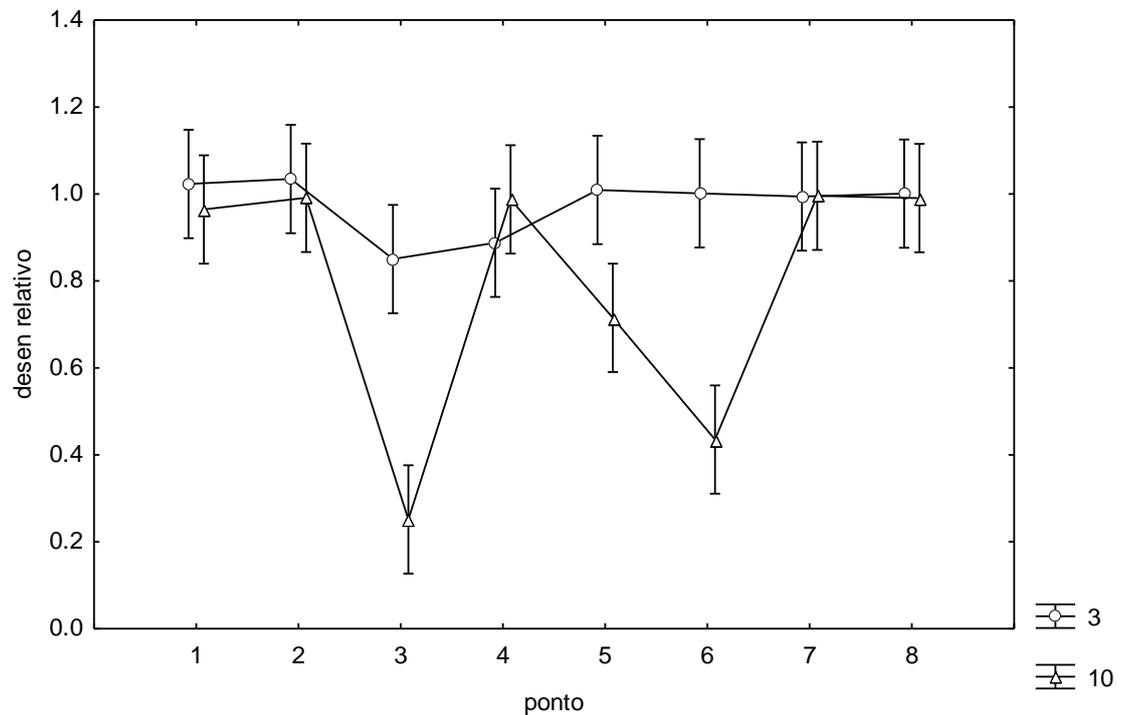
Para o desenvolvimento (Tabela 1), a ANOVA apontou diferenças significativas das médias tanto em relação às duas campanhas, março e outubro, quanto em relação aos pontos de coleta, com interações significativas. A interação dos fatores pontos e campanha (Fig. 4), aponta um melhor desempenho na campanha realizada no mês de março, apresentando uma variação entre as médias de 1 a 15%, com redução em Suape e Muro Alto. Na campanha realizada no mês de outubro, observam-se quedas de 74%, 28% e 56% comparadas a estação do Paiva nas estações de Suape, Cupe e Serrambi, respectivamente.

**Tabela 1** - Resultados de ANOVA em relação ao desenvolvimento dos náuplios de *Tisbe biminiensis* para amostras de sedimento.

Efeito	SS	G. L.	MS	F	p
Campanha	0,54	1	0,54	35,16	0,000
Ponto	1,562	7	0,223	14,53	0,000
Interação	1,023	7	0,146	9,51	0,000

SS = Soma dos quadrados; G. L. = Grau de liberdade; MS = Quadrado médio; F = Fator de variação; p = probabilidade

**Figura 4** – Percentual médio de desenvolvimento dos náuplios de *Tisbe biminiensis* nos pontos de coleta relativizados ao controle, para sedimento, em comparação dos meses de março (3) e outubro (10) de 2021 realizada em oito áreas recifais na plataforma continental do litoral de Pernambuco. Ponto 1 = Janga, Ponto 2 = Paiva, Ponto 3 = Suape, Ponto 4 = Muro Alto, Ponto 5 = Cupe, Ponto 6 = Serrambi, Ponto 7 = Carneiros, Ponto 8 = Mamucabas.



Os resultados de ANOVA para a sobrevivência podem ser encontrados na Tabela 2, onde se observa que apenas as médias entre os pontos apresentaram

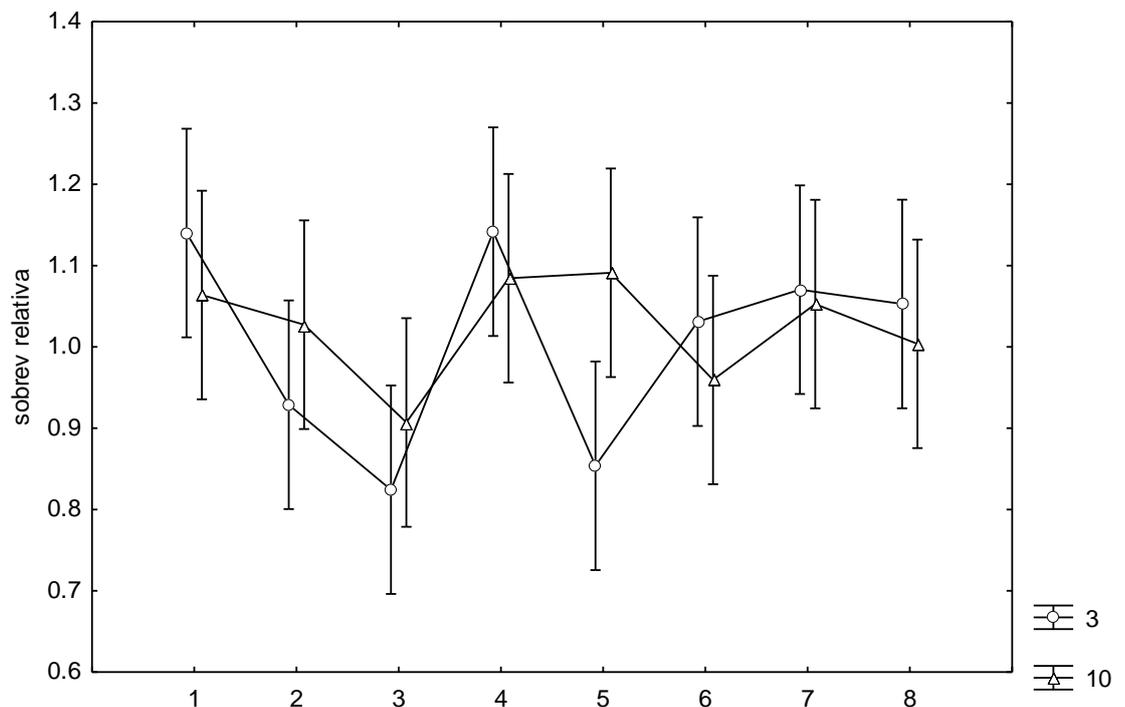
diferença significativa, com quedas em Suape (Fig 5). A interação dos fatores pontos e campanha não foi significativa.

**Tabela 2** - Resultados de ANOVA em relação a sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* para amostras de sedimento.

Efeito	SS	G. L.	MS	F	$\rho$
Campanha	0.005	1	0,005	0,33	0,568
Ponto	0.363	7	0,052	3,185	0,008
Interação	0.174	7	0,025	1,529	0,18

SS = Soma dos quadrados; G. L. = Grau de liberdade; MS = Quadrado médio; F = Fator de variação;  $\rho$  = probabilidade

