UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE BIOCIÊNCIAS

CURSO DE GRADUAÇÃO

BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS COM ÊNFASE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

KARINA SIMONE SILVA DOS SANTOS

ECOTOXICOLOGIA DA ÁGUA DO MAR DA PLATAFORMA CONTINENTAL DE PERNAMBUCO

RECIFE

2025

KARINA SIMONE SILVA DOS SANTOS

ECOTOXICOLOGIA DA ÁGUA DO MAR DA PLATAFORMA CONTINENTAL DE PERNAMBUCO

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

Orientadora: Profa. Dra. Lília Pereira de Souza Santos

RECIFE

2025

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

Santos, Karina Simone Silva dos.
Ecotoxicologia da água do mar da plataforma continental de Pernambuco / Karina Simone Silva dos Santos. - Recife, 2025.
51 p. : il., tab.

Orientador(a): Lília Pereira de Souza-Santos
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas /Ciênciais Ambientais - Bacharelado, 2025.
Inclui referências.

1. ecotoxicidade. 2. copépodes. 3. bioensaios. 4. plataforma continental. 5. qualidade da água. I. Souza-Santos, Lília Pereira de. (Orientação). II. Título.

500 CDD (22.ed.)

KARINA SIMONE SILVA DOS SANTOS

ECOTOXICOLOGIA DA ÁGUA DO MAR DA PLATAFORMA CONTINENTAL DE PERNAMBUCO

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

Aprovado em: 27/03/2025.

BANCA EXAMINADORA

_____
Profa. Dra. Lília Pereira de Souza Santos (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. Dr. Paulo Sergio Martins de Carvalho (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. Dr. Gilvan Takeshi Yogui (Examinador Suplente Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico à minha mãe, Enupia, que com amor e coragem, foi bússola e mar sereno para que eu pudesse alcançar a paz da costa.

AGRADECIMENTOS

Aos meus ancestrais, especialmente às minhas avós, Marina e Lia, que mesmo não estando mais aqui em carne, continuam vivas em mim, em espírito e memória. Cada conquista que comemoro é fruto do que plantaram com tanta resiliência – e, por isso, essas vitórias nunca são só minhas, são nossas.

À minha mãe, meu porto seguro e maior inspiração, que desde cedo acreditou em mim e me manteve firme, mesmo quando as águas pareciam turbulentas demais.

Ao meu pai do coração, Marcelo, que me acolheu com tanto amor e não me deixou desistir, sempre com abraços e palavras de conforto.

Ao meu gato e companheiro de quatro patas, Norman, que com miados e inúmeros pedidos de carinho, coloriu minha vida e me encheu de esperança.

À minha orientadora, Profa. Lília, pela confiança, ensinamentos e paciência de sempre.

À Luana, minha parceira de graduação, pela companhia nas aulas e risadas nas manhãs de laboratório, tornando toda essa trajetória mais leve.

À Taylor Swift, minha artista favorita, que com suas músicas que tanto significam para mim, esteve presente em muitas madrugadas de estudo.

“If the sea is sick, we'll feel it. If it dies, we die. Our future and the state of the ocean are one.”

Sylvia Earle

RESUMO

A qualidade da água da plataforma continental é indispensável para a manutenção da biodiversidade marinha e para atividades socioeconômicas dependentes dos recursos oceânicos. No entanto, essa região sofre influência de diversos contaminantes, resultantes tanto de processos naturais quanto de ações antrópicas, que podem comprometer a biota aquática. Partindo da hipótese inicial de que as áreas costeiras apresentam maior toxicidade devido à poluição marinha associada à pressão antrópica, o presente estudo teve como objetivo avaliar a ecotoxicidade da água superficial da plataforma continental de Pernambuco por meio de bioensaios com os náuplios do copépode harpacticóide *Tisbe biminiensis*. Para isso, foram coletadas amostras em 24 pontos distribuídos em seis perfis oceanográficos transversais à costa, com variação de profundidades entre a isóbata de 20 m até 700 m. Os bioensaios foram conduzidos em laboratório para analisar os efeitos letais e subletais das amostras sobre a sobrevivência e o desenvolvimento dos organismos-teste. Os resultados demonstraram um aumento de toxicidade subletal com o aumento da distância da costa e de toxicidade letal também nas maiores distâncias da costa, sobretudo no litoral sul do estado. Esses resultados contrariaram a hipótese inicial, indicando a presença de compostos tóxicos possivelmente provenientes de microalgas tóxicas comuns na região. Este estudo sugere ainda a necessidade de monitoramento contínuo e sistemático da qualidade da água marinha na região, uma vez que a contaminação pode comprometer tanto a biodiversidade local quanto setores socioeconômicos, como pesca e turismo.

Palavras-chave: Ecotoxicidade; Copépodes; Bioensaios; Plataforma continental; Qualidade da água.

ABSTRACT

The water quality of the continental shelf is essential for maintaining marine biodiversity and supporting socio-economic activities dependent on ocean resources. However, this region is influenced by various contaminants, resulting from both natural processes and anthropogenic activities, which may affect aquatic biota. Based on the initial hypothesis that coastal areas would exhibit higher toxicity due to marine pollution associated with anthropogenic pressure, this study aimed to assess the ecotoxicity of surface water from the continental shelf of Pernambuco through bioassays with nauplii of the harpacticoid copepod *Tisbe biminiensis*. For this purpose, samples were collected at 24 points distributed across six oceanographic transects transversal to the coast, with depth variations ranging from the 20 m isobath to 700 m. The bioassays were conducted under laboratory conditions to analyze lethal and sublethal effects on the survival and development of the test organisms. The results showed an increase in sublethal toxicity with increasing distance from the coast, as well as lethal toxicity, particularly in the southern coast of the state. These findings contradicted the initial hypothesis, suggesting the presence of toxic compounds possibly originating from harmful microalgae common in the region. This study highlights the need for continuous and systematic monitoring of marine water quality, given that contamination may impact both local biodiversity and socio-economic sectors, such as fisheries and tourism.

Keywords: Ecotoxicity; Copepods; Bioassays; Continental shelf; Water quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição dos pontos amostrais coletados ao longo da plataforma continental de Pernambuco 24

Figura 2 - Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* referentes às amostras de água superficial coletadas ao longo do transecto de 20 m 32

Figura 3 - Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* referentes às amostras de água superficial coletadas ao longo do transecto entre 30 e 40 m 33

Figura 4 - Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* referentes às amostras de água superficial coletadas ao longo do transecto de 50 m 34

Figura 5 - Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* referentes às amostras de água superficial coletadas ao longo do transecto próximo ao talude continental 35

Figura 6 - Padrão espacial do percentual de mortalidade de *Tisbe biminiensis* nas amostras de água superficial coletadas nos pontos amostrais (1-24) na plataforma continental de Pernambuco 36

Figura 7 - Padrão espacial do percentual de redução do desenvolvimento de *Tisbe biminiensis* nas amostras de água superficial coletadas nos pontos amostrais (1-24) da plataforma continental de Pernambuco 37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coordenadas geográficas e características dos pontos amostrais coletados na Plataforma Continental de Pernambuco 12

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**12**
2	**FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**	**15**
2.1	**Impactos da poluição marinha**	**15**
2.2	**Ecotoxicologia marinha em Pernambuco**	**17**
2.3	**Uso de *Tisbe biminiensis* em testes ecotoxicológicos**	**19**
3	**OBJETIVOS**	**21**
3.1	**Objetivo geral**	**21**
3.2	**Objetivos específicos**	**21**
4	**METODOLOGIA**	**22**
4.1	**Área de estudo**	**22**
4.2	**Coleta das amostras**	**23**
4.3	**Cultivo dos organismos em laboratório**	**27**
4.3.1	*Cultivo do copépode Tisbe biminiensis*	**27**
4.3.2	*Cultivo da alga Chaetoceros muelleri*	**27**
4.4	**Obtenção dos organismos-teste**	**28**
4.5	**Bioensaio com *Tisbe biminiensis***	**28**
4.6	**Análise dos dados**	**30**
5	**RESULTADOS**	**31**
5.1	**Transecto de 20 m**	**31**
5.2	**Transecto entre 30 e 40 m de profundidade**	**32**
5.3	**Transecto próximo à isóbata de 50 m**	**33**
5.4	**Transecto próximo ao talude continental**	**34**
5.5	**Padrões espaciais de toxicidade**	**35**
6	**DISCUSSÃO**	**37**
7	**CONCLUSÃO**	**40**
	REFERÊNCIAS	**41**

1 INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são ecossistemas de extrema relevância na manutenção da biodiversidade marinha e no desenvolvimento de atividades humanas. Os ecossistemas costeiros situados na plataforma continental estão entre os mais produtivos do oceano (Yool & Fasham, 2001) e essa alta produtividade sustenta mais de 30% da produção oceânica total (Nybakken, 2001). No entanto, essas áreas estão sob crescente pressão devido à intensificação das perturbações antrópicas e às mudanças climáticas, que ameaçam sua integridade e funcionalidade.

A poluição marinha é um dos principais desafios para a conservação das zonas costeiras, sendo impulsionada pelo despejo inadequado de efluentes domésticos, escoamento superficial de áreas urbanas e agrícolas, além de resíduos industriais (Moraes et al., 2001). Esses contaminantes são frequentemente lançados nos corpos hídricos sem tratamento ou com tratamento inadequado, prejudicando rios, estuários e áreas costeiras. Ademais, a degradação marinha pode ocorrer por diferentes meios, tais como o tráfego marítimo, a expansão portuária e a exploração de petróleo. Substâncias tóxicas como hidrocarbonetos (Fioravanti, 2019) ou ainda metais pesados (Gao & Chen, 2012), quando liberadas no ambiente aquático, podem ser incorporadas à cadeia alimentar, biomagnificando-se na teia trófica e atingindo concentrações perigosas em predadores de topo, incluindo espécies comercialmente importantes. Dessa forma, além de comprometer a biodiversidade, os poluentes representam riscos significativos tanto para a saúde humana quanto para a economia costeira, sobretudo em regiões onde o turismo e a pesca são essenciais (Wear & Thurber, 2015; Zagatto & Bertoletti, 2006).

