

Biomarcadores em *Callinectes bocourti* indicam estresse ambiental em manguezais de uma área portuária da costa amazônica brasileira

Biomarkers in *Callinectes bocourti* indicate environmental stress in mangroves of a port area on the brazilian amazon coast

Biomarcadores en *Callinectes bocourti* indican estrés ambiental en los manglares de una zona portuaria de la costa amazónica brasileña

DOI: 10.55905/oelv22n12-168

Receipt of originals: 11/15/2024

Acceptance for publication: 12/12/2024

Ione Marly Arouche-Lima

Mestre em Ciência Animal

Instituição: Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal, Universidade Federal do Maranhão (BIONORTE – UFMA)

Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil

E-mail: ionearouche@gmail.com

Eliamara de Sousa Linhares

Graduada em Ciências Biológicas

Instituição: Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil

E-mail: eliamaralinhaires@gmail.com

Bruno de Brito Gueiros Souza

Doutor em Geociências

Instituição: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO)

Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil

E-mail: bruno.gueiros@icmbio.gov.br

Eliane Braga Ribeiro

Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia

Instituição: Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal, Universidade Federal do Maranhão (BIONORTE – UFMA)

Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil

E-mail: elianeribeiro.biologa@gmail.com

João Pedro Galvão Sobrinho

Graduado em Ciências Biológicas

Instituição: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil

E-mail: galvaopedro2407@gmail.com

Isabela Cristina Silva Bezerra

Graduada em Ciências Biológicas

Instituição: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil

E-mail: isabelacsbezerra@gmail.com

Nivaldo Magalhães Piorski

Doutor em Genética e Evolução

Instituição: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil

E-mail: nm.piorski@ufma.br

Raimunda Fortes Carvalho Neta

Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia

Instituição: Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

Endereço: São Luís, Maranhão, Brasil

E-mail: raifortes@gmail.com

RESUMO

Embora atividades industriais e portuárias promovam o desenvolvimento socioeconômico em áreas costeiras, geram também impactos ambientais significativos e pressões constantes sobre os ecossistemas locais. Nesse contexto, objetivou-se analisar biomarcadores histológicos em siris *Callinectes bocourti* em dois manguezais sob influência da região portuária do litoral do Maranhão. Foram obtidos parâmetros físico-químicos da água, dados biométricos e histológicos de 60 espécimes de siris coletados em duas áreas de estudo: A1 – área mais impactada (entorno da área portuária na Baía de São Marcos - MA) e A2 – área de referência (menos impactada, Humberto de campos – MA na Baía do Tubarão). O peso e o tamanho dos siris foram maiores na área de referência durante a estação chuvosa, sugerindo melhores condições ambientais. Lesões branquiais como rompimento das células pilares, colapso lamelar e deslocamento da cutícula foram mais frequentes nos siris da área portuária (53%) comparada à área de referência (27%), indicando maior exposição a poluentes. Lesões hepáticas, incluindo distensão do lúmen e vacuolização das células B, foram comuns, especialmente nos organismos da área portuária (55%). Os biomarcadores histológicos evidenciaram alterações importantes nas brânquias e hepatopâncreas de *C. bocourti* da área portuária (A1), indicando que esses crustáceos estão expostos em um ambiente com menor qualidade ambiental. Esses resultados contribuem para a compreensão dos efeitos da poluição em organismos marinhos e estuarinos e destacam a necessidade de implementar políticas de gestão ambiental mais rigorosas.

Palavras-chave: Histologia, Hepatopâncreas, Brânquia, Siri Vermelho, Biomonitoramento, Baía do Tubarão.

ABSTRACT

While industrial and port activities promote socioeconomic development in coastal areas, they also generate significant environmental impacts and exert constant pressures on local ecosystems. In this context, the objective was to analyze histological biomarkers in *Callinectes bocourti* crabs from two mangrove areas influenced by the port region along the coast of Maranhão. Physical-chemical parameters of the water, biometric data, and histological markers were obtained from 60 crab specimens collected from two study areas: A1 – the more impacted area (near the port region in São Marcos Bay, Maranhão) and A2 – the reference area (less impacted, Humberto de Campos, Maranhão, in Tubarão Bay). Crab weight and size were greater in the reference area during the rainy season, suggesting better environmental conditions. Gill lesions, such as pillar cell rupture, lamellar collapse, and cuticle detachment, were more frequent in crabs from the port area (53%) compared to the reference area (27%), indicating greater exposure to pollutants. Hepatic lesions, including lumen distension and B-cell vacuolization, were common, particularly in organisms from the port area (55%). Histological biomarkers revealed significant alterations in the gills and hepatopancreas of *C. bocourti* from the port area (A1), indicating that these crustaceans are exposed to an environment of lower environmental quality. These findings contribute to the understanding of pollution effects on marine and estuarine organisms and underscore the need for implementing stricter environmental management policies.

Keywords: Histology, Hepatopancreas, Red Crab, Biomonitoring, Tubarão Bay.