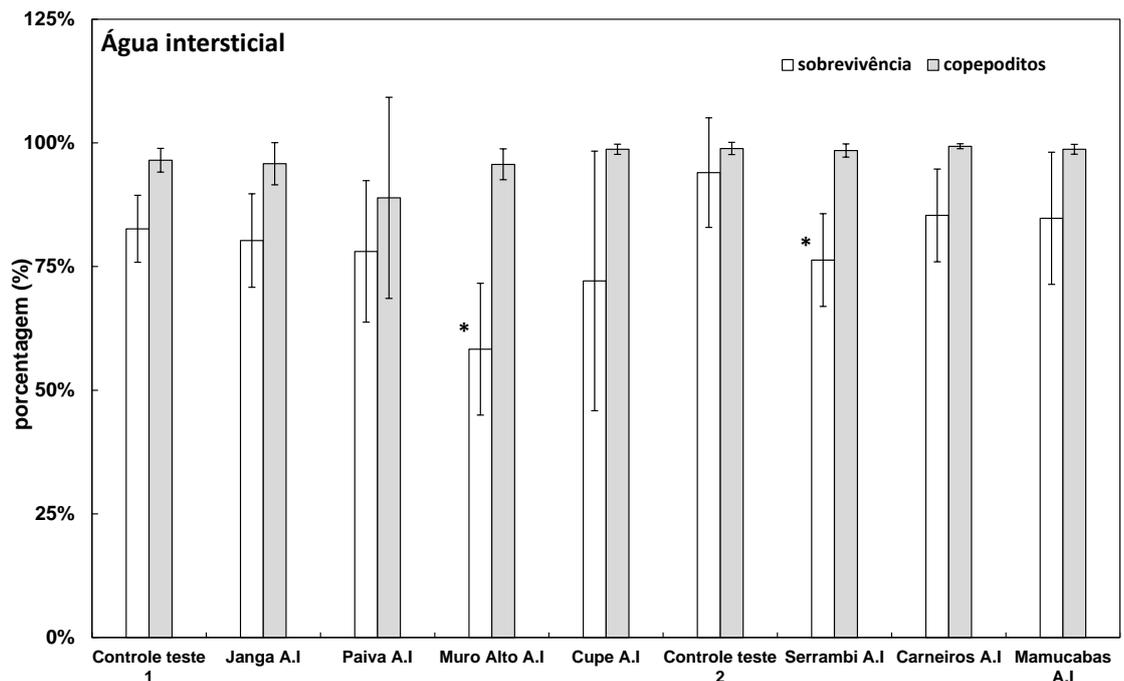
**Figura 5** – Percentual médio de sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* nos pontos de coleta relativizadas ao controle, para sedimento, em comparação dos meses de março e outubro de 2021 realizada em oito áreas recifais na plataforma continental do litoral de Pernambuco. Ponto 1 = Janga, Ponto 2 = Paiva, Ponto 3 = Suape, Ponto 4 = Muro Alto, Ponto 5 = Cupe, Ponto 6 = Serrambi, Ponto 7= Carneiros, Ponto 8 = Mamucabas.



### 3.2 ÁGUA INTERSTICIAL

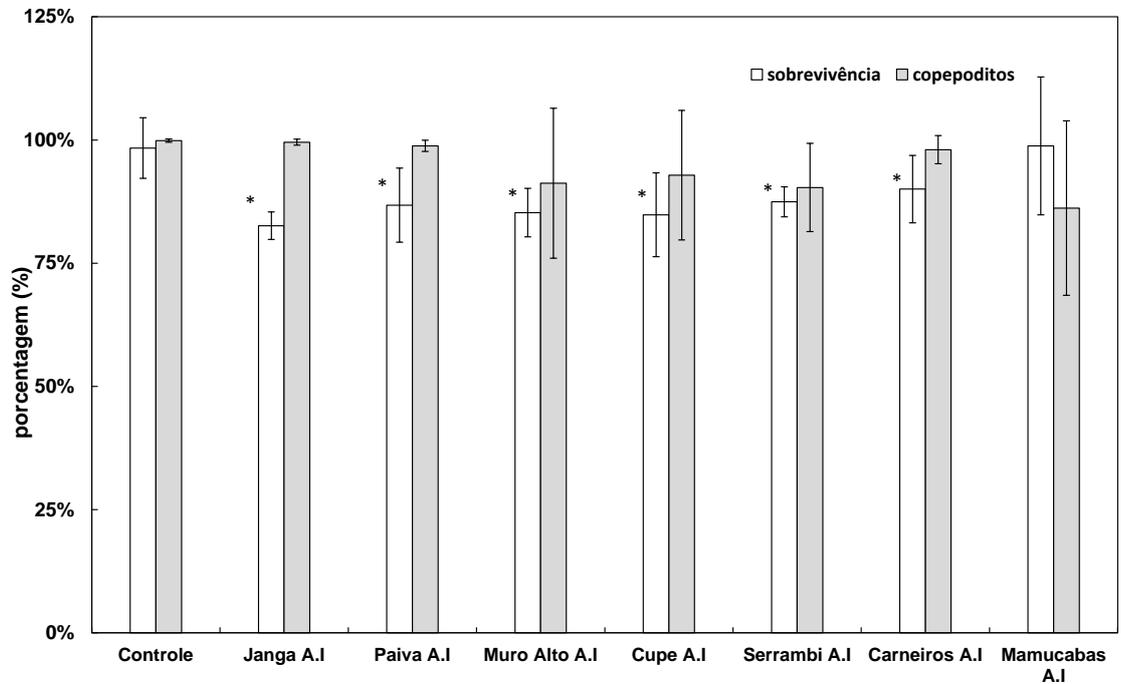
Para amostras de água intersticial, não houve coleta dessa matriz na estação de Suape (ponto 3), pois nas duas campanhas realizadas essa água estava imprópria para este teste ecotoxicológico devido a indícios de alta concentração de H<sub>2</sub>S. Para as amostras coletadas na campanha realizada no mês de março de água intersticial, não houve queda no desenvolvimento dos náuplios significativa (Fig 6). Já em relação a sobrevivência, nas amostras de Muro Alto e Serrambi ocorreram quedas significativas na sobrevivência com redução de 30% e 18%, respectivamente comparadas aos controles de água, apontando efeito letal significativo.

**Figura 6** – Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* na primeira campanha para água intersticial - março de 2021, realizada em oito áreas recifais na plataforma continental de Pernambuco. Os asteriscos (\*) representam médias diferentes do controle pelo teste-t.



Para campanha de outubro, também não houve queda significativa no desenvolvimento (Fig 7). Contudo, em relação a sobrevivência, todas as estações (com exceção do Mamucabas) tiveram suas sobrevivências reduzidas significativamente comparadas ao controle de água, mesmo com redução variando de apenas 8% a 13%.

**Figura 7** – Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* na segunda campanha para água intersticial - outubro de 2021, realizada em oito áreas recifais na plataforma continental de Pernambuco. Os asteriscos (\*) representam médias diferentes do controle pelo teste-t.



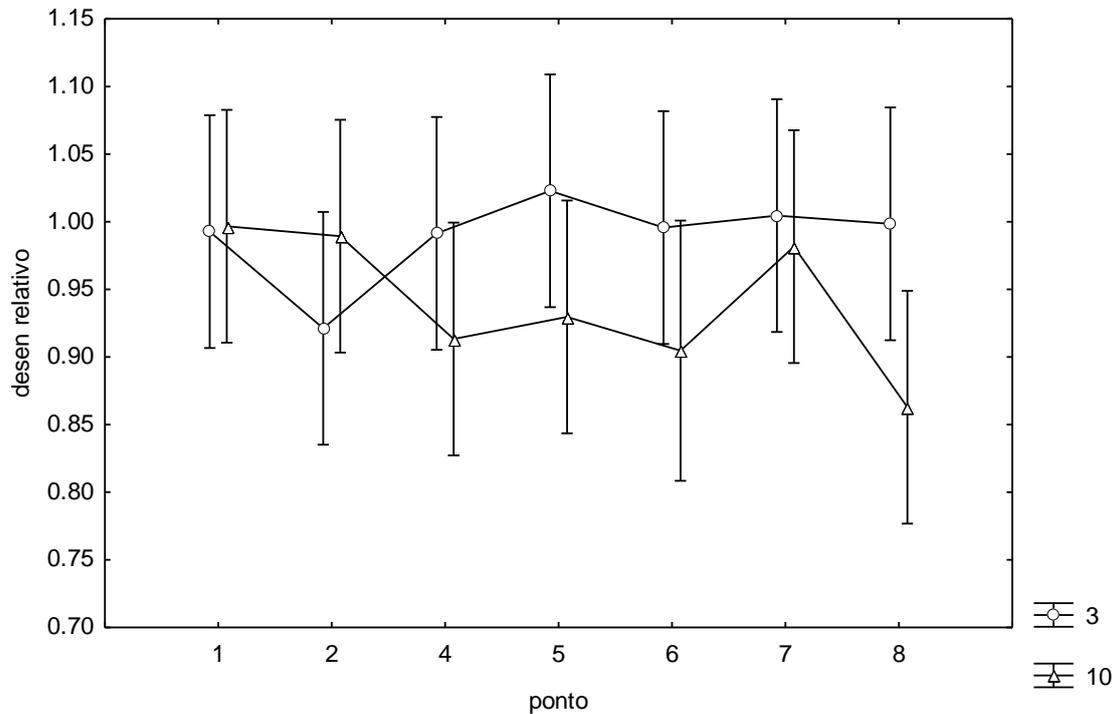
Os resultados de ANOVA (Tabela 3 e Fig.8) para o desenvolvimento apontam diferenças significativas entre as campanhas, com maiores médias na campanha realizada no mês de março que em outubro.