No Brasil, a poluição das águas costeiras é um problema crônico, agravado pela precariedade no saneamento básico e pelo crescimento desordenado das cidades litorâneas (CETESB, 2020). A plataforma continental de Pernambuco, situada no litoral nordeste do país, é um exemplo emblemático dessa realidade. A proximidade com grandes centros urbanos, como Recife e Jaboatão dos Guararapes, e a presença de complexos portuários, como o Porto de Suape, reforça a necessidade do constante controle ambiental de seus

manguezais, recifes de coral e bancos de algas calcárias. O monitoramento da balneabilidade nas praias da costa leste do nordeste brasileiro revela a crescente preocupação com a poluição dessas áreas, destacando a presença de contaminantes, sobretudo provenientes de efluentes urbanos (Costa, 2021) e resíduos industriais, que prejudicam tanto as águas marinhas quanto a saúde pública, afetando o desenvolvimento de atividades socioeconômicas dependentes das condições ambientais locais (Doney, 2010).

A degradação desses ecossistemas tem implicações diretas para as populações que dependem deles para a subsistência e atividades econômicas. A pesca artesanal, por exemplo, fundamental para a sobrevivência de inúmeras famílias, está ameaçada pela redução dos estoques pesqueiros e pela contaminação dos recursos marinhos (Neto et al., 2020; Ribeiro et al., 2024). Da mesma forma, o turismo, que representa uma das principais fontes de renda para as comunidades costeiras locais, pode ser severamente afetado com a poluição das praias e a perda de biodiversidade. Além disso, com a qualidade da água comprometida, a balneabilidade das praias é impactada e, por consequência, o setor turístico e de lazer (Oliver et al., 2024; Souza-Santos et al., 2025).

O monitoramento contínuo dos parâmetros biológicos é indispensável para avaliar as consequências ambientais da contaminação sobre a biota (Maciel et al., 2015). Nesse contexto, a ecotoxicologia surge como um campo de pesquisa direcionado para a avaliação dos impactos de substâncias contaminantes nos organismos. Diferentemente das análises químicas tradicionais que identificam e quantificam compostos presentes na água, os bioensaios ecotoxicológicos analisam os resultados diretos dessas substâncias sobre os seres vivos aquáticos. Essa abordagem é útil para detectar efeitos letais e subletais como alterações no comportamento, na reprodução e no desenvolvimento de organismos (Lavorante et al., 2013).

O Copepoda Harpacticoida bentônico *Tisbe biminiensis* tem sido eficiente como organismo-modelo na observação de efeitos tóxicos em amostras de água do mar por sua alta sensibilidade a contaminantes, disponibilidade de protocolos padronizados e facilidade de cultivo em laboratório em condições de alta densidade populacional, baixo custo e de simples manutenção (Lavorante et al., 2013; Mandelli et al., 2024; Ribeiro & Souza-Santos, 2011). Além disso, possuem

ciclos de vida breves, fecundidade elevada, tolerância a variáveis laboratoriais e tamanho reduzido, favorecendo a execução dos testes. Portanto, este estudo tem como objetivo investigar a ecotoxicidade da água do mar da plataforma continental de Pernambuco por meio de bioensaio com *T. biminiensis*, uma vez que a análise dos efeitos letais e subletais sobre essa espécie permitirá identificar padrões espaciais de contaminação na região.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Impactos da poluição marinha

Ao longo das últimas décadas, devido à facilidade de observação dos impactos nesses ambientes, a atenção de cientistas e conservacionistas esteve voltada para a proteção dos ecossistemas terrestres, enquanto de maneira mais silenciosa e gradual, as zonas costeiras oceânicas também eram afetadas pela expansão da ocupação humana e suas atividades, sem a devida consideração (Prates et al., 2010).

Os ecossistemas costeiros situados na plataforma continental estão entre os mais produtivos do oceano, englobando uma grande variedade de recursos naturais, tanto bióticos quanto abióticos (Yool & Fasham, 2001). Essa alta produtividade está associada ao aporte de nutrientes provenientes de rios, ressurgências costeiras e da borda da plataforma, fatores que contribuem para que essas águas sustentem mais de 30% da produção oceânica total (Nybakken, 2001). Quanto à sua relevância científica e econômica, esta é inegável, pois mantém o equilíbrio ecológico, sendo ainda uma área de forte pressão devido à exploração de recursos e múltiplos usos em razão de sua proximidade com a linha costeira (Manso et al., 2003).

Diante da diversidade de fontes de agentes contaminantes, cresceu a preocupação com a integridade das regiões costeiras, direcionando pesquisas globais para os efeitos biológicos gerados por esses contaminantes (Nipper, 2000). Assim, notou-se que as mudanças provocadas pelas ações humanas no ambiente marinho têm se mostrado cada vez mais significativas, gerando uma variedade de respostas ambientais que afetam de forma direta os processos ecológicos (Halpern et al., 2008).

A poluição oceânica tem causado modificações na paisagem, desequilíbrios ecológicos, prejuízos financeiros, riscos à saúde e à própria existência humana (Barcelos, 2016). A principal fonte dessa poluição é o despejo inadequado de efluentes líquidos domésticos e industriais, além da contribuição de rios, lixiviação de solos e precipitação atmosférica (Moraes et al., 2001). A deposição desses resíduos nos sedimentos costeiros representa uma das

principais fontes de matéria orgânica nesses ambientes, favorecendo o acúmulo, por exemplo, de hidrocarbonetos e metais pesados (Hortellani et al., 2008). A retenção de metais nos sedimentos finos das plataformas continentais, associada à reduzida mobilidade dos organismos bentônicos (Chapman et al., 1991), têm comprometido a biodiversidade nos oceanos, prejudicando também, em última instância, os seres humanos (Dewailly & Knap, 2006). Já os hidrocarbonetos, como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), além de tóxicos para a biota, são persistentes no ambiente (Brown & Peake, 2006). Foi relatado, inclusive, que as concentrações de HPAs nos tecidos de organismos marinhos variam conforme o habitat, alimentação e nível na cadeia alimentar, sendo mais elevadas em espécies bentônicas devido ao maior contato com sedimentos, onde esses compostos hidrofóbicos tendem a adsorver (Baumard et al., 1998).

No Brasil, cerca de 15% da população vive em áreas litorâneas, onde estão localizadas cinco das nove maiores regiões metropolitanas do país, e estima-se que metade dos brasileiros viva a uma distância de até 200 km do mar (Araújo & Costa, 2003). Esse cenário de crescimento urbano das capitais e cidades costeiras têm intensificado a vulnerabilidade dos ecossistemas locais, gerando impactos decorrentes do aumento populacional, da expansão de atividades portuárias e industriais, bem como pelo desenvolvimento do turismo e das práticas recreativas (Moreira & Abessa, 2014). Além disso, os efeitos combinados das transformações provocadas pela acelerada urbanização e industrialização vêm alterando a dinâmica do lançamento de resíduos nos corpos hídricos, ampliando riscos ambientais nas regiões costeiras, em especial devido à multiplicidade de produtos químicos, ao seu modo de deslocamento e aumento progressivo de seu consumo (Zagatto & Bertoletti, 2006). Os ecossistemas costeiros, incluindo baías e estuários, são os mais vulneráveis, pois recebem a maior carga de contaminantes, ainda que sejam responsáveis pela elevada produtividade biológica dos oceanos (Moraes et al., 2001).

Costa (2015) relata que na região nordeste do país, em específico no estado de Pernambuco, é comum que os residentes possuam “segundas residências”. Nessa região, turistas nacionais e internacionais frequentam as áreas litorâneas em busca de lazer, o que, por sua vez, contribui para a geração

de resíduos deixados nas praias durante sua estadia. A autora destaca que o aumento populacional temporário, somado à infraestrutura insuficiente para o tratamento de esgoto e coleta de lixo urbano, resulta em consequências evidentes no meio ambiente marinho mesmo em áreas distantes dos grandes centros urbanos. Em uma pesquisa realizada na região portuária de Suape, Souza-Santos et al. (2015) identificaram toxicidade associada a metais pesados, tais como ferro, chumbo e alumínio, em amostras de água do mar coletadas entre 2009 e 2010, o que corrobora os efeitos negativos da poluição em ambientes costeiros. Souza-Santos et al. (2025), por sua vez, realizaram um estudo sobre a balneabilidade e toxicidade da água do mar em quatro praias do litoral pernambucano. Os resultados revelaram que, tanto as praias próprias e impróprias ao banho, apresentaram toxicidade nas praias nos anos de 2022, talvez relacionada à maior pluviosidade observada nesse ano, indicando tanto riscos para a saúde pública como para a biota local dessas praias e reforçando a importância de monitoramento da toxicidade para avaliar a qualidade da água, em especial nos locais de grande frequência turística e recreativa.

2.2 Ecotoxicologia marinha em Pernambuco

A toxicologia pode ser definida como o ramo da ciência que estuda substâncias capazes de causar danos aos organismos vivos, sendo essa substância capaz de provocar efeitos nocivos quando introduzida, de maneira acidental ou intencional, no corpo de um ser vivo (Hodgson, 2004). Os principais objetivos da toxicologia é identificar os riscos associados a uma determinada substância e compreender em quais condições de exposição tais riscos podem se manifestar (Roberts et al., 2022).

A ecotoxicologia, por sua vez, é entendida como a integração entre ecologia e toxicologia, tendo como propósito central analisar e prever os efeitos dos produtos químicos sobre as comunidades biológicas, considerando condições de exposição realistas (Calow, 1996; Chapman, 1995, 2002). Segundo Costa et al. (2008), a ecotoxicologia envolve uma sequência de eventos conhecida como cadeia de causalidade, que abrange a emissão de contaminantes, seu destino e comportamento no ambiente, e os efeitos

resultantes sobre a biosfera. Essa abordagem compreende a dinâmica dos poluentes e permite avaliar aspectos como a concentração de substâncias no meio, o potencial de toxicidade para os organismos e a definição de limites seguros de exposição.

Os poluentes podem afetar organismos aquáticos de maneira direta ou indireta, ao reduzir a competição através da eliminação de espécies (Chapman, 1995). Os efeitos diretos podem ser categorizados como letais, cursando mortalidade, ou subletais, como redução reprodutiva, mudanças fisiológicas e comportamentais, e comprometimento do desenvolvimento (Zagatto & Bertoletti, 2006).

Dentre os organismos que vêm sendo utilizados em testes de toxicidade de água no estado de Pernambuco, além do copépode harpacticóide *Tisbe biminiensis* (Souza-Santos et al., 2015), pode-se citar ainda o microcrustáceo *Artemia salina* (Oliveira, 2022; Santos, 2009), embriões do ouriço-do-mar *Lytechinus variegatus* (Souza-Santos & Araújo, 2013) e embriões do peixe *Danio rerio* (Alves et al., 2017).

