

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE
MESQUITA FILHO” Instituto de Biociências– Campus de
Botucatu**

Barbara Bernardes Calbo

**Quantificação de microplásticos em espécies simpátricas com hábitos
ecológicos diferentes e que habitam uma área altamente impactada
da Baixada Santista**

Orientadora: Prof^a. Dr.^a Alessandra da Silva Augusto

Coorientadora: Dr. Mariana Velloso Capparelli

Botucatu

2025

BARBARA BERNARDES CALBO

Quantificação de microplásticos em espécies simpátricas com hábitos ecológicos diferentes e que habitam uma área altamente impactada da Baixada Santista

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Ciências Biológicas (Zoologia), do Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Botucatu, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^ª. Dr.^a Alessandra da Silva Augusto

Coorientadora: Dr.^a Mariana Velloso Capparelli

Botucatu

2025

C143q Calbo, Barbara Bernardes

Quantificação de microplásticos em espécies simpátricas com hábitos ecológicos diferentes e que habitam uma área altamente impactada da Baixada Santista / Barbara Bernardes Calbo. -- Botucatu, 2025

101 p. : tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Botucatu

Orientadora: Alessandra da Silva Augusto

Coorientadora: Mariana Velloso Capparelli

1. Fisiologia. 2. Poluição. 3. Microplásticos. 4. Crustáceos. I. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE BARBARA BERNARDES CALBO, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS (ZOOLOGIA), DO INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS - CÂMPUS DE BOTUCATU.

Aos 27 dias do mês de junho do ano de 2025, às 14h, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de BARBARA BERNARDES CALBO, intitulada **Quantificação de microplásticos em espécies simpátricas com hábitos ecológicos diferentes e que habitam uma área altamente impactada da Baixada Santista**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. ALESSANDRA DA SILVA AUGUSTO (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais / IBCLP UNESP, Pesquisadora ANIELI CRISTINA MARASCHI (Participação Virtual) do(a) CIÊNCIAS FISIOLÓGICAS / UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, Professor ROGÉRIO OLIVEIRA FALEIROS (Participação Virtual) do(a) Ciências Agrárias e Biológicas / Universidade Federal do Espírito Santo. Após a exposição pela mestrande e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: Aprovada . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Profa. Dra. ALESSANDRA DA SILVA AUGUSTO



Documento assinado digitalmente

ALESSANDRA DA SILVA AUGUSTO

Data: 02/07/2025 14:11:21 -0300

verifique em <https://validar.id.gov.br/>

AGRADECIMENTOS

À Profª. Dra. Alessandra Augusto, que me aceitou em seu laboratório, pelo apoio durante o mestrado e pelos ensinamentos e direcionamentos ao longo de todo este trabalho.

À Dra. Mariana Capparelli, que me coorientou durante essa jornada.

À CAPES, pelo apoio financeiro durante minha pesquisa.

Ao Instituto de Biociências de Botucatu (IBB), ao Programa de Pós-Graduação em Zoologia e ao vice-coordenador da pós, Prof. Dr. Antônio Leão Castilho.

Ao Instituto de Biociências do Campus do Litoral Paulista (IB-CLP), que forneceu a infraestrutura necessária para a realização dos experimentos e análises, e ao Laboratório de Aquicultura Sustentável e Fisiologia de Animais Aquáticos.

Aos meus amigos de laboratório — Emanuelle, Juliana, Andressa, Ana Carolina, Lucilly, Matheus e Héllen — por toda a ajuda e por alegrarem os meus dias, obrigada.

Às minhas tias, Neusa e Teresa, que me ensinaram, me criaram, me ajudaram e, até hoje, são motivo da minha admiração.

Ao meu primo Fernando, pelo apoio, pelos direcionamentos, pela ajuda e pelos cuidados.

À minha mãe e à minha irmã, que são meu lar.

À minha saudade diária: meu pai, que foi e sempre será a minha força em todos os momentos, meu maior apoio e o amor que me sustenta. De onde ele estiver, ele esteve presente e acompanhando toda essa jornada. Obrigada por tudo papai.

APOIO FINANCEIRO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) -Programa de Excelência Acadêmica (PROEX). - Código de Financiamento 001. Processo nº 88887.826888/2023-00.

RESUMO

Os manguezais são ecossistemas costeiros de alta relevância ecológica, mas estão entre os mais impactados pela ação antrópica. Um dos poluentes emergentes que mais preocupa atualmente são os microplásticos, partículas capazes de se acumular e biomagnificar ao longo da cadeia trófica. Crustáceos de manguezal são modelos importantes para avaliar esses impactos, dada sua diversidade de hábitos alimentares e contato direto com o sedimento, água e material vegetal. O objetivo desse trabalho foi quantificar a presença de microplásticos no sedimento, água e tecidos (brânquias, músculo, hepatopâncreas e trato digestório) de três espécies simpátricas de caranguejos com hábitos ecológicos distintos (*Goniopsis cruentata*, *Aratus pisonii* e *Minuca rapax*) e avaliar os efeitos fisiológicos da exposição ao microplástico na espécie *Goniopsis cruentata*, por meio de parâmetros como consumo de oxigênio, excreção de amônia, substrato energético oxidado, índice hepatossomático e osmorregulação. As coletas foram realizadas no manguezal do Portinho, Praia Grande (Baixada Santista, SP), entre 2023 e 2024. Sedimento e água foram amostrados mensalmente. A quantificação de microplástico foi realizada após digestão química e filtração, as partículas foram observadas em microscópio e categorizadas por cor e forma. Caranguejos *G. cruentata* foram mantidos em laboratório e expostos a microplásticos de PET (40 mg/L) por 10 dias. Mediram-se consumo de oxigênio, excreção nitrogenada, relação O/N, índice hepatossomático e osmolalidade da hemolinfa. Como resultado, observamos que sedimento apresentou concentrações médias de 13 MPs·g⁻¹, muito maiores que a água (~25 MPs·L⁻¹). Nos tecidos, *M. rapax* (175 MPs·g⁻¹) e *A. pisonii* (120 MPs·g⁻¹) acumularam mais microplásticos que *G. cruentata* (8,7 MPs·g⁻¹). As brânquias de *M. rapax* apresentaram valores até 2 vezes maiores que outros tecidos, refletindo seu hábito bioturbador. O perfil dos microplásticos revelou predominância de fibras (83%) e partículas transparentes

(54%). Em relação a fisiologia de *G. cruentata*, apenas o índice hepatossomático aumentou significativamente após a exposição, sugerindo acúmulo de reservas energéticas no hepatopâncreas. Os demais parâmetros (consumo de oxigênio, excreção, osmorregulação) não apresentaram diferenças significativas. Os resultados confirmam que os hábitos ecológicos são determinantes na bioacumulação de microplásticos. A espécie bioturbadora (*M. rapax*) e a arborícola herbívora (*A. pisonii*) acumularam níveis elevados, superando até o sedimento. Já *G. cruentata*, apesar de onívora e de nível trófico superior, apresentou menores concentrações, possivelmente devido à sua dieta mais diversificada ou menor contato direto com o sedimento. Em laboratório, *G. cruentata* demonstrou tolerância fisiológica de curto prazo à exposição a microplásticos, mantendo parâmetros estáveis, mas com alteração no hepatopâncreas, o que pode comprometer processos energéticos a longo prazo, como crescimento e reprodução. Os caranguejos simpátricos de manguezais acumulam microplásticos em níveis elevados, com variações relacionadas a seus hábitos alimentares e ecológicos. *G. cruentata* apresentou resposta fisiológica restrita ao hepatopâncreas, sugerindo tolerância inicial, mas risco de efeitos cumulativos. A poluição por microplásticos nos manguezais da Baixada Santista representa um fator de preocupação para a ecologia local e para espécies de importância econômica.

ABSTRACT

Mangroves are coastal ecosystems of high ecological relevance but are among the most impacted by human activities. One of the emerging pollutants that raises increasing concern is microplastics, particles capable of accumulating and biomagnifying throughout the food chain. Mangrove crustaceans are important models to assess these impacts due to their diversity of feeding habits and direct contact with sediment, water, and plant material. The objective of this study was to quantify the presence of

microplastics in sediment, water, and tissues (gills, muscle, hepatopancreas, and digestive tract) of three sympatric mangrove crab species with distinct ecological habits (*Goniopsis cruentata*, *Aratus pisonii*, and *Minuca rapax*), and to evaluate the physiological effects of microplastic exposure in *Goniopsis cruentata* through parameters such as oxygen consumption, ammonia excretion, oxidized energetic substrates, hepatosomatic index, and hemolymph osmolality. Sampling was carried out in the Portinho mangrove, Praia Grande (Baixada Santista, SP), between 2023 and 2024. Sediment and water were collected monthly. Microplastic quantification was performed after chemical digestion and filtration; particles were observed under a microscope and categorized by color and shape. *G. cruentata* crabs were maintained in the laboratory and exposed to PET microplastics (40 mg/L) for 10 days. Oxygen consumption, nitrogen excretion, O/N ratio, hepatosomatic index, and hemolymph osmolality were measured. As a result, we observed that sediment showed average concentrations of 13 MPs·g⁻¹, much higher than in water (~25 MPs·L⁻¹). In tissues, *M. rapax* (175 MPs·g⁻¹) and *A. pisonii* (120 MPs·g⁻¹) accumulated more microplastics than *G. cruentata* (8.7 MPs·g⁻¹). The gills of *M. rapax* showed values up to 2 times higher than other tissues, reflecting its bioturbation habit. The microplastic profile revealed a predominance of fibers (83%) and transparent particles (54%). Regarding the physiology of *G. cruentata*, only the hepatosomatic index increased significantly after exposure, suggesting an accumulation of energy reserves in the hepatopancreas. The other parameters (oxygen consumption, excretion, osmoregulation) did not show significant differences. The results confirm that ecological habits are determinant for microplastic bioaccumulation. The bioturbator species (*M. rapax*) and the arboreal herbivore (*A. pisonii*) accumulated high levels, surpassing even sediment concentrations. *G. cruentata*, although omnivorous and at a higher trophic level, showed lower concentrations, possibly due to its more diversified diet or reduced direct

contact with sediment. In the laboratory, *G. cruentata* demonstrated short-term physiological tolerance to microplastic exposure, maintaining stable parameters, but with hepatopancreas alteration, which may compromise long-term energy-dependent processes such as growth and reproduction. Sympatric mangrove crabs accumulate microplastics at high levels, with variations related to their feeding and ecological habits. *G. cruentata* exhibited a physiological response restricted to the hepatopancreas, suggesting initial tolerance but a risk of cumulative effects. Microplastic pollution in Baixada Santista mangroves represents a concern for local ecology and for species of economic importance.

SUMÁRIO

1. Introdução Geral	13
2. Referências Bibliográficas	21
Capítulo 1: Quantificação de Microplásticos em Espécies Simpátricas de Caranguejos de Manguezais com Hábitos Ecológicos Diferentes	34
1. Resumo	35
2. Introdução	36
3. Materiais e Métodos.....	40
3.1 Coleta de Sedimento, Água e dos Animais	34
3.2 Quantificação dos Microplásticos no Sedimento, Água e nos Tecidos dos Animais.....	40
3.3 Controle de Qualidade.....	42
3.4 Análises Estatísticas	42
4. Resultados	42
4.1 Concentração de Microplásticos no Sedimento, Água e Tecidos dos Animais ...	42
4.2 Perfil dos Microplásticos Presentes no Sedimento, Água e Corpo dos animais...	46
5. Discussão	48
6. Conclusão.....	54
7. Referências Bibliográficas	54
Capítulo 2: Os Efeitos do Microplástico na Fisiologia do Caranguejo <i>G. cruentata</i>	71

1. Resumo	72
2. Introdução	73
3. Materiais e Métodos.....	76
3.1 Coleta dos Animais	76
3.2 Avaliação Fisiológica dos Animais Expostos ao Microplástico em Laboratório.....	76
3.3 Consumo de oxigênio, Excreção de Amônia e Relação O/N.....	77
3.3.1 Índice Hepatosomático (IHS)	78
3.3.2 Osmolalidade da Hemolinfa.....	78
3.4 Análises Estatísticas	78
4. Resultados	79
4.1. Avaliação Fisiológica dos Animais Recém Coletados	79
4.2. Avaliação dos Efeitos da Exposição do Microplástico na Fisiologia de <i>G.</i> <i>cruentata</i>	79
5. Discussão	82
6. Conclusão.....	87
7. Referências Bibliográficas	88

1. INTRODUÇÃO GERAL

A poluição por plástico se tornou uma preocupação mundial, estima-se que 251 milhões de toneladas de plástico são produzidas anualmente e 52 milhões de toneladas são descartados irregularmente, enquanto o Brasil é responsável por descartar de um a dois milhões de toneladas de macroplásticos anualmente no ambiente (Bidashimwa et al., 2023; Cottom et al., 2024). Por ser um material barato, maleável e com muitas aplicações, há um grande interesse em seus produtos (Koelmans et al., 2019).

Cerca de 80 por cento dos plásticos nos oceanos vem de fontes terrestres e através de rios, enquanto cerca de 20 por cento são de fontes marinhas, como atividades pesqueiras (Ritchie & Roser., 2022; Jambeck et al., 2015) e através de correntes oceânicas são distribuídos mundialmente (Jung et al., 2022). Os plásticos são compostos de polímeros que podem ser flutuantes e permanecerem na coluna de água ou terem uma densidade superior à da água do mar, afundarem e acumularem no sedimento (Gimiliani et al., 2020; Van Cauwenberghe et al., 2015).

No meio ambiente, os plásticos podem sofrer fragmentação devido a vários fatores, incluindo degradação oxidativa, altas temperaturas, radiação da luz solar, umidade e abrasão (Andrady, 2011; Andrady, 2017; Sun et al., 2022; Zhang et al., 2024). A indústria também produz pequenas partículas de plásticos que são usadas em muitos produtos cosméticos (Cubas et al., 2022; Patil et al., 2024). Nas praias, o acúmulo desses resíduos é afetado por fatores como urbanização, utilização da costa e correntes oceânicas (Zhang, 2017). O termo microplástico foi criado por Thompson et al. (2004) e em 2009 Arthur et al., delimitaram um limite de tamanho para partículas menores que 5 mm (Frias et al., 2019). Atualmente reconhecemos os microplásticos como partículas que possuem tamanhos 5 mm a 1 μ m (Wang et al., 2018; Valencia-Castañeda et al., 2022) e nanoplásticos (NPs) menores que 1 μ m (Ramkumar et al., 2022), e se originam de

diferentes tipos de polímeros plásticos ou através de pellets de resina plástica (Sharma et al., 2024)

Microplásticos acumulam-se nos sedimentos e então tornam-se uma ameaça para muitas espécies bentônicas, pelágicas e demersais (Thompson et al., 2004; Farrel & Nelson, 2013; Daniel et al., 2021). Eles podem entrar em contato com os animais principalmente via brânquias, superfícies corporais e pela ingestão (Kushwaha et al., 2024). A ingestão pode ser direta, quando o animal ingere o próprio microplástico ou indireta, quando se alimentam de outros animais contaminados (Farrel & Nelson, 2013; Markic et al., 2018). Microplásticos e, principalmente, nanoplásticos, podem ser absorvidos pelo epitélio intestinal dos animais e chegar à corrente sanguínea e se espalhar para vários órgãos (Browne et al., 2008; Brennecke et. al., 2015; Di Dong et al., 2020; Yin et al., 2022). Microplásticos já foram encontrados em quase todos os tipos de tecidos e órgãos, um estudo de Crooks et al., (2019), os autores observaram translocação de partículas de microplásticos acumulados no estômago do caranguejo *Necora puber* para as brânquias, testículos e cérebro dos animais. Essas partículas possuem a capacidade de bioacumular, que é a capacidade de absorção de um contaminante do ambiente de qualquer fonte (Capparelli et. al., 2022; Truchet et al., 2023; Ghosh, 2024) e biomagnificar, que é a capacidade de um contaminante aumentar no organismo quando comparado com os de suas presas (Bhatt & Chauhan, 2023). Já foi descrito que microplásticos bioacumulam em tecidos de crustáceos, podem causar danos histopatológicos, afetar o sistema imunológico, metabolismo e causando estresse oxidativo (Zhang et al., 2022; Niemcharoen et al., 2022) Capparelli et al., (2025) observou que caranguejos de áreas naturais exibiram maior bioacumulação do que aqueles de ambientes restaurados e degradados. A biomagnificação foi observada em algumas espécies, como em pinguins de Galápagos (*Spheniscus mendiculus*), que continham

maiores quantidades de microplásticos em relação a sua presa e entre mexilhões *Mytilus edulis* e caranguejos *Carcinus maenas* (Farrell & Nelson, 2013).

Os microplásticos podem ter efeitos negativos para muitas espécies, incluindo mudanças estruturais e funcionais, alterações no crescimento, estresse oxidativo, perdas energéticas, alterações em ácidos graxos, atividades enzimáticas, metabólicas (Cole et al., 2015; Chae et al., 2019; Jaikumar et al., 2021; Kudla et al., 2024; Uguen et al., 2024). Em invertebrados como copépodes *Calanus helgolandicus* houve uma redução na alimentação, causou déficit energético e reprodutivo (Cole et al., 2015), em *Penaeus vannamei* causou redução do conteúdo proteico e lipídico e danos no intestino (Chae et al., 2019). Em vertebrados como anfíbios da espécie *Xenopus laevis* microplásticos afetaram o crescimento e desenvolvimentos dos animais (Ruthsatz et al., 2023), causou alterações comportamentais em peixes como *Pomatoschistus microps* (Cunningham et al., 2021), alterações fisiológicas no peixe *Danio rerio* (Mitchell et al., 2020).

Vários táxons estão sendo estudados a fim de termos uma melhor compreensão do papel dos microplásticos na biologia dos animais aquáticos. Nesse sentido, os crustáceos são bons modelos devido a sua ampla distribuição e ocupação dos mais diversos ambientes, importância ecológica, elevado valor econômico para a pesca e aquicultura e sensibilidade à toxicidade (Boenish et al., 2022; Zhang et al., 2023). Além disso, visto que o comportamento e o hábito alimentar desempenham um papel importante na quantidade de microplásticos ingeridos, os crustáceos são excelentes modelos porque na cadeia trófica podem ser herbívoros, onívoros, detritívoros, carnívoros, saprófagos (Erickson et al., 2008; Buck et al., 2003, Spadaro & Butler, 2021; Nordhaus et al., 2006; Rodríguez-Viera, et al., 2016; Zhang et al., 2023).

No Brasil estima-se que existam cerca de 117 espécies de crustáceos decápodes (Melo, 2003) e muitas dessas espécies habitam os manguezais, uma área de transição

entre a terra e o mar, importante para o crescimento de muitas espécies e para a troca de genes entre os ecossistemas terrestre e aquáticos (MMA, 2010). Os manguezais são ecossistemas vulneráveis e estão entre os ambientes mais devastados pela ação humana e têm sido historicamente locais favorecidos para descarte de esgoto (Kathiresan & Bingham, 2001). Além disso, possui vegetação densa com raízes pneumatóforas e auxiliares que por diminuírem a turbulência das ondas, acumulam objetos como os plásticos oriundos do oceano e rios (Horstman et al., 2014; Huang et al., 2020).

O litoral do Estado de São Paulo possui cerca de 662 km de extensão, abrangendo 15 municípios. A Baixada Santista está localizada no litoral central de São Paulo, é uma área densamente urbanizada e com grande importância econômica, onde se encontra o maior porto da América Latina, o Porto Organizado de Santos (Harari & Camargo, 2003) (Figura 1).





Figura 1. Vista aérea do Porto de Santos e região do Portinho. Fonte: Autoridade Portuária de Santos, 2024.

Disponível em: <https://www.portodesantos.com.br>

Os manguezais da Baixada Santista apresentam alta degradação, as principais fontes de contaminantes são devidos a alta industrialização, atividades portuárias e esgoto urbano sem tratamento (Abessa, 2002). Ribeiro et al., (2023) mostrou que ostras e mexilhões do sistema estuarino de Santos possuem uma das maiores quantidade de microplásticos do mundo, ostras da espécie *Crassostrea brasiliana* e mexilhões da espécie *Perna perna* coletados no Porto de Santos possuem uma das mais elevadas concentrações de microplásticos do planeta, cerca de $44 \text{ MPs} \cdot \text{g}^{-1}$.

G. cruentata é um caranguejo semi-terrestre, conhecido popularmente como maria-mulata ou aratu- vermelho, possui valor econômico e habita manguezais desde os Estados Unidos até o Brasil. A espécie é onívora, se alimentando principalmente de outros crustáceos mortos, inclusive de caranguejos violinistas (Moura & Coelho, 2004; Melo, 1996; Silva, 2007). *A. pisonii* é um caranguejo arborícola que ocorre desde a Flórida até

o Brasil e é encontrado em uma ampla variedade de habitats, como foz de rios, estuários, lagoas hipersalinas e associado a várias espécies de mangues (Conde et al., 2000). Trata-se de uma espécie que se alimenta de folhas escalando árvores até o topo (Hartnoll, 1965; Warner, 1967). Por último, *M. rapax* é uma das espécies de caranguejos violinistas mais abundantes dos manguezais brasileiros (Castiglioni & Negreiro Fransozo, 2006). É uma espécie estuarina que constrói tocas e está em contato direto com o sedimento contaminado, interagindo com as condições físicas e químicas do habitat (Capparelli et al., 2019; Crane, 1967). Sua atividade de escavação e construção de pellets, acaba sendo uma das vias de incorporação do microplásticos depositados nos sedimentos, (Capparelli et al., 2022).