**Tabela 3** - Resultados de ANOVA em relação ao desenvolvimento dos náuplios de *Tisbe biminiensis* para amostras de água intersticial, apresentado diferença significativa apenas na variável de Campanha.

Efeito	SS	G. L.	MS	F	p
Campanha	0,043	1	0,043	4,628	0,036
Ponto	0,034	6	0,006	0,619	0,714
Interação	0,073	6	0,012	1,313	0,267

SS = Soma dos quadrados; G. L. = Grau de liberdade; MS = Quadrado médio; F = Fator de variação; p = probabilidade

**Figura 8** – Percentual médio de desenvolvimento dos náuplios de *Tisbe biminiensis* nos pontos de coleta relativizados ao controle, para água intersticial, em comparação dos meses de março e outubro de 2021 realizada em oito áreas recifais na plataforma continental do litoral de Pernambuco. Ponto 1 = Janga, Ponto 2 = Paiva, Ponto 3 = Suape, Ponto 4 = Muro Alto, Ponto 5 = Cupe, Ponto 6 = Serrambi, Ponto 7= Carneiros, Ponto 8 = Mamucabas.



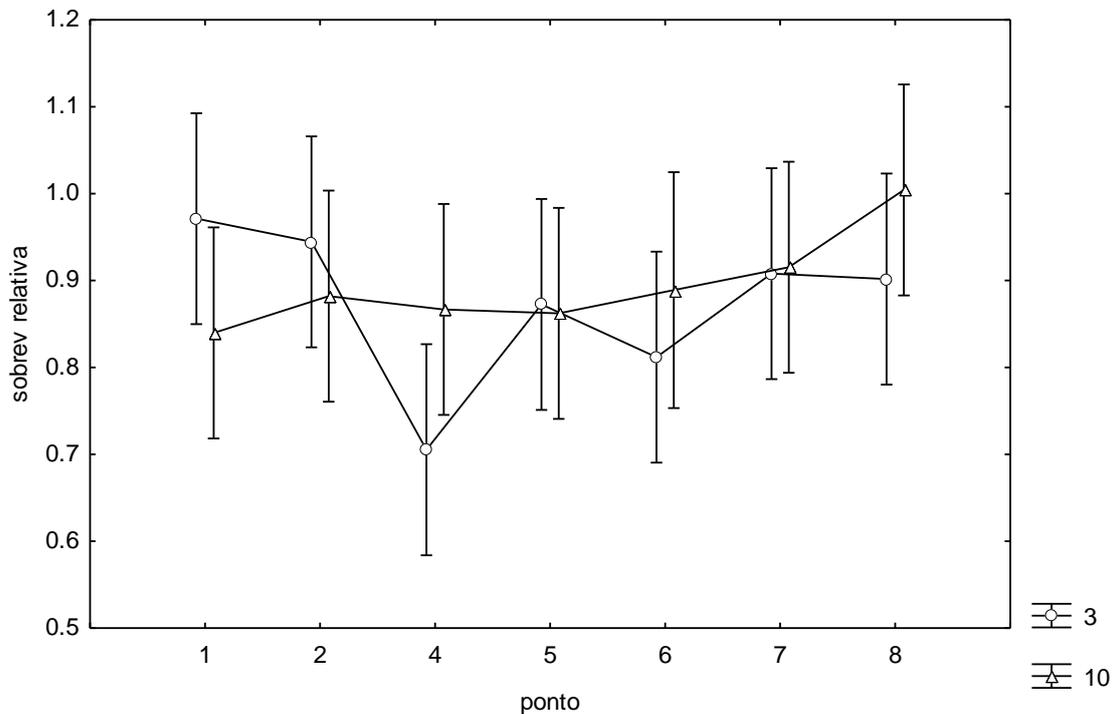
Os resultados de sobrevivência relativa não variaram significativamente entre pontos ou campanhas (Tabela 4 e Fig. 9).

**Tabela 4** - Resultados de ANOVA em relação a sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* para amostras de água intersticial, não apresentando diferença significativa entre variáveis.

<i>Efeito</i>	<i>SS</i>	<i>G. L.</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
Campanha	0.007	1	0,007	0,398	0,531
Ponto	0.177	6	0,03	1,609	0,162
Interação	0.151	6	0,025	1,374	0,241

SS = Soma dos quadrados; G. L. = Grau de liberdade; MS = Quadrado médio; F = Fator de variação; p = probabilidade

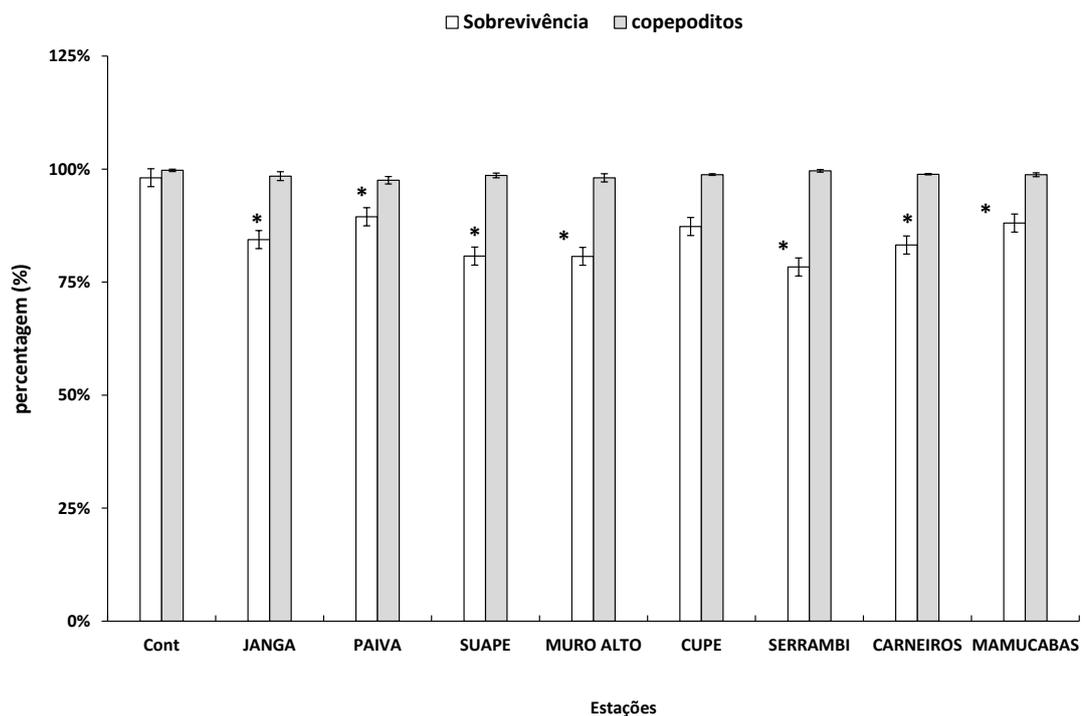
**Figura 9** – Percentual médio de sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* nos pontos de coleta relativizadas ao controle, para água intersticial, em comparação dos meses de março e outubro de 2021 realizada em oito áreas recifais na plataforma continental do litoral de Pernambuco. Ponto 1 = Janga, Ponto 2 = Paiva, Ponto 3 = Suape, Ponto 4 = Muro Alto, Ponto 5 = Cupe, Ponto 6 = Serrambi, Ponto 7= Carneiros, Ponto 8 = Mamucabas.