A análise da toxicidade em amostras ambientais, especialmente na água, tem adquirido relevância significativa para as entidades responsáveis pelo controle e fiscalização ambiental (Tothill & Turner, 1996). Existem várias organizações e agências de normatização, tanto nacionais quanto internacionais, que estabelecem procedimentos e selecionam espécies para a realização de bioensaios (Novelli, 2005). No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é a responsável pela regulamentação dos testes ecotoxicológicos, elaborando normas específicas para esses ensaios com organismos-teste (Silva et al., 2015).

A sensibilidade e importância dos ecossistemas aquáticos fazem com que os estudos ecotoxicológicos sejam instrumentos essenciais no monitoramento de áreas degradadas, fornecendo bases para a tomada de decisões por órgãos responsáveis pela gestão ambiental (Zagatto & Bertoletti, 2006). Os dados obtidos por meio desses estudos podem subsidiar políticas públicas voltadas à preservação dos recursos hídricos e ao uso sustentável da água, funcionando como complemento no diagnóstico de alterações ambientais em corpos d’água (Silva, 2015).

2.3 Uso de *Tisbe biminiensis* em testes ecotoxicológicos

A seleção de um organismo-teste para aplicação dos princípios da ecotoxicologia requer que ele seja abundante e amplamente disponível, apresente uma representação ecológica significativa dentro das biocenoses, possua informações prévias sobre sua biologia, fisiologia e hábitos alimentares, sensibilidade constante e apurada, importância comercial, fácil cultivo e, de preferência, seja uma espécie nativa da região em estudo (Magalhães & Ferrão-Filho, 2008). Os organismos de meiofauna têm se destacado como um grupo importante na detecção de impactos causados por atividades humanas em ecossistemas aquáticos, devido à sua associação com o ambiente sedimentar, elevada densidade populacional e ciclo de vida reduzido (Coull & Chandler, 1992).

Os copépodes marinhos harpacticóides bentônicos têm sido frequentemente utilizados em ensaios de toxicidade (Kusk & Wollenberger, 2007), sendo recomendado para testes toxicológicos de análise da qualidade de amostras de água marinha (Lavorante et al., 2013). Esses microcrustáceos, além de serem abundantes na meiofauna e geralmente constituírem o segundo grupo dominante no ambiente meiobentônico marinho (Hicks & Coull, 1983), apresentam sensibilidade elevada, sendo assim apropriados para a realização de ensaios toxicológicos (Coull & Chandler, 1992). Ademais, os copépodes possuem características que os tornam modelos biológicos ideais, tais como pequeno porte, ciclo de vida breve, ampla distribuição geográfica, fácil manutenção em laboratório, além de estágios larvais bem definidos, permitindo a avaliação comparativa da sensibilidade entre diferentes estágios de desenvolvimento, como náuplios e copepoditos (Brown et al., 2005).

A dinâmica do copépode harpacticóide *Tisbe biminiensis* Volkmann-Roco (1973) em condições laboratoriais foi descrita por Pinto et al. (2001), assim como as características relacionadas à sua alimentação foram descritas por Araújo-Castro & Souza-Santos (2005). Desde 1998, essa espécie tem sido mantida em cultivo laboratorial, caracterizando-se por sua alta densidade populacional, custo reduzido e manuseio simplificado (Ribeiro & Souza-Santos, 2011). Considerando as vantagens características citadas anteriormente, *T. biminiensis* tem sido utilizado em ensaios de toxicidade com sedimentos desde 2003 (Araújo-Castro,

2008; Maciel et al., 2015; Torreiro, 2010). Mais recentemente, Lavorante et al. (2013) apresentaram um protocolo ecotoxicológico simplificado para amostras de água marinha, evidenciando que os estágios iniciais da espécie em questão possuem sensibilidade equivalente a outras espécies de copépodes pelágicos. A partir de então, com *T. biminiensis*, pode-se citar estudos de importância ambiental como os de Costa et al. (2014), que investigou a toxicidade aguda do anti-incrustante tributilestanho (TBT), e Souza-Santos et al. (2015), que avaliou a toxicidade da água na baía de Suape. Figueira (2021), também utilizando a espécie, identificou efeitos tóxicos na isóbata de 10m da plataforma continental pernambucana, afetada pelas plumas dos rios do litoral sul durante o período chuvoso. Ainda, Müller et al. (2024) utilizaram *T. biminiensis* em bioensaios para avaliação dos efeitos do derramamento de óleo no oceano na borda da plataforma continental do Nordeste brasileiro, sugerindo que a toxicidade presente em algumas estações poderia estar relacionada à chegada do óleo e à presença de toxinas produzidas por microalgas cianofíceas.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Identificar a toxicidade letal e subletal da água superficial do mar da plataforma continental de Pernambuco utilizando copépodes harpacticóides (*Tisbe biminiensis*) como organismos-teste.

3.2 Objetivos específicos

- Avaliar a sobrevivência e o desenvolvimento dos náuplios do copépode *T. biminiensis* expostos às amostras de água coletadas em abril de 2024 em diferentes estações oceanográficas da plataforma continental de Pernambuco;
- Identificar padrões espaciais de toxicidade comparando os efeitos observados nas amostras provenientes das diferentes estações oceanográficas.

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A plataforma continental é uma província fisiográfica que compõe a morfologia da margem continental e corresponde à extensão submersa do bloco continental. A plataforma continental de Pernambuco é caracterizada por uma largura reduzida com uma média de 35 km e declive suave até a quebra da plataforma entre 50 e 60 metros de profundidade. Apresenta águas com temperaturas elevadas (cerca de 27°C), alta salinidade (36 a 37), cobertura sedimentar formada por sedimentos terrígenos e carbonáticos biogênicos, além de formações recifais e arenitos de praia submersos que atuam na proteção costeira ao dissipar a energia das ondas (Manso et al., 2003). O ciclo das marés é semidiurno com amplitude meso-maré (cerca de 2m) e a direção predominante dos ventos é de sudeste (Costa et al., 2010).

A área possui clima tropical úmido, com temperatura média em torno de 26°C e precipitação anual de cerca de 1.720mm. A distribuição da pluviosidade estabelece duas estações: a seca, que vai de setembro a fevereiro e é marcada pela evaporação superior à precipitação, e a chuvosa, de março a agosto, quando a precipitação excede a evaporação. Com base em fatores como temperatura, precipitação e regime das frente de ar, Köppen classificou o clima da área como do tipo As', caracterizado por um período chuvoso durante o inverno (Andrade & Lins, 1971). No geral, as variações de temperatura e salinidade nas águas da plataforma continental seguem um padrão sazonal bem estabelecido, com flutuações próximas à costa em função da contribuição dos rios costeiros (Santos, 2006). Nas regiões próximas à borda continental, os valores de salinidade permanecem elevados, iguais ou superiores a 36, tanto na superfície quanto em profundidade, sem apresentar variação significativa (Laborel, 1967). Uma característica morfológica da plataforma continental pernambucana é a formação de várias linhas de *beachrocks*, dispostas paralelamente à costa, que funcionam como substrato para o crescimento de corais, algas e outros seres bentônicos (Ferreira et al., 2013).

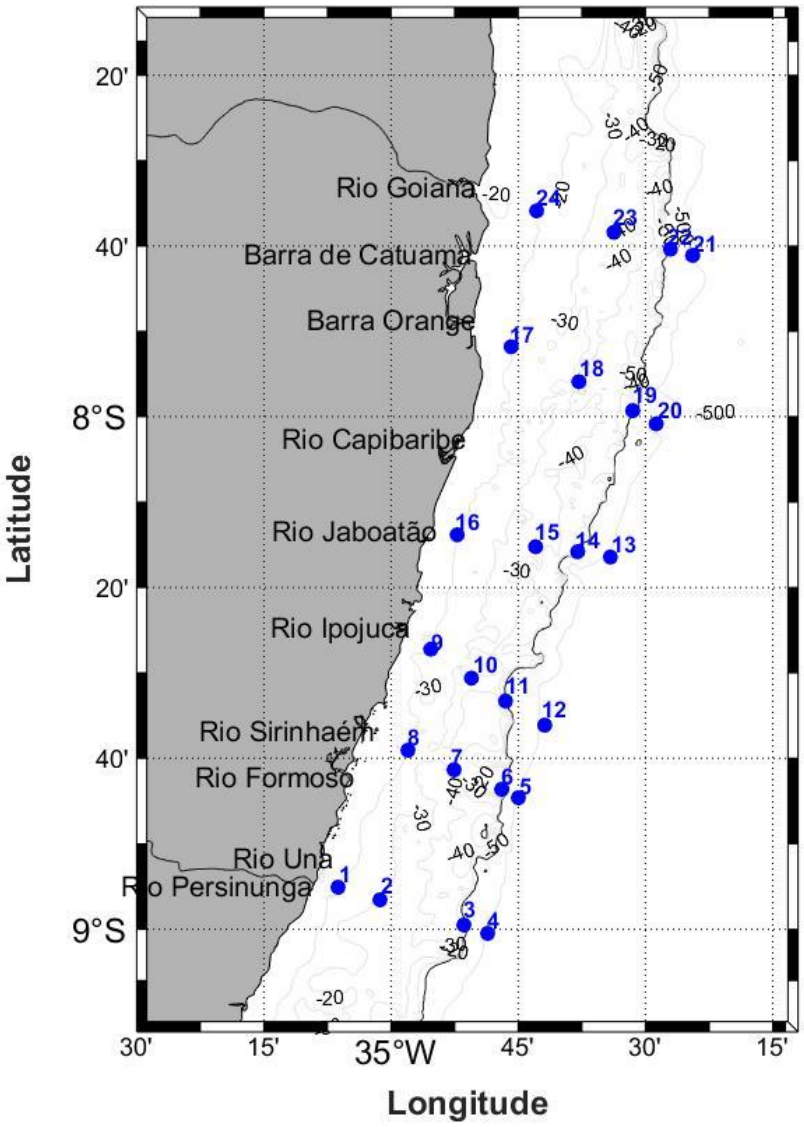
4.2 Coleta das amostras

O presente estudo foi conduzido em todo comprimento e largura da plataforma continental Pernambucana. As coletas foram realizadas a bordo do Navio Oceanográfico Ciências do Mar IV, durante uma saída realizada entre 2 e 4 de abril de 2024, com intuito de treinamento de alunos de graduação e pós-graduação e coleta de amostras para ensino e pesquisa.