RESUMEN

Aunque las actividades industriales y portuarias promueven el desarrollo socioeconómico en áreas costeras, también generan impactos ambientales significativos y ejercen presiones constantes sobre los ecosistemas locales. En este contexto, se tuvo como objetivo analizar biomarcadores histológicos en cangrejos *Callinectes bocourti* en dos áreas de manglares bajo la influencia de la región portuaria de la costa de Maranhão. Se obtuvieron parámetros fisicoquímicos del agua, datos biométricos e histológicos de 60 especímenes de cangrejos recolectados en dos áreas de estudio: A1 – el área más impactada (cercana a la región portuaria en la Bahía de São Marcos, Maranhão) y A2 – el área de referencia (menos impactada, Humberto de Campos, Maranhão, en la Bahía de Tubarão). El peso y el tamaño de los cangrejos fueron mayores en el área de referencia durante la estación lluviosa, lo que sugiere mejores condiciones ambientales. Las lesiones branquiales, como la ruptura de las células pilares, el colapso lamelar y el desprendimiento de la cutícula, fueron más frecuentes en los cangrejos de la zona portuaria (53%) en comparación con el área de referencia (27%), lo que indica una mayor exposición a contaminantes. Las lesiones hepáticas, incluidas la distensión del lumen y la vacuolización de las células B, fueron comunes, especialmente en los organismos del área portuaria (55%). Los biomarcadores histológicos revelaron alteraciones importantes en las branquias y el hepatopáncreas de *C. bocourti* en la zona portuaria (A1), lo que indica

que estos crustáceos están expuestos a un ambiente de menor calidad ambiental. Estos resultados contribuyen a la comprensión de los efectos de la contaminación en organismos marinos y estuarinos y destacan la necesidad de implementar políticas de gestión ambiental más rigurosas.

Palabras clave: Histología, Hepatopáncreas, Cangrejo Rojo, Biomonitorización, Bahía del Tiburón.

1 INTRODUÇÃO

Além do crescimento populacional nas áreas costeiras sem o devido planejamento, as atividades industriais próximas aos estuários e manguezais também têm se expandido significativamente (Lima *et al.*, 2019; Kennish, 2002; Teichert *et al.*, 2016; Falcão *et al.*, 2020). O estuário da Baía de São Marcos (também chamado de Complexo Estuarino de São Marcos), no Maranhão, exemplifica essas mudanças, com a expansão urbana e de infraestrutura impulsionando o desenvolvimento socioeconômico da região. O Complexo Portuário de São Luís, localizado nessa área, tem favorecido o crescimento de empreendimentos industriais, como cimenteiras, fábricas de asfalto e indústrias de fertilizantes, além de intensificar as atividades mineradoras (Coelho *et al.*, 2022). No entanto, apesar da relevância econômica desses empreendimentos, os impactos negativos e as pressões sobre os ecossistemas naturais são constantes e preocupantes (Duarte, 2017; Barros *et al.*, 2022).

Diante desse cenário, o monitoramento ambiental do complexo industrial e portuário tornou-se indispensável. A implementação de programas de biomonitoramento, utilizando espécies aquáticas residentes, é cada vez mais necessária, pois alterações nos níveis molecular, bioquímico ou celular podem indicar o grau de impacto de poluentes no ecossistema (Pinheiro-Souza *et al.*, 2021). Neste estudo, serão utilizados siris *Callinectes bocourti*. Esta será a primeira vez que essa espécie é empregada como organismo modelo nas áreas da Baía de São Marcos e da Baía do Tubarão, utilizando biomarcadores histológicos.

A espécie estudada apresenta grande tolerância à salinidade e podem ocupar áreas estuarinas com sedimento lodoso até regiões costeiras e de mar aberto (Melo, 1996). Sendo onívoros e detritívoros, alimentam-se de bivalves, peixes, gastrópodes e outros crustáceos. Devido ao amplo nicho que ocupam, têm contato direto com contaminantes metálicos por meio da coluna d'água, devido ao hábito de predação e ingestão do próprio sedimento ao capturar presas (Mantelatto; Christofolletti, 2001; Ortega *et al.*, 2022).

A exposição a xenobióticos leva a alterações nos órgãos que estão em constante contato com a água contaminada, como brânquias e hepatopâncreas (Bhavan; Geraldine, 2000). Nas brânquias, as lesões incluem fusão das lamelas, deslocamento da cutícula, ruptura de células pilares, entre outras, resultando no mau funcionamento do órgão respiratório. No hepatopâncreas, ocorrem vacuolizações, desintegração do lúmen e aumento de células B como resposta ao estresse oxidativo do ambiente, visto que esse órgão é responsável pela detoxificação, eliminando xenobióticos que entram nos túbulos hepatopancreáticos (Jerome *et al.*, 2017; Maharajan, 2015).

A detecção precoce de poluição é essencial para a gestão ambiental preventiva (Kadim; Risjani, 2022). Biomarcadores são amplamente utilizados para identificar alterações mensuráveis em níveis bioquímicos, celulares, teciduais ou em indivíduos inteiros (Smit *et al.*, 2009). Para uma avaliação ambiental mais precisa, tem sido recomendado o uso de espécies sentinelas em programas de monitoramento, melhorando a capacidade de diagnóstico, previsão das alterações ambientais e facilitando a identificação dos impactos de múltiplos estressores (Baroudi *et al.*, 2020; Adam *et al.*, 2023). Nesse contexto, na presente pesquisa objetivou-se analisar biomarcadores histológicos em siris *Callinectes bocourti* em dois manguezais sob influência de região portuária do litoral do Maranhão.