A



B



C



Figura 2. Espécies coletadas no Portinho em Praia Grande, SP. A: *Goniopsis cruentata*; B: *Aratus pisonii* e C: *Minuca rapax*

Diante do exposto acima, o objetivo deste trabalho foi quantificar microplásticos em tecidos (brânquias, músculos, hepatopâncreas e trato digestório) de três espécies de caranguejos (*Goniopsis cruentata*, *Aratus pisonii* e *Minuca rapax*) que possuem hábitos ecológicos diferentes e que habitam um mesmo manguezal impactado da Baixada Santista. Nossa hipótese era que os hábitos ecológicos diferentes entre as espécies, influenciariam a concentração de microplásticos em seus tecidos. Além disso, nós avaliamos em laboratório vários parâmetros fisiológicos de *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803), expostos a microplásticos, a fim de verificar os efeitos desse poluente em sua fisiologia, com a hipótese de que microplásticos causariam danos na fisiologia da *G. cruentata*.

1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Ghais, S. M. (2013). Acetylcholinesterase, glutathione and hepatosomatic index as potential biomarkers of sewage pollution and depuration in fish. *Marine pollution bulletin*, 74(1), 183-186.
- Borges, E. P., Machado, L. P., Louzã, A. C., Ramaglia, A. C., Santos, M. R., & Augusto, A. (2024). Physiological effects of feeding whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*) with the fresh macroalgae *Chaetomorpha clavata*. *Aquaculture Reports*, 37, 102222.
- Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., & Thompson, R. C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental science & technology*, 42(13), 5026-5031.
- Capparelli, M. V., Martínez-Colón, M., Lucas-Solis, O., Valencia-Castañeda, G., Celis-Hernández, O., Ávila, E., & Moulatlet, G. M. (2022). Can the bioturbation activity of the fiddler crab *Minuca rapax* modify the distribution of microplastics in sediments?. *Marine Pollution Bulletin*, 180, 113798.
- Capparelli, M. V., Ramírez, C. A., Rodríguez-Santiago, M. A., Valencia-Castañeda, G., Ávila, E., & Moulatlet, G. M. (2023). Effect of salinity on microplastic accumulation and osmoregulatory toxicity in the fiddler crab *Minuca rapax*. *Marine Pollution Bulletin*, 193, 115260.
- Carneiro, L. M., Silva, D. J. D., Reis, L. C. D., Oliveira, D. A. D., Maciel, L. D. C., Garcia, K. S. & Queiroz, A. F. D. S. (2018). Distribuição de elementos traço em tecidos de *Goniopsis cruentata* (LATREILLE, 1803) capturados nos manguezais do sul da bahia-brasil e avaliação do potencial de risco no consumo. *Química Nova*, 41(9), 959-968.

- Chae, Y., Kim, D., Choi, M. J., Cho, Y., & An, Y. J. (2019). Impact of nano-sized plastic on the nutritional value and gut microbiota of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* via dietary exposure. *Environment international*, 130, 104848.
- Chen, L., Yu, F., Shi, H., Wang, Q., Xue, Y., Xue, C. & Li, Z. (2022). Effect of salinity stress on respiratory metabolism, glycolysis, lipolysis, and apoptosis in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) during depuration stage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(5), 2003-2011.
- Cobo, V. J., & Fransozo, A. (2003). External factors determining breeding season in the red mangrove crab *Goniopsis cruentata* (Latreille)(Crustacea, Brachyura, Grapsidae) on the São Paulo State northern coast, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 20, 213-217.
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2015). The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental science & technology*, 49(2), 1130-1137.
- Costa, R. G., Bah, H. A., Bandeira, M. J., Oliveira, S. S., & Menezes-Filho, J. A. (2017). Lead and cadmium in mangrove root crab (*Goniopsis cruentata*), in natura and at food processing stages. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 10(3), 216- 221.
- Cunningham, E. M., Mundy, A., Kregting, L., Dick, J. T., Crump, A., Riddell, G., & Arnott, G. (2021). Animal contests and microplastics: evidence of disrupted behaviour in hermit crabs *Pagurus bernhardus*. *Royal Society Open Science*, 8(10), 211089.

- da Costa, J. R., Capparelli, M. V., Padilha, P. M., Borges, E., Ramaglia, A. C., Dos Santos, M. R., & Augusto, A. (2024). Chronic Cadmium Exposure can Alter Energy Allocation to Physiological Functions in the Shrimp *Penaeus vannamei*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 87(1), 58-68.
- Daniel, D. B., Ashraf, P. M., Thomas, S. N., & Thomson, K. T. (2021). Microplastics in the edible tissues of shellfishes sold for human consumption. *Chemosphere*, 264, 128554.
- D'Costa, A. H. (2022). Microplastics in decapod crustaceans: Accumulation, toxicity and impacts, a review. *Science of the total environment*, 832, 154963.
- De Andrade, I. M., Ferreira, J. R. D. C., Ramaglia, A. C., & Augusto, A. (2022). Interaction between reduced pH and multiple stressors affects the physiology of the fiddler crab *Leptuca thayeri* (Rathbun, 1900) (Decapoda: Brachyura: Ocypodidae). *Journal of Crustacean Biology*, 42(4), ruac050.
- De Felice, B., Sabatini, V., Antenucci, S., Gattoni, G., Santo, N., Bacchetta, R. & Parolini, M. (2019). Polystyrene microplastics ingestion induced behavioral effects to the cladoceran *Daphnia magna*. *Chemosphere*, 231, 423-431.
- de Lima-Gomes, R. C., Cobo, V. J., & Fransozo, A. (2011). Feeding behaviour and ecosystem role of the red mangrove crab *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803)(Decapoda, Grapsoidea) in a subtropical estuary on the Brazilian coast. *Crustaceana*, 84(5-6), 735-747.
- de Melo, G. A. S. (2003). *Manual de identificação dos Crustacea Decapoda de água doce do Brasil*. Edições Loyola.

- de Menezes, D., Pereira, A., Le itão Câmara de Araújo, M., & dos Santos Calado, T. C. (2012). Bioecologia de *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803)(Decapoda, Grapsidae) do complexo estuarino-lagunar mundaú/manguaba, alagoas, BRASIL. *Natural Resources (1984-5901)*, 2(2).
- Deng, H., He, J., Feng, D., Zhao, Y., Sun, W., Yu, H., & Ge, C. (2021). Microplastics pollution in mangrove ecosystems: a critical review of current knowledge and future directions. *Science of the Total Environment*, 753, 142041.
- Farrell, P., & Nelson, K. (2013). Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environmental pollution*, 177, 1-3.
- Fazhan, H., Waiho, K., Glenner, H., Moh, J. H. Z., Hassan, M., & Ikhwanuddin, M. (2020). Gonadal degeneration and hepatopancreas alteration in orange mud crab *Scylla olivacea* infected with *Sacculina beauforti* (Crustacea; Rhizocephala; Sacculinidae). *Frontiers in Marine Science*, 7, 534443.
- Ferreira, A. C., Ganade, G., Morais Freire, F. A., & Attayde, J. L. (2013). Propagule predation in a Neotropical mangrove: the role of the Grapsid crab *Goniopsis cruentata*. *Hydrobiologia*, 707, 135-146.
- Gardon, T., Morvan, L., Huvet, A., Quillien, V., Soye, C., Le Moullac, G., & Le Luyer, J. (2020). Microplastics induce dose-specific transcriptomic disruptions in energy metabolism and immunity of the pearl oyster *Pinctada margaritifera*. *Environmental Pollution*, 266, 115180.
- Greenaway, P., & Nakamura, T. (1991). Nitrogenous excretion in two terrestrial crabs (*Gecarcoidea natalis* and *Geograpsus grayi*). *Physiological zoology*, 64(3), 767-786.

- Han, Y., Shi, W., Tang, Y., Zhou, W., Sun, H., Zhang, J., ... & Liu, G. (2022). Microplastics and bisphenol A hamper gonadal development of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by interfering with metabolism and disrupting hormone regulation. *Science of the total environment*, 810, 152354.
- He, Y.; Liu, X.; Zhang, N.; Wang, S.; Wang, A.; Zuo, R.; Jiang, Y. 2022. Replacement of commercial feed with fresh black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Nutrition*. <https://doi.org/10.1155/2022/9130400>
- Hsieh, S. L., Wu, Y. C., Xu, R. Q., Chen, Y. T., Chen, C. W., Singhania, R. R., & Dong, C. D. (2021). Effect of polyethylene microplastics on oxidative stress and histopathology damages in *Litopenaeus vannamei*. *Environmental pollution*, 288, 117800.
- International Union for Conservation of Nature. (2024). *Marine plastic pollution: Issues brief*. <https://www.iucn.org/resources/issues-brief/plastic-pollution>
- Isinibilir, M., Svetlichny, L., Mykitchak, T., Türkeri, E. E., Eryalçın, K. M., Doğan, O. & Kideys, A. E. (2020). Microplastic consumption and its effect on respiration rate and motility of *Calanus helgolandicus* from the Marmara Sea. *Frontiers in Marine Science*, 7, 603321.
- Jaikumar, I. M., Periyakali, S. B., Rajendran, U., Joen-Rong, S., Thanasekaran, J., & Tsorng-Harn, F. (2021). Effects of microplastics, polystyrene, and polyethylene on antioxidants, metabolic enzymes, HSP-70, and myostatin expressions in the giant river prawn *Macrobrachium rosenbergii*: impact on survival and growth. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 80, 645-658.

Kathiresan, K., & Bingham, B. L. (2001). Biology of mangroves and mangrove ecosystems.

Koroleff F (1976) Determination of nutrients. Methods of seawater analysis. Verlag Chemie Weinheim 1–3

Kudla, Y.M., Ijzerman, M.M., Bennett, C.J., Gillis, P.L., Kidd, K.A. and Prosser, R.S., (2024). Quantifying Effects and Ingestion of Several Pristine Microplastics in Two Early Life Stages of Freshwater Mussels. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 43, n. 12, p. 2557-2568.

Lamichhane, S., Khanal, M., & Labh, S. N. (2020). Effect of Dietary Aloe vera Extract on Survival, Growth and Hepato-Somatic Index (HSI) Of Common Carp *Cyprinus Carpio* (Linnaeus, 1758). *Jr Aqua Mar Bio Eco: JAMBE-104. Abstract Aquaculture practices in Nepal are mainly semi-intensive carp polyculture with an average production of, 4, 1-72.*

Louzã, A. C., Camargo, T. R., Rodrigues, C. G., Borges, E. P., Ramaglia, A. C., & Augusto, A. (2024). Inclusion of protein hydrolysate extracted from bycatch in the diet of the Malaysian giant prawn: effects on physiology. *Boletim do Instituto de Pesca*, 50.

Lu, Y., Zhang, Y., Deng, Y., Jiang, W., Zhao, Y., Geng, J., ... & Ren, H. (2016). Uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebrafish (*Danio rerio*) and toxic effects in liver. *Environmental science & technology*, 50(7), 4054-4060.

Lv, H., Park, J., Lim, H. K., Abraham, I. J., Yin, X., Gao, Y., & Hur, J. (2024). Impacts of polyhydroxybutyrate (PHB) microplastic exposure on physiology and metabolic profiles of *Litopenaeus vannamei*. *Science of The Total Environment*, 951, 175588.

- Maiti, S. K., & Chowdhury, A. (2013). Effects of anthropogenic pollution on mangrove biodiversity: a review. *Journal of Environmental Protection*, 2013.
- Markic, A., Niemand, C., Bridson, J. H., Mazouni-Gaertner, N., Gaertner, J. C., Eriksen, M., & Bowen, M. (2018). Double trouble in the South Pacific subtropical gyre: Increased plastic ingestion by fish in the oceanic accumulation zone. *Marine Pollution Bulletin*, 136, 547-564.
- Marshall Adams, S., & Ryon, M. G. (1994). A comparison of health assessment approaches for evaluating the effects of contaminant-related stress on fish populations. *Journal of Aquatic Ecosystem Health*, 3, 15-25.
- Mayzaud, R.J. Conover O:N ratio as a tool to describe zooplankton metabolism. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 45 (1988), pp. 289-302.
- McNamara, J. C., & Faria, S. C. (2012). Evolution of osmoregulatory patterns and gill ion transport mechanisms in the decapod Crustacea: a review. *Journal of Comparative Physiology B*, 182, 997-1014.
- McNamara, J. C., Freire, C. A., Torres Jr, A. H., & Faria, S. C. (2015). The conquest of fresh water by the palaemonid shrimps: an evolutionary history scripted in the osmoregulatory epithelia of the gills and antennal glands. *Biological Journal of the Linnean Society*, 114(3), 673-688.
- Melo, G. A. S. (1996). Manual de identificacao dos brachyura (caranguejos e siris) do litoral brasileiro. São Paulo: Plêiade.
- MMA. Gerência de Biodiversidade Aquática e Recursos Pesqueiros. Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil. Brasília: MMA/SBF/GBA, 2010. 148 p.

Moura, N. F. O. D., & Coelho, P. A. (2004). Maturidade sexual fisiológica em *Goniopsis cruentata* (latreille) (Crustacea, Brachyura, Grapsidae) no estuário do Paripe, Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 21, 1011-1015.

Niemcharoen, S., Haetrakul, T., Palić, D., & Chansue, N. (2022). Microplastic-contaminated feed interferes with antioxidant enzyme and lysozyme gene expression of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) leading to hepatopancreas damage and increased mortality. *Animals*, 12(23), 3308.

O'Connor, J. D., & Gilbert, L. I. (1968). Aspects of lipid metabolism in crustaceans. *American Zoologist*, 8(3), 529-539.

Rajaram, V., Jannathulla, R., Ambasankar, K., & Dayal, J. S. (2022). Oxygen consumption in relation to nitrogen metabolism in Black tiger shrimp, *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798), fed fresh food and formulated feed. *Aquaculture Research*, 53(6), 2237-2248.

Ramaglia, A.C., de Castro, L.M., Augusto, A. 2018. Effects of ocean acidification and salinity variations on the physiology of osmoregulating and osmoconforming crustaceans. *Journal of Comparative Physiology B*, 188(5): 729-738. <https://doi.org/10.1007/s00360-018-1167-0>.

Ramaglia, A.C., Louzã, A. C., Leite, H.S., Borges, E.P., Rodrigues, J., Araujo, M., Augusto, A., (2023). *Os efeitos dos microplásticos na fisiologia de invertebrados mantidos em diferentes salinidades*, 99. Tese de Doutorado. Centro de Aquicultura da UNESP- CAUNESP. Jaboticabal, 2023.

Ruthsatz, K., Schwarz, A., Gomez-Mestre, I., Meyer, R., Domscheit, M., Bartels, F. & Engelkes, K. (2023). Life in plastic, it's not fantastic: sublethal effects of

polyethylene microplastics ingestion throughout amphibian metamorphosis. *Science of The Total Environment*, 885, 163779.

Sacristán, H. J., Mufari, J. R., Lorenzo, R. A., Boy, C. C., & Lovrich, G. A. (2020). Ontogenetic changes in energetic reserves, digestive enzymes, amino acid and energy content of *Lithodes santolla* (Anomura: Lithodidae): Baseline for culture. *PLoS One*, 15(5), e0232880.

Setälä, O., Norkko, J., & Lehtiniemi, M. (2016). Feeding type affects microplastic ingestion in a coastal invertebrate community. *Marine pollution bulletin*, 102(1), 95-101.

Shiry, N., Darvishi, P., Gholamhossieni, A., Pastorino, P., & Faggio, C. (2023). Exploring the combined interplays: effects of cypermethrin and microplastic exposure on the survival and antioxidant physiology of *Astacus leptodactylus*. *Journal of Contaminant Hydrology*, 259, 104257.

Silva, Z. D. S., & Oshiro, L. M. Y. (2002). Aspectos reprodutivos de *Goniopsis cruentata* (Latreille) (Crustacea, Brachyura, Grapsidae) na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 19, 907-914.

Singla, M., Díaz, J., Broto-Puig, F., & Borrós, S. (2020). Sorption and release process of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) from different composition microplastics in aqueous medium: Solubility parameter approach. *Environmental pollution*, v. 262, p.114377.

Smith, E. M., Bartosova, Z., Wagner, M., Jaspers, V. L., & Monclús, L. (2024). Exposure to microplastics affects fatty acid composition in the Japanese quail depending on sex and particle size. *Science of The Total Environment*, 912, 169019.

Souza, L. P. D. (2008). Maturidade sexual e relações morfométricas do caranguejo *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803) Crustacea: Brachyura: Grapsidae) do estuário do Rio Jaguaribe (Aracati-Ceará)

Thomas, C. R., & Blum, L. K. (2010). Importance of the fiddler crab *Uca pugnax* to salt marsh soil organic matter accumulation. *Marine Ecology Progress Series*, 414, 167-177.

Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic?. *Science*, 304(5672), 838-838.

Tseng, Y. C., & Hwang, P. P. (2008). Some insights into energy metabolism for osmoregulation in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 148(4), 419-429.

Uddin, S., Fowler, S.W. and Behbehani, M. (2020). An assessment of microplastic inputs into the aquatic environment from wastewater streams. *Marine Pollution Bulletin*, v. 160, p. 111538.

Uguen, M., Gaudron, S.M., Nicastro, K.R., Zardi, G.I., Spilmont, N., Henry, S. and Seuront, L.,(2024). The tolerance of a keystone ecosystem engineer to extreme heat stress is hampered by microplastic leachates. *Biology Letters*, v. 20, p. 20230457.

Erickson, A. A., Feller, I. C., Paul, V. J., Kwiatkowski, L. M., & Lee, W. (2008). Selection of an omnivorous diet by the mangrove tree crab *Aratus pisonii* in laboratory experiments. *Journal of Sea Research*, 59(1-2), 59-69.

Rodríguez-Viera, L., Perera, E., Martos-Sitcha, J. A., Perdomo-Morales, R., Casuso, A., Montero-Alejo, V. & Mancera, J. M. (2016). Molecular, biochemical, and dietary

regulation features of α -amylase in a carnivorous crustacean, the spiny lobster *Panulirus argus*. *PLoS One*, 11(7), e0158919.

Spadaro, A. J., & Butler, M. J. (2021). Herbivorous crabs reverse the seaweed dilemma on coral reefs. *Current Biology*, 31(4), 853-859.

Urbina, M. A., da Silva Montes, C., Schäfer, A., Castillo, N., Urzúa, Á., & Lagos, M. E. (2023). Slow and steady hurts the crab: Effects of chronic and acute microplastic exposures on a filter feeder crab. *Science of the Total Environment*, 857, 159135.

Varley, D. G., & Greenaway, P. (1994). Nitrogenous excretion in the terrestrial carnivorous crab *Geograpsus grayi*: site and mechanism of excretion. *Journal of Experimental Biology*, 190(1), 179-193.

Vianna, B.S., Miyai, C. A., Augusto, A., & Costa, T. M. (2020). Effects of temperature increase on the physiology and behavior of fiddler crabs. *Physiology & behavior*, 215, 112765.

Wang, S., Carter, C. G., Fitzgibbon, Q. P., & Smith, G. G. (2021). The use of stoichiometric bioenergetics to elucidate metabolic energy substrate use and specific dynamic action in cultured juvenile spiny lobsters (*Sagmariasus verreauxi*) of different nutritional status. *Aquaculture*, 532, 736021.

Wang, S., Carter, C. G., Fitzgibbon, Q. P., Codabaccus, B. M., & Smith, G. G. (2021). Effect of dietary protein on energy metabolism including protein synthesis in the spiny lobster *Sagmariasus verreauxi*. *Scientific Reports*, 11(1), 11814.

Wang, T., Hu, M., Xu, G., Shi, H., Leung, J. Y., & Wang, Y. (2021). Microplastic accumulation via trophic transfer: can a predatory crab counter the adverse effects of microplastics by body defence?. *Science of the Total Environment*, 754, 142099.

- Waqas, W., Yuan, Y., Ali, S., Zhang, M., Shafiq, M., Ali, W., ... & Ma, H. (2024). Toxic effects of heavy metals on crustaceans and associated health risks in humans: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 22(3), 1391-1411.
- Watts, A. J., Urbina, M. A., Goodhead, R., Moger, J., Lewis, C., & Galloway, T. S. (2016). Effect of microplastic on the gills of the shore crab *Carcinus maenas*. *Environmental science & technology*, 50(10), 5364-5369.
- Weihrauch, D., & Allen, G. J. (2018). Ammonia excretion in aquatic invertebrates: new insights and questions. *Journal of Experimental Biology*, 221(2), jeb169219.
- Winch, J. J., & Hodgson, A. N. (2007). The effect of temperature and salinity on oxygen consumption in the brachyuran crab *Cyclograpsus punctatus* (Crustacea: Decapoda: Grapsidae). *African Zoology*, 42(1), 118-123.
- Woods, M. N., Hong, T. J., Baughman, D., Andrews, G., Fields, D. M., & Matrai, P. A. (2020). Accumulation and effects of microplastic fibers in American lobster larvae (*Homarus americanus*). *Marine Pollution Bulletin*, 157, 111280.
- Wu, N. C., Rubin, A. M., & Seebacher, F. (2022). Endocrine disruption from plastic pollution and warming interact to increase the energetic cost of growth in a fish. *Proceedings of the Royal Society B*, 289(1967), 20212077.
- Yang, J., Liu, D., Jing, W., Dahms, H. U., & Wang, L. (2013). Effects of cadmium on lipid storage and metabolism in the freshwater crab *Sinopotamon henanense*. *PLoS One*, 8(10), e77569.
- Yu, K., Xu, H., Shi, C., Wang, C., Mu, C., Ye, Y. & Wu, Q. (2025). Overwintering temperature affects lipid and fatty acid metabolism in hepatopancreas and ovary of female mud crab *Scylla paramamosain*. *Aquaculture Reports*, 40, 102563.