Foram demarcados seis perfis oceanográficos transversais à costa, cada um composto por quatro pontos de coleta, totalizando 24 pontos amostrais (Figura 1 e Tabela 1). Estes perfis receberam os nomes dos rios que deságuam mais perto do ponto mais costeiro, sendo: Una, Sirinhaém, Ipojuca, Jaboatão, Barra Orange e Goiânia. Os 24 pontos estavam também organizados em 4 transectos paralelos à costa, sendo eles o transecto de 20 m, o transecto entre as isóbatas de 30 e 40 m, o transecto próximo à isóbata de 50 m e o transecto próximo ao talude continental, este com maiores profundidades (400 e 700m). Essa distribuição permitiu uma amostragem abrangente, facilitando a análise das variações espaciais ao longo do gradiente costa/oceano.

As amostras de água superficial foram coletadas a 2 m de profundidade com garrafas de Niskin colocadas em uma roseta. Em cada ponto, três amostras réplicas de água superficial foram coletadas e identificadas como A, B e C. A partir de cada garrafa ou réplica, dois frascos de 100 ml foram preenchidos e mantidos congelados em laboratório a -19°C até o período máximo de 2 meses. Para o teste toxicológico, um frasco de cada réplica foi analisado, enquanto o outro foi reservado como segurança para eventuais testes adicionais, caso fosse necessário.

Figura 1 – Distribuição dos pontos amostrais coletados ao longo da plataforma continental de Pernambuco.



Fonte: Ramilla Vieira de Assunção da equipe do Navio Ciência do Mar IV.

Tabela 1 – Coordenadas geográficas e características dos pontos amostrais coletados na Plataforma Continental de Pernambuco.

Ponto	Profundidade	Tipo de fundo	Coordenadas geográficas	
Ponto 1	25,3 m	Cascalho	8°55'0.35" S	34°49'30.48" W
Ponto 2	36,0 m	Areia grossa	8°56'0.53" S	35°1'0.33" W
Ponto 3	50 m	Cascalho	8°59'0.28" S	34°51'0.75" W
Ponto 4	716 m	X	9°0'0.44" S	34°48'0.78" W
Ponto 5	476 m	X	8°44'0.68" S	34°45'0.04" W
Ponto 6	52 m	Cascalho arenoso	8°43'0.76" S	34°47'0.01" W
Ponto 7	34,49 m	Carbonático	8°41'0.55" S	34°52'0.79" W
Ponto 8	28,89 m	Cascalho carbonático	8°39'0.26" S	34°57'0.91" W
Ponto 9	25,40 m	Cascalho carbonático	8°28'0.23" S	34°55'0.36" W
Ponto 10	36,11 m	Arenoso fino e cascalho	8°30'0.69" S	34°50'0.46" W
Ponto 11	43,13 m	Arenoso	8°32'0.99" S	34°46'0.61" W

Ponto 12	533,4 m	X	8°35'0.93" S	34°42'0.20" W
Ponto 13	639,3 m	X	8°16'0.50" S	34°34'0.16" W
Ponto 14	56,06 m	Areia calcária	8°16'0.16" S	34°38'0.18" W
Ponto 15	38,07 m	Arenoso	8°15'0.17" S	34°42'0.91" W
Ponto 16	20,84 m	Cascalho carbonático	8°14'0.03" S	34°52'0.37" W
Ponto 17	23 m	Cascalho carbonático	7°51'0.96" S	34°46'0.02" W
Ponto 18	34,66 m	Cascalho arenoso carbonático	7°55'0.85" S	34°55'0.85" W
Ponto 19	58,40 m	Arenoso	7°59'0.00" S	34°59'0.01" W
Ponto 20	568,6 m	X	8°0'0.15" S	35°0'0.15" W
Ponto 21	3 m	X	7°41'0.41" S	34°41'0.44" W
Ponto 22	3 m	Carbonático	7°40'0.48" S	34°40'0.47" W
Ponto 23	3 m	Cascalho carbonático	7°38'0.53" S	34°38'0.53" W
Ponto 24	3 m	Carbonático arenoso	7°35'0.60" S	34°35'0.60" W

4.3 Cultivo dos organismos em laboratório

No laboratório, foram cultivados copépodes harpacticóides da espécie *Tisbe biminiensis* Volkmann-Roco (1973) e microalgas diatomáceas da espécie *Chaetoceros muelleri*, que serviram como alimento para esses organismos.

4.3.1 Cultivo do copépode Tisbe biminiensis

Os copépodes foram coletados na Praia do Farol, localizada em Olinda, Pernambuco, e são cultivados no Laboratório de Cultivo e Ecotoxicologia (LACE) do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco desde 1998. O cultivo seguiu os procedimentos descritos por Ribeiro & Souza-Santos (2011). Para isso, os organismos foram mantidos em caixas plásticas transparentes com capacidade de 20 L, utilizando água do mar previamente tratada e filtrada. A alimentação dos microcrustáceos foi feita com suspensão algal de *Chaetoceros muelleri* e ração para peixes marinhos (INVE ®). A manutenção do cultivo ocorreu semanalmente com a limpeza completa das caixas, a troca total da água e a reposição do alimento. As condições ambientais foram controladas com aeração constante fornecida por mangueiras conectadas a um compressor, temperatura estável de 28±2°C, salinidade ajustada para 35±1 e fotoperíodo natural de 13h:11h claro/escuro.

4.3.2 Cultivo da alga Chaetoceros muelleri

O cultivo da microalga foi realizado utilizando o meio f/2 de Guillard, conforme descrito por Lourenço (2006). A preparação do meio envolveu a adição da solução de nutrientes e do tampão Tris (pH = 7,8) à água do mar. Após isso, a mistura foi esterilizada em autoclave a 120 °C por 15 min sob pressão de 1 atm. Em seguida, com o meio resfriado, foram acrescentadas vitaminas filtradas a 0,2 µm e o cultivo permaneceu sob condições controladas de fotoperíodo 12h:12h claro/escuro, a uma temperatura de 28±2 °C, com repicagens realizadas semanalmente.

4.4 Obtenção dos organismos-teste

Para o bioensaio, foram utilizados náuplios recém-eclodidos de *T. biminiensis* com menos de 24 horas de vida. A obtenção desses organismos-teste seguiu o protocolo de Lavorante et al. (2013), por meio de um sistema de separação de prole que consistiu em duas caixas sobrepostas, separadas por uma malha de 120 µm, contendo 3 L de água do mar filtrada e microalgas *C. muelleri* sedimentadas. A montagem do sistema ocorreu 24 horas antes do início do teste, com a adição de copépodes adultos, com fêmeas ovadas (>250 µm), na caixa superior. Após eclodirem, os náuplios atravessavam a malha com o objetivo de se alimentar das microalgas sedimentadas.

No dia do experimento, o sistema foi desfeito e os adultos foram removidos e retornaram para o cultivo. A água da parte inferior foi filtrada com uma malha de 64 µm para reter os náuplios concentrados no fundo, que foram transferidos para um béquer de 250 ml com 100 ml de água do mar (salinidade 35±1). Alíquotas de 0,5 ml foram coletadas com a pipeta automática e, fazendo uso do microscópio estereoscópico, foi estimado o número de náuplios presentes no volume. Com base nessa densidade por 0,5 ml, foi calculado o volume necessário para inocular aproximadamente 200 náuplios por recipiente-teste.

4.5 Bioensaio com *Tisbe biminiensis*

Os bioensaios foram realizados seguindo o protocolo de Lavorante et al. (2013) para amostras de água do mar. A água do mar controle, coletada na Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais em Tamandaré, foi anteriormente tratada com cloro, declorada e filtrada em filtros de Cuno de 5µm, permanecendo armazenada em local protegido da luz. Pouco antes do bioensaio essa água era novamente filtrada em membranas de cerca de 1µm.

Inicialmente, as amostras de água da plataforma foram descongeladas à temperatura ambiente e cada amostra de 100 ml foi dividida em 3 sub-réplicas de 25 ml em recipientes de vidro de 100 ml. A salinidade foi ajustada com salmoura ou água destilada conforme a necessidade observada com medição

por meio do refratômetro. A seguir, foi incorporada uma suspensão algal concentrada de *C. muelleri* até atingir a concentração de 5 x 10^5 células.ml^{-1}. Os parâmetros físicos e químicos de salinidade, pH e oxigênio dissolvido (OD) foram verificados com auxílio do refratômetro, pHmetro e oxímetro, respectivamente, e em seguida foram inoculados cerca de 200 náuplios por recipiente. Os recipientes-teste permaneceram a 28±2°C por 72h com fotoperíodo natural.

Para determinar a concentração inicial de náuplios em cada recipiente, foram coletadas alíquotas de forma aleatória entre os recipientes de teste. Essas amostras foram fixadas com formaldeído a 4% e coradas com Rosa de Bengala, assim permitindo a contagem precisa dos náuplios inoculados. A contagem do número inicial de náuplios foi executada após 48h com câmara de Sedgewick Rafter em microscópio comum e, em seguida, foram estimados a média e o coeficiente de variação (geralmente em torno de 5%) da amostragem inicial de organismos.

Simultaneamente, para verificar a saúde e sensibilidade dos copépodes, foi realizado um teste de referência de controle positivo utilizando sulfato de zinco heptahidratado em quatro diferentes concentrações (1 mg/L, 3 mg/L, 6 mg/L e 9 mg/L). Em paralelo, foi estabelecido um controle negativo, no qual os copépodes foram mantidos em água do mar filtrada acrescida de suspensão algal concentrada de *C. muelleri*. Os parâmetros físicos e químicos desses recipientes de teste foram também avaliados.

No final do bioensaio, os parâmetros físicos e químicos de salinidade, pH e oxigênio dissolvido foram medidos novamente e, após a troca de recipientes, os organismos foram fixados com formaldeído a 4% e corante Rosa de Bengala. Depois de 72h, ocorreu a contagem da quantidade dos organismos. Para isso, utilizou-se o microscópio estereoscópico, com cada amostra sendo disposta em uma placa de Dollfus e sendo então realizada a contagem de náuplios e copepoditos presentes. Os parâmetros avaliados no presente estudo foram sobrevivência dos copépodes e desenvolvimento dos náuplios, sendo estes parâmetros letal e subletal, respectivamente. A sobrevivência foi calculada com base na proporção de copépodes vivos identificados pela coloração vermelha, já que os indivíduos incolores estavam mortos no momento da fixação. Esse valor é comparado com a média de náuplios inicialmente introduzidos nos recipientes.