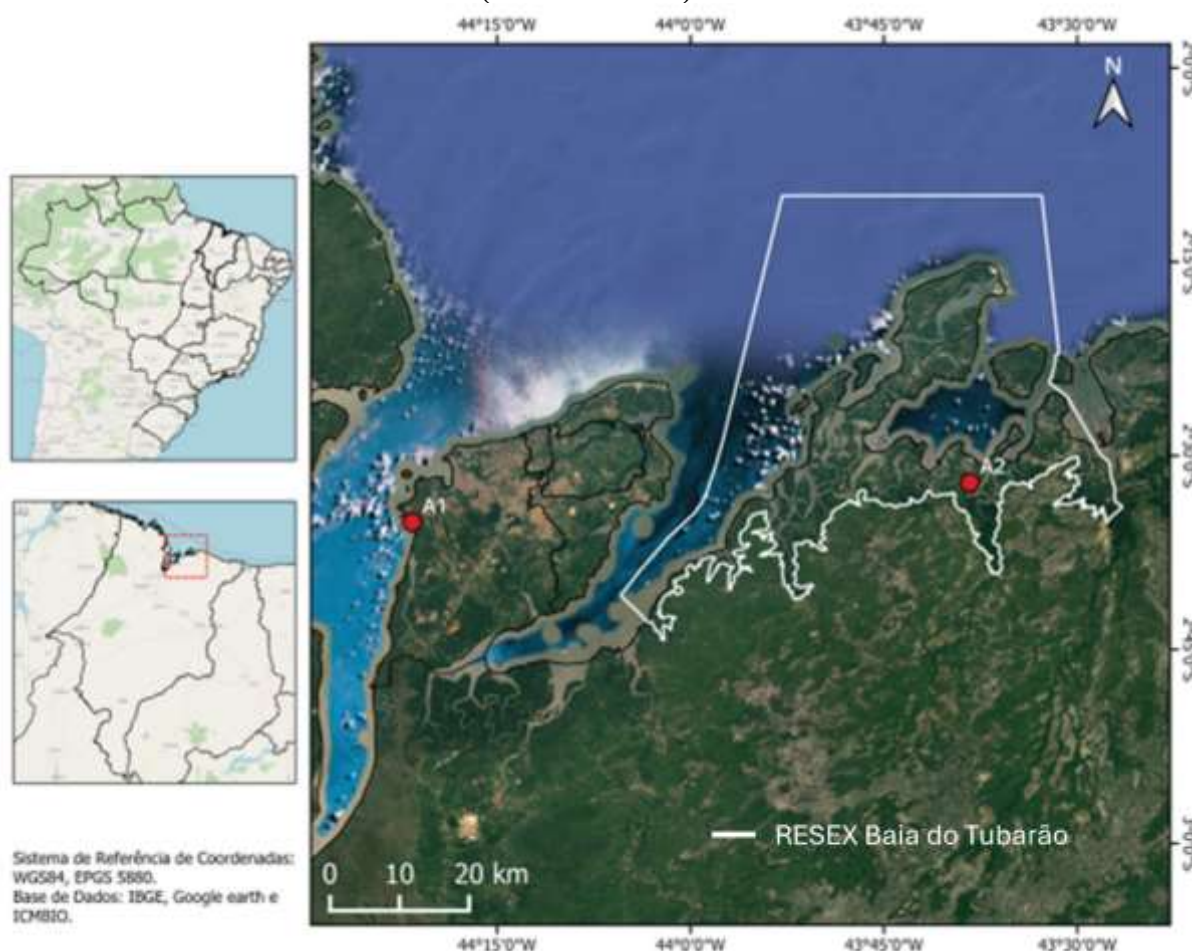
2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho tem como áreas de estudo a Baía de São Marcos (A1) e a Baía do Tubarão (A2), ambas localizadas no litoral do Maranhão (Fig 1). Na primeira área, que faz parte da costa Amazônica brasileira, estão situadas diversas comunidades, umas delas denominada de Cajueiro (local das coletas), que fica próximo do Porto do Itaqui, cujas atividades envolvem grandes movimentações de cargas que incluem produtos e subprodutos de mineração, *commodities* ligadas ao agronegócio e diversos compostos derivados do petróleo (EMAP, 2024). Nesse estudo A1 é considerada como área mais impactada.

Na segunda área está situada a reserva extrativista Baía do Tubarão, unidade de conservação federal, criada pela Decreto Federal nº 9.340 de 05 de abril de 2018, com cerca de 224 hectares, localizada nos municípios de Icatu e Humberto de Campos - MA (ICMBio, 2021). Neste último município, encontra-se a comunidade tradicional da Ilha do Gato onde foram realizadas as coletas. Essa área é considerada neste estudo como de referência, por ser uma unidade de conservação, distando cerca de 81,3 km das atividades portuárias e suas possíveis influências.

Figura 1 - Locais de amostragem na Baía de São Marcos – MA (A1 - Cajueiro) e na Baía do Tubarão – MA (A2 – Ilha do Gato).



Fonte: Elaborado pelos autores

2.2 AMOSTRAGEM

As coletas de *C. bocourti* foram realizadas no período de estiagem (outubro a dezembro de 2023) e no período chuvoso (janeiro a março de 2024). Em cada área, foram coletados 30 siris, com o uso de landruás fixados na baixa mar, além de outras estratégias, como uso de caniços e redes fixas.