- Yu, Y., Hu, L., Tian, D., Yu, Y., Lu, L., Zhang, J. & Liu, G. (2023). Toxicities of polystyrene microplastics (MPs) and hexabromocyclododecane (HBCD), alone or in combination, to the hepatopancreas of the whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Environmental Pollution*, 329, 121646.
- Zanders, I. P. (1978). Ionic regulation in the mangrove crab *Goniopsis cruentata*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 60(3), 293-302.
- Zanders, I. P., & Martelo, M. J. (1987). Contribution of Na/Na and Cl/Cl exchanges to sodium and chloride fluxes in the crab *Goniopsis cruentata*. *Journal of Comparative Physiology B*, 157, 599-606.
- Zhang, C., Li, F., & Xiang, J. (2014). Acute effects of cadmium and copper on survival, oxygen consumption, ammonia-N excretion, and metal accumulation in juvenile *Exopalaemon carinicauda*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 104, 209-214.
- Zhang, S., Wu, H., & Hou, J. (2023). Progress on the Effects of Microplastics on Aquatic Crustaceans: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(6), 5523.
- Zhou, Q., Tu, C., Fu, C., Li, Y., Zhang, H., Xiong, K. & Luo, Y. (2020). Characteristics and distribution of microplastics in the coastal mangrove sediments of China. *Science of the Total Environment*, 703, 1348.
- Zimmer, A. M., Jorge, M. B., Wood, C. M., Martins, C. M., & Bianchini, A. (2017). The effects of acute copper and ammonia challenges on ammonia and urea excretion by the blue crab *Callinectes sapidus*. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 72, 461-470.

CAPÍTULO 1

Quantificação de Microplástico em Espécies Simpátricas de Caranguejos de Manguezais com Hábitos Ecológicos Diferentes

1. RESUMO

Manguezais são ecossistemas que têm sofrido impactos ambientais em todo o mundo, principalmente por receberem poluentes provenientes do continente e do oceano. Dentre os vários poluentes destacamos os microplásticos que são emergentes e capazes de afetar a biologia dos animais em diferentes níveis da organização biológica, incluindo estrutura e função. Visto que os microplásticos bioacumulam e biomagnificam, características ecológicas como nível trófico e comportamento alimentar podem influenciar o contato dos animais com este poluente. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi quantificar os microplásticos presentes no sedimento, água e tecidos (músculo, brânquias, hepatopâncreas e trato digestório) de três espécies simpátricas de caranguejos com hábitos ecológicos diferentes (*Goniopsis cruentata*: semi terrestre, onívoro; *Minuca rapax*: bioturbadora e generalista e *Aratus pisonii*: arborícola e preferencialmente herbívoro). As espécies habitam um manguezal localizado na Baixada Santista, região urbanizada, altamente impactada por microplásticos e que abriga o maior porto da América Latina. As coletas foram realizadas no ano de 2023 e 2024 e os microplásticos presentes nas amostras foram quantificados por análise visual. Os resultados indicam que a concentração de microplásticos no sedimento (cerca de 13 MPs.g⁻¹) é 520 vezes maior que na água (cerca de 25 MPs.L⁻¹), mas que ambos os valores não são tão altos quanto em outras regiões do planeta. *Minuca rapax* (média de 175 ± 50 MPs.g⁻¹), *A. pisonii* (média de $120 \pm 71,5$ MPs.g⁻¹) possuem as maiores concentrações de microplásticos no corpo (brânquias, músculos, hepatopâncreas e trato digestório), superior até mesmo ao sedimento. De forma geral, apenas as brânquias de *M. rapax* apresentaram 2 vezes mais microplásticos que os demais tecidos analisados, possivelmente devido ao seu hábito bioturbador.

Concluimos que todas as espécies apresentaram elevados níveis de microplásticos em seus tecidos e que os hábitos ecológicos das espécies podem influenciar a concentração do microplástico em seus tecidos.

2. INTRODUÇÃO

A produção em massa de plástico começou em 1950 com cerca de 2 milhões de toneladas, mas segundo a IUCN (2024), mais de 460 milhões de toneladas são produzidas anualmente e estima-se que 20 milhões de toneladas métricas de lixo plástico vão parar no meio ambiente todos os anos. Alguns estudos estimaram que a anualmente pode chegar ao ambiente aquático um milhão e meio de tonelada de microplásticos (Jambeck et. al. 2015, Boucher, 2017), tornando este um poluente emergente de preocupação mundial.

O termo microplástico foi criado por Thompson et al. (2004) e em 2009 Arthur et al., delimitaram um limite de tamanho para partículas menores que 5 mm (Frias et al., 2019). Atualmente reconhecemos os microplásticos como partículas que possuem tamanhos 5 mm a 1 μ m (Wang et al., 2018; Valencia-Castañeda et al., 2022) e nanoplásticos (NPs) menores que 1 μ m (Ramkumar et al., 2022), e se originam de diferentes tipos de polímeros plásticos ou através de pellets de resina plástica (Sharma et al., 2024). Muitos estudos apontam que vários fatores podem influenciar a presença, formato e tipo de microplástico no ambiente, como textura do sedimento, pH do solo, regime de chuvas, entre outros (Maghsodian et. al., 2022).

Um dos ecossistemas mais poluídos por microplásticos são os manguezais (Mendes et al., 2023). Trata-se de um ecossistema de grande complexidade, integrando água doce, água do mar e zonas úmidas (Alongi, 2014; Giri, 2011; Liu et al., 2022). Manguezais fazem parte das zonas costeiras e abrangem 1.225.444 hectares no litoral brasileiro (Diegues, 2002), possuem plantas lenhosas capazes de viver em condições

ambientais adversas como altas temperaturas, altas salinidades e solos lamacentos. São ecossistemas vulneráveis e estão entre os ambientes mais devastados pela ação humana, incluindo descarte de esgoto (Kathiresan & Bingham, 2001). Suas características únicas, fazem com que esse ambiente seja considerado “sumidouro” de poluentes (Maiti & Chowdhury, 2013). O ecossistema de manguezal é considerado um tampão entre a terra e o mar, assim é esperado que a poluição nessas áreas venha de fontes diversificadas e complexas (Deng et al., 2021). Além disso, devido à grande densidade de sua vegetação, as raízes pneumatóforas e raízes auxiliares formam um “filtro” que diminui a turbulência das ondas (Horstman et al., 2014; Norris et al., 2017), o que resulta na retenção de objetos como os plásticos, oriundos dos oceanos e rios (Huang et al., 2020).

Os manguezais têm microplásticos espalhados por seus sedimentos, em quantidades maiores do que nas áreas ao redor, o que aumenta as chances de espécies estuarinas ingerirem essas partículas (Zhou et al., 2020; Deng et al., 2021; Mendes et al., 2023). Essas partículas podem se acumular no sedimento, estando disponíveis para muitas espécies bentônicas, pelágicas e demersais (Thompson et al., 2004; Farrel & Nelson, 2013; Daniel et al., 2021). A ingestão de microplásticos pode ser direta, quando o animal ingere o poluente diretamente da água ou sedimento, via cadeia trófica (Farrel & Nelson, 2013; Markic et al., 2018). Portanto, é esperado que na cadeia trófica os microplásticos estejam mais concentrados nas espécies onívoras e topo de cadeia (Cañón-Bastidas et al., 2025).

Gao & Zhang, (2024) observaram que à medida que a concentração de microplásticos no ambiente aumentava, a concentração de microplásticos aumentava nos principais consumidores. Peixes que ocupam níveis tróficos elevados tendem a acumular maiores concentrações de microplásticos em comparação com suas presas (Cañón-Bastidas et al., 2025). O comportamento e o hábito alimentar das espécies desempenham

um papel importante na interação dos animais com contaminantes presentes no ambiente, afetando significativamente a quantidade de microplásticos ingeridos (Setälä et al., 2016). Microplásticos e, principalmente, nanoplásticos, podem ser absorvidos pelo epitélio intestinal e chegar à corrente sanguínea de animais (Browne et al., 2008). Além disso, também podem ser absorvidos por meio de outras superfícies permeáveis do corpo, principalmente as brânquias (Cabanilles et al., 2022; de Paiva et al., 2024). Os efeitos dos microplásticos na biologia dos animais inclui mudanças estruturais e funcionais, alterações no crescimento, estresse oxidativo, perdas energéticas, alterações em ácidos graxos, atividades enzimáticas, metabólicas (Cole et al., 2015; Chae et al., 2019; Jaikumar et al., 2021; Kudla et al., 2024; Uguen et al., 2024).

Os crustáceos são bons modelos devido a sua ampla distribuição geográfica, sensibilidade à toxicidade e papel relevante na cadeia alimentar, sendo animais que se alimentam de sedimentos, vegetais e de outros animais, além de serem consumidos por outras espécies, inclusive humanos (Zhang et al., 2023).

As espécies modelos deste trabalho foram os caranguejos *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803), *Aratus pisonii* (H. Milne Edwards, 1837) e *Minuca rapax* (Smith, 1870). *G. cruentata* (Gapsidae), conhecido popularmente como maria-mulata ou aratu-vermelho, habita manguezais e é encontrado desde os Estados Unidos até o Brasil (Melo, 1996. Cobo & Fransozo, 2003). É um caranguejo semi-terrestre, que possui respiração aquática na maré alta e respiração aérea na maré baixa. Possui hábito onívoro, se alimentando principalmente de outros crustáceos mortos e menores como, por exemplo, os caranguejos violinistas (Moura & Coelho, 2004; Melo, 1996; Silva, 2007). *Aratus pisonii* que ocorre desde a Flórida até o Brasil e é encontrado em uma ampla variedade de habitats, como foz de rios, estuários, lagoas hipersalinas e associado aos mangues (Conde et al., 2000). Trata-se de uma espécie arborícola que se alimenta de folhas,

escalando árvores até o topo (Hartnoll, 1965; Warner, 1967), embora ocasionalmente possa ser visto se alimentando de detritos e outros animais. Finalmente, *Minuca rapax* é uma das espécies de caranguejos violinistas mais abundantes dos manguezais da costa brasileira (Castiglioni & Negreiro-Fransozo, 2006). Trata-se de uma espécie estuarina, que constrói tocas e está em contato direto com o sedimento contaminado, interagindo com as condições físicas e químicas do habitat (Capparelli et al., 2019; Crane, 1967). Por conta de sua atividade de escavação e construção de pellets, acaba ingerindo microplásticos que estão depositados nos sedimentos, (Capparelli et al., 2022).

Nossa hipótese é que o hábito ecológico influencia na concentração de microplástico no corpo dos animais, o caranguejo como a *G. cruentata*, com hábitos onívoros e sua posição superior na cadeia trófica, possuiriam maiores concentrações, assim como *M. rapax* que possui o hábito de revolver o sedimento, enquanto caranguejos com preferência alimentar herbívora e arborícolas como *A. pisonii* apresentarão menores concentrações do poluente. Portanto o objetivo deste trabalho foi avaliar a concentração de microplásticos no sedimento e na água de um manguezal da Baixada Santista, uma das regiões mais impactadas por este poluente no mundo (Ribeiro et al., 2023; Parra et al., 2025), e em tecidos (músculo, brânquias, hepatopâncreas e trato digestório) de três espécies de caranguejos que vivem no local e que possuem hábitos ecológicos diferentes. Pois a concentração de microplásticos podem ser influenciadas pelo nível trófico que a espécie se encontra (Kangas et al., 2023), estratégia alimentar (Fraissinet et al., 2024) ou até o tipo habitat que a espécie se encontra (Aguirre-Martínez et al., 2023)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Coleta de Sedimento, Água e dos Animais

Amostras de sedimento e água foram coletadas no Portinho, Parque Ézio Dall'Acqua em Praia Grande, SP, Brasil (23°59'11.0"S 46°24'11.7"W) todos os meses durante 1 ano (julho de 2023 a junho de 2024) para quantificar os microplásticos presentes no ambiente. O sedimento foi coletado com pá de ferro em diferentes pontos do manguezal, sendo 30 cm a profundidade média de coleta e colocados em recipientes de vidro. As amostras de água salobra (25S) foram coletadas em garrafas de vidro (1 litro), com 1 metro de profundidade. As coletas nunca foram realizadas em dias de chuva a fim de que este fator não influenciasse a concentração de microplásticos nas amostras (Forrest et al., 2022). Foram capturados 5 animais por mês de cada espécimes adultos dos caranguejos *G. cruentata* (cerca 30 g), *A. pisonii* (cerca de 3 g) e *M. rapax* (cerca de 2 g), no mesmo local e a captura foi feita por meio de busca ativa e com auxílio de puçás. Os animais foram transportados para o Laboratório de Aquicultura Sustentável do Instituto de Biociências, campus da UNESP, em São Vicente, SP, em caixas contendo água e/ou sedimento do local de coleta. Todos os animais coletados estavam no estágio de intermuda para evitar alterações na concentração de microplástico no corpo e exoesqueleto (Pichardo-Casales et al., 2024)

3.2 Quantificação dos Microplásticos no Sedimento, Água e Tecidos dos Animais

Os microplásticos presentes no sedimento foram quantificados de acordo com Gimiliani et. al. (2020). Amostras de 100 g foram pesadas e secas por 48 h a 60°C. Após completa secagem cada amostra foi dividida em triplicatas de 20g. Foi feito o peneiramento úmido das amostras em malhas de 1,0; 0,5 e 0,25 mm. O sedimento úmido retido na peneira foi transferido para placa de Petri, secos à 60 °C por 12 h e pesado

novamente. A contagem dos microplásticos foi realizada em microscópio (ZEISS Discovery V8, 20X).

A quantificação na água foi feita de acordo com Karlsson et al. (2017). As amostras foram mantidas em geladeira a 5°C até o momento das análises. Posteriormente, foram retiradas da geladeira e secas em estufa a 60°C. Após a completa secagem, foi adicionado 100 ml de água (Milli-Q) nas amostras, seguida por filtração a vácuo em filtros com poro de 45 µm (Sartorius stedim). Após secos foi feita a contagem visual dos microplásticos em microscópio (ZEISS Discovery V8, 20X).

A quantificação dos microplásticos nos tecidos foi feita de acordo com Li et al. (2015) e NOAA (Masura et al., 2015). Brânquias, músculo, hepatopâncreas e trato digestório (estômago e intestino) foram dissecados de 10 caranguejos das espécies *G. cruentata* (N = 10), *M. rapax* (N=10) e *A. pisonii* (N=10) logo após a coleta. A eutanásia dos animais foi feita sob gelo. Os tecidos foram pesados (BEL L303i) e transferidos para recipientes contendo peróxido de hidrogênio 35% na proporção de 40:1. Essa reação teve duração de sete dias em temperatura ambiente (25°C). Em seguida foi realizada filtração a vácuo (Primatec 121) utilizando filtros de celulose e nitrato, com poros de 45µm (Sartorius stedim).

Após a completa secagem dos sedimentos e dos filtros, os microplásticos foram contados em estereomicroscópio (ZEISS Discovery V8) com ampliação de 20X. Pinças e agulhas foram utilizadas como forma de buscarmos manualmente os microplásticos e separá-los de outras partículas. Os fragmentos foram manipulados para confirmar a composição das partículas plásticas seguindo a metodologia de Masura et al., (2015). Os padrões para a identificação dos microplásticos foram baseados na metodologia de Nor & Obbard, (2014) e Frias et al., (2019) e categorizados por cor e forma através da inspeção visual.

A concentração total de microplásticos no sedimento foi calculada dividindo-se o número total de microplásticos pelo peso da massa seca (antes da peneiração úmida) de sedimento. A concentração de microplásticos na água foi calculada dividindo o número de microplásticos pelo volume total de água e nos tecidos pelo peso úmido (antes da digestão química). As unidades de concentração de microplásticos são MPs.g^{-1} de sedimento, MPs.ml^{-1} de água e MPs.g^{-1} de tecido úmido.

3.3 Controle de Qualidade

Para evitar contaminação plástica durante a amostragem, processamento e análise, todos os materiais de laboratório foram lavados com água Milli-Q e foram feitas amostras em branco para determinar a contaminação atmosférica e dos reagentes. Se algum microplástico estivesse presente nas amostras em branco, foi subtraído das contagens totais de cada amostra.

3.4 Análises Estatísticas

As análises estatísticas foram feitas no programa SigmaStat 3.5. Para os tecidos e o tamanho dos microplásticos no peneiramento do sedimento foram feitas Anova de um fator seguido pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK), para total de microplásticos nos sedimentos e na água foram feitas análises descritivas. Os gráficos foram feitos no programa GraphPad Prism 5.

4. RESULTADOS

4.1 Concentração de Microplásticos no Sedimento, Água e Tecidos dos Animais

A concentração de microplásticos presentes no sedimento foi maior ($12,82 \text{ MPs.g}^{-1}$) que na água ($24,66 \text{ MPs.L}^{-1}$). Na tabela 1 é mostrada a concentração de microplásticos presentes no sedimento e retidos em cada malha após o peneiramento seco. A

concentração de microplásticos retidos na malha de 500 µm foi significativamente maior que microplásticos retidos nas malhas de 250 µm e <250 µm.

Tabela 1. Concentração de cada tamanho dos microplásticos (MPs.g⁻¹) no sedimento.

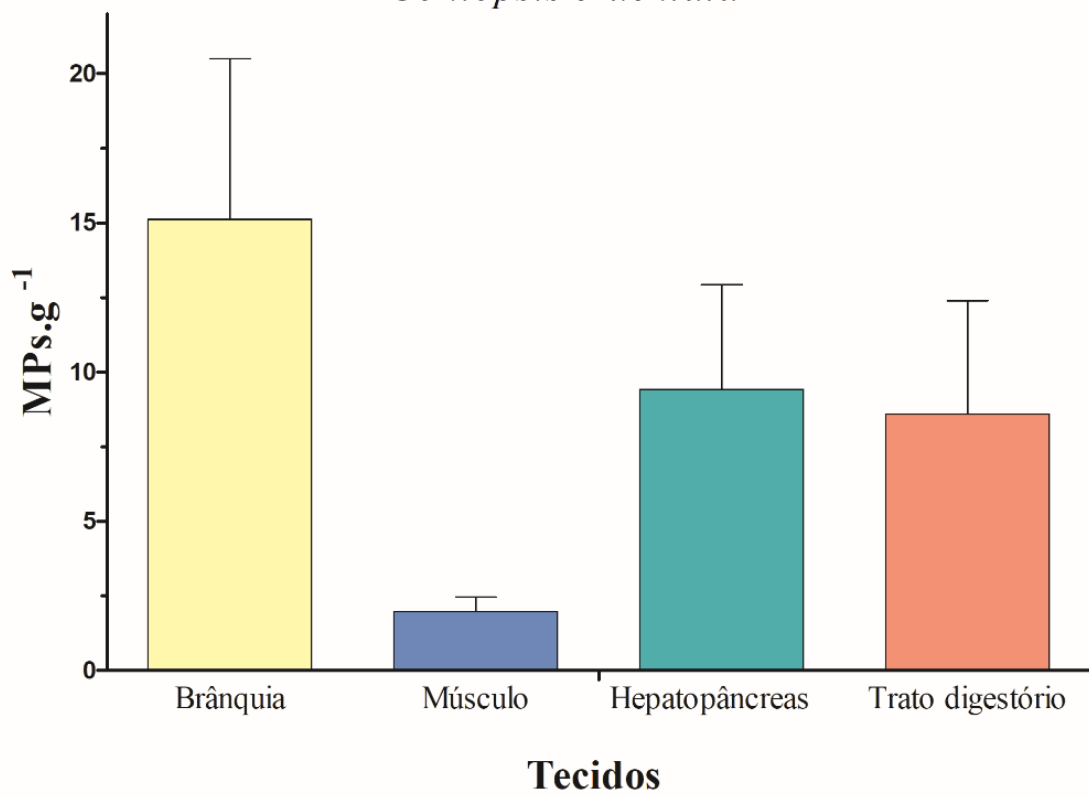
Malhas das peneiras de 500 µm, 250 µm e menores que 250 µm

Tamanhos	MPs.g ⁻¹
500 µm	24,97 6 ± 6,65 ^a
250 µm	11,503 ± 1,34 ^b
<250 µm	2,003 ± 0,38 ^b

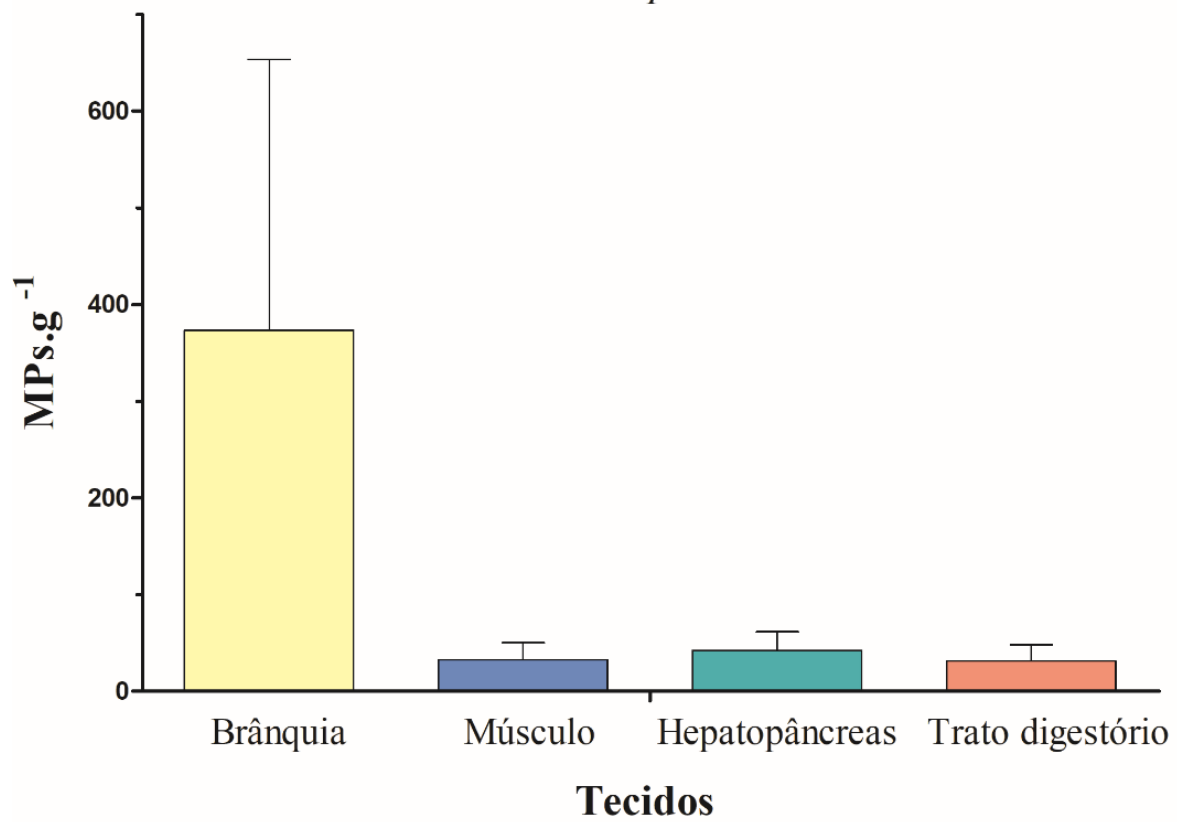
*Letras diferentes indicam diferenças estatísticas (P <0,05). Teste Anova de um fator seguido de Student-Newman-Keuls

A Figura 1 mostra a concentração de microplásticos nos diferentes tecidos de *G. cruentata*, *M. rapax* e *A. pisonii*. Em *G. cruentata* a concentração de microplásticos foi menor no tecido muscular ($2,0 \pm 0,5$ MPs.g⁻¹) em relação aos demais (cerca de 11 MPs.g⁻¹). No caranguejo *M. rapax* houve diferença significativa entre os tecidos, sendo a concentração de microplásticos nas brânquias MPs.g⁻¹ ($475,3 \pm 164,7$ MPs.g⁻¹) até 108% maior que nos demais. Em *A. pisonii* não houve diferença entre os tecidos, embora a concentração no tecido branquial ($373,6 \pm 280$ MPs.g⁻¹) apresentou valores maiores, mas provavelmente inviabilizada pelo elevado erro padrão (P=0,24).