Já o desenvolvimento foi analisado com base na porcentagem de copepoditos vivos, estes também corados em vermelho, em comparação ao total de organismos vivos (soma de náuplios e copepoditos corados) no final do experimento.

4.6 Análise dos dados

Foram verificadas a normalidade dos dados e a homocedasticidade das variáveis com o teste de Kolmogorov-Smirnov e teste-f ($\alpha = 0,05$). Para dados paramétricos, as médias dos controles foram comparadas às médias das amostras de cada ponto por meio do teste t de Student. Para dados com ausência de normalidade ou homocedasticidade foi aplicado o teste U de Mann-Whitney.

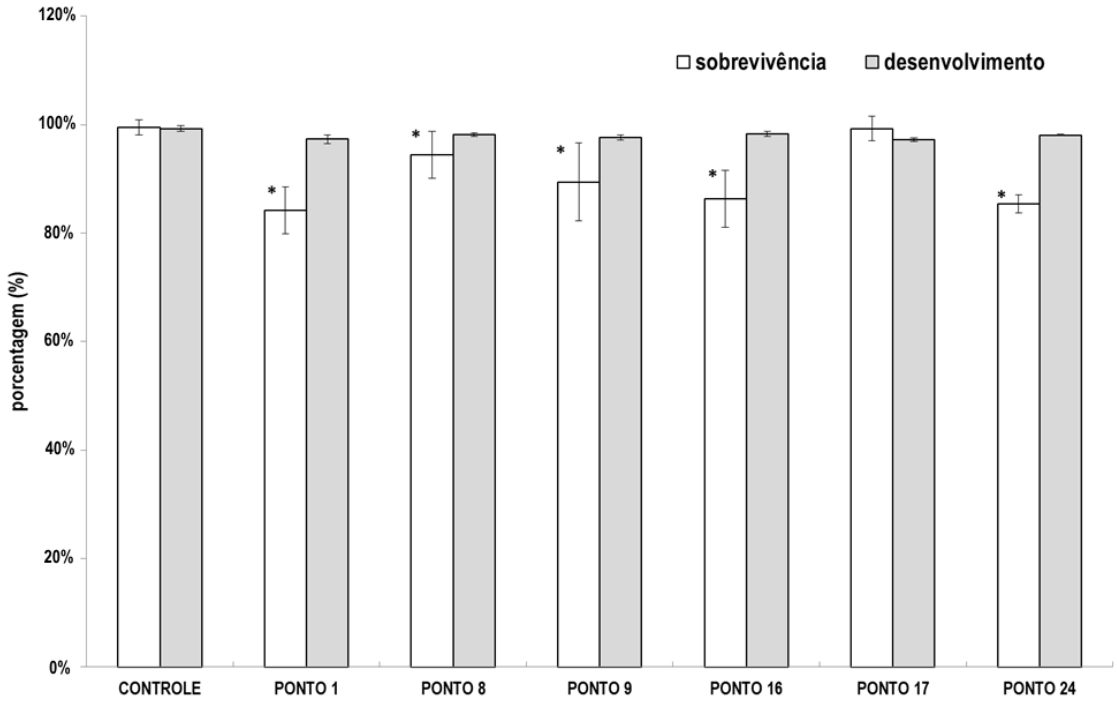
Com relação aos mapas de padrões espaciais de toxicidade, ambos os mapas de mortalidade (efeito letal) e redução de desenvolvimento (efeito subletal) foram elaborados por meio do *software* Surfer® versão 28.4.300 pelo método de Krigagem.

5 RESULTADOS

5.1 Transecto de 20 m

Nas amostras de água superficial coletadas no transecto de 20 m da plataforma continental de Pernambuco (Figura 2) foi observada uma redução significativa na sobrevivência dos copépodes em cinco dos seis pontos analisados. As médias de sobrevivência foram significativamente menores em relação ao controle nas amostras dos pontos 1, 8, 9, 16 e 24, com quedas de até 15%. A maior redução ocorreu na amostra do Ponto 1, onde a sobrevivência foi aproximadamente 85%. A amostra do Ponto 17, em frente à Barra Orange, por outro lado, manteve percentuais de sobrevivência semelhantes ao controle. Já o desenvolvimento dos copépodes se manteve similar ao controle nas amostras de todos os pontos.

Figura 2 – Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* referentes às amostras de água superficial coletadas ao longo do transecto de 20 m, abrangendo seis pontos amostrais mais costeiros da plataforma continental de Pernambuco. Os asteriscos (*) evidenciam diferenças em relação ao controle pelo teste t de Student.

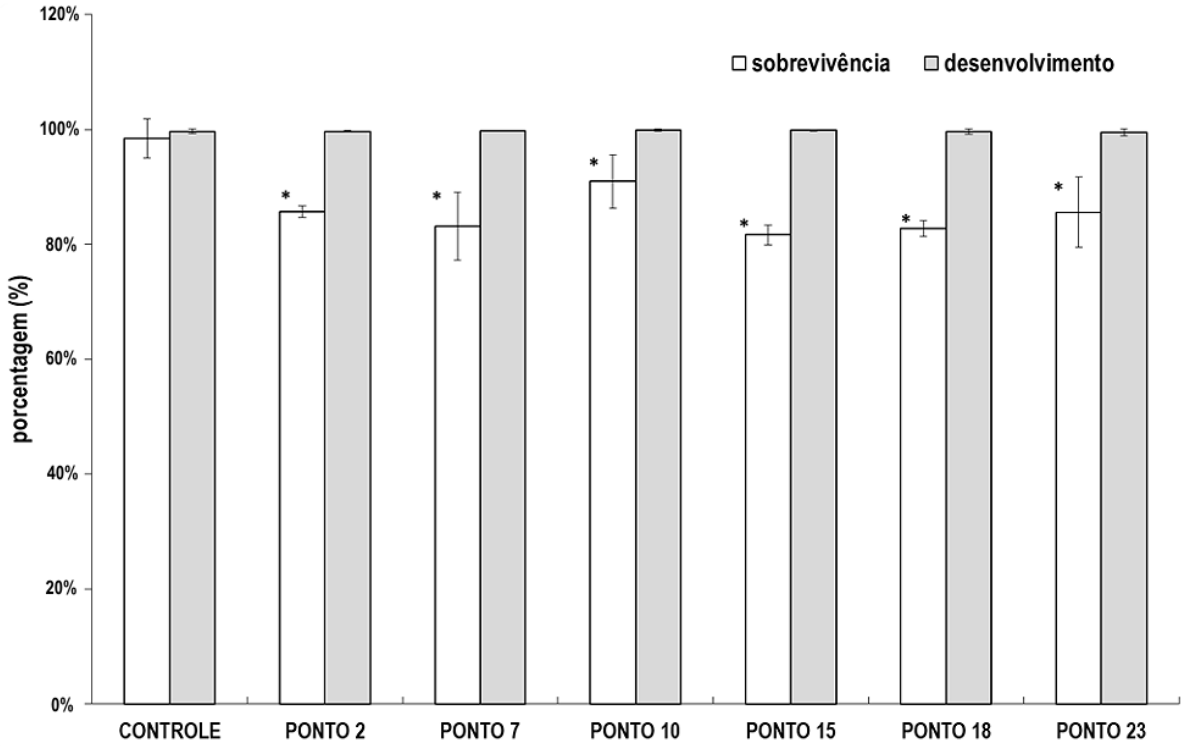


Fonte: A autora, 2025.

5.2 Transecto entre 30 e 40 m de profundidade

Já nas amostras de água superficial coletadas no transecto entre 30 e 40 m de profundidade (Figura 3), todas as estações apresentaram redução significativa na sobrevivência dos copépodes em relação ao controle. A menor taxa de sobrevivência foi observada na amostra do Ponto 15, em Jaboatão, enquanto a amostra do Ponto 10, em Ipojuca, teve o maior valor de sobrevivência deste grupo. O desenvolvimento dos organismos se manteve elevado nas amostras de todas as estações, sem diferenças significativas em relação ao controle.

Figura 3 – Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* referentes às amostras de água superficial coletadas ao longo do transecto entre 30 e 40 m de profundidade, abrangendo seis pontos amostrais entre 30 e 40 m de profundidade na plataforma continental de Pernambuco. Os asteriscos (*) evidenciam diferenças em relação ao controle pelo teste t de Student.

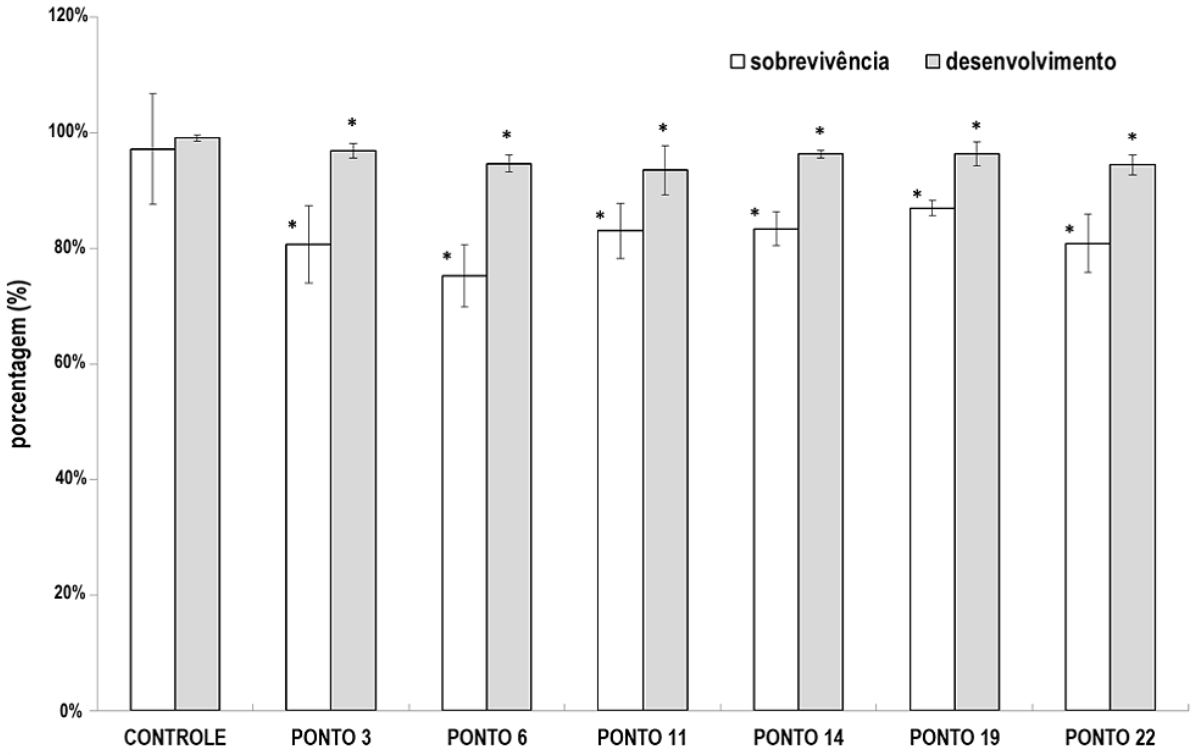


Fonte: A autora, 2025.