### 3.3 ÁGUA SUPERFICIAL

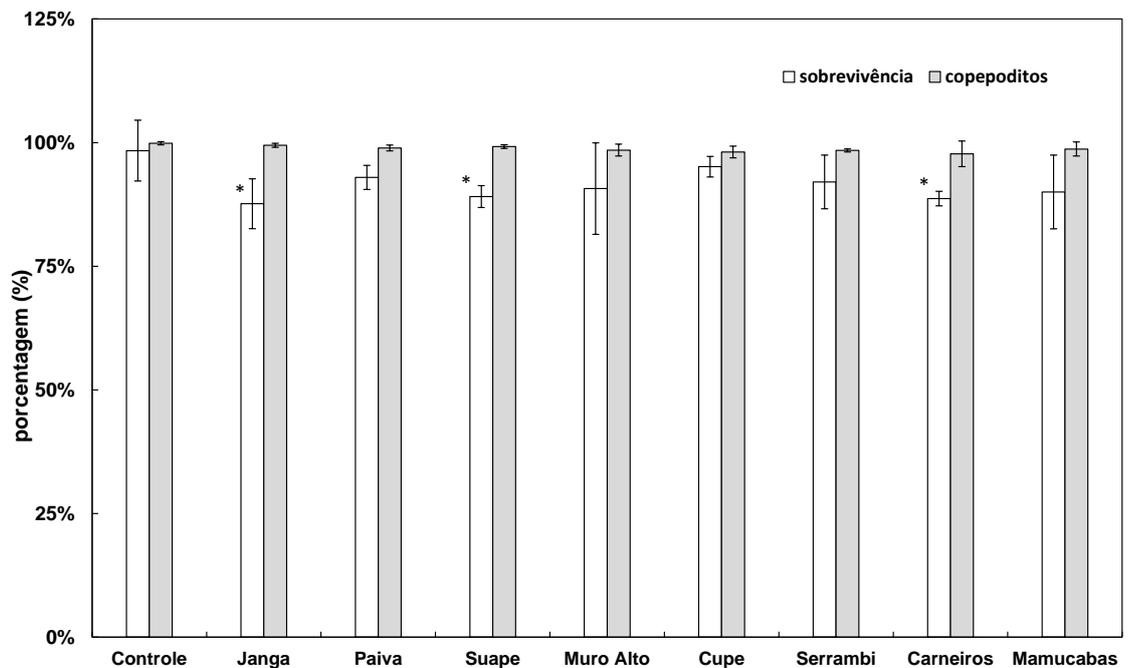
As amostras de água superficial coletadas na campanha de março de 2021, não causaram redução significativa na porcentagem de copepoditos comparadas ao controle água (Fig. 10). Já para percentagens de sobrevivência, as amostras de quase todos os pontos, com exceção da estação de Cupe, causaram quedas significativas comparadas ao controle, variando de 9% a 20%.

**Figura 10** – Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* na primeira campanha para água superficial - março de 2021, realizada em oito áreas recifais na plataforma continental de Pernambuco. Os asteriscos (\*) representam médias diferentes do controle pelo teste-t.



Já para amostras coletadas em outubro, nenhuma das oito estações continuou a apresentar efeito subletal significativo (Fig. 11). Enquanto as percentagens de sobrevivência nas amostras de Janga, Suape e Carneiros apresentaram redução significativa comparadas ao controle água de 10%, 9% e 9% respectivamente

**Figura 11** – Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* na segunda campanha para água superficial - outubro de 2021, realizada em oito áreas recifais na plataforma continental de Pernambuco. Os asteriscos (\*) representam médias diferentes do controle pelo teste-t.



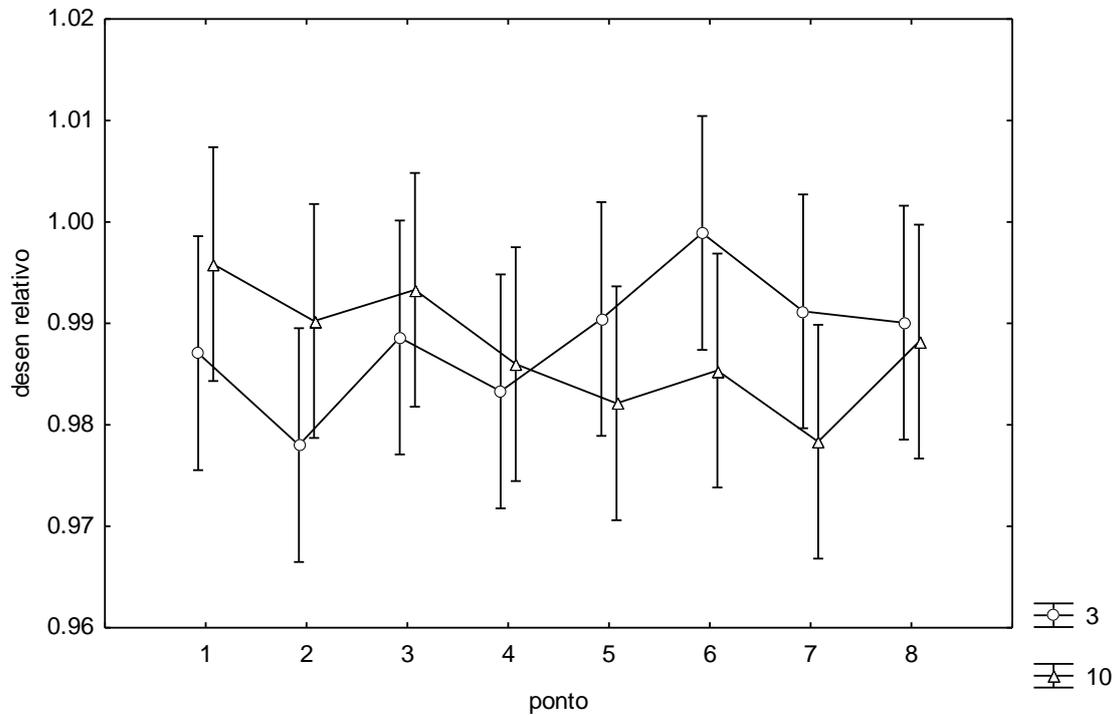
Para o desenvolvimento, a ANOVA não apontou diferenças significativas para os 2 fatores e sua interação (Tabela 5 e Fig.12).

**Tabela 5** - Resultados de ANOVA em relação ao desenvolvimento dos náuplios de *Tisbe biminiensis* para amostras de água superficial, não apresentado diferença significativa entre variáveis.

Efeito	SS	G. L.	MS	F	p
Campanha	0	1	0	0,131	0,72
Ponto	0	7	0	0,703	0,669
Interação	0,001	7	0	1,493	0,205

SS = Soma dos quadrados; G. L. = Grau de liberdade; MS = Quadrado médio; F = Fator de variação; p = probabilidade

**Figura 12** – Percentual médio de desenvolvimento dos náuplios de *Tisbe biminiensis* nos pontos de coleta relativizadas ao controle, para água superficial, em comparação dos meses de março e outubro de 2021 realizada em oito áreas recifais na plataforma continental do litoral de Pernambuco. Ponto 1 = Janga, Ponto 2 = Paiva, Ponto 3 = Suape, Ponto 4 = Muro Alto, Ponto 5 = Cupe, Ponto 6 = Serrambi, Ponto 7= Carneiros, Ponto 8 = Mamucabas.



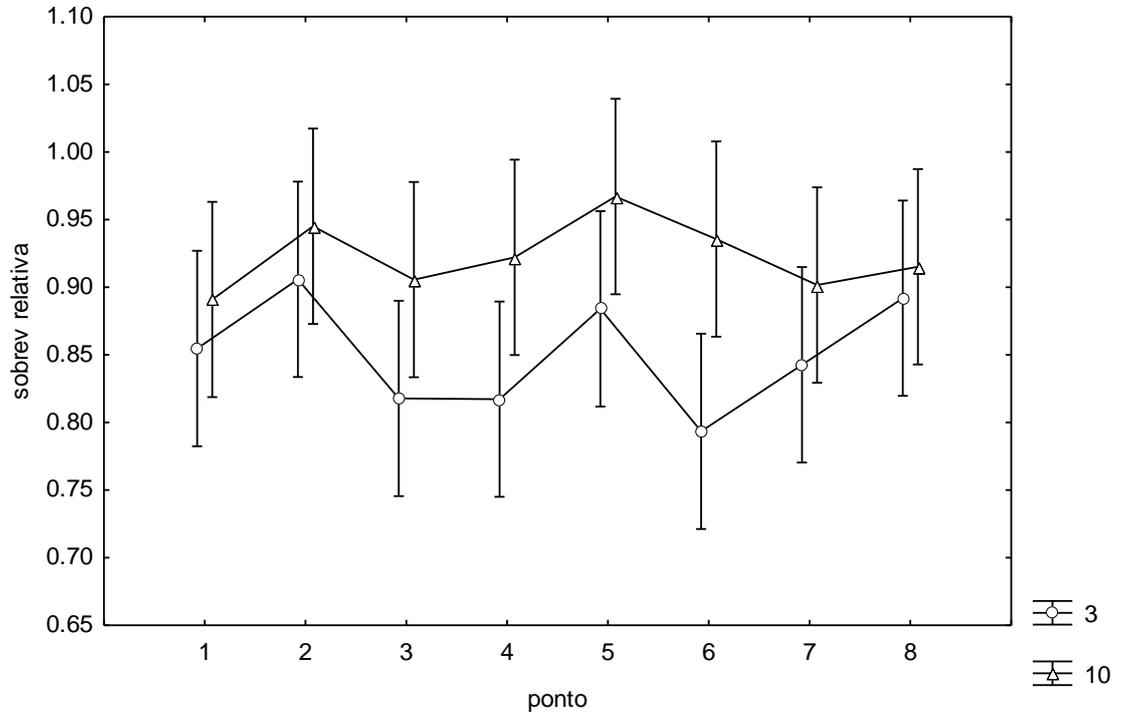
Já para sobrevivência, a Anova só indicou efeito da campanha (Tabela 6 e Fig. 13), tendo outubro médias maiores que março.