A

Goniopsis cruentata

B

Aratus pisonii

C

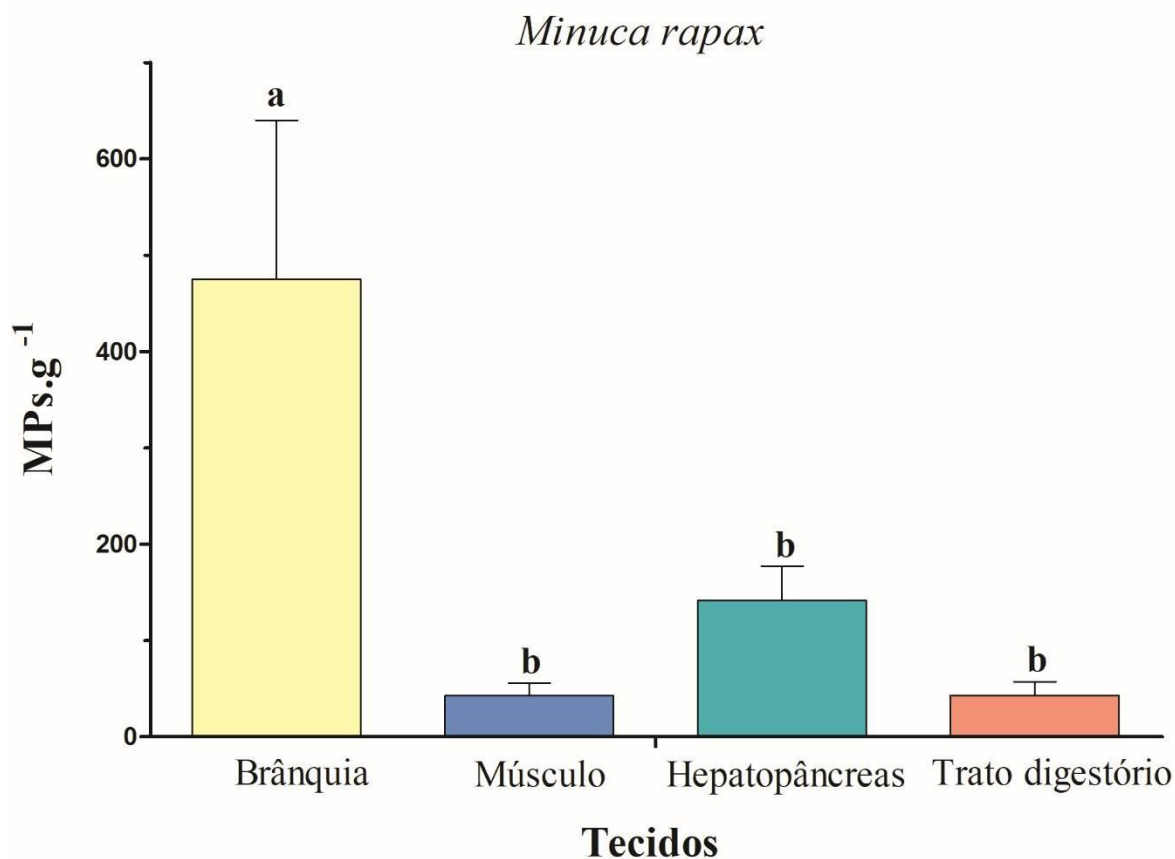


Figura 1. Concentração de microplásticos (MPs.g⁻¹) em diferentes tecidos dos caranguejos. A: *G. cruentata*, B: *A. pisonii* e C: *M. rapax*, coletados em um manguezal da cidade de Praia Grande, SP. (M ± EP). Letras diferentes indicam diferenças estatísticas (P < 0,05), teste Anova de um fator, seguido de Student-Newman-Keuls

Comparando-se a concentração total de microplásticos entre as três espécies, observamos que o caranguejo semi-terrestre *G. cruentata* a concentração de microplásticos em seus tecidos é 93% menor que os demais (Figura 2). Enquanto *G. cruentata* possui $8,7 \pm 2$ MPs.g⁻¹, *M. rapax* e *A. pisonii* possuem, respectivamente, e $175,7 \pm 49,6$ e 120 ± 2 MPs.g⁻¹.

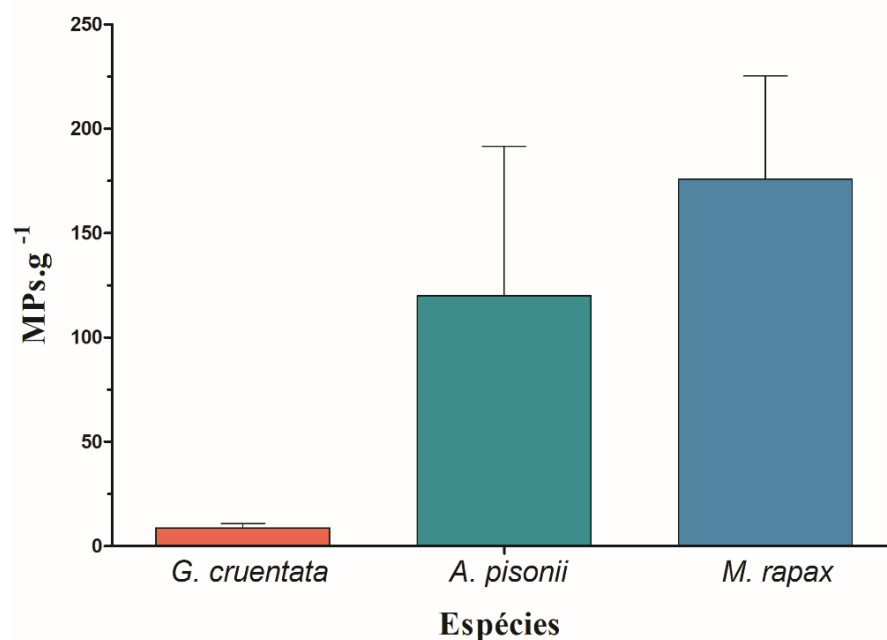


Figura 2. Concentração total (soma da concentração em cada tecido analisado) de MPs.g⁻¹ no corpo do caranguejo *G. cruentata*, *A. pisonii* e *M. rapax*, coletados em um manguezal da Praia Grande, SP. (M ± EP)

4.2 Perfil dos Microplásticos Presentes no Sedimento, Água e Corpo dos Animais

Na figura 3 são apresentados os resultados em porcentagem das cores e formatos dos microplásticos encontrados nas amostras analisadas (sedimento, água e tecidos). Os microplásticos transparentes foram predominantes (54%), assim como os microplásticos em forma de fibras (83%).

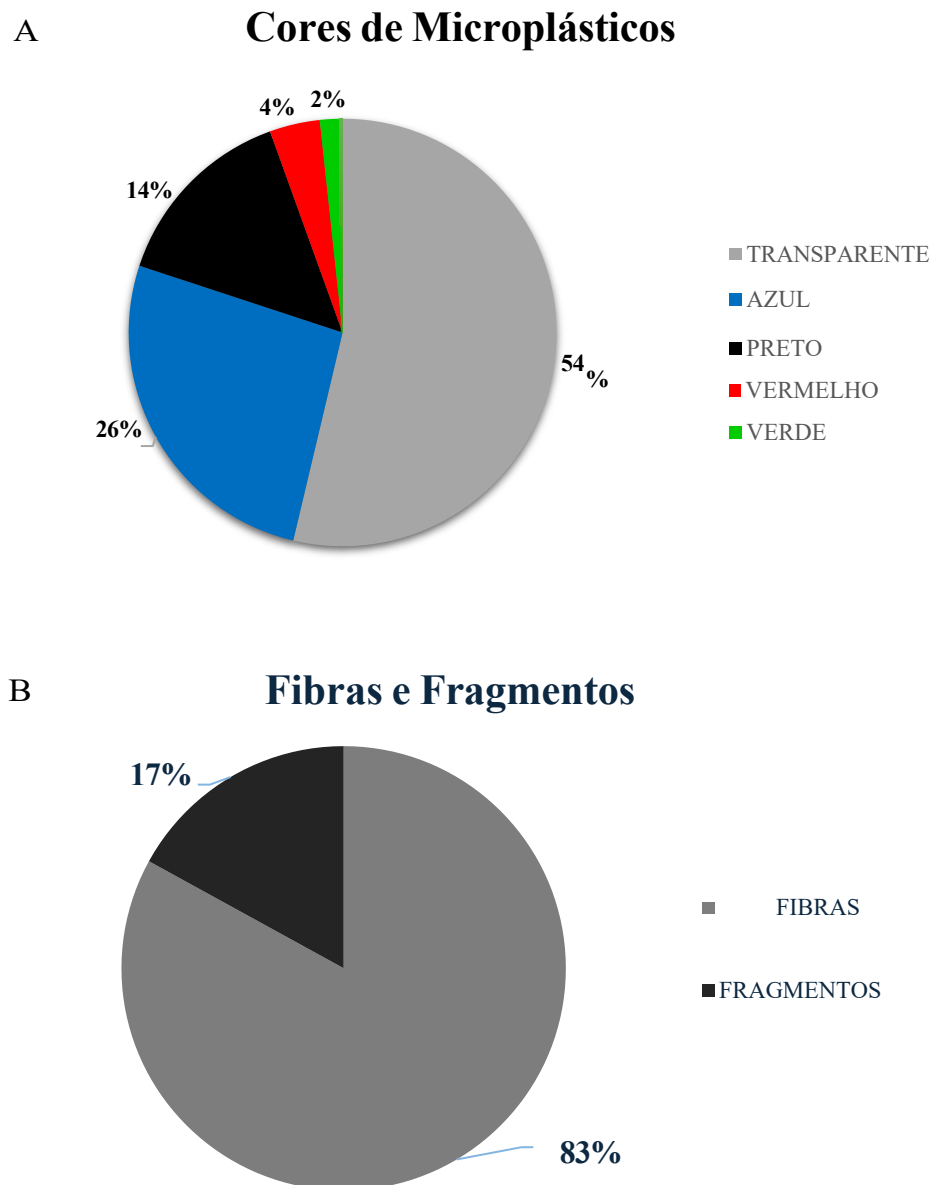


Figura 3. Características (Cores e formas) dos microplásticos encontrados entre as amostras (sedimento, água e tecidos dos animais). A: cores dos microplásticos encontrados nas três amostras analisadas, B: porcentagem de fibras e fragmentos encontrados nas três amostras analisadas. Os dados são dados em porcentagem (%).

5. DISCUSSÃO

Em nossa área de estudo, uma área de manguezal da Baixada Santista altamente impactada por microplásticos, a concentração de microplásticos no sedimento foi 520 vezes superior a encontrada na água. A maior parte dos microplásticos nos sedimentos foram encontrados com tamanho de 500 μm , apresentando uma diferença significativa em relação ao microplásticos encontrados na peneira de menor granulometria. Capparelli et al., (2022) também observou que a maioria dos microplásticos em amostras de sedimento de Laguna de Términos, no México eram relativamente grandes, sendo cerca de 32% maiores de 2 mm. Diversos fatores ambientais podem influenciar distribuição dos microplásticos nos ambientes marinhos e estuarinos, como precipitações, regime de marés, tipo de sedimento e o grau de urbanização da área (Fossi et.al., 2018; Silva et. al., 2016; Capparelli et al., 2022). Além disso, microplásticos se concentram mais no sedimento que na coluna de água devido às propriedades específicas do polímero, como densidade e tamanho (Capparelli et al., 2022; Martin et al., 2020), características do sedimento, tamanho dos grãos e conteúdo de matéria orgânica presente (Vermeiren et al., 2023). Martin et al., (2020) observou que no Mar Vermelho e no Golfo Pérsico que os microplásticos encontrados nos sedimentos datam de 1920, isso pode ser devido às atividades de animais escavadores, como caranguejos, que acabam transportando microplásticos para áreas mais fundas do sedimento.

Na área de manguezal estudada, a concentração de microplásticos no sedimento (média de 13 MPs.g⁻¹) e tecidos dos animais (média de 76 MPs.g⁻¹) foi maior que na água (média de 25 MPs.L⁻¹). Todas as espécies avaliadas possuíam microplásticos em seus tecidos, sendo que nos caranguejos arborícola (*A. pisonii*) e entre-marés (*M. rapax*) a concentração de microplásticos nos tecidos superou aquela do sedimento. No caranguejo semi-terrestre e onívoro *G. cruentata*, a concentração de microplásticos nos tecidos foi

semelhante ao sedimento, mas em comparação com as outras espécies, apresentou a menor concentração. Era esperado de *A. pisonii* possuir a menor concentração entre as espécies, devido ao seu hábito arborícola e preferência alimentar, mas os resultados demonstraram que essa espécie também possui elevada concentração do poluente em seus tecidos.

Pode ser notado na Tabela 2 que as concentrações de microplásticos variam muito em função do local de coleta sendo que nos locais datados neste trabalho, Laguna de Términos apresenta uma das maiores concentrações do poluente e Tamil Nadu na Índia uma das menores. As amostras estudadas no presente trabalho ocupam uma posição intermediária em relação aos locais apresentados na tabela, embora tenham sido coletadas de um manguezal localizado na Baixada Santista, local de elevada densidade demográfica, regiões sem saneamento adequado e local que abriga o maior porto da América Latina. O local de coleta das amostras é uma área de turismo e lazer, onde há pesca, esportes náuticos e passagem constante de barcos e por isso a poluição por plástico neste local pode ser proveniente também do uso dessa área para atividades recreativas.

Tabela 2. Concentração de microplásticos na água (Mps.L⁻¹), sedimento (MPs.g⁻¹) e corpo de animais (MPs.g⁻¹) de diferentes localidades.

Local	Água (MPs.L ⁻¹)	Sedimento (MPs.g ⁻¹)	Corpo dos Animais (MPs.g ⁻¹)	Referências
Praia Grande, Brasil	24,66	12,82	<i>Goniopsis cruentata</i> : 8,77 <i>Aratus pisonii</i> : 119,99 <i>Minuca rapax</i> : 175,7	Presente trabalho
Estuários de Santos, Brasil	N/A	N/A	<i>Crassostrea brasiliiana</i> : 44,1	Ribeiro et al., 2023
Estuários de Santos, Brasil	N/A	N/A	<i>Perna perna</i> :28,1	Ribeiro et al., 2023
Laguna de Términos, México	1,7	586,3	<i>Menippe mercenaria</i> : 120,0	Capparelli et al., 2022
Laguna de Términos, México	1,7	586,3	<i>Callinectes sapidus</i> : 53,0	Capparelli et al., 2022
Isipingo, África do Sul	50,6	143	N/A	Govender et al., 2020
Samut Prakan, Tailândia	14,0 a 35,0	3,0 a 10,0	<i>Episesarma mederi</i> : 6,4	Jittalerk & Babel, 2024

Local	Água (MPs.L ⁻¹)	Sedimento (MPs.g ⁻¹)	Corpo dos Animais (MPs.g ⁻¹)	Referências
Tamil Nadu, Índia	5,9	0,027	N/A	Gopinath et al., 2020
KwaZulu-Natal, África do Sul	N/A	N/A	<i>Dotilla fenestrata</i> : 12,10	Iwalaye et al., 2020
Liaohe, China	N/A	N/A	<i>Portunus trituberculatus</i> : 1,3 MPs/indivíduo	Wang et al., 2021

Mostramos que a concentração de microplásticos no corpo de *A. pisonii* (média de 120 MPs.g⁻¹) e *M. rapax* (média de 176 MPs.g⁻¹) é maior que em *G. cruentata* (média de 8 MPs.g⁻¹). A concentração de microplásticos nas duas primeiras espécies é superior até mesmo a quantificada no sedimento. Essa alta concentração de microplásticos em *M. rapax* pode ser explicada por serem animais bioturbadores, conhecidos como “ecoengenheiros”, que escavam e constroem tocas no sedimento, além de seu hábito alimentar detritívoro e generalista faz com que essa espécie esteja sempre em contato com sedimentos contaminados (Crane, 1967; Wang et al., 2010; Carvalho et al., 2018; Capparelli et al., 2019).

A espécie *A. pisonii* é um caranguejo com hábitos arborícolas, se alimentando principalmente de folhas de mangue, como *Rhizophora mangle*, mas eventualmente podem se alimentar de detritos ou outros animais (Hartnoll, 1965; Warner, 1967; Riley et al., 2014). Devido a esse hábito arborícola e a preferência por folhas, era esperado uma menor quantidade de microplásticos em seu corpo. No entanto, é possível que a dieta de *A. pisonii* esteja altamente contaminada por microplásticos. Fang et al., (2023) relatou que microplásticos (0,42 MPs.cm⁻²) eram onipresentes nas folhas de todas as três espécies de mangue analisadas.

A bioacumulação de microplásticos já foi mostrada em outras espécies como nos caranguejos *Menippe mercenária* (120 MPs.g⁻¹), *Callinectes sapidus* (53 MPs.g⁻¹) e *M. rapax* (1,3 MPs.g⁻¹), principalmente no tecido branquial (Brennecke et. al., 2015; Capparelli et. al., 2022). Devido às suas características anatômicas e por ser um dos primeiros órgãos a entrar em contato com os microplásticos, estes podem ficar retidos nas lamelas brânquias por longos períodos e bioacumular (Watts et. al., 2014; D’Costa, 2022). Pichardo-Casales (2024) observou que partículas de microplásticos com tamanhos menores foram menos retidas nas brânquias, mas acumulavam nos tecidos internos do

caranguejo *M. rapax*. Akhbarizadeh et. al., (2019), observaram que os microplásticos acumulam em menores quantidades nos músculos dos crustáceos como *Petrolisthes armatus*, *Penaeus indicus* e *Penaeus semisulcatus*, provavelmente porque os músculos são órgãos internos com pouco ou nenhum contato com o meio externo (Su et al., 2019; Abbasi et al., 2018). Ainda há poucos estudos sobre como ocorre a transferência dos microplásticos entre os órgãos, alguns indicam que podem ser translocados do sistema digestório ou das brânquias, como crustáceos possuem sistema circulatório aberto, essa característica aumenta a chance de microplásticos serem retidos nos outros tecidos (Brennecke et. al., 2015; Farrell & Nelson, 2013; Di Dong et al., 2020; Yin et al., 2022).

Microplásticos transparentes (54%%) e fibras (83%) predominarem dentre aqueles encontrados no sedimento, água e tecidos dos caranguejos. Outros trabalhos também obtiveram maiores porcentagens de microplásticos na cor transparente, como Firdaus et al. (2020) onde 43% dos microplásticos encontrados em um estuário de Jagir na Indonésia eram transparentes, seguido pela cor preta (21%) e azul (14%), assim como Capparelli et al. (2022), que observou em Laguna de Término, México, 56% de microplásticos transparentes na água e 92% no sedimento. , observou em sua revisão que a maioria dos trabalhos detectavam uma predominância de fibras transparentes em amostras de microplásticos Esse tipo de formato de microplástico é predominantemente encontrado nos ambientes até o momento (Browne et al., 2011; Willis et al., 2017; Capparelli et al., 2022; Drummond et al., 2022; Truchet et al. 2023), provavelmente devido ao uso de tecidos sintéticos, cordas, tráfego de embarcações e atividades pesqueiras.