5.3 Transecto próximo à isóbata de 50 m

Nas amostras de água superficial coletadas no transecto próximo a isóbata de 50 m (Figura 4), foi observada uma redução significativa na sobrevivência e no desenvolvimento dos copépodes em todos os pontos analisados quando comparados ao controle. Os decréscimos de desenvolvimento apesar de significativos foram inferiores a 10%, podendo ser um artefato estatístico apenas o ponto 11, do perfil Ipojuca, que apresentou queda de 17% no desenvolvimento.

Figura 4 – Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* referentes às amostras de água superficial coletadas ao longo do transecto próximo à isóbata de 50 m, abrangendo seis pontos amostrais em torno dos 50 m de profundidade na plataforma continental de Pernambuco. Os asteriscos (*) evidenciam diferenças em relação ao controle pelo teste t de Student.

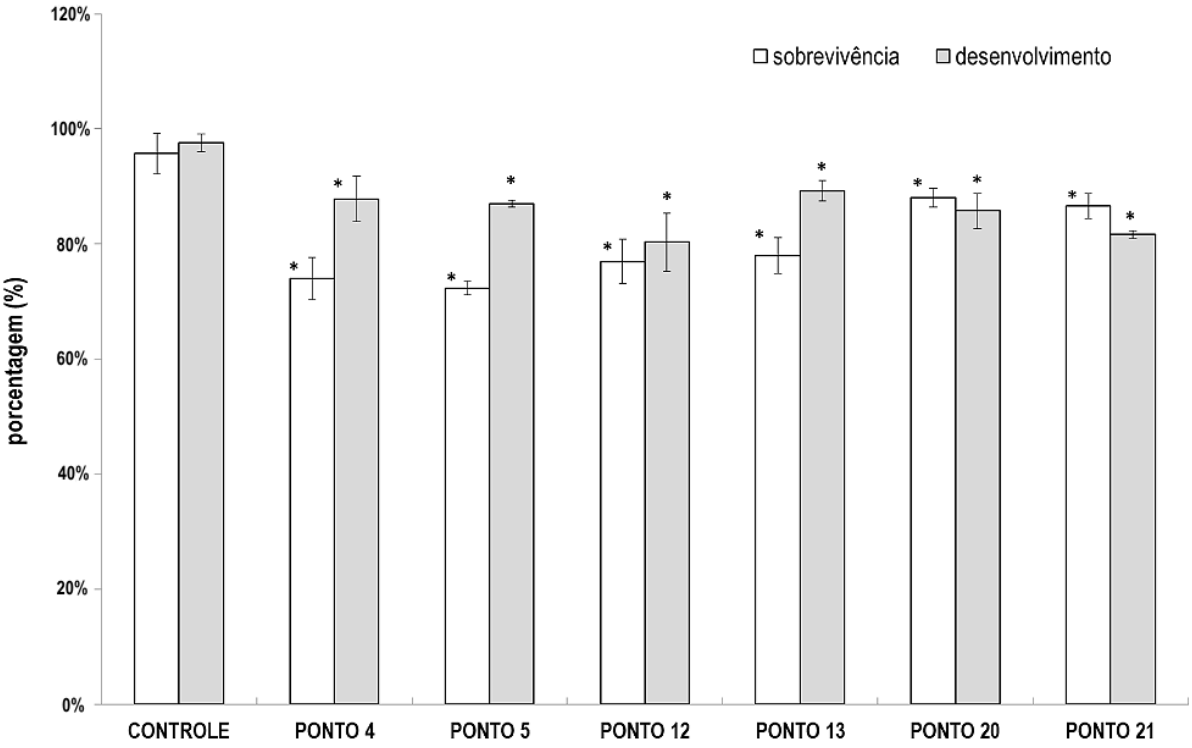


Fonte: A autora, 2025.

5.4 Transecto próximo ao talude continental

Já nas amostras de água superficial coletadas no transecto próximo ao talude continental (Figura 5), em comparação ao controle, observou-se uma redução significativa na sobrevivência e no desenvolvimento em todos os pontos analisados. A sobrevivência apresentou reduções variando entre aproximadamente 10% e 30%, com os menores valores nos pontos 4 e 5, sendo estes os perfis Una e Sirinhaém. Quanto ao desenvolvimento, foram notadas quedas em todos os pontos, sobretudo nos pontos 12, em Ipojuca, e 21, em Goiânia.

Figura 5 – Percentual médio de desenvolvimento e sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis* referentes às amostras de água superficial coletadas ao longo do transecto próximo ao talude continental, abrangendo seis pontos amostrais no início do talude continental de Pernambuco. Os asteriscos (*) evidenciam diferenças em relação ao controle pelo teste t de Student.

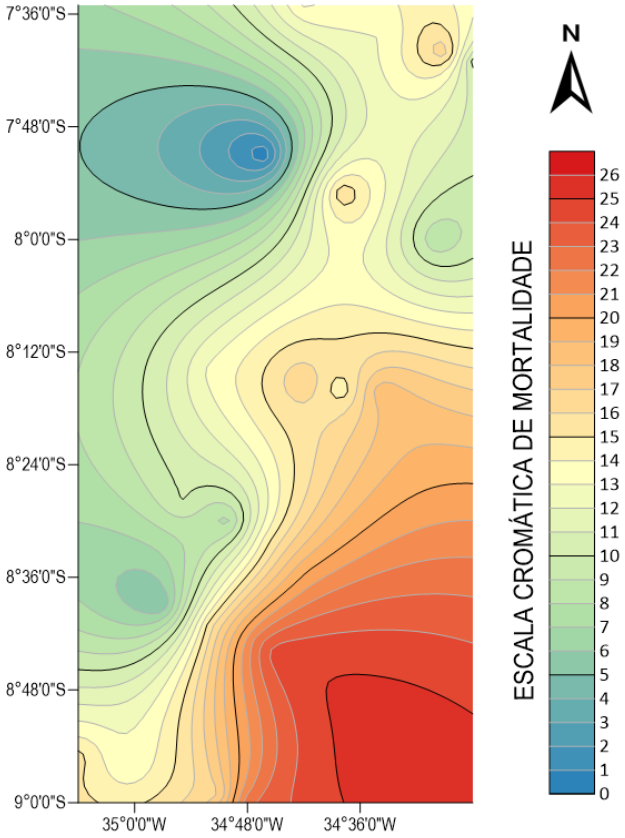


Fonte: A autora, 2025.

5.5 Padrões espaciais de toxicidade

Foi possível observar as variações do efeito letal ao longo da plataforma continental de Pernambuco no mapa elaborado para evidenciar o padrão espacial de mortalidade de *Tisbe biminiensis* nas amostras de água superficial (Figura 6). As áreas representadas por tonalidades vermelhas indicam os maiores valores de mortalidade, especialmente concentradas no sul e sudeste da região amostrada, com destaque para os pontos 4, 5, 6 e 12. Em contrapartida, as regiões com tonalidades azuladas, estas mais próximas à zona costeira, indicam menores percentuais de mortalidade, sugerindo áreas com menor toxicidade letal.

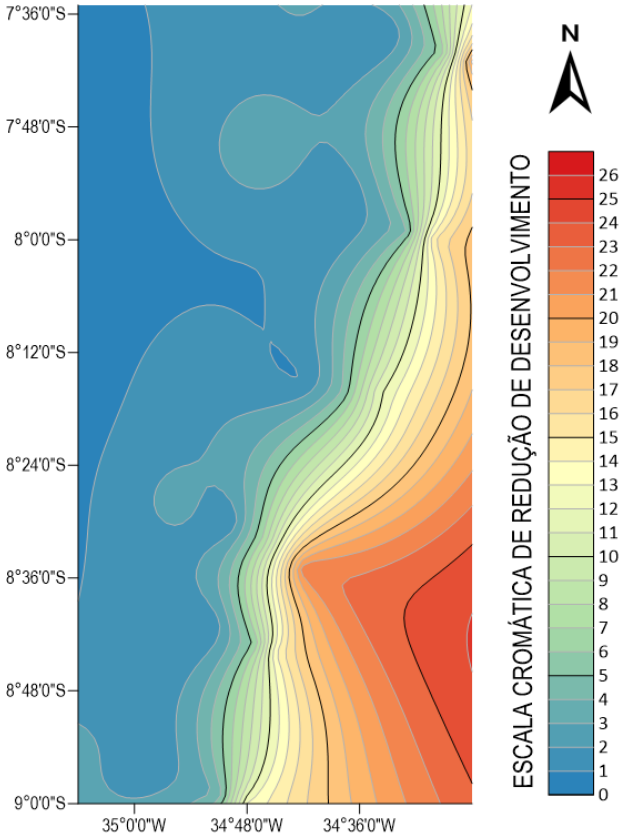
Figura 6 – Padrão espacial do percentual de mortalidade (%) de *Tisbe biminiensis* relativo aos controles nas amostras de água superficial coletadas nos pontos amostrais (1-24) na plataforma continental de Pernambuco. Na escala cromática, as áreas em vermelho indicam os maiores índices de mortalidade, enquanto as áreas em azul representam as menores taxas desse efeito letal.



Fonte: A autora, 2025.