**Tabela 6** - Resultados de ANOVA em relação a sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* para amostras de água superficial, apresentado diferença significativa apenas na variável de Campanha.

Efeito	SS	G. L.	MS	F	p
Campanha	0,062	1	0,062	16,47	0,000
Estação	0,031	7	0,004	1,16	0,352
Interação	0,017	7	0,002	0,64	0,719

SS = Soma dos quadrados; G. L. = Grau de liberdade; MS = Quadrado médio; F = Fator de variação; p = probabilidade

**Figura 13** – Percentual médio de sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* nos pontos de coleta relativizadas ao controle, para água superficial, em comparação dos meses de março e outubro de 2021 realizada em oito áreas recifais na plataforma continental do litoral de Pernambuco. Ponto 1 = Janga, Ponto 2 = Paiva, Ponto 3 = Suape, Ponto 4 = Muro Alto, Ponto 5 = Cupe, Ponto 6 = Serrambi, Ponto 7= Carneiros, Ponto 8 = Mamucabas.



## 4. DISCUSSÃO

Neste trabalho foi evidenciada, em alguma das duas coletas, toxicidade ao náuplios do copépodo em todos os oito pontos amostrados considerando as três matrizes ambientais testadas: sedimento arenoso, água intersticial e água superficial. Tanto para a matriz de água intersticial quanto para a de água superficial, apenas o efeito letal foi significativo para alguns dos pontos amostrados; enquanto para o sedimento foram evidenciados efeitos tanto letais quanto subletais.

### 4.1 SEDIMENTO E ÁGUA INTERSTICIAL

O sedimento é conhecido por acumular mais contaminantes e espécies químicas na sua constituição por causa da camada superficial deste sedimento ser caracterizada por intensa deposição de partículas que tornam ele em um sumidouro de contaminantes para a coluna de água e organismos residentes. Esse acúmulo se dá pelo fato de compostos químicos orgânicos hidrofóbicos e metais serem adsorvidos, principalmente, pela matéria particulada e depositarem-se no fundo, no sedimento (Antunes, 2008). Diferente do que se esperava, no presente trabalho as amostras de sedimento de poucos pontos apresentaram toxicidade comparadas às amostras de água superficial e intersticial.

Considerando as duas coletas, os sedimentos dos pontos Suape, Muro Alto, Cupe e Serrambi causaram efeitos tóxicos significativos. Na campanha de março, apenas em Suape e Cupe os sedimentos causaram efeitos tóxicos subletais e letais de menos de 20%. Em outubro os efeitos subletais observados aumentaram para a faixa de 29 a 75% para os pontos de Suape, Muro Alto e Serrambi. A sobrevivência do copépodos nos sedimentos melhorou de março para outubro, mas o desenvolvimento piorou bastante, sobretudo em Suape.

A qualidade do sedimento e da água intersticial estão amplamente relacionadas, tanto que muitos autores usam esta última para avaliar a qualidade dos sedimentos (Burton & Scott, 1992; Lamberson *et al.*, 1992). Na campanha de março, apenas as águas intersticiais dos pontos de Muro Alto e Serrambi causaram queda significativa na sobrevivência dos náuplios, sendo importante frisar que em Suape esta matriz não foi testada. Apesar de não ter apresentado efeito significativo na sua sobrevivência, a água intersticial de Cupe apresentou grande variabilidade

entre suas réplicas. Na campanha de outubro todos os pontos apresentaram efeito letal com exceção do recife próximo ao rio Mamucabas. Estes dados indicam que a água intersticial pode ser mais sensível a contaminação ou ter contaminantes mais biodisponíveis aos náuplios que o sedimento integral.

Serrambi foi inicialmente considerado como ponto controle, pois, estudos anteriores ao evento do óleo que apontaram concentrações de HPAs biliares baixas e níveis basais de biomarcadores (Alves, 2020), e pelo fato desse óleo não ter chegado nesta praia. Contudo, no presente estudo foi um dos pontos em que os sedimentos causaram mais efeitos tanto para sobrevivência quanto para o desenvolvimento do *Tisbe biminiensis* para amostras de sedimento e água intersticial, indicando não ser um local controle ideal e que estes efeitos encontrados sejam provenientes de outras fontes de contaminação na região.

A área recifal em frente ao rio Mamucabas não apresentou efeito para ambas as matrizes estudadas e períodos, enquanto a área de Carneiros apresentou efeito letal apenas em outubro, embora menor que 10%. Resultados pretéritos logo após o derramamento do óleo em outubro de 2019 indicavam efeito letal de 80% de redução para sedimentos da área recifal próxima ao Mamucabas enquanto em fevereiro de 2020 foi observado efeito letal de 60% para área próxima à Carneiros (Lília P. Souza-Santos, resultados não publicados). Estes pontos, que foram bastante atingidos pelo aporte de óleo, apresentaram uma grande melhora na qualidade ambiental em 2021.

A área recifal de Suape fica dentro dos limites de sua Baía, próximo a um Complexo Industrial Portuário. Localizado entre os municípios de Ipojuca e Cabo de Santo Agostinha, o Complexo Portuário conta com mais de 100 indústrias implantadas que incluem refinaria de petróleo, petroquímica, construção naval etc. (Complexo Industrial Portuário de Suape, 2019). Com sua instalação no final da década de 1970, mudanças nas condições geomórficas e hidrológicas da região foram evidenciadas nos trabalhos de Neumann *et al.* (1998) e Muniz *et al.* (2005). Perda acelerada e gradativa da biodiversidade ecossistêmica devido a processos constantes de dragagens, aterros e represamentos principalmente sobre áreas de manguezais foram apontadas por Braga *et al.* (1989). Diversos indicadores sobre a qualidade ambiental de Suape foram evidenciados por Silva *et al.* (2018), que notaram o padrão de uso e ocupação de terras ao redor do complexo portuário

modificar com o passar dos anos. Problemas ligados a degradação da terra nesta região se deram principalmente pela transformação de terras cobertas por vegetação de Mata Atlântica e manguezal para áreas de crescimento de novos núcleos urbanos e serviços, maior uso de terra para cultura agrícola, aumento do solo exposto devido crescimento da área industrial e ocupação de áreas litorâneas (Silva *et al.*, 2018). No presente trabalho, os sedimentos de Suape foram os apresentaram maiores efeitos tóxicos tanto para sobrevivência quanto para desenvolvimento. Devido a esse histórico de processos sofridos ao longo dos anos e atividades de suas indústrias e do próprio porto, os tensores que prejudicam a qualidade ambiental neste ambiente são diversos, contaminando suas águas e sedimentos (Lemos *et al.*, 2014; Souza-Santos *et al.*, 2015; Zanardi-Lamardo *et al.*, 2018), além de efeitos deletérios para os organismos (Araújo-Castro *et al.* 2013; Silva *et al.*, 2004; Souza-Santos & Araújo, 2013). Segundo Souza-Santos *et al.* (2015), atividades de dragagem e contaminação antrópica podem ter causado o aumento das concentrações de alumínio, ferro e chumbo acima dos limites determinados pelas diretrizes brasileiras para águas estuarinas causando a toxicidade crônica encontrada nas amostras de água tanto para *Tisbe biminiensis* quanto para larvas do ouriço *Lytechinus variegatus*. Desde 2002, Araújo-Castro *et al.* (2013) vem relatando efeitos tóxicos no sedimento da Baía de Suape que podem estar sendo causados pela interação de vários contaminantes. Com isso, é levado a crer que os efeitos tóxicos encontrados em Suape no presente trabalho estão associados com a contaminação local das atividades do próprio Complexo Industrial Portuário e não ao derrame de óleo de 2019.

Devido à proximidade que Cupe e Muro alto tem com a desembocadura do rio Ipojuca, e relativa proximidade com o Complexo Industrial Portuário de Suape, sugere-se que os efeitos encontrados no sedimento e na água intersticial sejam provenientes destes locais supracitados, ou ainda de Porto de Galinhas (mais ao sul) por ser grande alvo turístico dentre as praias de Pernambuco. Resultados de Lira *et al.* (2010) mostraram que essa região possui sazonalidade na direção das correntes que são regidas pelo regime de ventos, em que em fevereiro a direção das correntes predominantemente vão para o sul e em junho vão para o norte.