Após as capturas, os siris foram transportados, em caixa térmica contendo gelo, para o Laboratório de Biomarcadores em Organismos Aquáticos (LABOAq) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), para identificação taxonômica. Em seguida foram anestesiados em uma solução analgésica de óleo de cravo na concentração

de 200mg/L, eutanasiados, medidos e pesados. Na sequência, foram retiradas as brânquias e hepatopâncreas utilizando pinças esterilizadas. Os órgãos alvos foram depositados em recipientes plásticos contendo solução de Davidson para preservação dos tecidos.

2.3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA

Em cada local de coleta dos exemplares de siris foram medidos em duplicata os seguintes dados abióticos com um medidor multiparâmetro HANNA® (modelo HI98194): pH, salinidade (mg/L) Oxigênio dissolvido (mg/L) e temperatura (°C).

2.4 DADOS BIOMÉTRICOS

O peso úmido total (PT) de cada exemplar foi registrado em balança digital de precisão de 0,1 g. Com um paquímetro de precisão de 0,1 cm foram medidos segundo Williams (1974) e Hajjej (2016): a largura da carapaça (LC), que é a medida da distância entre as duas extremidades laterais da carapaça, sem os espinhos laterais; largura da carapaça incluindo os espinhos laterais (LCe) conforme Sforza (2010) e comprimento da carapaça (CC). Para fins de padronização, foram selecionados somente os machos adultos (largura da carapaça > 60 mm) para análise de biomarcadores histológicos (Pinheiro *et al.*, 2012), evitando desse modo quaisquer efeitos de sexo, muda e estágio de vida que foram relatados anteriormente para outros decápodes (Chou *et al.*, 2000; Chen *et al.*, 2005).

2.5 ANÁLISE HISTOLÓGICA

Após a remoção dos órgãos (brânquias e hepatopâncreas) de cada exemplar, estes foram armazenados em recipientes plásticos e fixados em solução de Davidson (24 h), contendo 220 mL de formalina (100%), 330 mL de álcool etílico (95%), 115 mL de ácido acético glacial e 335 mL de água destilada. Em seguida, as amostras foram lavadas e

mantidas em álcool 70% até o processamento histológico. Para a produção das lâminas, os órgãos fixados passaram pelo processo de clivagem e foram colocados em cassetes identificados com o nome da espécie, local e data de coleta. Posteriormente, as amostras foram submetidas a séries crescentes de álcoois (80%, 90% e 100%), com intervalos de 40 minutos entre cada etapa para desidratação. Em seguida, os materiais passaram pela diafanização, onde foram colocados em Xilol I e Xilol II por 1 hora e 2 horas, respectivamente.

Para impregnação, os cassetes foram deixados em parafina I por 1 hora e em parafina II por 1 hora e meia, todo esse processo em estufa a 60°C. Os blocos de parafina foram seccionados em cortes de 5µm de espessura com auxílio de micrótomo (Leica RM 2125 RT) e secos à temperatura ambiente no Laboratório LABOAq (UEMA). Foram corados com Hematoxilina e Eosina (HE). Em microscopia de luz, foram analisados dois cortes para cada órgão. As metodologias histológicas e de coloração foram adaptadas de Caputo *et al.* (2010).

As alterações foram identificadas com base em Maharajan *et al.* (2015), Negro (2015), Vasanthi *et al.* (2014) e Rebelo *et al.* (2000). Após a identificação, as lesões foram fotomicrografadas com auxílio de um microscópio AXIOSKOP - ZEISS. A quantificação aproximada dos efeitos histopatológicos foi realizada conforme Rebelo *et al.* (2000), através da contagem do número de lamelas afetadas por cada patologia em relação ao número total de lamelas em cada brânquia.

2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A normalidade dos dados foi verificada utilizando o teste de Shapiro-Wilk, enquanto a homocedasticidade foi testada com o teste de Levene. Para todos os dados que apresentaram distribuição normal, aplicamos uma ANOVA (Análise de Variância) para investigar se havia diferenças significativas entre os tratamentos (pontos de amostragem em diferentes estações do ano). Quando diferenças significativas foram encontradas entre os tratamentos, aplicou-se o teste de Tukey a posteriori para identificar quais tratamentos diferiram entre si. Em todos os casos, adotou-se um nível de significância de $p \leq 0,05$.

Todas as análises foram realizadas com o programa *Graphpad Prism* 8.4.2, seguindo as recomendações estatísticas de Sokal & Rohlf (2003).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICAS

Os valores dos parâmetros físico-químicos da água das duas áreas amostradas estão apresentados na Tabela 1. Os resultados foram comparados com os valores indicados pela legislação brasileira (CONAMA 357/2005) para águas salobras Classe 3. Observou-se que os valores de oxigênio dissolvido estavam abaixo do estabelecido pela norma ambiental em ambas as áreas, exceto na área de referência (A2) durante o período de estiagem. Essa redução pode impactar negativamente os organismos dessas áreas, afetando o crescimento, a saúde e o bem-estar dos espécimes devido à diminuição na alimentação e à alteração do metabolismo (Gamperl *et al.*, 2020).

Tabela 1 - Variáveis físico-químicas da água obtidas nas duas áreas de estudo.