6. CONCLUSÃO

Os microplásticos estão presentes na água, sedimento e em todos os tecidos avaliados das 3 espécies de caranguejos, sem encontrado predominantemente cores transparentes e o formato de fibras. O hábito alimentar das espécies parece ser uma importante influência na concentração de microplásticos no corpo dos animais, devido a elevada concentração do poluente em *A. pisonii* e *M. rapax*. Embora tal resposta fosse esperada em *M. rapax* por ser bioturbador, a elevada concentração em *A. pisonii* pode estar relacionada a dieta a base de mangue, que pode estar impregnada de microplásticos. De forma geral, o tecido branquial apresentou as maiores concentrações de microplástico quando comparado aos outros tecidos e o hábito ecológico parece influenciar as concentrações de microplásticos acumulados nos tecidos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre-Martínez, G., Carrizo, M. V., & Zenteno-Devaud, L. (2023). Microplastic Particles' Effects on Aquatic Organisms and Their Role as Transporters of Organic Pollutants. *Water*, 15(16), 2915.
- Al-Ghais, S. M. (2013). Acetylcholinesterase, glutathione and hepatosomatic index as potential biomarkers of sewage pollution and depuration in fish. *Marine pollution bulletin*, 74(1), 183-186.
- Aminah, I. S., Ikejima, K., & Vermeiren, P. (2023). Ingestion and translocation of microplastics in tissues of deposit-feeding crabs (Grapsoidea, Ocypodoidea) in Kochi estuary, Japan. *Marine Environmental Research*, 192, 106252.
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62(8), 1596-1605.

Andrady, A. L. (2017). The plastic in microplastics: A review. *Marine pollution bulletin*, 119(1), 12-22.

Browne, M. A., Crump, P., Niven, S. J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental science & technology*, 45(21), 9175-9179.

Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M. & Thompson, R. C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental science & technology*, 42(13), 5026-5031.

Cabanilles, P., Acle, S., Arias, A., Masiá, P., Ardura, A., & Garcia-Vazquez, E. (2022). Microplastics risk into a three-link food chain inside European hake. *Diversity*, 14(5), 308.

Cañón-Bastidas, J., Molina, A., & Duque, G. (2025). Impact of Microplastic Ingestion on Commercial Fish: A Trophic-Level Analysis. *International Journal of Environmental Research*, 19(4), 1-15.

Capparelli, M. V., Gómez-Ponce, M. A., Borges-Ramírez, M. M., Rendón-von Osten, J., Celis-Hernández, O., Briceño-Vera, A. E. & Moulatlet, G. M. (2022). Ecological traits influence the bioaccumulation of microplastics in commercially important estuarine crabs from the southeastern Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 183, 114088.

Capparelli, M. V., Martínez-Colón, M., Lucas-Solis, O., Valencia-Castañeda, G., Celis-Hernández, O., Ávila, E. & Moulatlet, G. M. (2022). Can the bioturbation activity of the fiddler crab *Minuca rapax* modify the distribution of microplastics in sediments?. *Marine Pollution Bulletin*, 180, 113798.

- Capparelli, M. V., Ramírez, C. A., Rodríguez-Santiago, M. A., Valencia-Castañeda, G., Ávila, E., & Moulatlet, G. M. (2023). Effect of salinity on microplastic accumulation and osmoregulatory toxicity in the fiddler crab *Minuca rapax*. *Marine Pollution Bulletin*, 193, 115260.
- Carneiro, L. M., Silva, D. J. D., Reis, L. C. D., Oliveira, D. A. D., Maciel, L. D. C., Garcia, K. S., & Queiroz, A. F. D. S. (2018). Distribuição de elementos traço em tecidos de *Goniopsis cruentata* (LATREILLE, 1803) capturados nos manguezais do sul da bahia-brasil e avaliação do potencial de risco no consumo. *Química Nova*, 41(9), 959-968.
- Carvalho, R. D., Pardo, J. C., & Costa, T. M. (2018). Construction and structure of the semidomes of the fiddler crab *Minuca rapax* (Brachyura: Ocypodidae) in southern Brazil. *Journal of Crustacean Biology*, 38(2), 241-244.
- Chae, Y., Kim, D., Choi, M. J., Cho, Y., & An, Y. J. (2019). Impact of nano-sized plastic on the nutritional value and gut microbiota of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* via dietary exposure. *Environment international*, 130, 104848.
- Chen, L., Yu, F., Shi, H., Wang, Q., Xue, Y., Xue, C. & Li, Z. (2022). Effect of salinity stress on respiratory metabolism, glycolysis, lipolysis, and apoptosis in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) during depuration stage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(5), 2003-2011.
- Cobo, V. J., & Fransozo, A. (2003). External factors determining breeding season in the red mangrove crab *Goniopsis cruentata* (Latreille) (Crustacea, Brachyura, Grapsidae) on the São Paulo State northern coast, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 20, 213-217.

- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2015). The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental science & technology*, 49(2), 1130-1137.
- Costa, R. G., Bah, H. A., Bandeira, M. J., Oliveira, S. S., & Menezes-Filho, J. A. (2017). Lead and cadmium in mangrove root crab (*Goniopsis cruentata*), in natura and at food processing stages. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 10(3), 216-221.
- Crooks, N., Parker, H., & Pernetta, A. P. (2019). Brain food? Trophic transfer and tissue retention of microplastics by the velvet swimming crab (*Necora puber*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 519, 151187.
- Cubas, A. L. V., Bianchet, R. T., Reis, I. M. A. S. D., & Gouveia, I. C. (2022). Plastics and microplastic in the cosmetic industry: aggregating sustainable actions aimed at alignment and interaction with UN sustainable development goals. *Polymers*, 14(21), 4576.
- Cunningham, E. M., Mundy, A., Kregting, L., Dick, J. T., Crump, A., Riddell, G., & Arnott, G. (2021). Animal contests and microplastics: evidence of disrupted Behaviour in hermit crabs *Pagurus bernhardus*. *Royal Society Open Science*, 8(10), 211089.
- da Costa, J. R., Capparelli, M. V., Padilha, P. M., Borges, E., Ramaglia, A. C., Dos Santos, M. R., & Augusto, A. (2024). Chronic Cadmium Exposure can Alter Energy Allocation to Physiological Functions in the Shrimp *Penaeus vannamei*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 87(1), 58-68.

- Daniel, D. B., Ashraf, P. M., Thomas, S. N., & Thomson, K. T. (2021). Microplastics in the edible tissues of shellfishes sold for human consumption. *Chemosphere*, 264, 128554.
- de Andrade, I. M., Ferreira, J. R. D. C., Ramaglia, A. C., & Augusto, A. (2022). Interaction between reduced pH and multiple stressors affects the physiology of the fiddler crab *Leptuca thayeri* (Rathbun, 1900) (Decapoda: Brachyura: Ocypodidae). *Journal of Crustacean Biology*, 42(4), ruac050.
- De Felice, B., Sabatini, V., Antenucci, S., Gattoni, G., Santo, N., Bacchetta, R., & Parolini, M. (2019). Polystyrene microplastics ingestion induced behavioral effects to the cladoceran *Daphnia magna*. *Chemosphere*, 231, 423-431.
- de Lima-Gomes, R. C., Cobo, V. J., & Fransozo, A. (2011). Feeding behaviour and ecosystem role of the red mangrove crab *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803) (Decapoda, Grapsoidea) in a subtropical estuary on the Brazilian coast. *Crustaceana*, 84(5-6), 735-747.
- de Menezes, D., Pereira, A., Leitão Câmara de Araújo, M., & dos Santos Calado, T. C. (2012). Bioecologia de *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803)(Decapoda, Grapsidae) do complexo estuarino-lagunar mundaú/manguaba, alagoas, BRASIL. *Natural Resources* (1984-5901), 2(2).
- de Paiva, F. C., da Silva Oliveira, J., Rani-Borges, B., Ando, R. A., & Smith, W. S. (2024). Evaluation of Microplastic Pollution in Gills of Freshwater Fish in a Neotropical Hydrographic Basin, Brazil. *Water, Air, & Soil Pollution*, 235(10), 677.
- Deng, H., He, J., Feng, D., Zhao, Y., Sun, W., Yu, H., & Ge, C. (2021). Microplastics pollution in mangrove ecosystems: a critical review of current knowledge and future directions. *Science of the Total Environment*, 753, 142041.

- Dong, C. D., Chen, C. W., Chen, Y. C., Chen, H. H., Lee, J. S., & Lin, C. H. (2020). Polystyrene microplastic particles: In vitro pulmonary toxicity assessment. *Journal of hazardous materials*, 385, 121575.
- Drummond, J. D., Schneidewind, U., Li, A., Hoellein, T. J., Krause, S., & Packman, A. I. (2022). Microplastic accumulation in riverbed sediment via hyporheic exchange from headwaters to mainstems. *Science Advances*, 8(2), eabi9305.
- Fang, C., Zheng, R., Hong, F., Chen, S., Chen, G., Zhang, M. & Bo, J. (2023). First evidence of meso-and microplastics on the mangrove leaves ingested by herbivorous snails and induced transcriptional responses. *Science of the Total Environment*, 865, 161240.
- Farrell, P., & Nelson, K. (2013). Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environmental pollution*, 177, 1-3.
- Fazhan, H., Waiho, K., Glenner, H., Moh, J. H. Z., Hassan, M., & Ikhwanuddin, M. (2020). Gonadal degeneration and hepatopancreas alteration in orange mud crab *Scylla olivacea* infected with *Sacculina beauforti* (Crustacea; Rhizocephala; Sacculinidae). *Frontiers in Marine Science*, 7, 534443.
- Ferreira, A. C., Ganade, G., Morais Freire, F. A., & Attayde, J. L. (2013). Propagule predation in a Neotropical mangrove: the role of the Grapsid crab *Goniopsis cruentata*. *Hydrobiologia*, 707, 135-146.
- Firdaus, M., Trihadiningrum, Y., & Lestari, P. (2020). Microplastic pollution in the sediment of Jagir estuary, Surabaya City, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110790.

- Fong, J., Kumar, A. S., Choy, Z. Y., Tan, Y. H., Gowidjaja, J. A. P., & Neo, M. L. (2025). Accumulation of microplastics in various organs of fiddler crabs and sea cucumbers across the coastal habitats in Singapore. *Environmental Pollution*, 125773.
- Forrest, S. A., McMahon, D., Adams, W. A., & Vermaire, J. C. (2022). Change in microplastic concentration during various temporal events downstream of a combined sewage overflow and in an urban stormwater creek. *Frontiers in Water*, 4, 958130.
- Fraissinet, S., Arduini, D., Martines, A., De Benedetto, G. E., Malitesta, C., Giangrande, A., & Rossi, S. (2024). Microplastics uptake by four filter feeders. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(6), 1000.
- Gao, S., Li, Z., & Zhang, S. (2024). Trophic transfer and biomagnification of microplastics through food webs in coastal waters: A new perspective from a mass balance model. *Marine Pollution Bulletin*, 200, 116082.
- Gardon, T., Morvan, L., Huvet, A., Quillien, V., Soyeux, C., Le Moullac, G., & Le Luyer, J. (2020). Microplastics induce dose-specific transcriptomic disruptions in energy metabolism and immunity of the pearl oyster *Pinctada margaritifera*. *Environmental Pollution*, 266, 115180.
- Greenaway, P. & Nakamura, T. (1991). Nitrogenous excretion in two terrestrial crabs (*Gecarcoidea natalis* and *Geograpsus grayi*). *Physiological zoology*, 64(3), 767-786.
- Han, Y., Shi, W., Tang, Y., Zhou, W., Sun, H., Zhang, J., ... & Liu, G. (2022). Microplastics and bisphenol A hamper gonadal development of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by interfering with metabolism and disrupting hormone regulation. *Science of the total environment*, 810, 152354.

- He, Y.; Liu, X.; Zhang, N.; Wang, S.; Wang, A.; Zuo, R.; Jiang, Y. (2022). Replacement of commercial feed with fresh black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Aquaculture Nutrition. <https://doi.org/10.1155/2022/9130400>
- Isinibilir, M., Svetlichny, L., Mykitchak, T., Türkeri, E. E., Eryalçın, K. M., Doğan, O. & Kideys, A. E. (2020). Microplastic consumption and its effect on respiration rate and motility of *Calanus helgolandicus* from the Marmara Sea. Frontiers in Marine Science, 7, 603321.
- IUCN. 2024. Plastic Pollution. https://iucn.org/sites/default/files/2024-05/plastic-pollution-issues-brief-may-2024-update.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acessado em 31 de maio de 2025.
- Jaikumar, I. M., Periyakali, S. B., Rajendran, U., Joen-Rong, S., Thanasekaran, J., & Tsorng-Harn, F. (2021). Effects of microplastics, polystyrene, and polyethylene on antioxidants, metabolic enzymes, HSP-70, and myostatin expressions in the giant river prawn *Macrobrachium rosenbergii*: impact on survival and growth. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 80, 645-658.
- Kangas, A., Setälä, O., Kauppi, L., & Lehtiniemi, M. (2023). Trophic transfer increases the exposure to microplastics in littoral predators. *Marine Pollution Bulletin*, 196, 115553.
- Kathiresan, K., & Bingham, B. L. (2001). Biology of mangroves and mangrove ecosystems.
- Koroleff F (1976) Determination of nutrients. Methods of seawater analysis. Verlag Chemie Weinheim 1–3

Kudla, Y.M., Ijzerman, M.M., Bennett, C.J., Gillis, P.L., Kidd, K.A. and Prosser, R.S., (2024). Quantifying Effects and Ingestion of Several Pristine Microplastics in Two Early Life Stages of Freshwater Mussels. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 43, n. 12, p. 2557-2568.

Lamichhane, S., Khanal, M., & Labh, S. N. (2020). Effect of Dietary Aloe vera Extract on Survival, Growth and Hepato-Somatic Index (HSI) Of Common Carp *Cyprinus Carpio* (Linnaeus, 1758). *Jr Aqua Mar Bio Eco: JAMBE-104*. Abstract Aquaculture practices in Nepal are mainly semi-intensive carp polyculture with an average production of, 4, 1-72.

Lu, Y., Zhang, Y., Deng, Y., Jiang, W., Zhao, Y., Geng, J. & Ren, H. (2016). Uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebrafish (*Danio rerio*) and toxic effects in liver. *Environmental science & technology*, 50(7), 4054-4060.

Lv, H., Park, J., Lim, H. K., Abraham, I. J., Yin, X., Gao, Y., & Hur, J. (2024). Impacts of polyhydroxybutyrate (PHB) microplastic exposure on physiology and metabolic profiles of *Litopenaeus vannamei*. *Science of The Total Environment*, 951, 175588.

Maiti, S. K., & Chowdhury, A. (2013). Effects of anthropogenic pollution on mangrove biodiversity: a review. *Journal of Environmental Protection*, 2013.

Markic, A., Niemand, C., Bridson, J. H., Mazouni-Gaertner, N., Gaertner, J. C., Eriksen, M., & Bowen, M. (2018). Double trouble in the South Pacific subtropical gyre: Increased plastic ingestion by fish in the oceanic accumulation zone. *Marine Pollution Bulletin*, 136, 547-564.

- Marshall Adams, S., & Ryon, M. G. (1994). A comparison of health assessment approaches for evaluating the effects of contaminant-related stress on fish populations. *Journal of Aquatic Ecosystem Health*, 3, 15-25.
- Martin, C., Baalkhuyur, F., Valluzzi, L., Saderne, V., Cusack, M., Almahasheer, H., & Duarte, C. M. (2020). Exponential increase of plastic burial in mangrove sediments as a major plastic sink. *Science advances*, 6(44), eaaz5593.
- Mayzaud, R.J. Conover O:N ratio as a tool to describe zooplankton metabolismo. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 45 (1988), pp. 289-302.
- McNamara, J. C., & Faria, S. C. (2012). Evolution of osmoregulatory patterns and gill ion transport mechanisms in the decapod Crustacea: a review. *Journal of Comparative Physiology B*, 182, 997-1014.
- McNamara, J. C., Freire, C. A., Torres Jr, A. H., & Faria, S. C. (2015). The conquest of fresh water by the palaemonid shrimps: an evolutionary history scripted in the osmoregulatory epithelia of the gills and antennal glands. *Biological Journal of the Linnean Society*, 114(3), 673-688.
- Melo, G. A. S. (1996). Manual de identificacao dos brachyura (caranguejos e siris) do litoral brasileiro. São Paulo: Plêiade.
- Mendes, D. S., Beasley, C. R., Silva, D. N. N., & Fernandes, M. E. B. (2023). Microplastic in mangroves: A worldwide review of contamination in biotic and abiotic matrices. *Marine Pollution Bulletin*, 195, 115552.
- MMA. Gerência de Biodiversidade Aquática e Recursos Pesqueiros. Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil. Brasília: MMA/SBF/GBA, 2010. 148 p.

- Moura, N. F. O. D., & Coelho, P. A. (2004). Maturidade sexual fisiológica em *Goniopsis cruentata* (latreille) (Crustacea, Brachyura, Grapsidae) no estuário do Paripe, Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 21, 1011-1015.
- Napper, I. E., & Thompson, R. C. (2016). Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Marine pollution bulletin*, 112(1-2), 39-45.
- Niemcharoen, S., Haetrakul, T., Palić, D., & Chansue, N. (2022). Microplastic-contaminated feed interferes with antioxidant enzyme and lysozyme gene expression of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) leading to hepatopancreas damage and increased mortality. *Animals*, 12(23), 3308.
- Parra, D. F., Gimiliani, G. T., Dos Santos, J. L., Wetter, N. U., Schepis, W. R., Berezki, A., & Cotrim, M. E. B. (2025). Microplastics in Santos São Vicente estuarine–Hotspot in sediments caused by low energy hydrodynamic events in strongly populated areas. *Marine Pollution Bulletin*, 210, 117286.
- Patil, P. M., Mahamuni-Badiger, P., Ingavale, R. R., Patel, P. R., & Dhanavade, M. J. (2024). Usage of microplastic beads in pharmaceuticals and cosmetics industry: A review. *Microplastic Pollution*, 51-72.
- Pichardo-Casales, B., Vargas-Abúndez, J. A., Moulatlet, G. M., & Capparelli, M. V. (2024). Feces and molting as microplastic sinks in a mangrove crab. *Marine Pollution Bulletin*, 204, 116410.
- Rajaram, V., Jannathulla, R., Ambasankar, K., & Dayal, J. S. (2022). Oxygen consumption in relation to nitrogen metabolism in Black tiger shrimp, *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798), fed fresh food and formulated feed. *Aquaculture Research*, 53(6), 2237-2248.

Ramaglia, A.C., de Castro, L.M., Augusto, A. 2018. Effects of ocean acidification and salinity variations on the physiology of osmoregulating and osmoconforming crustaceans. *Journal of Comparative Physiology B*, 188(5): 729-738. <https://doi.org/10.1007/s00360-018-1167-0>.

Ramaglia, A.C., Louzã, A. C., Leite, H.S., Borges, E.P., Rodrigues, J., Araujo, M., Augusto, A., (2023). Os efeitos dos microplásticos na fisiologia de invertebrados mantidos em diferentes salinidades, 99. Tese de Doutorado. Centro de Aquicultura da UNESP- CAUNESP. Jaboticabal, 2023.

Rebelein, A., Int-Veen, I., Kammann, U., & Scharsack, J. P. (2021). Microplastic fibers—underestimated threat to aquatic organisms?. *Science of the Total Environment*, 777, 146045.

Riley, M. E., Vogel, M., & Griffen, B. D. (2014). Fitness-associated consequences of an omnivorous diet for the mangrove tree crab *Aratus pisonii*. *Aquatic Biology*, 20(1), 35-43.

Sacristán, H. J., Mufari, J. R., Lorenzo, R. A., Boy, C. C., & Lovrich, G. A. (2020). Ontogenetic changes in energetic reserves, digestive enzymes, amino acid and energy content of *Lithodes santolla* (Anomura: Lithodidae): Baseline for culture. *PLoS One*, 15(5), e0232880.

Setälä, O., Norkko, J., & Lehtiniemi, M. (2016). Feeding type affects microplastic ingestion in a coastal invertebrate community. *Marine pollution bulletin*, 102(1), 95- 101.

Shiry, N., Darvishi, P., Gholamhossieni, A., Pastorino, P., & Faggio, C. (2023). Exploring the combined interplays: effects of cypermethrin and microplastic exposure

on the survival and antioxidant physiology of *Astacus leptodactylus*. *Journal of Contaminant Hydrology*, 259, 104257.

Silva, Z. D. S., & Oshiro, L. M. Y. (2002). Aspectos reprodutivos de *Goniopsis cruentata* (Latreille) (Crustacea, Brachyura, Grapsidae) na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 19, 907-914.

Singla, M., Díaz, J., Broto-Puig, F., & Borrós, S. (2020). Sorption and release process of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) from different composition microplastics in aqueous medium: Solubility parameter approach. *Environmental pollution*, v. 262, p.114377.

Smith, E. M., Bartosova, Z., Wagner, M., Jaspers, V. L., & Monclús, L. (2024). Exposure to microplastics affects fatty acid composition in the Japanese quail depending on sex and particle size. *Science of The Total Environment*, 912, 169019.