As amostras de sedimento arenoso coletadas em março de 2021, nos recifes das praias do Paiva, Suape, Muro Alto, Cupe, Serrambi, Carneiros e Mamucabas, foram analisadas em termos de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) no Laboratório de Compostos Orgânicos em Ecossistemas Costeiros e Marinhos (OrganoMAR). Exceto no Recife do Janga as concentrações de HPA totais ( $\Sigma 17\text{HPA}$ ) variaram entre 0,20 e 2,79 ng g<sup>-1</sup> (Eliete Zanardi-Lamardo, resultados não publicados), e são consideradas baixas (Baumard et al., 1998). Apenas o sedimento arenoso do Janga apresentou uma concentração acima de 100 ng g<sup>-1</sup>, e pode ser considerado moderadamente contaminado (Baumard et al., 1998). A Administração Atmosférica e Oceânica Nacional (NOAA), agência canadense, estabelece critérios de qualidade ambiental, que envolve o nível limiar de efeitos (threshold effects level - TEL), onde concentrações de contaminantes abaixo deste raramente causam efeitos adversos. Estabelece também o nível de efeitos prováveis (probable effects level - PEL), onde concentrações acima deste já indicam probabilidade maior de causar efeitos adversos na comunidade biótica. As concentrações encontradas no presente trabalho não excedem os valores do TEL e nem do PEL para nenhum dos compostos analisados. Isto sugere que os efeitos encontrados nos locais amostrados possivelmente não estão relacionados com a contaminação do óleo, hipótese inicial do trabalho, mas possivelmente associados a outras fontes de poluição que serão discutidos mais à frente, na seção de água superficial.

Segundo Bejarano & Michel (2016) o grau de exposição da costa e características dos grãos de sedimento influenciam em processos como o intemperismo do óleo. Fato que pode justificar as baixas concentrações de HPAs encontradas nos recifes, uma vez que são ambientes de alta dinâmica, e análises de granulometria dos sedimentos realizados também pelo OrganoMAR mostraram que todas as amostras apresentaram suas composições com mais de 93% de areia (Eliete Zanardi-Lamardo, resultados não publicados). Praias que já foram atingidas por grandes derramamentos de óleo ao redor do mundo se recuperaram mais rápido quando além de serem arenosas, também tiveram ações de limpeza após derramamento (Bejarano & Michel, 2016). O que se encaixa para as praias da costa pernambucana, como pode-se citar o exemplo do recife do Paiva que após dois meses de chegada do óleo houve rápida recuperação e reestruturação da macrofauna benthica (Craveiro et al., 2021). Portanto, é possível inferir que menos

que 2 anos após o derramamento de 2019 não se encontra mais o efeito do óleo nos recifes de praias arenosas da região centro sul de Pernambuco.

#### 4.2 ÁGUA SUPERFICIAL

Considerando a coleta realizadas em março de 2021, todos os pontos apresentaram água superficial com efeito tóxico letal significativo (exceto Cupe). Na campanha de março, as águas dos demais sete pontos causaram efeitos letais entre 9 e 22%. As análises de  $\Sigma 17\text{HPA}$  na água, na campanha de março, indicaram baixas concentrações em todos os pontos ( $\Sigma 17\text{HPA} < 4 \text{ ng L}^{-1}$  (Eliete Zanardi-Lamardo, resultados não publicados). Estes resultados sugerem que os efeitos encontrados estão associados à outras fontes de contaminação, que não o óleo. Em outubro as águas superficiais em Janga, Suape e Carneiros ainda apresentaram efeitos letais de 12%, 11% e 11%, respectivamente. Não houve efeito subletal significativo para nenhum ponto ou período. Como discutido na parte de sedimento, efeitos tóxicos para a água superficial em Suape são encontrados desde 2007 e bastante variados no tempo e espaço (Souza-Santos & Araújo, 2013; Araújo & Souza-Santos, 2013; Lavorante, 2013) sendo causados por vários tipos de contaminantes diferentes (Lavorante, 2013).

Os ambientes estuarinos e marinhos costeiros estão sujeitos a várias pressões antrópicas pelo crescimento e desenvolvimento populacional, principalmente em locais que apresentam grande densidade demográfica no litoral. Segundo Costa *et al.* (2004), neste mesmo ano Pernambuco foi registrado como estado com maior densidade populacional costeira do país, com aproximadamente 804,3 hab/Km<sup>2</sup>. Costa *et al.* (2004) ainda apontou que uma das principais vias de poluentes para ambientes marinhos é através do aporte continental dos rios e aporte pluvial. Com isso, é possível que os efeitos encontrados na maior parte das áreas no presente trabalho estejam associados a contaminação do continente através das plumas dos rios.

A área recifal próximo ao rio Mamucabas apresentou efeito apenas para uma matriz e campanha (a água superficial em março) sugerindo que o ponto do Mamucabas foi o que apresentou melhor qualidade ambiental para o presente estudo, embora mais tarde na época chuvosa as plumas do Mamucabas e do rio

Uma possa prejudicar a qualidade de água na região (Souza-santos, dados não publicados). Os resultados de Vasconcelos *et al.* (2019) também indicam que as comunidades de macroalgas nos recifes desta área são mais preservadas, corroborando nossa sugestão. Assim como o Mamucabas, o recife da Praia do Paiva apresentou uma das melhores qualidades ecotoxicológicas neste trabalho, o que pode também ser atribuído ao menor grau de urbanização da região (Vasconcelos *et al.*, 2019).

Figueira (2021), estudando a qualidade ecotoxicológica com os mesmos métodos, descreve efeito tóxicos na época chuvosa na isóbata de 10m nas águas superficiais da plataforma continental afetadas pelas plumas dos rios do litoral sul pernambucano. O estudo aponta as regiões entre o rio Ipojuca, Maracaípe e Sirinhaém como as que apresentaram piores qualidades ecotoxicológicas. A toxicidade encontrada para os pontos de Muro Alto e Serrambi, para todas as matrizes, principalmente em março, pode estar associada com a descarga das plumas do rio Ipojuca e Sirinhaém. A descarga da pluma dos rios influencia tanto em mudanças nos parâmetros físico-químicos e material particulado das zonas costeiras (Mello, 2009; Cordeiro *et al.*, 2014).

O estuário do Rio Formoso está inserido numa Unidade de Conservação de categoria de uso sustentável, a APA de Guadalupe (Área de proteção ambiental). Limita-se ao norte pelo município de Sirinhaém, ao sul pelo município de Tamandaré e a leste pelo município do Rio Formoso. A área recifal de Carneiros amostrada no presente estudo situa-se bem em frente à desembocadura deste estuário e apresentou efeito letal de menos de 17% para água superficial das duas campanhas, que poderia estar associada a contaminantes provenientes da pluma do rio Formoso. Apesar de não indicar contaminação severa e ser considerado como bem conservado (Silva, 2009; Arruda, 2010), o rio Formoso está sujeito a contaminação de efluentes domésticos, industriais e hospitalares dos três municípios circunvizinhos pela inexistência de tratamento de esgoto adequado, falta de água e saneamento (Arruda, 2010). Paiva *et al.* (2009) já havia evidenciado poluição aquática por microrganismos fecais, resíduos de fertilizantes e agrotóxicos, uma vez que a região circunvizinha também é caracterizada pela predominância da monocultura de cana de açúcar com a prática excessiva de adubação química, corretivos minerais, herbicidas e uso de defensivos agrícolas (Silva, 2009; Paiva *et*

*al.*, 2009; Arruda, 2010; Cosmo & Galeriani, 2016). Além da pesca artesanal que também contribui com a contaminação utilizando defensivos agrícolas, a exemplo da carcinicultura que está inserida em 22 hectares do estuário com liberação direta de seus efluentes durante a limpeza dos tanques de criação (Santos, 2002; Arruda, 2010). Além disso, nas proximidades do rio existem dois lixões, um em Tamandaré e outro no Rio Formoso que, através da lixiviação, liberam chorume nestas águas (Arruda, 2010), que pode possuir uma carga poluidora bem maior que o próprio esgoto doméstico (Rita, 2002).