Parâmetros Físico-químicos	A1		A2		Valores de referência*
	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	
Temperatura(°C)	31,2 ± 0,21	28,80±0,16	29,81± 0,81	29,51 ± 0,38	28-32
pH	8,86 ±0,026	8,68±0,05	8,55± 1,79	7,83 ± 0,21	5-9
Salinidade (mg/L)	29,3 ± 0,31	25,17±0,23	43,39±1,02	32,87 ± 0,34	0,5 a 30
Oxigênio dissolvido (mg/L)	35,5± 0,01	59,2 ±2,36	91,2 ± 6,23	52,25 ± 1,48	60–80

*Limites estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) na resolução n°. 357 de 2005. Baía de São Marcos – MA (A1 - Cajueiro) e na Baía do Tubarão – MA (A2 – Ilha do Gato).

Fonte: Elaborado pelos autores

Com relação aos demais fatores abióticos não foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os parâmetros analisados nas diferentes áreas, nem entre os períodos distintos (chuvoso e seco) dentro de cada área. Esses dados indicam que as condições ambientais são adequadas para o desenvolvimento dos organismos aquáticos, caso não existam outros fatores que possam interferir na qualidade ambiental.

3.2 DADOS DE BIOMETRIA

Os valores médios da biometria de *C. bocourti* estão apresentados na Tabela 2. O peso e o tamanho dos indivíduos coletados em A2 (área de referência) foram superiores em ambos os períodos em relação aos da A1 (área portuária). No entanto, não foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as áreas e entre as estações. Esses dados são consistentes com o estudo feito por Arouche-Lima (2018) que analisou *Callinectes danae* em duas áreas com diferentes níveis de impacto: uma nas proximidades do complexo portuário de São Luís – MA e outra em uma área de referência no município da Raposa – MA. Isso sugere que a área de referência oferece um ambiente mais favorável ao crescimento e desenvolvimento desses crustáceos, refletindo condições ambientais de melhor qualidade (Pinheiro; Fiscarelli, 2009).

Tabela 2 - Parâmetros biométricos de *C. bocourti* coletados nas duas áreas de estudo.

Coletas	A1		A2	
	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
PT (g)	58,79 ± 18,22	71,46 ± 21,80	83,60 ± 24,74	106,47 ± 48,94
CC (cm)	3,48 ± 0,39	4,96 ± 0,59	5,46 ± 0,42	5,55 ± 0,68
LCe (cm)	9,25 ± 2,10	8,13 ± 1,02	9,82 ± 0,42	10,75 ± 1,60
LC (cm)	6,40 ± 1,20	9,78 ± 1,30	8,70 ± 0,35	8,98 ± 1,37

PT- peso úmido total; CC - comprimento da carapaça; LCe - largura da carapaça com espinho; LC - largura da carapaça sem espinho. Baía de São Marcos – MA (A1 - Cajueiro) e na Baía do Tubarão – MA (A2 – Ilha do Gato).

Fonte: Elaborado pelos autores

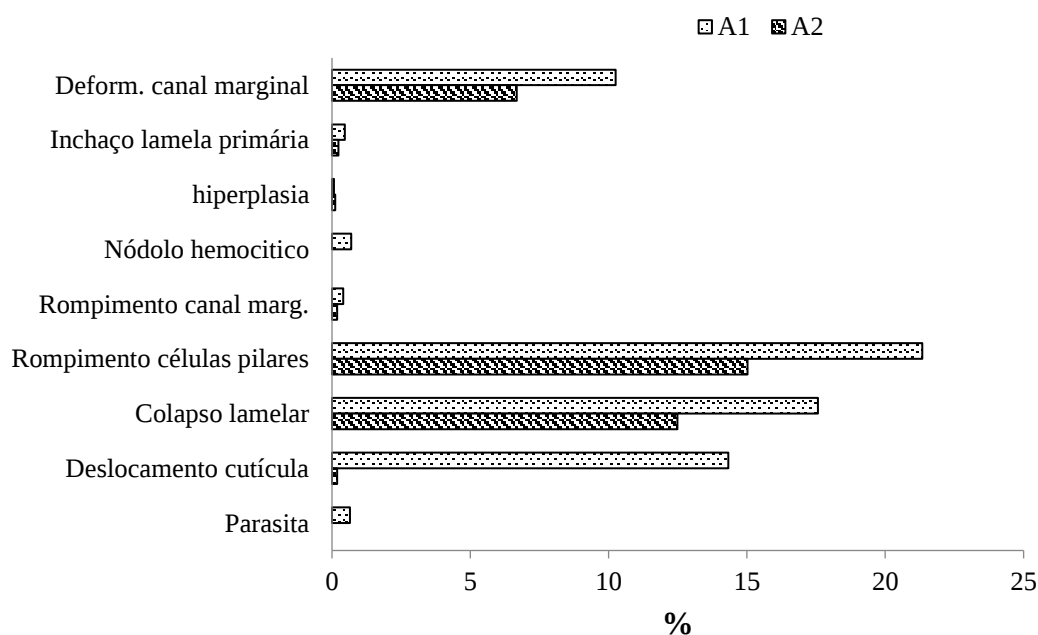
3.3 ANÁLISES HISTOLÓGICAS EM BRÂNQUIAS

A maioria das lesões branquiais encontradas nos espécimes da área portuária - A1, também ocorreram em menor frequência, nos espécimes coletados na área de referência - A2 (Fig. 2). A análise histopatológica permitiu identificar nove tipos de alterações, sendo as mais frequentes: rompimento das células pilares, colapso lamelar e deslocamento da cutícula, correspondendo a 53% nos organismos em A1 e 27% em A2. Esse resultado indica que os siris em A1 estão expostos a níveis elevados de poluentes, resultando em condições ambientais mais severas. Essas condições podem comprometer

a função respiratória dos organismos, gerando dificuldades na troca gasosa e, consequentemente, causando estresse fisiológico.