Souza, L. P. D. (2008). Maturidade sexual e relações morfométricas do caranguejo *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803) Crustacea: Brachyura: Grapsidae) do estuário do Rio Jaguaribe (Aracati-Ceará)

Sun, J., Zheng, H., Xiang, H., Fan, J., & Jiang, H. (2022). The surface degradation and release of microplastics from plastic films studied by UV radiation and mechanical abrasion. *Science of the Total Environment*, 838, 156369.

Thomas, C. R., & Blum, L. K. (2010). Importance of the fiddler crab *Uca pugnax* to salt marsh soil organic matter accumulation. *Marine Ecology Progress Series*, 414, 167-177.

Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic?. *Science*, 304(5672), 838-838.

Truchet, D. M., Buzzi, N. S., Moulatlet, G. M., & Capparelli, M. V. (2023). Macroecotoxicological approaches to emerging patterns of microplastic bioaccumulation in crabs from estuarine and marine environments. *Science of The Total Environment*, 870, 161912.

Tseng, Y. C., & Hwang, P. P. (2008). Some insights into energy metabolism for osmoregulation in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 148(4), 419-429.

Uddin, S., Fowler, S.W. & Behbehani, M. (2020). An assessment of microplastic inputs into the aquatic environment from wastewater streams. *Marine Pollution Bulletin*, v. 160, p. 111538.

Uguen, M., Gaudron, S.M., Nicastro, K.R., Zardi, G.I., Spilmont, N., Henry, S. and Seuront, L., (2024). The tolerance of a keystone ecosystem engineer to extreme heat stress is hampered by microplastic leachates. *Biology Letters*, v. 20, p. 20230457.

Urbina, M. A., da Silva Montes, C., Schäfer, A., Castillo, N., Urzúa, Á., & Lagos, M. E. (2023). Slow and steady hurts the crab: Effects of chronic and acute microplastic exposures on a filter feeder crab. *Science of the Total Environment*, 857, 159135.

Varley, D. G., & Greenaway, P. (1994). Nitrogenous excretion in the terrestrial carnivorous crab *Geograpsus grayi*: site and mechanism of excretion. *Journal of Experimental Biology*, 190(1), 179-193.

Wang, J. Q., Zhang, X. D., Jiang, L. F., Bertness, M. D., Fang, C. M., Chen, J. K. & Li, B. (2010). Bioturbation of burrowing crabs promotes sediment turnover and carbon and nitrogen movements in an estuarine salt marsh. *Ecosystems*, 13, 586-599.

Wang, S., Carter, C. G., Fitzgibbon, Q. P., & Smith, G. G. (2021). The use of stoichiometric bioenergetics to elucidate metabolic energy substrate use and specific dynamic action in cultured juvenile spiny lobsters (*Sagmariasus verreauxi*) of diferente nutritional status. *Aquaculture*, 532, 736021.

Wang, T., Hu, M., Xu, G., Shi, H., Leung, J. Y., & Wang, Y. (2021). Microplastic accumulation via trophic transfer: can a predatory crab counter the adverse effects of microplastics by body defence?. *Science of the Total Environment*, 754, 142099.

Watts, A. J., Urbina, M. A., Goodhead, R., Moger, J., Lewis, C., & Galloway, T. S. (2016). Effect of microplastic on the gills of the shore crab *Carcinus maenas*. *Environmental science & technology*, 50(10), 5364-5369.

Weihrauch, D., & Allen, G. J. (2018). Ammonia excretion in aquatic invertebrates: new insights and questions. *Journal of Experimental Biology*, 221(2), jeb169219.

Willis, K. A., Eriksen, R., Wilcox, C., & Hardesty, B. D. (2017). Microplastic distribution at different sediment depths in an urban estuary. *Frontiers in Marine Science*, 4, 419.

Winch, J. J., & Hodgson, A. N. (2007). The effect of temperature and salinity on oxygen consumption in the brachyuran crab *Cyclograpsus punctatus* (Crustacea: Decapoda: Grapsidae). *African Zoology*, 42(1), 118-123.

- Woods, M. N., Hong, T. J., Baughman, D., Andrews, G., Fields, D. M., & Matrai, P. A. (2020). Accumulation and effects of microplastic fibers in American lobster larvae (*Homarus americanus*). *Marine Pollution Bulletin*, 157, 111280.
- Wu, N. C., Rubin, A. M., & Seebacher, F. (2022). Endocrine disruption from plastic pollution and warming interact to increase the energetic cost of growth in a fish. *Proceedings of the Royal Society B*, 289(1967), 20212077.
- Yin, J., Li, J. Y., Craig, N. J., & Su, L. (2022). Microplastic pollution in wild populations of decapod crustaceans: A review. *Chemosphere*, 291, 132985.
- Yu, Y., Hu, L., Tian, D., Yu, Y., Lu, L., Zhang, J. & Liu, G. (2023). Toxicities of polystyrene microplastics (MPs) and hexabromocyclododecane (HBCD), alone or in combination, to the hepatopancreas of the whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Environmental Pollution*, 329, 121646.
- Zanders, I. P. (1978). Ionic regulation in the mangrove crab *Goniopsis cruentata*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 60(3), 293-302.
- Zanders, I. P., & Martelo, M. J. (1987). Contribution of Na/Na and Cl/Cl exchanges to sodium and chloride fluxes in the crab *Goniopsis cruentata*. *Journal of Comparative*
- Zhang, H. (2017). Transport of microplastics in coastal seas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 199, 74-86.
- Zhang, X., Yin, Z., Xiang, S., Yan, H., & Tian, H. (2024). Degradation of polymer materials in the environment and its impact on the health of experimental animals: a review. *Polymers*, 16(19), 2807.

Zhang, S., Wu, H., & Hou, J. (2023). Progress on the effects of microplastics on aquatic crustaceans: a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(6), 5523.

Zhou, Q., Tu, C., Fu, C., Li, Y., Zhang, H., Xiong, K. & Luo, Y. (2020). Characteristics and distribution of microplastics in the coastal mangrove sediments of China. *Science of the Total Environment*, 703, 1348.

Hartnoll, R. G. (1965, June). Notes on the marine grapsid crabs of Jamaica. In *Proceedings of the Linnean Society of London* (Vol. 176, No. 2, pp. 113-147). Oxford University Press.

Warner, G. F. (1967). The life history of the mangrove tree crab, *Aratus pisoni*. *Journal of Zoology*, 153(3), 321-335.

Capítulo 2

Os efeitos dos microplásticos na fisiologia do caranguejo *Goniopsis cruentata*

1. RESUMO

Nosso objetivo foi avaliar os efeitos do microplástico PET (Polietileno Tereftalato) na fisiologia do caranguejo maria-mulata (*Goniopsis cruentata*), um habitante exclusivo de manguezais e coletado em local impactado da Baixada Santista, Brasil. Avaliamos o metabolismo, excreção nitrogenada, tipo de substrato energético oxidado (proteínas, lipídios ou uma mistura de ambos), índice hepatossomático e osmorregulação de animais recém coletados e também de animais expostos ao microplástico (40 mg/l) em laboratório por 10 dias. Nos animais recém coletados os parâmetros fisiológicos avaliados (consumo de oxigênio: aproximadamente $0,32 \mu\text{g O}_2 \text{ mg.MS}^{-1}.\text{h}^{-1}$), excreção: aproximadamente $0,002 \mu\text{g.mg}^{-1} \text{ MS}^{-1}.\text{h}^{-1}$), índice hepatossomático: aproximadamente 4,54 %, substrato oxidado: aproximadamente 80,20 (lipídeos) e osmolalidade: aproximadamente $838,42 \text{ mOsm.Kg}^{-1}$ de água) foram semelhantes a de outros crustáceos habitantes de manguezais, sendo *G. cruentata* um osmorregulador na salinidade avaliada de 25S. A exposição dos animais ao microplástico em laboratório afetou apenas o índice hepatossomático (aumento de 47% em relação ao controle), órgão relacionado à reserva energética, síntese de enzimas digestivas e absorção de nutrientes, tais alterações podem ser consequentes de processos inflamatórios ou do acúmulo de microplástico no órgão. Concluimos que os microplásticos não afetaram de forma geral a fisiologia (consumo de oxigênio, excreção de amônia, osmolalidade da hemolinfa) da espécie *G. cruentata*, o que pode indicar que o animal tenha uma alta capacidade fisiológica de enfrentar tais desafios. No entanto, as alterações no índice hepatossomático podem sinalizar um trade-off relacionado a energética dos animais e que pode afetar vários aspectos da sua biologia e, inclusive, a ecologia no ambiente natural.

2. INTRODUÇÃO

A Zona Costeira é uma região de transição ecológica, desempenhando importante papel no desenvolvimento de várias espécies e nas trocas genéticas entre os ecossistemas terrestres e marinhos (MMA, 2010), são ecossistemas vulneráveis e estão entre os ambientes mais devastados, pela ação humana (Kathiresan & Bingham, 2001). Suas características únicas, fazem com que esse ambiente seja considerado “sumidouro” de poluentes (Maiti & Chowdhury, 2013).

Os manguezais costeiros possuem uma distribuição onipresente de microplásticos em seus sedimentos, possuindo maiores quantidades desse material do que em suas áreas vizinhas, o que aumenta a probabilidade de espécies estuarinas ingerirem essas partículas (Zhou et al., 2020; Deng et al., 2021). O termo microplástico foi criado por Thompson et al. (2004) e em 2009 Arthur et al., delimitaram um limite de tamanho para partículas menores que 5 mm (Frias et al., 2019). Atualmente reconhecemos os microplásticos como partículas que possuem tamanhos 5 mm a 1 μ m (Wang et al., 2018; Valencia-Castañeda et al., 2022) e nanoplásticos (NPs) menores que 1 μ m (Ramkumar et al., 2022), e se originam de diferentes tipos de polímeros plásticos ou através de pellets de resina plástica (Sharma et al., 2024).

Os microplásticos configuram ameaças significativas aos animais, podendo ocorrer a ingestão direta (ingestão dos próprios microplásticos presentes no ambiente), ou indireta (via cadeia trófica) (Farrel & Nelson, 2013; Markic et al., 2018). Microplásticos e, principalmente, nanoplásticos, podem ser absorvidos pelo epitélio intestinal e chegar à corrente sanguínea em muitos organismos, entre eles invertebrados marinhos (Browne et al., 2008). Essas partículas podem se acumular no sedimento, estando disponíveis para muitas espécies bentônicas, pelágicas e demersais (Thompson et al., 2004; Farrel & Nelson, 2013; Daniel et al., 2021).

Os microplásticos podem ter efeitos negativos para muitas espécies, como mudanças estruturais e funcionais, causando alterações no crescimento, causar estresse oxidativo, enfraquecer ou aumentar as atividades antioxidante, causar perdas energéticas, alterações em ácidos graxos, alterar atividades enzimáticas, metabólicas, entre outras atividades fisiológicas (Cole et al., 2015; Chae et al., 2019; Jaikumar et al., 2021; Kudla et al., 2024; Uguen et al., 2024). Smith et al., (2024), observou que os efeitos dos microplásticos dependiam do tamanho de suas partículas. Huirong et al., (2024) relatou que em altas concentrações, microplásticos levaram a uma diminuição na taxa de sobrevivência e crescimento de crustáceos. Além disso, os microplásticos podem adsorver contaminantes também presentes no ambiente, (Singla et al., 2020; Uddin et al., 2020), aumentando o risco e os efeitos de sua toxicidade nas espécies (Shiry et al., 2023).

Os crustáceos são amplamente utilizados para estudos de ecotoxicologia devido a sua extensa distribuição e sensibilidade à toxicidade e importância ecológica, desempenham um papel relevante na cadeia alimentar, são animais onívoros e são consumidos por outros animais (Zhang et al., 2023). Por serem bioturbadores pode alterar o acúmulo de matéria orgânica e até a distribuição de microplásticos nos sedimentos (Thomas e Blum, 2010; Capparelli et al., 2022). O comportamento e o hábito alimentar desempenham um papel importante na interação com contaminantes no ambiente, afetando significativamente a quantidade de microplásticos ingeridos pelos animais (Setälä et al., 2016).

Alguns estudos observaram que partículas de microplásticos causaram mudanças comportamentais, como um aumento na atividade de natação, no esforço reprodutivo de crustáceos (De Felice et al., 2019), em caranguejos os microplásticos prejudicaram a capacidade de se defender e atacar (Cunningham et al., 2021). Adicionalmente, os efeitos desse poluente em organismos marinhos podem ser influenciados pela concentração de

microplásticos e pelo órgão afetado, sendo os impactos mais evidentes quando há bioacumulação em estruturas vitais, como o fígado (Lu et al., 2016).

Conhecido popularmente como aratu-vermelho ou maria-mulata em certas regiões, o caranguejo *Goniopsis cruentata* encontra-se distribuído em toda a costa brasileira, desde Pará até Santa Catarina (Melo, 1996), é um animal semi-terrestre, ocupando quase todos os microhabitats dos manguezais (Cobo & Fransozo, 2003). Devido a isso, é uma espécie com importância ecológica nos manguezais, com hábito alimentar generalista, principalmente detritívoro, que explora matéria orgânica no solo, mas podem se alimentar de espécies vegetais presentes no manguezal e até espécies de caranguejos menores (De Lima-Gomes et al., 2011; Ferreira et al., 2013). Em algumas regiões do Brasil, como no Nordeste, é um animal com importância socioeconômica, sendo fonte de renda e alimentar para comunidades que vivem perto de manguezais (Moura & Coelho, 2004). Alguns estudos avaliaram a contaminação por metais tóxicos em *G. cruentata* (Costa et al., 2017; Carneiro et al., 2018), que se torna um risco para populações que se alimentam dessa espécie, assim como a presença de microplásticos, como apresentado no capítulo anterior.

Apesar da grande importância ecológica e socioeconômica da espécie, estudos que abordam temas sobre como poluentes podem afetar os parâmetros fisiológicos de *G. cruentata* ainda são inexistentes na literatura. O objetivo deste trabalho foi avaliar parâmetros fisiológicos (Consumo de oxigênio, excreção nitrogenada, índice hepatossomático, tipo de substrato energético oxidado e osmorregulação) de *G. cruentata* e como a contaminação por microplásticos pode afetar tais parâmetros dessa importante espécie para os manguezais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Coleta dos Animais

Espécimes adultos de *G. cruentata*, foram coletados no Portinho, Parque Ézio Dall' Acqua em Praia Grande, SP (23°59'11.0"S 46°24'11.7"W) em maio de 2024. A captura foi feita por meio de busca ativa e com auxílio de puçás. Foram capturados 21 animais e transportados para o Laboratório de Aquicultura Sustentável do Instituto de Biociências, campus da UNESP, em São Vicente, SP (23° 58' 14.8"S 46° 23' 40.0"W), em caixas contendo água (25S) e sedimentos.

Sete animais (N = 7) foram utilizados para a avaliação do consumo de oxigênio, excreção nitrogenada, índice hepatossomático e osmolalidade da hemolinfa, a fim de determinar dos parâmetros fisiológicos imediatamente após a coleta.

3.2. Avaliação Fisiológica dos Animais Expostos ao Microplástico em Laboratório

Os animais foram aclimatados em fotoperíodo controlado de 12h de luz:12h de escuridão, aeração constante e temperatura de 25°C durante cinco dias. Foram mantidos em aquários individuais (1 animal/aquário) contendo 8 litros de água salobra (25S, mesma salinidade no dia da coleta dos animais) previamente filtrada proveniente do Aquário Municipal de Santos. Após o período de aclimação sete animais foram expostos a 40 mg. L⁻¹ de microplásticos polietileno (PET) virgem, adquirido da Polyscience, Inc de tamanhos entre 500 µm e 250 µm, durante 10 dias e sete animais foram mantidos em situação controle (0 mg. L⁻¹ de microplásticos) em aquários individuais (1 animal/aquário) com pedaços de tijolos para que os animais pudessem ficar períodos fora da água. Durante esse período os animais foram alimentados com pedaços de filé de peixe e foram mantidos em fotoperíodo controlado de 12h de luz:12h de escuridão, aeração constante e temperatura de 25°C. A água dos aquários foi trocada a cada três dias. Todos os

caranguejos estavam na fase de entre-muda do ciclo de muda. Os experimentos foram feitos com N = 7 para cada tratamento.

Após 10 dias os animais foram retirados dos aquários para a avaliação de sua fisiologia. Nós avaliamos o consumo de oxigênio, excreção nitrogenada, tipo de substrato energético oxidado e osmolalidade da hemolinfa. A metodologia empregada foi a mesma descrita nos itens 3.3, 3.3.1 e 3.3.2 deste trabalho.

3.3 Consumo de oxigênio, Excreção de Amônia e Relação O/N

O consumo de oxigênio foi avaliado com oxímetro (YSI 40110-1W). Os animais foram aclimatados por 30 minutos às câmaras respirométricas contendo água com aeração e medida a concentração inicial de oxigênio. Após esse período, a aeração foi retirada das câmaras, os animais foram mantidos por duas horas nas câmaras e medida a concentração final de oxigênio. As câmaras de controle sem animais foram mantidas nas condições experimentais. Após a determinação do consumo de oxigênio, os animais presentes em cada câmara foram mortos por congelamento, pesados (massa úmida), secos em estufa a 60°C por 48h e novamente pesados (massa seca). O consumo de oxigênio foi determinado pela taxa respirométrica calculada de acordo com a fórmula abaixo:

$$TR = \{[(Co - Cf) \cdot V/\Delta T] - f\}/MS$$

TR: taxa respirométrica ($\mu\text{g O}_2 \text{ mg.MS}^{-1}.\text{h}^{-1}$); Co: concentração inicial de oxigênio na câmara ($\text{ml.O}_2 / \text{L}$); Cf: concentração final de oxigênio na câmara ($\text{mL.O}_2 / \text{L}$); V: volume da câmara de respirométrica (L); ΔT : duração do experimento (h); f: mudança na concentração de oxigênio nas câmaras de controle; MS: massa seca animal (mg).

A excreção total de amônia foi medida em amostras de água obtidas de câmaras respirométricas ao final dos experimentos. As variações na concentração de amônia total foram calculadas pela diferença entre os valores obtidos nas amostras e nos controles

(câmaras sem animais). A concentração de amônia foi determinada por colorimetria (Koroleff 1983) e corresponde à soma de NH_3^+ e NH_4^+ e foi expresso como taxa de massa seca ($\mu\text{g NH}_3^+ \text{-N mg MS}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)

A relação O: N foi calculada dividindo-se a quantidade de oxigênio consumida pela excreção de nitrogênio excretado. Valores entre três e 16 indicam o uso de proteínas, entre 16 e 60, o uso de uma mistura de proteínas e lipídios, valores acima de 60 indicam a predominância de lipídios como substrato energético (Mayzaud and Conover, 1988).

3.3.1 Índice Hepatosomático (HSI)

Após eutanásia em gelo, o hepatopâncreas de cada animal foi dissecado, pesado, mantido em estufa a 60°C por 48 horas e pesado novamente. O índice hepatossomático foi calculado de acordo com a fórmula abaixo: $\text{IHS (\%)} = (\text{massa do hepatopâncreas} \times 100) / \text{massa corporal}$.

3.3.2 Osmolalidade da Hemolinfa

Após eutanásia e pesagem dos animais, foram retirados aproximadamente 20 μl de hemolinfa da região do cefalotórax. As amostras foram armazenadas em freezer (-20°C) para posterior análise de osmolalidade. A osmolalidade da hemolinfa foi medida em amostras de 10 μl em um osmômetro de pressão de vapor (VAPRO 5600). Os resultados são apresentados em mOsm.Kg^{-1} de água.

3.4 Análises Estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas no programa SigmaStat 3.5. Foram feitas análises descritivas para a fisiologia dos animais recém coletados. O Teste-t foi aplicado às análises fisiológicas dos animais expostos ao microplástico em laboratório. A

significância adotada foi de $P < 0,05$ para todos os testes. Os gráficos foram feitos no programa GraphPad Prism 5.

4. RESULTADOS

4.1 Avaliação Fisiológica dos Animais Recém Coletados

Na tabela 1 é apresentado os resultados descritivos dos parâmetros fisiológicos avaliados em *G. cruentata* recém coletado na natureza. Destaca-se a oxidação de lipídios como substrato energético oxidado e a elevada capacidade hiperosmorregulatória da espécie em 25S.

Tabela 1: Consumo de oxigênio ($\mu\text{g O}_2 \text{ mg.MS}^{-1}.\text{h}^{-1}$), excreção nitrogenada ($\mu\text{g.mg}^{-1} \text{ MS}^{-1}.\text{h}^{-1}$), relação atômica (O:N), índice hepatossomático (IHS) e osmolalidade da hemolinfa (mOsm.Kg^{-1} de água) de *G. cruentata* recém coletado (Média $\pm$ EP, N= 7)

Parâmetro Fisiológico	Valores
Consumo de Oxigênio	$0,32 \pm 0,03$
Excreção Nitrogenada	$0,002 \pm 0,001$
O:N	$80,20 \pm 11,80$ (L)
IHS (%)	$4,54 \pm 0,58$
Osmolalidade	$838,42 \pm 13,2$

P: oxidação de proteínas L: oxidação de lipídios. Razões entre 3 e 16: proteínas; valores entre 16 e 60:

mistura de proteínas e lipídios; proporções acima de 60 lipídios (Mayzaud & Conover, 1988).

Salinidade da água: 25S (775 mOsm.Kg^{-1} de água)

4.2 Avaliação dos Efeitos da Exposição de Microplásticos na Fisiologia de *G. cruentata*

O consumo de oxigênio ($0,078 \pm 0,005 \mu\text{g.mg.MS}^{-1}.\text{h}^{-1}$) e a excreção de amônia de *G. cruentata* ($0,002 \pm 0,0007 \mu\text{g.mg ms}^{-1}.\text{h}^{-1}$) dos animais expostos ao microplástico

foram semelhantes aos animais controle, como demonstrado na figura 2 e 3 respectivamente.