A área recifal do bairro do Janga situa-se no município de Paulista, Região Metropolitana de Recife (RMR). De acordo com o censo de 2010 (IBGE, 2010), Janga é o bairro mais populoso do município de Paulista, com 44.008 habitantes, que em épocas de veraneio pode quase dobrar este número (Oliveira, 2015). Costa *et al.* (2021), em uma análise de variação espaço-temporal de balneabilidade da área entre 2005 e 2016, observou uma tendência de melhora da qualidade da água com o passar dos anos, contudo no ápice da estação chuvosa as praias do Janga ficam na maior parte do tempo impróprias para banhos etc. Isso se dá muito pelo fato de o município não possuir um Plano Municipal de Saneamento Básico (IBGE, 2017). Com isso, o principal fator que influencia a má qualidade dessas águas é antrópico, devido à falta de saneamento ambiental, além da especulação imobiliária acentuada que aumenta o contingente populacional do bairro e, conseqüentemente, sofre da ação antrópica indiscriminada (Oliveira, 2015; Costa *et al.*, 2021). Portanto, os efeitos de cerca de 17% encontrados para a água superficial e intersticial do recife do Janga estariam associados a estes aportes antrópicos.

## 5. CONCLUSÕES

- Os náuplios se mostraram mais sensíveis à água intersticial que o sedimento presente no trabalho, podendo os contaminantes estarem mais biodisponíveis neste compartimento.
- Após menos que 2 anos do derramamento de petróleo nas praias e ecossistemas costeiros do Brasil, não são mais encontrados efeitos dos compostos do óleo nos recifes de praias arenosas em Pernambuco, sugerindo que a granulometria desses ambientes e a dinâmica da região induziram processos de transporte, intemperismo e degradação.
- Efeitos subletais para o sedimento sugerem contaminação crônica destes recifes por outras fontes de contaminação antrópicas.
- Efeitos letais encontrados para ambas as matrizes de água, principalmente em março, sugerem que a estação chuvosa de Pernambuco (março) faz com que as plumas dos rios cheguem ao ambiente costeiro levando consigo contaminantes e material particulado do continente, impactando e contaminando os ecossistemas marinhos.
- Os recifes do Paiva e Mamucabas apresentaram menos toxicidade dentre os pontos, principalmente devido estes se situarem em regiões de baixa densidade demográfica e, conseqüentemente, sob pressões antrópicas mais limitadas.

## REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). NBR 15350. Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica de curta duração – Método de ensaio com ouriço-do-mar (Echinodermata: Echinoidea); 2006.

ALMEDA, R.; BACA, S.; HYATT, C.; BUSKEY, E.J. Ingestion and sublethal effects of physically and chemically dispersed crude oil on marine planktonic copepods. **Ecotoxicology**, v. 23, p. 988-1003, 2014.

ALVES, M.K.M. Biomonitoramento da poluição em recifes de coral utilizando o peixe donzelinha *Stegastes fuscus* como organismo sentinela. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 88, 2020.

ANTUNES, M.; DILLON, D.B.; CRESPO, J.S.; GIOVANELA, M. Avaliação dos parâmetros físico-químicos e do teor de metais em amostras de sedimento de uma microbacia gaúcha. **Geochimica Brasilienses**, v. 22, p. 178-188, 2008.

ARAÚJO-CASTRO, C.M.V. Padronização e aplicação do copépodo marinho bentônico *Tisbe biminiensis* como organismos-teste em avaliações toxicológicas de sedimentos estuarinos. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 104. 2008.

ARAÚJO, C.F.C.; SOUZA-SANTOS, L.P. Use of the microalgae *Thalassiosira weissflogii* to assess water toxicity in the Suape industrial-port complex of Pernambuco, Brazil. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 89, p. 212-221, 2013.

ARAÚJO-CASTRO, C.M.V.A.; OLIVEIRA, D.D.; SOUZA-SANTOS, L.P.; COSTA, M.F.; CARREIRA, R.S.; REZENDE, C.E.; MARQUES, J.S.J. Avaliação da toxicidade dos sedimentos no entorno do porto de Suape (Pernambuco) utilizando o copépodo *Tisbe biminiensis*. In: M. K.Kato; S. Gavazza; E. A. P. Gonçalves; L. Florencio. (Org.). **Gestão e Tratamento de Resíduos Líquidos Gerados na Cadeia Produtiva do Petróleo. 2 Coletânea de Trabalhos Técnicos**. 1ed.OLINDA: LIVRO RÁPIDO, v. 1, p. 1-32, 2013.

ARRUDA, G.N. Avaliação das concentrações recentes e históricas de metais pesados nos sedimentos de fundo do Estuário do Rio Formoso, Pernambuco. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geociências - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

BAUMARD, P. *et al.* Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediments and Mussels of the Western Mediterranean Sea. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 17, nº 5, p. 765–776, 1998.

BEJARANO, A.C.; MICHEL, J. Oil spills and their impacts on sand beach invertebrate communities: a literature review. **Environmental Pollution**, v. 218, p. 709-722, 2016.

BRAGA, R.A.P.; UCHOA, T.M.M.; DUARTE, M.T.M.B. Impactos ambientais sobre o manguezal de Suape - PE. **Acta Botanica Brasilica**, v. 3, n. 21, p. 09-27, 1989.

BURTON, G.A., & SCOTT, K.J. Sediment toxicity evaluations. **Environmental Science & Technology**, v. 26, p. 2068–2075, 1992

CAMARGO, J. B.D.A.; CRUZ, A.C.F.; CAMPOS, B.G.; ARAÚJO, G.S.; FONSECA, T.G.; ABESSA, Denis, M.S. Use, development and improvements in the protocol of whole-sediment toxicity identification evaluation using benthic copepods. **Marine Pollution Bulletin**, v. 91, n. 2, p. 511-517, 2015.

CAMPELO, R.P.S.; LIMA, C.D.M.; SANTANA, C.S.; SILVA, A.J.; NEUMANN-LEITÃO, S.; FERREIRA, B.P.; SOARES, M.O.; MELO JÚNIOR, M.; MELO, P.A.M.C. Oil spills: the invisible impact on the base of tropical marine food webs. **Marine Pollution Bulletin**, v. 167, p. 112281, 2021.

CAMPOS, B.G.; MOREIRA, L.B.; PAULY, G.F.E.; CRUZ, A.C.F.; MONTE, C.N.; SILVA, L.I.D.; RODRIGUES, A.P.C.; MACHADO, W.; ABESSA, D.M.S. Integrating multiple lines of evidence of sediment quality in a tropical bay (Guanabara Bay, Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, v. 146, p. 925-934, 2019.

CORDEIRO, IA.; FEITOSA, F.A.N.; FLORES-MONTES, M.J.; HONORATO, S. Distribuição Sazonal e Espacial da clorofila A e variáveis ambientais na Plataforma Continental de Pernambuco (Porto do Recife), Brasil. **Tropical Oceanography**, v. 42, n.1, 2014.

COSMO, B. M. N.; GALERIANI, T. M. Cadeia produtiva da cana de açúcar: do campo a indústria, analisando aspectos ambientais. **Revista Científica Semana Acadêmica**. Fortaleza, ano MMXVI, Nº. 000079, 27/01/2016.

COSTA, M.F.; ARAÚJO, M.C.B.; CHAGAS, A.C.O.; SANT'ANNA, N.; SOUZA, S.T. Poluição Marinha. In: **Oceanografia um cenário tropical**. Recife: Bagaço, p. 287-317; 2004.

COSTA, C.R. Avaliação da balneabilidade em praias da costa leste do nordeste brasileiro. 2021. Tese (Doutorado em Oceanografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

CRAVEIRO, N.; ALVES, R.V.A.; SILVA, J.M.; VASCONCELOS, E.; ALVES-JUNIOR, F.A.; ROSA FILHO, J.S. Immediate effects of the 2019 oil spill on the macrobenthic fauna associated with macroalgae on the tropical coast of Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 165, p. 112107, 2021.

DISNER, G.R.; TORRES, M. The environmental impacts of 2019 oil spill on the Brazilian coast: overview. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 15, p. 241-255, 2020.

ESCOBAR, H. *Mystery oil spill threatens marine sanctuary in Brazil*. **Science**, v. 366, p. 672-672, 2019. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.366.6466.672>.

FIGUEIRA, L.O. *Efeito das plumas dos rios na qualidade ecotoxicológica da água costeira do litoral sul de Pernambuco usando os náuplios do Copepoda Tisbe biminiensis*. TCC (Graduação) – Curso de Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 49, 2020.

FIORAVANTI, C. Os caminhos da mancha. **Pesquisa FAPESP**, 2019. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/os-caminhos-da-mancha/>.

HICKS, G. R. F; COULL, B. C. The ecology of marine meiobenthic harpacticoid copepods. **Oceanography and Marine Biology**, v. 21, p. 67-175, 1983.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Manchas de óleo – Desmobilização**, 2019. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/manchasdeoleo-desmobilizacao>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de Informações Básicas Municipais Saneamento**, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/paulista/pesquisa/10087/0>.

KUSK, K. O., & WOLLENBERGER, L. Towards an internationally harmonized test method for reproductive and developmental effects of endocrine disrupters in marine copepods. **Ecotoxicology**, v. 16(1), p. 183–195, 2007.