Já no mapa produzido para demonstrar o índice de efeito subletal (Figura 7), é exposto o padrão espacial de redução de desenvolvimento de *T. biminiensis* nas amostras coletadas. As menores taxas dessa redução foram observadas nas áreas mais próximas à costa, que apresentam tonalidades azuladas ou levemente esverdeadas, indicando menor comprometimento do ciclo de vida dos organismos. Por outro lado, as áreas mais afastadas da costa e próximas do talude continental, sobretudo na região sudeste, apresentaram maiores taxas de redução de desenvolvimento, indicando uma maior dificuldade na transição dos estágios de náuplio para copepodito.

Figura 7 – Padrão espacial do percentual de redução do desenvolvimento (%) de *Tisbe biminiensis* relativo aos controles nas amostras de água superficial coletadas nos pontos amostrais (1-24) da plataforma continental de Pernambuco. Na escala cromática, as áreas em vermelho indicam os maiores índices de redução de desenvolvimento, enquanto as áreas em azul representam as menores taxas desse efeito subletal.



Fonte: A autora, 2025.

6 DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo demonstram a existência de padrões espaciais de toxicidade na plataforma continental de Pernambuco, revelando um gradiente de contaminação que se intensifica à medida que se avança para áreas mais distantes da zona costeira.

A mortalidade elevada de *Tisbe biminiensis* registrada nas amostras de água superficial de vários pontos amostrais, especialmente naqueles que compõem o transecto próximo ao talude continental, indicam a presença de substâncias tóxicas com efeitos letais. Esses resultados são consistentes com estudos anteriores que destacam a sensibilidade dos náuplios de *T. biminiensis* utilizado como organismo-teste no presente estudo, aos contaminantes presentes na água do mar (Lavorante et al., 2013).

Müller et al. (2024) relataram a presença de cianobactérias filamentosas na quebra da plataforma continental entre os estados da Bahia e do Rio Grande do Norte, incluindo Pernambuco, bem como a detecção de outras espécies fitoplanctônicas com potencial tóxico, o que reforça a complexidade dos fatores envolvidos na toxicidade observada. Já foi descrita, também, a ocorrência da cianobactéria *Trichodesmium thiebautii* especificamente na plataforma continental pernambucana (Monteiro et al., 2010). Ainda que as florações de cianobactérias em oceanos tropicais oligotróficos seja um evento recorrente (Detoni et al., 2016), somente a presença isolada desse grupo não é indicativa de efeito tóxico, porém a dominância de cianobactérias pode potencializar a bioacumulação de toxinas cuja toxicidade se mantém mesmo após congelamento (Diez-Quijada et al., 2021).

Figueira (2021), ao analisar a qualidade ecotoxicológica das águas superficiais da plataforma continental de Pernambuco, em regiões próximas à área estudada no presente estudo, identificou efeitos tóxicos mais intensos durante a estação chuvosa na isóbata de 10 m, especialmente em áreas influenciadas pelas plumas dos rios do litoral sul do estado. As regiões entre os rios Ipojuca, Maracaípe e Sirinhaém foram identificadas como as mais afetadas, apresentando os piores índices de qualidade ecotoxicológica.

Em um estudo sobre a matéria orgânica dissolvida na plataforma continental de Pernambuco, Braga et al. (2018) demonstraram que a distribuição espacial desses compostos orgânicos é típica de regiões com baixo impacto de poluição antrópica, sugerindo que, embora essas áreas tenham uma menor influência humana, ainda podem contribuir para o desenvolvimento de florações de cianobactérias e potenciais efeitos tóxicos. Logo, essas florações podem estar relacionadas com os resultados verificados no presente estudo, assim destacando a necessidade de investigações mais aprofundadas para esclarecer seu papel na dispersão e persistência de contaminantes na região.

Já a redução do desenvolvimento foi mais evidente nos pontos distantes da costa, e os organismos que sobreviveram apresentaram baixa transição para o estágio de copepodito, indicando a possível presença de compostos com efeitos subletais. Esses contaminantes, mesmo em concentrações reduzidas, podem comprometer processos fisiológicos essenciais, prejudicando o crescimento e a reprodução dos organismos, comprometendo sua capacidade de completar o ciclo de vida. Em contrapartida, as áreas mais próximas à costa, apesar de apresentarem menores taxas de redução de desenvolvimento, ainda registraram mortalidade moderada. A proximidade com centros urbanos e áreas industriais sugere a influência de fontes pontuais de contaminação, como o lançamento de efluentes sem tratamento adequado (Costa, 2021). Esses efluentes, na maioria das vezes compostos por misturas complexas de contaminantes, podem induzir efeitos tóxicos mesmo após diluição (Prósperi, 2002). As bacias dos rios Una e Sirinhaém, por exemplo, são influenciadas pelo cultivo de cana-de-açúcar e recebem aporte tanto de efluentes domésticos quanto industriais (CPRH, 2024), o que pode estar relacionado com as baixas taxas de sobrevivência de seus pontos, sobretudo dos pontos 1 e 8 do transecto de 20 m.

Vale salientar que as alterações observadas também podem ter impactos ecológicos significativos para a biodiversidade local, uma vez que os copépodes desempenham um papel vital na cadeia trófica marinha, servindo de alimento para diversos organismos superiores, como peixes em estágio larval (Locarno, 2023) e invertebrados filtradores. Dessa forma, a redução da abundância e do desenvolvimento desses organismos devido à toxicidade da água pode causar

impactos em cascata, afetando a estrutura das comunidades marinhas e comprometendo a disponibilidade de recursos para espécies de maior valor ecológico e socioeconômico (Neto et al., 2020; Ribeiro et al., 2024).

A influência das atividades portuárias e do tráfego marítimo na região também deve ser citada. A proximidade de áreas de grande circulação de navios, como o Porto de Suape, pode intensificar a contaminação através de, por exemplo, derrames acidentais ou ilegais de hidrocarbonetos de petróleo (Lopes, 2009) e tintas *antifouling* utilizadas para evitar a incrustação de organismos marinhos nos cascos das embarcações. Com isso, a alta mortalidade observada nos pontos mais distantes da costa pode estar associada à presença de hidrocarbonetos de petróleo dissolvidos, cujas concentrações elevadas já foram detectadas, inclusive, próximo ao Porto de Suape (Zanardi-Lamardo & Schettini, 2022). No entanto, é importante citar que, mais recentemente, Moreira et al. (2024) também reportaram a detecção de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos ao longo da zona costeira pernambucana.

Outro aspecto relevante é a dispersão dos contaminantes pelas correntes marinhas, que podem transportá-los para regiões afastadas da fonte de emissão, o que pode explicar a presença de efeitos subletais significativos em áreas distantes da costa, evidenciando que a contaminação não se restringe aos locais de despejo, mas pode se propagar ao longo da plataforma continental (Halpern et al., 2008).

Esses resultados destacam a necessidade de análises complementares, como a caracterização química das amostras de água superficial, para assim identificar os compostos específicos responsáveis pelos efeitos observados. Além disso, torna-se indispensável futuras avaliações locais de fitoplâncton, com destaque para espécies com potencial tóxico, considerando que essas análises podem fornecer informações mais abrangentes a respeito da relação entre organismos como as cianobactérias citadas anteriormente e a toxicidade observada na região.

7 CONCLUSÃO

O presente estudo possibilitou a identificação de padrões espaciais de toxicidade na plataforma continental de Pernambuco, indicando a presença de substâncias nocivas à biota marinha. Os resultados demonstraram um aumento de toxicidade subletal com o aumento da distância da costa e de toxicidade letal na área sul da plataforma entre os perfis próximos aos rios Sirinhaém e Una, também nas maiores distâncias da costa.

Este estudo indica ainda a necessidade de monitoramento contínuo e sistemático da qualidade da água marinha na região, uma vez que a contaminação pode comprometer tanto a biodiversidade local quanto setores socioeconômicos, como pesca e turismo. Assim, torna-se indispensável a adoção de estratégias à redução dos impactos antrópicos sobre o ecossistema marinho, aliadas à formulação de regulamentações que garantam a proteção dos recursos hídricos.

Para além disso, estudos futuros devem buscar compreender com maior profundidade os compostos responsáveis pelos efeitos observados, bem como suas interações e consequências ecológicas. Dito isso, espera-se que a presente pesquisa sirva de base para esses estudos comparativos, auxiliando na aprimoração dos métodos de análise da qualidade da água do mar.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, G. O.; LINS, R. C. **Os climas do Nordeste**. In: VASCONCELOS SOBRINHO, J. (ed.). As regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização. Recife, CONDEPE, p. 95-138, 1971.

ARAÚJO, M. C. B.; COSTA, M. F. Análise quali-quantitativa do lixo deixado na Baía de Tamandaré - PE - Brasil por excursionistas. **Gerenciamento Costeiro Integrado**, v. 3, p. 58-61, 2003.

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, 2008.

ARAÚJO-CASTRO, C. M. V.; SOUZA-SANTOS, L. P. Are the diatoms *Navicula* sp. and *Thalassiosira fluviatilis* suitable to be fed to the benthic harpacticoid copepod *Tisbe biminiensis*?. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 327, n. 1, p. 58-69, 2005.

BARCELOS, L. M. D. O impacto dos plásticos nos oceanos. **Pingo de Lava**, v. 40, p. 43-46, 2016.

BAUMARD, P. et al. Origin and bioavailability of PAHs in the Mediterranean sea from mussel and sediment records. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 47, p. 77-90, 1998.

BRAGA, E. S.; BERBEL, G. B. B.; CHIOZZINI, V. G. Dissolved organic matter (C, N, P) on the Pernambuco coast and Fernando de Noronha archipelago (Tropical Zone of Western South Atlantic, Brazil) - A contribution to the evaluation of environmental impact. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 66, n. 1, p. 30-46, 2018.

BROWN, J. N.; PEAKE, B. M. Sources of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff. **Science of the total environment**, v. 359, n. 1-3, p. 145-155, 2006.

BROWN, R. J.; RUNDLE, S. D.; HUTCHINSON, T. H.; WILLIAMS, T. D.; JONES, M. B. A microplate freshwater copepod bioassay for evaluating acute and chronic effects of chemicals. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 24, n. 6, p. 1528–1531, 2005.

CALOW, P. Ecology in ecotoxicology: some possible 'rules of thumb'. In: **Ecotoxicology: ecological dimensions**. Dordrecht: Springer Netherlands, 1996. p. 5-12.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das águas costeiras no estado de São Paulo 2020**. São Paulo: CETESB, 2020.

CHAPMAN, P. M. et al. Evaluation of effects associated with an oil platform, using the sediment quality triad. **Environmental Toxicology & Chemistry**, v. 10, p. 407-424, 1991.