O deslocamento da cutícula e a perda das células pilares são alterações consideradas graves, uma vez que alteram a estrutura das células e tecidos. Além disso, leva a outro tipo de alteração, o colapso das lamelas, que, por sua vez, compromete a função respiratória (Negro; Collins, 2017). Alterações neste órgão servem como um alerta precoce quanto à possibilidade da presença de poluentes ambientais, o que pode causar desequilíbrio metabólico e comprometer a sobrevivência e o desenvolvimento ideal (Jesus *et al.*, 2021).

Figura 2 - Frequência das alterações histológicas em brânquias de *C. bocourti* coletados nas duas áreas de estudo.



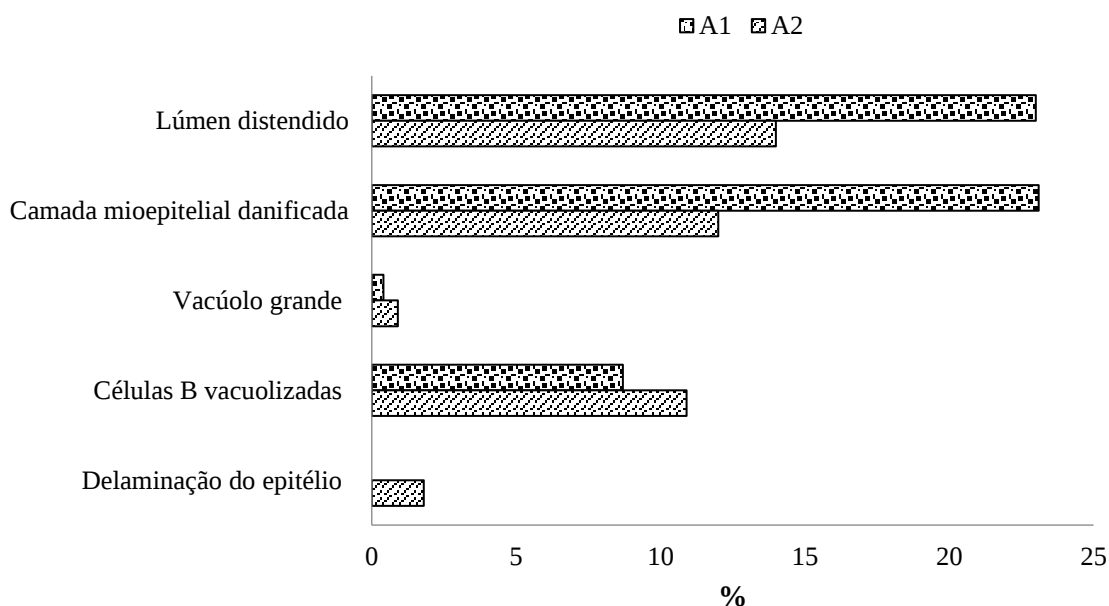
Fonte: Elaborado pelos autores

3.4 ANÁLISES HISTOLÓGICAS EM HEPATOPÂNCREAS

Cinco tipos de lesões foram identificados no hepatopâncreas de *C. bocourti* em ambas as áreas de estudo, sendo mais frequentes na área portuária (A1). As três lesões mais comuns foram: distensão do lúmen, danificação da camada mioepitelial e vacuolização das células B, ocorrendo em 55% dos siris provenientes de A1 e em 35% de A2. Esses danos podem comprometer processos metabólicos essenciais, afetando a capacidade dos animais de responder adequadamente a adversidades ambientais (Maharajan *et al.*, 2015).

Essas alterações morfológicas provavelmente resultam da intensa atividade do hepatopâncreas no acúmulo e eliminação de substâncias tóxicas às quais os organismos estão expostos. Considerando que o hepatopâncreas desempenha funções fundamentais nos processos de digestão, excreção, desintoxicação e absorção (Bhavan; Geraldine, 2000), qualquer comprometimento desse órgão pode ter sérias implicações para a saúde e a sobrevivência da população de *C. bocourti*.

Figura 4 - Frequência das alterações histológicas em hepatopâncreas de *C. bocourti* coletados nas duas áreas de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores

5 CONCLUSÃO

Os biomarcadores histológicos evidenciaram alterações importantes nas brânquias e hepatopâncreas de *C. bocourti* da área portuária (A1), indicando que esses crustáceos estão expostos em um ambiente com menor qualidade ambiental, comprometendo a sua saúde. As lesões encontradas podem afetar desde a respiração até os processos metabólicos vitais. As análises biométricas indicaram uma tendência de melhores condições de crescimento para esses siris na área de referência (A2), sugerindo um ambiente mais favorável ao desenvolvimento desses animais.