LAMBERSON, J.O., DEWITT, T.H.; SWARTZ, R.C. Chapter 9: Assessment of sediment toxicity to marine benthos. In: Burton, GA (Ed.). **Sediment toxicity assessment**. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, p. 183-211, 1992.

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, p. 52-59, 2013.

LEMOS, R.T.; CARVALHO, O.S.; ZANARDI-LAMARDO, E. Petroleum hydrocarbons in water from a Brazilian tropical estuary facing industrial and port development. **Marine Pollution Bulletin**, v. 82, p. 183-188, 2014.

LESSA, Guilherme C.; TEIXEIRA, Carlos Eduardo P.; PEREIRA, Janini; SANTOS, Felipe M. The 2019 Brazilian oil spill: insights on the physics behind the drift. **Journal of Marine Systems**, v. 222, p. 103586, out. 2021.

LIRA, L.; WOR, C.; HAZIN, F.H.V.; BRAGA JÚNIOR, H.A.C; SANTOS, J.C.P. Estudo de correntes marinhas por meio do lançamento de cartões de deriva no litoral do Estado de Pernambuco, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**. Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 30-37, 2010.

LOURENÇO, S.O. **Cultivo de microalgas marinhas – princípios e aplicações**. São Carlos: RiMa, 2006. 606 p.

LOURENÇO, R.A.; COMBI, T.; ALEXANDRE, M.R.; SASAKI, S.T.; ZANARDI-LAMARDO, E.; YOGUI, G.T. Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019–2020): trying to find answers and filling data gaps. **Marine Pollution Bulletin**, v. 156, p. 111219, 2020.

MAGALHÃES, K.M.; CARREIRA, R.S.; ROSA FILHO, J.S.; ROCHA, P.P.; SANTANA, F.M.; YOGUI, G.T. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in fishery resources affected by the 2019 oil spill in Brazil: short-term environmental health and seafood safety. **Marine Pollution Bulletin**, v. 175, p. 113334, 2022.

MELLO, M.V.L. Parâmetros hidrológicos correlacionados com a biomassa e composição fitoplanctônica na região costeira adjacente à desembocadura do rio Sirinhaém (Pernambuco- 45 Brasil). Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Oceanografia. Universidade Federal de Pernambuco, Recife; 2009.

MUNIZ, K., NETO, B.D.B.; MACEDO, S.J.D.; FILHO, W.C. Hydrological impact of the port complex of Suape on the Ipojuca river (Pernambuco-Brazil). **Journal Coast Research**, v. 21, p. 909- 914, 2005.

NASRI SISSINI, M. *et al*; SOARES, M.O. *et al*; BRUM H.D. *et al*. Brazil oil spill response: Protect rhodolith beds. **Science**, v. 367, p. 156-156, 2020. <https://doi.org/10.1126/science.aba2582>.

NEUMANN, V.H.; MEDEIROS, C.; PARENTE, L., LEITÃO, S.N.; KOENING, M.L. Hydrodynamism, sedimentology, geomorphology and plankton changes at Suape area (Pernambuco - Brazil) after a port complex implantation. **Anais Academia Brasileira de Ciências**, v. 70, p. 313-323, 1998

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, p. 373-378, 2014.

OLIVEIRA, P.C. Degradação Ambiental em Fragmento de Mata Atlântica: Floresta urbana Mata do JANGA em Paulista/PE. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 88, 2015.

OLIVEIRA, O.M.C.; QUEIROZ, A.F.S.; CERQUEIRA, J.R.; SOARES, S.A.R.; GARCIA, K.S.; PAVANI FILHO, A.; ROSA, M.L.S.; SUZART, C.M.; PINHEIRO, L.L.; MOREIRA, I.T.A. Environmental disaster in the northeast coast of Brazil: forensic geochemistry in the identification of the source of the oily material. **Marine Pollution Bulletin**, v. 160, p. 111597, 2020.

PAIVA, A.C.G.; LIMA, M.F.V.; SOUZA, J.R.B.; ARAÚJO, M.E. Spatial distribution of the estuarine ichthyofauna of the Rio Formoso (Pernambuco, Brazil), with emphasis on reef fish. **Zoologia** (Curitiba), v. 26, p. 266-278, 2009.

RÉGIS, C.G.; SOUZA-SANTOS, L.P., YOGUI, G.T.; MORAES, A.S.; SCHETTINI, C.A.F. Use of *Tisbe biminiensis* nauplii in ecotoxicological tests and geochemical analyses to assess the sediment quality of a tropical urban estuary in northeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 137, p 45-55, 2018.

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

RITA, F. Desempenho de um reator UASB em escala piloto para o tratamento anaeróbio de líquidos percolados de resíduos sólidos urbanos. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, P. 112. 2002.

RODRIGUES, R.V.; MIRANDA-FILHO, K.C.; GUSMÃO, E.P.; MOREIRA, C.B.; ROMANO, L.A.; SAMPAIO, L.A. Deleterious effects of water-soluble fraction of petroleum, diesel and gasoline on marine pejerrey *Odontesthes argentinensis* larvae. **Scienc of The Total Environment**, v. 408, p. 2054-2059, 2010.

SAEED, T.; AL-MUTAIRI, M. Chemical composition of the water-soluble fraction of leaded gasolines in sea water. **Environment International**, v. 25, p. 117–29, 1999.

SANTOS, A.C.C.; CHOUERI, R.B.; PAULY, G.F.E.; ABESSA, D.; GALLUCCI, F. Is the microcosm approach using meiofauna community descriptors a suitable tool for ecotoxicological studies? **Ecotoxicology And Environmental Safety**, v. 147, p. 945-953, 2018.

SANTOS, M.M.F. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Gestão e Políticas Ambientais, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002.

SILVA, A.P.; NEUMANN-LEITÃO, S.; SCHWAMBORN, R.; GUSMÃO, L.M.O.; SILVA, T.A. Mesozooplankton of an impacted bay in North Eastern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 3, p. 485-493, 2004.

SILVA, N.M.T.N. Avaliação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos de fundo do estuário do Rio Formoso (PE). Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

SILVA, E.R.A.C.; MELO, J.G.S.; FERREIRA, J.M.S.; GALVÍNCIO, J.D. Avaliação espaço-temporal dos impactos ambientais provenientes da instalação do complexo industrial e portuário de SUAPE sobre sua hinterlândia. **Boletim de Geografia**, v. 36, p. 134, 2018.

SINGER, S.C.; LEE, R.F. Mixed function oxygenase activity in blue crab, *Callinectes sapidus*: tissue distribution and correlation with changes during molting and development. **Biological Bulletin**, v. 153, p. 377–386, 1977.

SOARES, M.O; TEIXEIRA, C.E.P.; BEZERRA, L.E.A.; PAIVA, S.V.; TAVARES, T.C.L.; GARCIA, T.M.; ARAÚJO, J.T.; CAMPOS, C.C.; FERREIRA, S.M.C.; MATTHEWS-CASCON, H. Oil spill in South Atlantic (Brazil): environmental and governmental disaster. **Marine Policy**, v. 115, p. 103879, 2020.

SOROLDONI, S.; ABREU, F.; CASTRO, I.B.; DUARTE, F.A.; PINHO, G.L.L. Are antifouling paint particles a continuous source of toxic chemicals to the marine environment? **Journal Of Hazardous Materials**, v. 330, p. 76-82, 2017.

SOUZA-SANTOS, L.P.; ARAÚJO, R.J. Water toxicity assessment in the Suape estuarine complex (PE-Brazil). **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, v. 8, p. 59-65, 2013.

SOUZA-SANTOS, L.P.; OLIVEIRA, D.D.; LIMA, E.S. The use of epibenthic copepod *Tisbe biminiensis* nauplii to assess the toxicity of seawater samples in Suape Bay (state of Pernambuco; Brazil). **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 10, p. 61-69, 2015.

VASCONCELOS, E.R.T.P.P.; VASCONCELOS, J.B.; REIS, T.N.V.; COCENTINO, A.L.M.; MALLEA, A.J.A.; MARTINS, G.M.; ISABEL NETO, A.; FUJII, M.T. Macroalgal responses to coastal urbanization: relative abundance of indicator species. **Journal of Applied Phycology**, v. 31, n. 2, p. 893-903, 2019.

ZANARDI-LAMARDO, E.; SCHETTINI, C.A.F.; VIEIRA-CAMPOS, A.A.; CABRAL, C. B.; SILVA, M.S. Intratidal variability and transport of petroleum aromatic hydrocarbons in an anthropized tropical estuarine system: the Suape estuary (8.4S 35W). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 66, p. 47-57, 2018.