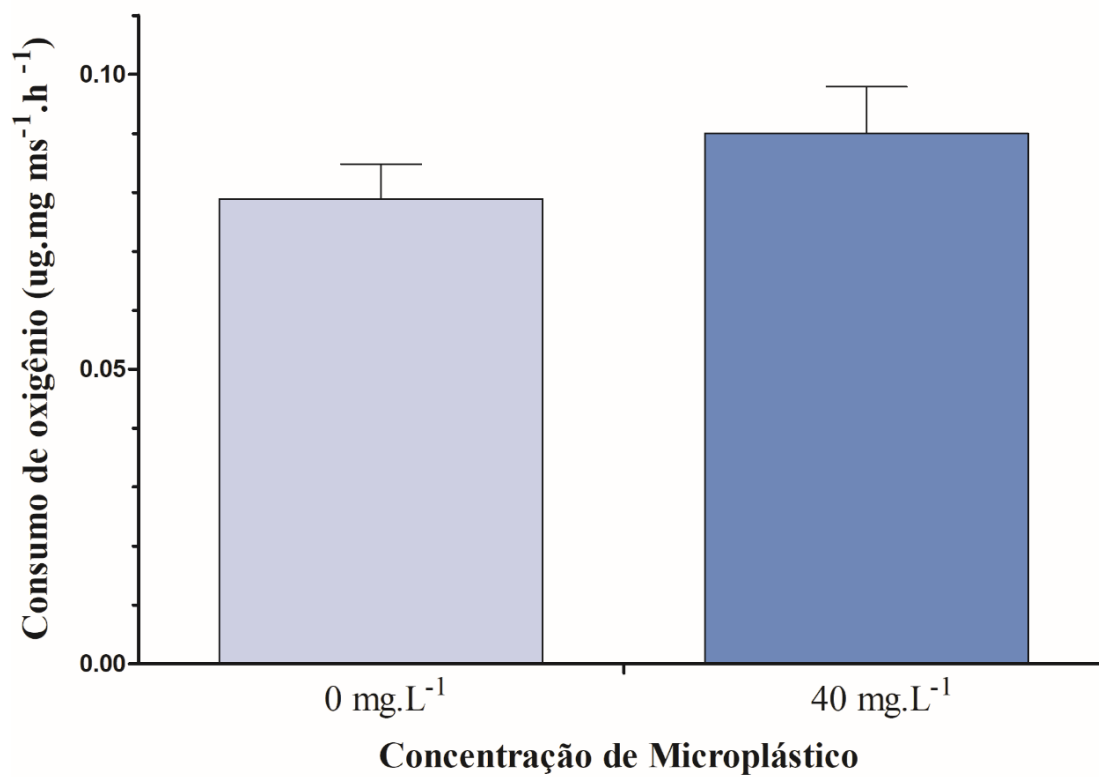


Figura 2. Consumo de oxigênio ($\mu\text{g.mg.MS}^{-1}.\text{h}^{-1}$) do caranguejo *G. cruentata* controle e expostos a microplásticos em laboratório por 10 dias (Média $\pm$ EP, N=7).

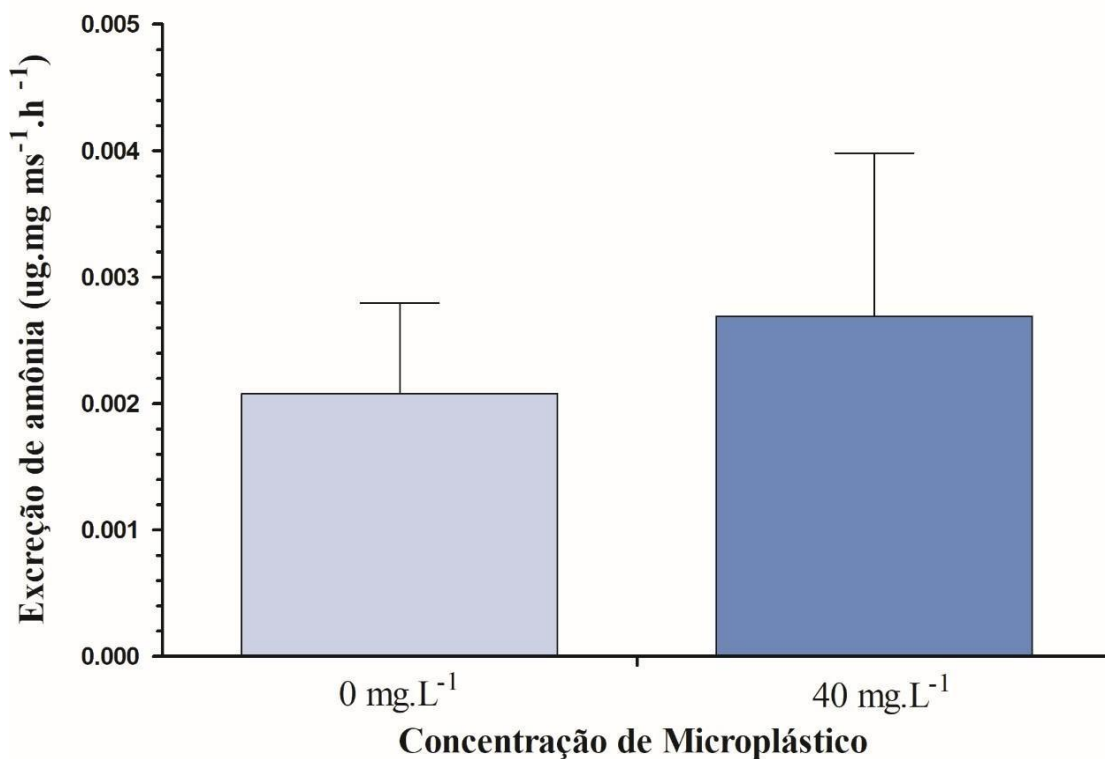


Figura 3. Excreção de amônia ($\mu\text{g.mg ms}^{-1}.\text{h}^{-1}$) do caranguejo *G. cruentata* expostos a microplásticos em laboratório por 10 dias (Média $\pm$ EP, N=7).

Na tabela 2 são apresentados os resultados da relação O:N, índice hepatossomático e osmolalidade da hemolinfa de *G. cruentata*. O substrato energético oxidado foi uma mistura de proteínas e lipídios e os animais hiperosmorregularam a osmolalidade da hemolinfa, independentemente da presença do microplástico na água. O índice hepatossomático foi o único parâmetro que sofreu alteração após exposição ao microplástico, um aumento de 47%.

Tabela 2: Substrato energético oxidado (O:N), osmolalidade da hemolinfa (mOsm.Kg⁻¹ de água), e índice hepatossomático (IHS) de *G. cruentata*, entre os tratamentos controle e animais expostos a microplásticos (40Mg.L⁻¹) (Média $\pm$ EP, N=7).

	0 mg.L ⁻¹	40 mg.L ⁻¹ MPs
O:N	37,2 ± 9,2 (P+L) ^A	45,0 ± 10,6 (P+L) ^A
IHS (%)	3,8 ± 0,2 ^A	5,6 ± 0,4 ^B
Osmolalidade	831,8 ± 10,1 ^A	807,12 ± 11,6 ^A

P: oxidação de proteínas L: oxidação de lipídios. Razões entre 3 e 16: proteínas; valores entre 16 e 60: mistura de proteínas e lipídios; proporções acima de 60 lipídios (Mayzaud & Conover, 1988).

*Valores com diferentes letras na mesma linha diferem estatisticamente (P<0,05). Salinidade da água: 25S (775 mOsm.Kg⁻¹ de água).

5. DISCUSSÃO

A fisiologia de *G. cruentata* é pouco estudada, a maioria dos estudos aborda aspectos ecológicos, reprodutivos e o crescimento da espécie (de Menezes et al., 2012; Souza., 2008; Silva & Oshiro., 2002). Da restrita bibliografia existente, parâmetros fisiológicos de *G. cruentata* abordam temas sobre a regulação iônica, fluxos de sódio e cloreto (Zanders., 1978; Zanders & Martelo; 1987; Wilkens & Young., 1992). Devido a isso o presente trabalho é um dos poucos estudos a avaliar o consumo de oxigênio, excreção nitrogenada, índice hepatossomático, relação O:N e a osmolalidade da hemolinfa da espécie.

O consumo de oxigênio é um parâmetro que pode sofrer variações devido a vários fatores como salinidade, temperatura, pH e poluentes (Winch & Hodgson., 2007; Ramaglia et al., 2018; de Andrade et al., 2022; Wagas et al., 2024). Em *G. cruentata* recém coletado em água salobra de 25S, o consumo de oxigênio (0,32 µg.mg.MS⁻¹.h⁻¹) foi semelhante à de outros crustáceos mantidos na mesma salinidade em laboratório como o siri *Callinectes danae* (Ramaglia et al., 2018; Winch & Hodgson., 2007) e o caranguejo

Cyclograpsus punctatus, pertencente à mesma família que *G. cruentata* (Grapsidae), que foram mantidos submersos durante os experimentos.

A excreção nitrogenada de *G. cruentata* ($0,002 \mu\text{g.mg.MS}^{-1} \text{ h}^{-1}$) apresentou valores baixos quando comparados a de outros crustáceos, como *C. danae* e *Xiphopenaeus kroyeri* (aproximadamente $0,05$ e $0,02 \mu\text{g.mg.MS}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (Ramaglia et al., 2018) e os caranguejos *Leptuca. thayeri* (aproximadamente $0,03 \mu\text{g.mg.MS}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (De Andrade et al., 2022) *Leptuca. Uruguayensis* e *Leptuca. leptodactyla* (aproximadamente $0,2 \mu\text{g.mg.MS}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (Vianna et al., 2020). A hipótese para o baixo valor da excreção nitrogenada é que *G. cruentata* poderia excretar compostos nitrogenados predominantemente quando está fora da água. Essa estratégia já foi observada no caranguejo grapsideo *Geograpsus grayi*, o qual excreta 82% da amônia durante respiração aérea (Greenaway & Nakamura., 1991; Varley & Greenaway., 1994). Trabalhos futuros poderão complementar nossas avaliações investigando o consumo de oxigênio e excreção de amônia em *G. cruentata* mantido em ambiente aéreo, visto sua condição anfíbia.

Observamos que *G. cruentata* recém coletado oxida principalmente lipídios. Este é o substrato mais energético dentre as demais opções, fornecendo mais calorias. O tipo de substrato energético oxidado pode variar em função de vários fatores como habitat, padrão de atividade, dieta (Ramaglia et al., 2018; Wang et al., 2021; Han et al., 2022). Lipídios são oxidados em animais que demandam maior gasto energético como visto por O' Connor & Gilbert, (1968), onde *C. maenas* utiliza lipídios como substrato energético que fornece energia necessária para a manutenção das funções fisiológicas durante situações estressantes. O caranguejo *Sinopotamon henanense* quando expostos a cádmio utilizou como fonte de energia os lipídios para diminuir a toxicidade do metal (Yang et al., 2013). No entanto, é possível que *G. cruentata* possa ter apresentado valores elevados

da relação O/N devido ao aumento do consumo de oxigênio durante o estresse de coleta. O índice hepatossomático de *G. cruentata* apresentou um valor de 4,5, similar ao dos caranguejos *Scylla olivácea* (Fazhan et al., 2020) e *Scylla paramamosain* (Yu et al., 2025). O hepatopâncreas é um órgão relacionado à reserva de energia, produção enzimática e absorção e indicador do estado nutricional de animais (Lamichhane et al., 2020), e biomarcador de poluição ambiental (Al-Ghais., 2013).

G. cruentata hiperregulou a osmolalidade da sua hemolinfa em relação ao meio (25S). Zanders (1978) também observou em experimentos de laboratório que a espécie hiperregula em 25S, mas passa a hiporregular em água do mar (35S), são animais que regulam com eficiência os seus níveis de íons no corpo.

De forma geral, a exposição de *G. cruentata* ao microplástico durante 10 dias indicou que os parâmetros analisados não foram drasticamente afetados pelos microplásticos, porque o consumo de oxigênio, a excreção nitrogenada, o tipo de substrato energético oxidado e a capacidade osmorregulatório permaneceram inalterados. Apenas o índice hepatossomático sofreu alteração sob tais condições. Esses resultados podem estar associados aos aspectos estruturais dos seus órgãos e tecidos, principalmente as brânquias, padrões comportamentais, devido a sua capacidade de manter a homeostase em um habitat já contaminado por microplásticos. Não se pode descartar que os animais se mantiveram fora da água por mais tempo, pois são animais semi-terrestres e os aquários continham plataformas de tijolos para que pudessem sair da água, devido a isso, estiverem menos expostos ao microplástico.

No que tange à fisiologia dos crustáceos, as brânquias são órgãos multifuncionais e alterações provocados por poluentes podem comprometer várias de suas funções como troca gasosa, excreção nitrogenada, osmorregulação e regulação do pH (McNamara et al., 2015). Embora a literatura recente tenha mostrado que raramente a excreção e a

osmorregulação possam ser afetadas pelos microplásticos, o metabolismo de espécies aquáticas é frequentemente alterado (D'Costa, 2022; Urbina et al., 2023). Tais efeitos têm sido mostrados em crustáceos como *Homarus americanus* (Woods et al., 2020), *Calanus helgolandicus* (Insinibilir et al., 2020), *C. danae*, *L. thayeri* e *P. vannamei* (Ramaglia et al., 2023). Em *G. cruentata* foi possível observar que os microplásticos não afetaram o consumo de oxigênio da espécie após 10 dias de exposição. Ausência de alterações já foram verificadas em outros crustáceos durante exposição aguda como no caranguejo *C. maenas* exposto ao poliestireno por 24h (Watts et al., 2016) e caranguejo *Petrolisthes laevis* expostos ao polietileno durante dois dias (Urbina et al., 2023). Os autores relatam que os caranguejos são capazes de recuperar as trocas gasosas quando são expostos a microplásticos por um curto período devido ao aumento do fluxo de água na câmara branquial.

Semelhantemente, a excreção de amônia de *G. cruentata* também não foi afetada pela presença de microplásticos na água. A excreção de amônia em crustáceos ocorre através do epitélio branquial e alterações indicam o uso de aminoácidos livres na regulação do volume celular, mudanças no catabolismo proteico, estado nutricional e reprodutivo e perda da homeostase (Zhang & Xiang, 2014; Zimmer et al., 2017; Weihrauch & Allen., 2018). Embora poucos autores tenham investigado os efeitos de microplásticos na excreção nitrogenada, nos caranguejos *Petrolisthes laevis* e *L. thayeri*, também não foram observadas tais alterações. (Urbina et al., 2023; Ramaglia et al., 2023).

Existem dois parâmetros fisiológicos que são importantes indicadores da energética dos animais expostos a situações que impõem desafio a homeostase: a relação O:N, a qual indica o tipo de substrato energético que está sendo oxidado, e o índice hepatossomático, que sinaliza o uso das reservas energéticas armazenadas (Tseng &

Hwang., 2008; Chen et al., 2022). No presente trabalho, *G. cruentata* não modificou o substrato energético oxidado quando exposto ao poluente, oxidando uma mistura de proteínas e lipídios em ambos os tratamentos. Em situações estressantes, como aumento ou diminuição da salinidade e pH, aumento de temperatura ou exposição a poluentes, os animais podem trocar o substrato energético por outro que forneça mais energia, como os lipídios (Ramaglia et al., 2018; Wang et al., 2021; Rajaram et al., 2022; Chen et al., 2022; da Costa et al., 2024).

O índice hepatossomático foi o único parâmetro fisiológico alterado em *G. cruentata* e apresentou um aumento de 47% nos animais expostos a microplásticos. Para tal resultado tem a possibilidade de um maior acúmulo de reservas energéticas no hepatopâncreas devido a ajustes metabólicos ou aumento da taxa de ingestão alimentar (Li et al., 2024). Por exemplo, os animais podem ter poupado a energia armazenada no hepatopâncreas em detrimento do crescimento e reprodução, uma alteração no balanço energético e consequente trade-off. No entanto, segundo Marshall Adams e Ryon (1994), em ambientes poluídos o aumento do índice hepatossomático pode estar associado ao aumento da atividade do órgão, que induz a ocorrência de hiperplasia, elevando o peso do órgão.

Sabe-se que os microplásticos podem causar lesões no hepatopâncreas, como visto no camarão *P. vannamei*, que apresentou lesões histopatológicas, incluindo infiltração de hemócitos intersticiais, hiperplasia do epitélio, deformidade tubular, formação de nódulos e melanização no órgão (Niemcharoen et al., 2022). Yu et. al. (2023) avaliou que poluentes, incluindo microplásticos, causam danos ao hepatopâncreas de *P. vannamei* seguido por estresse oxidativo e alterações metabólicas. Também foi observado que o caranguejo *Charybdis japonica* acumula microplásticos em seu hepatopâncreas levando também a lesões hepáticas no órgão (Wang et al., 2021). Além disso, pode ter ocorrido

bioacumulação de microplásticos no hepatopâncreas, o que aumentaria sua massa e, portanto, o índice hepatossomático.

A capacidade osmorregulatória tende a ser pouco influenciada pela presença de microplásticos na água, como observado em *C. maenas* e *M. rapax* (Watts et al., 2016; Capparelli et al., 2023). De forma semelhante, não foram verificadas alterações desse parâmetro nas espécies analisadas no presente estudo. A manutenção da homeostase osmótica e iônica é fundamental para o funcionamento das células e para a sobrevivência dos organismos em diferentes ambientes e é realizada principalmente pelas brânquias dos crustáceos (McNamara & Faria., 2012). Aqui observamos que a presença de microplásticos não afetou a osmolalidade da hemolinfa de *G. cruentata*, indicando que o microplástico não afetou os mecanismos de absorção de sal através das membranas.

6. CONCLUSÃO

Concluimos que ao se tratar da fisiologia de *G. cruentata*, é possível observar que apenas o índice hepatossomático sofreu alterações devido a exposição a microplásticos, os outros parâmetros avaliados não foram afetados por tal poluente. Essa resposta pode estar relacionada à sua tolerância às condições do ambiente natural ou habilidade em controlar sua homeostase após 10 dias de exposição ao microplástico. Por outro lado, visto o importante papel do hepatopâncreas na energética dos crustáceos, as alterações observadas podem comprometer a longo prazo processos que dependem de energia como crescimento, reprodução e demais processos regulatórios da sua homeostase.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Ghais, S. M. (2013). Acetylcholinesterase, glutathione and hepatosomatic index as potential biomarkers of sewage pollution and depuration in fish. *Marine pollution bulletin*, 74(1), 183-186.
- Borges, E. P., Machado, L. P., Louzã, A. C., Ramaglia, A. C., Santos, M. R., & Augusto, A. (2024). Physiological effects of feeding whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*) with the fresh macroalgae *Chaetomorpha clavata*. *Aquaculture Reports*, 37, 102222.
- Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M., & Thompson, R. C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, *Mytilus edulis* (L.). *Environmental science & technology*, 42(13), 5026-5031.
- Capparelli, M. V., Martínez-Colón, M., Lucas-Solis, O., Valencia-Castañeda, G., Celis-Hernández, O., Ávila, E., & Moulatlet, G. M. (2022). Can the bioturbation activity of the fiddler crab *Minuca rapax* modify the distribution of microplastics in sediments?. *Marine Pollution Bulletin*, 180, 113798.
- Capparelli, M. V., Ramírez, C. A., Rodríguez-Santiago, M. A., Valencia-Castañeda, G., Ávila, E., & Moulatlet, G. M. (2023). Effect of salinity on microplastic accumulation and osmoregulatory toxicity in the fiddler crab *Minuca rapax*. *Marine Pollution Bulletin*, 193, 115260.
- Carneiro, L. M., Silva, D. J. D., Reis, L. C. D., Oliveira, D. A. D., Maciel, L. D. C., Garcia, K. S., ... & Queiroz, A. F. D. S. (2018). Distribuição de elementos traço em tecidos de *Goniopsis cruentata* (LATREILLE, 1803) capturados nos manguezais do sul da bahia-brasil e avaliação do potencial de risco no consumo. *Química Nova*, 41(9), 959-968.

- Chae, Y., Kim, D., Choi, M. J., Cho, Y., & An, Y. J. (2019). Impact of nano-sized plastic on the nutritional value and gut microbiota of whiteleg shrimp *Litopenaeus vannamei* via dietary exposure. *Environment international*, 130, 104848.
- Chen, L., Yu, F., Shi, H., Wang, Q., Xue, Y., Xue, C. & Li, Z. (2022). Effect of salinity stress on respiratory metabolism, glycolysis, lipolysis, and apoptosis in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) during depuration stage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(5), 2003-2011.
- Cobo, V. J., & Fransozo, A. (2003). External factors determining breeding season in the red mangrove crab *Goniopsis cruentata* (Latreille)(Crustacea, Brachyura, Grapsidae) on the São Paulo State northern coast, Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 20, 213-217.
- Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2015). The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environmental science & technology*, 49(2), 1130-1137.
- Costa, R. G., Bah, H. A., Bandeira, M. J., Oliveira, S. S., & Menezes-Filho, J. A. (2017). Lead and cadmium in mangrove root crab (*Goniopsis cruentata*), in natura and at food processing stages. *Food Additives & Contaminants: Part B*, 10(3), 216- 221.
- Cunningham, E. M., Mundy, A., Kregting, L., Dick, J. T., Crump, A., Riddell, G., & Arnott, G. (2021). Animal contests and microplastics: evidence of disrupted behaviour in hermit crabs *Pagurus bernhardus*. *Royal Society Open Science*, 8(10), 211089.