Os resultados deste estudo contribuem para a compreensão dos efeitos da poluição em organismos marinhos e estuarinos e destacam a necessidade de implementar políticas de gestão ambiental mais adequadas, especialmente em áreas portuárias, para mitigar os impactos dos poluentes, além de monitoramento contínuo para compreender melhor as vulnerabilidades dos espécimes aquáticos dos locais estudados.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio pela realização deste trabalho: ao Laboratório de Biomarcadores de Organismos Aquáticos da Universidade Estadual do Maranhão (Laboaq- UEMA), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), ao Instituto Chico Mendes – (ICMBIO) e aos pescadores da RESEX Baía do Tubarão - José de Ribamar Sá Menezes de Azevedo e Jorge Luis Sá Menezes de Azevedo e da comunidade Cajueiro - Isaque (conhecido como Jáco).

REFERÊNCIAS

- ADAM, M. L. Espécies sentinelas: Monitoramento Ambiental com Base em Biomarcadores de Efeito Cito e Genotóxico. **Revista CEPSUL - Biodiversidade e Conservação Marinha**, v.12, p. 1-28, 2023.
<https://doi.org/10.37002/revistacepsul.vol12.2333e20230002>
- BAROUDI, F. *et al.* Snail as sentinel organism for monitoring the environmental pollution; a review. **Ecological Indicators**, v. 113, p. 106240, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106240>
- BARROS, T.L. *et al.* Wildfires cause rapid changes to estuarine benthic habitat. **Environmental Pollution**, v.308, p. 119571, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119571>
- BHAVAN, S.; GERALDINE, P. Histopathology of the hepatopancreas and gills of the prawn *Macrobrachium malcolmsonii* exposed to endosulfan, **Aquatic Toxicology**, v. 50, n. 4, p. 331-339, 2000. [https://doi.org/10.1016/s0166-445x\(00\)00096-5](https://doi.org/10.1016/s0166-445x(00)00096-5)
- BRASIL. Resolução nº. 357. **Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2005.
- BRASIL. Decreto nº 9.340, de 5 de abril de 2018. **Cria a reserva extrativista da Baía do Tubarão, localizada nos Municípios de Icatu e Humberto de Campos, Estado do Maranhão**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2018.
- CAPUTO, L. F. *et al.* Técnicas histológicas. In: MOLINARO, E., CAPUTO, L., AMENDOEIRA, R. (Org.). **Conceitos e métodos para formação de profissionais em laboratórios de saúde**. Rio de Janeiro: EPSJV, p. 89-188, 2010.
- CHEN, M. H. *et al.* Gender and size effects of metal bioaccumulation on the rock crab, *Thalamita crenata*, in Dapeng Bay, southwestern Taiwan. **Marine Pollution Bulletin**, v. 50, 463-484, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.01.012>
- CHOU, C. L. *et al.* Copper contamination and cadmium, silver and zinc concentrations in the digestive glands of the American lobster (*Homarus americanus*) from the Inner Bay of Fundy, Atlantic Canada. **Bull. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 65, p. 470-477, 2000. <https://doi.org/10.1007/s001280000148>
- COELHO, A. L. *et al.* Os impactos da expansão do setor portuário na capital do estado do Maranhão. **Revista do CEDS**, v. 2, n. 11, 2022.
<https://periodicos.undb.edu.br/index.php/ceds/article/view/63/58>
- DUARTE, L. F. A. *et al.* Metal toxicity assessment by sentinel species of mangroves: In situ case study integrating chemical and biomarkers analyses, **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 145, p. 367-376, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.07.051>

EMAP - Empresa Maranhense de Administração Portuária, 2024. Disponível em: <<https://www.portodoitaqui.com/porto-do-itaqui/operacoesportuarias/movimentacao-de-carga>>. Acesso em: 09 fev. 2024.

FALCÃO, C.B.R. *et al.* Spatial-temporal genome damaging in the blue crab *Cardisoma guanhumi* as ecological indicators for monitoring tropical estuaries. **Marine Pollution Bulletin**, v. 156, p. 111232, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111232>

GAMPERL, A. K. *et al.* The impacts of increasing temperature and moderate hypoxia on the production characteristics, cardiac morphology and haematology of Atlantic Salmon (*Salmo salar*). **Aquaculture**, v. 519, p. 734874, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734874>.

HAJJEJ, G.; SLEY A.; O. JARBOUI. Morfometria e relação comprimento-peso no caranguejo azul, *Portunus segnis* (Decapoda, Brachyura) do Golfo de Gabes, Tunísia. **International Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 3, n. 12, p. 10-16, 2016. <https://doi.org/10.1080/09593331708616381>

ICMBio (Instituto Chico Mendes de conservação da Biodiversidade). Disponível em:<<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/resex-da-baia-do-tubarao>> Acesso em: 09 fev. 2024.

JEROME, C. F. *et al.* Metal uptake, oxidative stress and histopathological alterations in gills and hepatopancreas of *Callinectes amnicola* exposed to industrial effluent. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 139, p. 179-193, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.01.032>

JESUS, W. B. *et al.* Biomarkers and occurrences of heavy metals in sediment and the bioaccumulation of metals in crabs (*Ucides cordatus*) in impacted mangroves on the Amazon coast, Brazil. **Chemosphere**, v. 271, p. 129444, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129444>.

KADIM, M. K.; RISJANI, Y. Biomarker for monitoring heavy metal pollution in aquatic environment: An overview toward molecular perspectives. **Emerging Contaminants**, v. 8, p. 195-205, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2022.02.003>.