CHAPMAN, P. M. Ecotoxicology and pollution—key issues. **Marine Pollution Bulletin**, v. 31, n. 4-12, p. 167-177, 1995.

CHAPMAN, P. M. Integrating toxicology and ecology: putting the 'eco' into ecotoxicology. **Marine Pollution Bulletin**, v. 44, n. 1, p. 7-15, 2002.

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, p. 65-69, 2014.

COSTA, C. R. **Avaliação da balneabilidade em praias da costa leste do nordeste brasileiro**. 2021. 101 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2021.

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, 2008.

COSTA, M. B. S. F.; PONTES, P. M.; MALLMANN, D. L. B.; ARAUJO, M. Vulnerability and impacts related to the rising sea level in the Metropolitan Center of Recife, Northeast Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, p. 341–349, 2010.

COSTA, M. F. **Poluição marinha: principais aspectos**. Recife: Clube de Autores, 2015.

COULL, B. C.; CHANDLER, T. Pollution and meiofauna: field, laboratory, and mesocosm studies. **Oceanography and Marine Biology**, 30: 191-271, 1992.

CPRH. **Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco (2020 - 2022)**. Recife: CPRH. 2024.

DETONI, A. M. S. et al. Toxic *Trichodesmium* bloom occurrence in the southwestern south Atlantic Ocean. **Toxicon**, v. 110, p. 51–55, 2016.

DEWAILLY, E.; KNAP, A. H. Food from the oceans and human health: balancing risks and benefits. **Oceanography**, v. 19, n. 2, p. 84-93, 2006.

DIEZ-QUIJADA, L. et al. Influence of refrigeration and freezing in Microcystins and Cylindrospermopsin concentrations on fish muscle of tilapia (Oreochromis niloticus) and tench (Tinca tinca). **Food and Chemical Toxicology**, v. 158, p. 112673, 2021.

DONEY, S. C. The growing human footprint on coastal and open-ocean biogeochemistry. **Science**, v. 328, n. 5985, p. 1512-1516, 2010.

FERREIRA JR, A. V.; ARAÚJO, T. C. M.; SIAL, A. N. Gênese dos arenitos de praia no litoral de Pernambuco interpretada através de estudos isotópicos. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 4, p. 9-16, 2013.

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***. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

FIORAVANTI, C. Os caminhos da mancha. **Pesquisa FAPESP**, 2019. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/os-caminhos-da-mancha/. Acesso em: 17 fev. 2025.

GAO, X.; CHEN, C. T. A. Heavy metal pollution status in surface sediments of the coastal Bohai Bay. **Water Research**, v. 46, p. 1901-1911, 2012.

HALPERN, B. S. et al. A global map of human impact on marine ecosystems. **Science**, v. 319, p. 948-952, 2008.

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

HODGSON, E. **A Textbook of Modern Toxicology**. John Wiley & Sons, 2004.

HORTELLANI, M. A.; SARKIS, J. E. S.; ABESSA, D. M. S.; SOUSA, E. C. P. M. Avaliação da contaminação por elementos metálicos dos sedimentos do estuário Santos – São Vicente, **Química Nova**, v. 31, n. 1, p. 10-19, 2008.

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, p. 183-95, 2007.

LABOREL, J. **Les peuplements de Madréporaires des côtes tropicales du Brésil**. Marselha, Thèse A. O. Fac. Sci., 1967.

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

LOCARNO, I. F. **Copépodes Pseudodiaptomus em aquicultura: conhecimento atual e traços específicos de produção**. 2023. 55 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Paulo, Campus Baixada Santista, Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Ecologia Marinha e Costeira, Santos, 2023.

LOPES, B. M. M. **Avaliação da contaminação por hidrocarbonetos de petróleo em mexilhões Mytilus galloprovincialis da costa sul de Portugal**. O sistema MFO como biomarcador de contaminação. 2009. Tese (Doutorado) – Universidade do Algarve, Portugal, 2009.

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

MACIEL, D. C., COSTA, B. V. M., SANTOS, L. P. DE S., DE SOUZA, J. R. B.; ZANARDI-LAMARDO, E. Avaliação da toxicidade dos sedimentos do sistema estuarino do rio Capibaribe (Pernambuco, Brasil) utilizando o copépodo bentônico *Tisbe biminiensis* Volkmann Rocco (1973). **Tropical Oceanography**, 2015.

MAGALHÃES, D. P.; FERRÃO-FILHO, A. S. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 355-381, 2008.

MANDELLI, W. G. et al. Waterborne toxicity to neotropical invertebrates and hazard of cigarette butt leachates in marine environments. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 43, n. 2, p. 374-384, 2024.

MANSO, V. A. V.; CORRÊA, I. C. S.; GUERRA, N. Morfologia e sedimentologia da plataforma continental interna entre as Praias Porto de Galinhas e Campos - Litoral Sul de Pernambuco, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 30, n. 2, p. 17-25, 2003.

MONTEIRO, J. J. F.; LEÇA, E. E.; KOENING, M. L.; MACEDO, S. J. New record of *Trichodesmium thiebautii* Gomont ex Gomont (Oscillatoriales - Cyanophyta) for the continental shelf of northeast Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, p. 1104-1106, 2010.

MORAES, R. et al. **Efeitos de Poluentes em Organismos Marinhos**. São Paulo: Editora Arte & Ciência, 2001.

MOREIRA, L. M.; ABESSA, D. M. S. Water toxicity assessment of Santos Bay under different climate conditions. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v 9, n 1, 2014.

MOREIRA, T. C. S. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in seawater after the mysterious oil spill of 2019 on the Pernambuco coast, northeast Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 203, p. 116395, 2024.

MÜLLER, M. N. et al. Finding the needle in a haystack: Evaluation of ecotoxicological effects along the continental shelf break during the Brazilian mysterious oil spill. **Environmental Pollution**, v. 357, p. 124422, 2024.

NASS, D. P. O conceito de Poluição. **Revista Eletrônica de Ciências**. São Carlos: Universidade de São Paulo / Instituto de Química. n. 13. 2002.

NETO, J. G. B. et al. Ingestion of plastic debris by commercially important marine fish in southeast-south Brazil. **Environmental Pollution**, v. 267, p. 115508, 2020.

NIPPER, M. Current approaches and future directions for contaminant-related impact assessments in coastal environments: Brazilian perspective. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 3, n. 4, p. 433-447, 2000.

NOVELLI, A. **Estudo limnológico e ecotoxicológico da água e sedimento do Rio Monjolinho – São Carlos (SP), com ênfase nas substâncias de referência do cádmio e cobre**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, p. 229, 2005.

NYBAKKEN, J. W. **Marine biology: an ecological approach**. 2001.

OLIVEIRA, J. F. **Prospecção e tratamento biológicos no efluente da lavanderia têxtil de Caruaru – PE**. 2022. 78 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

OLIVEIRA, T. S. **Geodiversidade da plataforma continental interna de Recife/PE, Brasil, e sua influência na distribuição de habitats marinhos**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 73, 2017.

OLIVER, D. M. et al. Plastic pollution and human pathogens: Towards a conceptual shift in risk management at bathing water and beach environments. **Water Research**, v. 261, p. 122028, 2024.

PINTO, C. S. C.; SOUZA-SANTOS, L. P.; SANTOS, P. J. P. Development and population dynamics of *Tisbe biminiensis* (Copepoda: Harpacticoida) reared on different diets. **Aquaculture**, v. 198, n. 3-4, p. 253-267, 2001.

PRATES, A. P. L; GONÇALVES, M. A; ROSA, M. R. **Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil**. Brasília: MMA/SBF/GBA. 2010.

PRÓSPERI, V. A. **Comparação de métodos ecotoxicológicos na avaliação de sedimentos marinhos e estuarinos**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2002.

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.

RIBEIRO, V. V. et al. Marine macrolitter and cigarette butts hazard multiple-use marine protected area and fishing community at Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 208, p. 117031, 2024.

ROBERTS, S. M.; JAMES, R. C.; WILLIAMS, P. L. **Principles of toxicology: environmental and industrial applications**. John Wiley & Sons, 2022.

SANTOS, E. R. **Caracterização química, microbiológica e toxicidade do lodo de esgoto da estação Mangueira, Pernambuco, Brasil**. 2009. 68 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2009.

SANTOS, D. H. C. **Estudo socioambiental dos naufrágios da plataforma continental de Pernambuco-Brasil:** contribuição para a formulação de políticas ambientais e manejo de recifes artificiais marinhos na costa do Estado de Pernambuco. 2006. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

SILVA, D. C. V. R.; POMPÊO, M.; PAIVA, T. C. B. A ecotoxicologia no contexto atual no Brasil. In: Pompêo et al. (Orgs.) **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo – USP, 2015.

SOROLDONI, S. et al. Antifouling paint particles cause toxicity to benthic organisms: effects on two species with different feeding modes. **Chemosphere**, v. 238, p. 124610, 2020.

SOUZA-SANTOS, L. P.; ARAÚJO, R. J. Water toxicity assessment in the Suape estuarine complex (PE-Brazil). **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 8, n. 1, p. 59-65, 2013.

SOUZA-SANTOS, L. P.; CARNEIRO, Y. M. M.; DA SILVA, A. S. X. Weekly variation of seawater ecotoxicity on marine sandy beaches in relation to coliform densities. **Marine Pollution Bulletin**, v. 213, p. 117694, 2025.

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, 2015.

TORREIRO. A. G. A. G. **Toxicidade e biorremediação em sedimento contaminado, utilizando o copépodo harpacticóide *Tisbe biminiensis***. 2010. 54 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, 2010.

TOTHILL, I. E.; TURNER, A. P. F. Developments in bioassay methods for toxicity testing in water treatment. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 15, n. 5, p. 178-188, 1996.

WEAR, S. L.; THURBER, R. V. Sewage pollution: mitigation is key for coral reef stewardship. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1355, p. 15-30, 2015.

YOOL, A.; FASHAM, M.J.R. An examination of the “continental shelf pump” in an open ocean general circulation model. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 15, n. 4, p. 831-844, 2001.

ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia aquática: princípios e aplicações**. São Carlos: Rima, 2006.

ZANARDI-LAMARDO, E.; SCHETTINI, C. A. F. Petroleum hydrocarbons in Brazilian Northeast continental shelf waters: baseline values. **Ocean and Coastal Research**, v. 70, 2022.