Cunningham, E. M., Mundy, A., Kregting, L., Dick, J. T., Crump, A., Riddell, G., & Arnott, G. (2021). Animal contests and microplastics: evidence of disrupted behaviour in hermit crabs *Pagurus bernhardus*. *Royal Society Open Science*, 8(10), 211089.

da Costa, J. R., Capparelli, M. V., Padilha, P. M., Borges, E., Ramaglia, A. C., Dos Santos, M. R., & Augusto, A. (2024). Chronic Cadmium Exposure can Alter Energy Allocation to Physiological Functions in the Shrimp *Penaeus vannamei*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 87(1), 58-68.

Daniel, D. B., Ashraf, P. M., Thomas, S. N., & Thomson, K. T. (2021). Microplastics in the edible tissues of shellfishes sold for human consumption. *Chemosphere*, 264, 128554.

D'Costa, A. H. (2022). Microplastics in decapod crustaceans: Accumulation, toxicity and impacts, a review. *Science of the total environment*, 832, 154963.

De Andrade, I. M., Ferreira, J. R. D. C., Ramaglia, A. C., & Augusto, A. (2022). Interaction between reduced pH and multiple stressors affects the physiology of the fiddler crab *Leptuca thayeri* (Rathbun, 1900)(Decapoda: Brachyura: Ocypodidae). *Journal of Crustacean Biology*, 42(4), ruac050.

De Felice, B., Sabatini, V., Antenucci, S., Gattoni, G., Santo, N., Bacchetta, R., ... & Parolini, M. (2019). Polystyrene microplastics ingestion induced behavioral effects to the cladoceran *Daphnia magna*. *Chemosphere*, 231, 423-431.

de Lima-Gomes, R. C., Cobo, V. J., & Fransozo, A. (2011). Feeding behaviour and ecosystem role of the red mangrove crab *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803)(Decapoda, Grapsoidea) in a subtropical estuary on the Brazilian coast. *Crustaceana*, 84(5-6), 735-747.

de Melo, G. A. S. (2003). *Manual de identificação dos Crustacea Decapoda de água doce do Brasil*. Edições Loyola.

de Menezes, D., Pereira, A., Le itão Câmara de Araújo, M., & dos Santos Calado, T. C. (2012). Bioecologia de *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803)(Decapoda, Grapsidae) do complexo estuarino-lagunar mundaú/manguaba, alagoas, BRASIL. *Natural Resources (1984-5901)*, 2(2).

Deng, H., He, J., Feng, D., Zhao, Y., Sun, W., Yu, H., & Ge, C. (2021). Microplastics pollution in mangrove ecosystems: a critical review of current knowledge and future directions. *Science of the Total Environment*, 753, 142041.

Farrell, P., & Nelson, K. (2013). Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environmental pollution*, 177, 1-3.

Fazhan, H., Waiho, K., Glenner, H., Moh, J. H. Z., Hassan, M., & Ikhwanuddin, M. (2020). Gonadal degeneration and hepatopancreas alteration in orange mud crab *Scylla olivacea* infected with *Sacculina beauforti* (Crustacea; Rhizocephala; Sacculinidae). *Frontiers in Marine Science*, 7, 534443.

Ferreira, AC, Ganade, G., Morais Freire, FA, & Attayde, JL (2013). Predação de propágulos em um mangue Neotropical: o papel do caranguejo Grapsid *Goniopsis cruentata*. *Hidrobiologia* , 707 , 135-146.

Gardon, T., Morvan, L., Huvet, A., Quillien, V., Soyez, C., Le Moullac, G., & Le Luyer, J. (2020). Microplastics induce dose-specific transcriptomic disruptions in energy metabolism and immunity of the pearl oyster *Pinctada margaritifera*. *Environmental Pollution*, 266, 115180.

Greenaway, P., & Nakamura, T. (1991). Nitrogenous excretion in two terrestrial crabs (Gecarcoidea natalis and Geograpsus grayi). *Physiological zoology*, 64(3), 767-786.

Han, Y., Shi, W., Tang, Y., Zhou, W., Sun, H., Zhang, J., ... e Liu, G. (2022). Microplásticos e bisfenol A dificultam o desenvolvimento gonadal do camarão-de-patas-brancas (Litopenaeus vannamei), interferindo no metabolismo e interrompendo a regulação hormonal. *Ciência do ambiente total* , 810 , 152354.

Han, Y., Shi, W., Tang, Y., Zhou, W., Sun, H., Zhang, J., ... e Liu, G. (2022). Microplásticos e bisfenol A dificultam o desenvolvimento gonadal do camarão-de-patas-brancas (Litopenaeus vannamei), interferindo no metabolismo e interrompendo a regulação hormonal. *Ciência do ambiente total* , 810 , 152354.

He, Y.; Liu, X.; Zhang, N.; Wang, S.; Wang, A.; Zuo, R.; Jiang, Y. 2022. Replacement of commercial feed with fresh black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in Pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei). *Aquaculture Nutrition*. <https://doi.org/10.1155/2022/9130400>

Hsieh, S. L., Wu, Y. C., Xu, R. Q., Chen, Y. T., Chen, C. W., Singhanian, R. R., & Dong, C. D. (2021). Effect of polyethylene microplastics on oxidative stress and histopathology damages in Litopenaeus vannamei. *Environmental pollution*, 288, 117800.

International Union for Conservation of Nature. (2024). *Marine plastic pollution: Issues brief*. <https://www.iucn.org/resources/issues-brief/plastic-pollution>

Isinibilir, M., Svetlichny, L., Mykitchak, T., Türkeri, E. E., Eryalçın, K. M., Doğan, O. & Kideys, A. E. (2020). Microplastic consumption and its effect on respiration rate and motility of Calanus helgolandicus from the Marmara Sea. *Frontiers in Marine Science*, 7, 603321.

- Isinibilir, M., Svetlichny, L., Mykitchak, T., Türkeri, E. E., Eryalçın, K. M., Doğan, O. & Kideys, A. E. (2020). Microplastic consumption and its effect on respiration rate and motility of *Calanus helgolandicus* from the Marmara Sea. *Frontiers in Marine Science*, 7, 603321.
- Jaikumar, I. M., Periyakali, S. B., Rajendran, U., Joen-Rong, S., Thanasekaran, J., & Tsorng-Harn, F. (2021). Effects of microplastics, polystyrene, and polyethylene on antioxidants, metabolic enzymes, HSP-70, and myostatin expressions in the giant river prawn *Macrobrachium rosenbergii*: impact on survival and growth. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 80, 645-658.
- Kathiresan, K., & Bingham, B. L. (2001). Biology of mangroves and mangrove ecosystems.
- Koroleff F (1976) Determination of nutrients. Methods of seawater analysis. Verlag Chemie Weinheim 1–3
- Kudla, Y.M., Ijzerman, M.M., Bennett, C.J., Gillis, P.L., Kidd, K.A. and Prosser, R.S., (2024). Quantifying Effects and Ingestion of Several Pristine Microplastics in Two Early Life Stages of Freshwater Mussels. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 43, n. 12, p. 2557-2568.
- Lamichhane, S., Khanal, M., & Labh, S. N. (2020). Effect of Dietary Aloe vera Extract on Survival, Growth and Hepato-Somatic Index (HSI) Of Common Carp *Cyprinus Carpio* (Linnaeus, 1758). *Jr Aqua Mar Bio Eco: JAMBE-104. Abstract Aquaculture practices in Nepal are mainly semi-intensive carp polyculture with an average production of*, 4, 1-72.
- Li, Y., Ye, Y., Rihan, N., Zhu, B., Jiang, Q., Liu, X. & Che, X. (2024). Polystyrene nanoplastics induce lipid metabolism disorder and alter fatty acid composition in the

hepatopancreas of Pacific whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Science of The Total Environment*, 906, 167616.

Louzã, AC, Camargo, TR, Rodrigues, CG, Borges, EP, Ramaglia, AC, & Augusto, A. (2024). Inclusão de hidrolisado proteico extraído de captura acidental na dieta do camarão-gigante-da-malasia: efeitos na fisiologia. *Boletim do Instituto de Pesca*, 50.

Lu, Y., Zhang, Y., Deng, Y., Jiang, W., Zhao, Y., Geng, J., ... e Ren, H. (2016). Absorção e acúmulo de microplásticos de poliestireno em peixe-zebra (*Danio rerio*) e efeitos tóxicos no fígado. *Ciência e tecnologia ambiental*, 50 (7), 4054-4060.

Lv, H., Park, J., Lim, H. K., Abraham, I. J., Yin, X., Gao, Y., & Hur, J. (2024). Impacts of polyhydroxybutyrate (PHB) microplastic exposure on physiology and metabolic profiles of *Litopenaeus vannamei*. *Science of The Total Environment*, 951, 175588.

Lv, H., Park, J., Lim, H. K., Abraham, I. J., Yin, X., Gao, Y., & Hur, J. (2024). Impacts of polyhydroxybutyrate (PHB) microplastic exposure on physiology and metabolic profiles of *Litopenaeus vannamei*. *Science of The Total Environment*, 9.

Maiti, S. K., & Chowdhury, A. (2013). Effects of anthropogenic pollution on mangrove biodiversity: a review. *Journal of Environmental Protection*, 2013.

Markic, A., Niemand, C., Bridson, J. H., Mazouni-Gaertner, N., Gaertner, J. C., Eriksen, M., & Bowen, M. (2018). Double trouble in the South Pacific subtropical gyre: Increased plastic ingestion by fish in the oceanic accumulation zone. *Marine Pollution Bulletin*, 136, 547-564.

Marshall Adams, S., & Ryon, M. G. (1994). A comparison of health assessment approaches for evaluating the effects of contaminant-related stress on fish populations. *Journal of Aquatic Ecosystem Health*, 3, 15-25.

Mayzaud, R.J. Conover O:N ratio as a tool to describe zooplankton metabolismo. Mar. Ecol. Prog. Ser., 45 (1988), pp. 289-302.

McNamara, J. C., & Faria, S. C. (2012). Evolution of osmoregulatory patterns and gill ion transport mechanisms in the decapod Crustacea: a review. *Journal of Comparative Physiology B*, 182, 997-1014.

McNamara, J. C., Freire, C. A., Torres Jr, A. H., & Faria, S. C. (2015). The conquest of fresh water by the palaemonid shrimps: an evolutionary history scripted in the osmoregulatory epithelia of the gills and antennal glands. *Biological Journal of the Linnean Society*, 114(3), 673-688.

Melo, G. A. S. (1996). Manual de identificacao dos brachyura (caranguejos e siris) do litoral brasileiro. São Paulo: Plêiade.

MMA. Gerência de Biodiversidade Aquática e Recursos Pesqueiros. Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil. Brasília: MMA/SBF/GBA, 2010. 148 p.

Moura, N. F. O. D., & Coelho, P. A. (2004). Maturidade sexual fisiológica em *Goniopsis cruentata* (latreille)(Crustacea, Brachyura, Grapsidae) no estuário do Paripe, Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 21, 1011-1015.

Niemcharoen, S., Haetrakul, T., Palić, D., & Chansue, N. (2022). Microplastic-contaminated feed interferes with antioxidant enzyme and lysozyme gene expression of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) leading to hepatopancreas damage and increased mortality. *Animals*, 12(23), 3308.

O'Connor, J. D., & Gilbert, L. I. (1968). Aspects of lipid metabolism in crustaceans. *American Zoologist*, 8(3), 529-539.

Rajaram, V., Jannathulla, R., Ambasankar, K., & Dayal, J. S. (2022). Oxygen consumption in relation to nitrogen metabolism in Black tiger shrimp, *Penaeus monodon* (Fabricius, 1798), fed fresh food and formulated feed. *Aquaculture Research*, 53(6), 2237-2248.

Ramaglia, A.C., de Castro, L.M., Augusto, A. 2018. Effects of ocean acidification and salinity variations on the physiology of osmoregulating and osmoconforming crustaceans. *Journal of Comparative Physiology B*, 188(5): 729-738. <https://doi.org/10.1007/s00360-018-1167-0>.

Ramaglia, A.C., Louzã, A. C., Leite, H.S., Borges, E.P., Rodrigues, J., Araujo, M., Augusto, A., (2023). *Os efeitos dos microplásticos na fisiologia de invertebrados mantidos em diferentes salinidades*, 99. Tese de Doutorado. Centro de Aquicultura da UNESP- CAUNESP. Jaboticabal, 2023.

Ruthsatz, K., Schwarz, A., Gomez-Mestre, I., Meyer, R., Domscheit, M., Bartels, F., ... & Engelkes, K. (2023). Life in plastic, it's not fantastic: sublethal effects of polyethylene microplastics ingestion throughout amphibian metamorphosis. *Science of The Total Environment*, 885, 163779.

Sacristán, H. J., Mufari, J. R., Lorenzo, R. A., Boy, C. C., & Lovrich, G. A. (2020). Ontogenetic changes in energetic reserves, digestive enzymes, amino acid and energy content of *Lithodes santolla* (Anomura: Lithodidae): Baseline for culture. *PLoS One*, 15(5), e0232880.

Setälä, O., Norkko, J., & Lehtiniemi, M. (2016). Feeding type affects microplastic ingestion in a coastal invertebrate community. *Marine pollution bulletin*, 102(1), 95-101.

- Shiry, N., Darvishi, P., Gholamhossieni, A., Pastorino, P., & Faggio, C. (2023). Exploring the combined interplays: effects of cypermethrin and microplastic exposure on the survival and antioxidant physiology of *Astacus leptodactylus*. *Journal of Contaminant Hydrology*, 259, 104257.
- Silva, Z. D. S., & Oshiro, L. M. Y. (2002). Aspectos reprodutivos de *Goniopsis cruentata* (Latreille)(Crustacea, Brachyura, Grapsidae) na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 19, 907-914.
- Singla, M., Díaz, J., Broto-Puig, F., & Borrós, S. (2020). Sorption and release process of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) from different composition microplastics in aqueous medium: Solubility parameter approach. *Environmental pollution*, v. 262, p.114377.
- Smith, EM, Bartosova, Z., Wagner, M., Jaspers, VL, & Monclús, L. (2024). A exposição a microplásticos afeta a composição de ácidos graxos na codorna japonesa, dependendo do sexo e do tamanho das partículas. *Science of The Total Environment* , 912 , 169019.
- Souza, L. P. D. (2008). Maturidade sexual e relações morfométricas do caranguejo *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803) Crustacea: Brachyura: Grapsidae) do estuário do Rio Jaguaribe (Aracati-Ceará)
- Thomas, C. R., & Blum, L. K. (2010). Importance of the fiddler crab *Uca pugnax* to salt marsh soil organic matter accumulation. *Marine Ecology Progress Series*, 414, 167-177.
- Thompson, R. C., Olsen, Y., Mitchell, R. P., Davis, A., Rowland, S. J., John, A. W., & Russell, A. E. (2004). Lost at sea: where is all the plastic?. *Science*, 304(5672), 838-838.

Tseng, Y. C., & Hwang, P. P. (2008). Some insights into energy metabolism for osmoregulation in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 148(4), 419-429.

Uddin, S., Fowler, S.W. and Behbehani, M. (2020). An assessment of microplastic inputs into the aquatic environment from wastewater streams. *Marine Pollution Bulletin*, v. 160, p. 111538.

Uguen, M., Gaudron, S.M., Nicastro, K.R., Zardi, G.I., Spilmont, N., Henry, S. and Seuront, L.,(2024). The tolerance of a keystone ecosystem engineer to extreme heat stress is hampered by microplastic leachates. *Biology Letters*, v. 20, p. 20230457.

Urbina, M. A., da Silva Montes, C., Schäfer, A., Castillo, N., Urzúa, Á., & Lagos, M. E. (2023). Slow and steady hurts the crab: Effects of chronic and acute microplastic exposures on a filter feeder crab. *Science of the Total Environment*, 857, 159135.

Urbina, M. A., da Silva Montes, C., Schäfer, A., Castillo, N., Urzúa, Á., & Lagos, M. E. (2023). Slow and steady hurts the crab: Effects of chronic and acute microplastic exposures on a filter feeder crab. *Science of the Total Environment*, 857, 159135.

Varley, D. G., & Greenaway, P. (1994). Nitrogenous excretion in the terrestrial carnivorous crab *Geograpsus grayi*: site and mechanism of excretion. *Journal of Experimental Biology*, 190(1), 179-193.

Vianna, B.S., Miyai, C. A., Augusto, A., & Costa, T. M. (2020). Effects of temperature increase on the physiology and behavior of fiddler crabs. *Physiology & behavior*, 215, 112765.

Wang, S., Carter, C. G., Fitzgibbon, Q. P., & Smith, G. G. (2021). The use of stoichiometric bioenergetics to elucidate metabolic energy substrate use and specific

dynamic action in cultured juvenile spiny lobsters (*Sagmariasus verreauxi*) of different nutritional status. *Aquaculture*, 532, 736021.

Wang, S., Carter, C. G., Fitzgibbon, Q. P., Codabaccus, B. M., & Smith, G. G. (2021). Effect of dietary protein on energy metabolism including protein synthesis in the spiny lobster *Sagmariasus verreauxi*. *Scientific Reports*, 11(1), 11814.

Wang, T., Hu, M., Xu, G., Shi, H., Leung, J. Y., & Wang, Y. (2021). Microplastic accumulation via trophic transfer: can a predatory crab counter the adverse effects of microplastics by body defence?. *Science of the Total Environment*, 754, 142099.

Waqas, W., Yuan, Y., Ali, S., Zhang, M., Shafiq, M., Ali, W., ... & Ma, H. (2024). Toxic effects of heavy metals on crustaceans and associated health risks in humans: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 22(3), 1391-1411.

Watts, A. J., Urbina, M. A., Goodhead, R., Moger, J., Lewis, C., & Galloway, T. S. (2016). Effect of microplastic on the gills of the shore crab *Carcinus maenas*. *Environmental science & technology*, 50(10), 5364-5369.

Weihrauch, D., & Allen, G. J. (2018). Ammonia excretion in aquatic invertebrates: new insights and questions. *Journal of Experimental Biology*, 221(2), jeb169219.

Wilkens, J. L., & Young, R. E. (1992). Regulation of pulmonary blood flow and of blood pressure in a mangrove crab (*Goniopsis cruentata*). *Journal of experimental biology*, 163(1), 297-316.

Winch, J. J., & Hodgson, A. N. (2007). The effect of temperature and salinity on oxygen consumption in the brachyuran crab *Cyclograpsus punctatus* (Crustacea: Decapoda: Grapsidae). *African Zoology*, 42(1), 118-123.

Woods, M. N., Hong, T. J., Baughman, D., Andrews, G., Fields, D. M., & Matrai, P. A. (2020). Accumulation and effects of microplastic fibers in American lobster larvae (*Homarus americanus*). *Marine Pollution Bulletin*, 157, 111280.

Wu, N. C., Rubin, A. M., & Seebacher, F. (2022). Endocrine disruption from plastic pollution and warming interact to increase the energetic cost of growth in a fish. *Proceedings of the Royal Society B*, 289(1967), 20212077.

Yang, J., Liu, D., Jing, W., Dahms, HU, & Wang, L. (2013). Efeitos do cádmio no armazenamento e metabolismo de lipídios no caranguejo de água doce Sinopotamon henanense. *PLoS One*, 8 (10), e77569.

Yu, K., Xu, H., Shi, C., Wang, C., Mu, C., Ye, Y., ... & Wu, Q. (2025). Overwintering temperature affects lipid and fatty acid metabolism in hepatopancreas and ovary of female mud crab *Scylla paramamosain*. *Aquaculture Reports*, 40, 102563.

Yu, Y., Hu, L., Tian, D., Yu, Y., Lu, L., Zhang, J., & Liu, G. (2023). Toxicities of polystyrene microplastics (MPs) and hexabromocyclododecane (HBCD), alone or in combination, to the hepatopancreas of the whiteleg shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Environmental Pollution*, 329, 121646.

Zanders, I. P. (1978). Ionic regulation in the mangrove crab *Goniopsis cruentata*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 60(3), 293-302.

Zanders, I. P., & Martelo, M. J. (1987). Contribution of Na/Na and Cl/Cl exchanges to sodium and chloride fluxes in the crab *Goniopsis cruentata*. *Journal of Comparative Physiology B*, 157, 599-606.

Zhang, C., Li, F., & Xiang, J. (2014). Efeitos agudos do cádmio e do cobre na sobrevivência, consumo de oxigênio, excreção de amônia-N e acúmulo de metais em juvenis de *Exopalaemon carinicauda*. *Ecotoxicologia e Segurança Ambiental* , 104 , 209-214.

Zhang, X., Jin, Z., Shen, M., Chang, Z., Yu, G., Wang, L., & Xia, X. (2022). Accumulation of polyethylene microplastics induces oxidative stress, microbiome dysbiosis and immunoregulation in crayfish. *Fish & shellfish immunology*, 125, 276-284.

Zhang, S., Wu, H., & Hou, J. (2023). Progress on the Effects of Microplastics on Aquatic Crustaceans: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(6), 5523.

Zhou, Q., Tu, C., Fu, C., Li, Y., Zhang, H., Xiong, K. & Luo, Y. (2020). Characteristics and distribution of microplastics in the coastal mangrove sediments of China. *Science of the Total Environment*, 703, 1348.

Zimmer, AM, Jorge, MB, Wood, CM, Martins, CM, & Bianchini, A. (2017). Efeitos de desafios agudos com cobre e amônia na excreção de amônia e ureia pelo siri-azul *Callinectes sapidus*. *Arquivos de contaminação ambiental e toxicologia* , 72 , 461-470.