KENNISH, M. J. Environmental threats and environmental future of estuaries. **Environmental Conservation**, v. 29, n. 1, pp. 78-107, 2002. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000061>

AROUCHE-LIMA, I. M. **Biomarcadores em *Callinectes danae* (Crustacea, Decapoda, Portunoidea) para monitoramento ambiental em áreas portuárias na ilha do Maranhão, Brasil**. 2018. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Estadual do Maranhão-UEMA, São Luís, 2018.

LIMA, T. B. B.; SILVA, M. R. F.; CARVALHO, R. G. Artisanal fishing, shrimp farming and mangroves: perspectives on the Federal Law nº 12651/2012 and the use of

“apicum” and “salgado” areas in Canguaretama/RN, Brazil. **Sociedade & Natureza**, v. 31, p. e37481, 2019. <https://doi.org/10.14393/SN-v31n1-2019-37481>

MAHARAJAN, A. *et al.* Histological alterations of a combination of Chlorpyrifos and Cypermethrin (Nurocombi) insecticide in the freshwater crab, *Paratelphusa jacquemontii* (Rathbun). **The Journal of Basic & Applied Zoology**, v. 72, p. 104-112, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jobaz.2015.08.002>.

MANTELATTO, F. L. M.; CHRISTOFOLETTI, R. A. Natural feeding activity of the crab *Callinectes ornatus* (Portunidae) in Ubatuba Bay (São Paulo, Brazil): influence of season, sex, size and molt stage. **Marine Biology**, v. 138, p. 585-594, 2001.

<http://dx.doi.org/10.1007/s002270000474>

MELO, G. A. S. **Manual de identificação dos Brachyura (caranguejos e siris) do litoral Brasileiro**. Editora Plêiade; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 1996.

NEGRO, C. L. Histopathological effects of endosulfan to hepatopancreas, gills and ovary of the freshwater crab *Zilchiopsis collastinensis* (Decapoda: tricho-dactylidae). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 113, p. 87-94, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.11.025>

NEGRO, C. L.; Collins, P. Histopathological effects of chlorpyrifos on the gills, hepatopancreas and gonads of the freshwater crab *Zilchiopsis collastinensis*. Persistent effects after exposure. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 140, p. 116-122, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.02.030>

ORTEGA, P. *et al.* Experimental effects of cadmium on physiological response of *Callinectes danae* (Crustacea, Portunidae) from environments with different levels of Cd contamination, **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 251, p. 109210, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2021.109210>

PINHEIRO, M. A.A.; Fiscarelli, A. G. Relação comprimento-peso e fator de condição do caranguejo de mangue *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Brachyura, Ucididae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 2, p. 397-406, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132009000200017>

PINHEIRO, M. A. A. *et al.* Accumulation of six metals in the mangrove crab *Ucides cordatus* (Crustacea: ucididae) and its food source, the red mangrove *Rhizophora mangle* (Angiosperma: Rhizophoraceae). **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 81, p. 114-121, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.05.004>

PINHEIRO-SOUSA, D. B. *et al.* Sediment contaminant levels and multibiomarker approach to assess the health of catfish *Sciades herzbergii* in a harbor from the northern Brazilian Amazon. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 208, p. 111540, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111540>

REBELO, M.; RODRIGUEZ, E. M.; SANTOS, E. A. Histopathological changes in gills of the estuarine crab *Chasmagnathus granulata* (Crustacea-Decapoda) following acute exposure to ammonia. **Comparative biochemistry and physiology. Part C, Pharmacology, toxicology & endocrinology**, v. 125, p. 157-164, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0742-8413\(99\)00093-6](https://doi.org/10.1016/S0742-8413(99)00093-6)

SFORZA, R.; NALESSO, R.; JOYEUX, J.C. Distribution and Population Structure of *Callinectes danae* (Decapoda: Portunidae) in a Tropical Brazilian Estuary. **Journal of Crustacean Biology**, v. 30. n. 4, p. 597-606, 2010. <https://doi.org/10.1651/09-3223.1>

SMIT, M. G. D. *et al.* Relating biomarkers to whole-organism effects using species sensitivity distributions: A pilot study for marine species exposed to oil. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 28, p.1104–1109, 2009. <https://doi.org/10.1897/08-464.1>

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. Biometry: **The Principles and Practice of Statistics in Biological Research**. 3. ed. New York: W. H. Freeman and Co., 1995.

SULLIVAN T. J.; NEIGEL, J. E. Effects of temperature and salinity on prevalence and intensity of infection of blue crabs, *Callinectes sapidus*, by *Vibrio cholerae*, *V. parahaemolyticus*, and *V. vulnificus* in Louisiana. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 151, p. 82-90, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.11.004>

TEICHERT, N. *et al.* Restoring fish ecological quality in estuaries: implication of interactive and cumulative effects among anthropogenic stressors. **Science of the total environment**, v. 542, p. 383-393, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.068>

VASANTHI, R. L. *et al.* The application of histo-cytopathological biomarkers in the mud crab *Scylla serrata* (Forsk.) to assess heavy metal toxicity in Pulicat Lake, Chennai. **Marine Pollution Bulletin**, v. 81, p. 85-93, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.02.016>

WILLIAMS, A. B. **The swimming crabs of the genus *Callinectes* (Decapoda, Portunidae)**. **Fishery Bulletin**, v. 72, n. 3, p. 685-798, 1974.