

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de **11/09/2027**.



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
Instituto de Biociências - Câmpus do Litoral Paulista  
Programa de Pós-graduação em Biodiversidade de Ambientes Costeiros



FERNANDA VARGAS BARBI DE SOUZA

**BIOLOGIA POPULACIONAL DO CARANGUEJO-UÇÁ,  
*UCIDES CORDATUS* (LINNAEUS, 1763) (BRACHYURA:  
OCYPODIDAE) E A CONTAMINAÇÃO POR METAIS NOS  
MANGUEZAIS DO SISTEMA ESTUARINO DE ITANHAÉM  
(SP), BRASIL.**

São Vicente – SP

2025



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
Instituto de Biociências - Câmpus do Litoral Paulista  
Programa de Pós-graduação em Biodiversidade de Ambientes Costeiros



FERNANDA VARGAS BARBI DE SOUZA

**BIOLOGIA POPULACIONAL DO CARANGUEJO-UÇÁ,  
*UCIDES CORDATUS* (LINNAEUS, 1763) (BRACHYURA:  
OCYPODIDAE) E A CONTAMINAÇÃO POR METAIS NOS  
MANGUEZAIS DO SISTEMA ESTUARINO DE ITANHAÉM  
(SP), BRASIL.**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Câmpus do Litoral Paulista, para obtenção do título de Doutora em Ciências.

Área de Concentração: Biodiversidade

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Antonio Amaro Pinheiro

Coorientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tailisi Hoppe Trevisani

São Vicente – SP

2025

S729b

Souza, Fernanda Vargas Barbi de

Biologia populacional do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763)  
(Brachyura: Ocypodidae) e a contaminação por metais nos manguezais do Sistema  
Estuarino de Itanhaém (SP), Brasil. / Fernanda Vargas Barbi de Souza. -- São Vicente,  
2025

99 p. : il., tabs., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências,  
São Vicente

Orientador: Marcelo Antonio Amaro Pinheiro

Coorientadora: Tailisi Hoppe Trevizani

1. Biologia populacional. 2. Ecologia. 3. Biomonitoramento. 4. Toxicologia  
ambiental. 5. Qualidade ambiental. I. Título.

## FOLHA DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA



Câmpus do Litoral Paulista

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE FERNANDA VARGAS BARBI DE SOUZA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE DE AMBIENTES COSTEIROS, DO INSTITUTO DE BIOCIÊNCIAS - CÂMPUS DO LITORAL PAULISTA.**

Aos 11 dias do mês de setembro do ano de 2025, às 14h, no(a) Salão Nobre do IB/CLP (modo híbrido), realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de FERNANDA VARGAS BARBI DE SOUZA, intitulada **Biologia populacional do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura: Ocypodidae) e a contaminação por metais nos manguezais do Sistema Estuarino de Itanhaém (SP), Brasil.** A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Dr. MARCELO ANTONIO AMARO PINHEIRO (Orientador(a) - Participação Presencial) do(a) Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais / IB/CLP - UNESP, Prof. Dr. FERNANDO LUIS MEDINA MANTELATTO (Participação Virtual) do(a) Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto / Universidade de São Paulo, Profa. Dra. MÔNICA LÚCIA ADAM (Participação Virtual) do(a) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Prof. Dr. ROBERTO FIORAVANTI CARELLI FONTES (Participação Presencial) do(a) Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais / IB/CLP - UNESP, Dr. ALAOR APARECIDO ALMEIDA (Participação Virtual) do(a) Centro de Assistência Toxicológica Ceatox / UNESP. Após a exposição pela doutoranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. MARCELO ANTONIO AMARO PINHEIRO

*Dedico este trabalho a todos que, ao longo da minha caminhada, estiveram ao meu lado com palavras de incentivo, gestos de apoio e uma presença constante, especialmente nos momentos mais desafiadores.*

*À minha querida avó Nilda (in memoriam), exemplo de dedicação e força, e à minha mãe de coração, Vanda (in memoriam), cujo incentivo aos estudos sempre ecoará em mim com gratidão e ternura.*

*Ao meu esposo, Luiz Fernando, e às minhas filhas, Ana Clara e Ana Beatriz, por me oferecerem amor, paciência, cumplicidade e, sobretudo, por me lembrarem diariamente que vale a pena lutar, sonhar, acreditar, vencer e seguir em frente.*

## AGRADECIMENTOS

Ao ilustríssimo *Prof. Dr. Marcelo Antonio Amaro Pinheiro*, por quem tenho grande admiração, respeito e carinho. Pelo voto de confiança em mim depositado quando da nossa primeira entrevista. Por todos os ensinamentos, que vão muito além daqueles que se expressam nestas páginas. Por ter sido muito mais do que um orientador, e ter compreendido minha condição humana frente às dificuldades do meu dia a dia. Por acreditar na minha capacidade e me ajudar a conquistar esse objetivo de vida.

À admirável *Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tailisi Hoppe Trevisani*, por todos os ensinamentos, auxílio e colaboração ao longo dessa coorientação.

À equipe do *Grupo de Pesquisa em Biologia de Crustáceos (CRUSTA)*, pelo auxílio durante as coletas e análises e companheirismo nos momentos mais inusitados, bem como às facilidades disponibilizadas pelo *Laboratório de Biologia da Conservação de Crustáceos e Ambientes Costeiros (LBC)*, na *UNESP IB/CLP*.

Ao *Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade de Ambientes Costeiros (PPG-BAC)* do Instituto de Biociências (IB), UNESP - Câmpus Litoral Paulista (CLP), representado por seu corpo docente, técnico-acadêmico e administrativo, que oportunizaram não só a conquista de um objetivo, mas sim a abertura de novos caminhos e perspectivas.

À equipe de coordenação e funcionários do *Centro de Pesquisas do Estuário do Rio Itanhaém “Prof. Samuel Murgel Branco”*, pelo apoio logístico com a embarcação, que possibilitou a realização das coletas de dados e amostrais.

Ao catador de caranguejo “*Roxinho*”, que executa essa atividade pesqueira artesanal com muito respeito ao manguezal, pelo auxílio durante as coletas por braceamento dos exemplares de *Ucides cordatus*.

Às equipes do *Laboratório de Química Inorgânica Marinha (LAQIMAR-IO/USP)*, coordenado pelo *Prof. Dr. Rubens Cesar Lopes Figueira*, e *Laboratório de Metais em Organismos Marinhos (LAMOM-IO/USP)*, coordenado pela *Prof<sup>a</sup>. Dra. Tailisi Hoppe Trevisani*, pelo auxílio e colaboração durante a realização das análises de metais nos sedimentos, folhas de *Rizophora. mangle* e tecidos de *U. cordatus*.

Ao *Prof. Dr. Luis Felipe de Almeida Duarte*, por compartilhar os conhecimentos acerca da técnica do *Ensaio do Vermelho Neutro (NRRT)*, através dos treinamentos realizados com o apoio do *Grupo de Pesquisa de Poluentes Emergentes em Ecossistemas Marinhos*, no

laboratório multiusuários da *UNIFESP-Baixada Santista*, coordenado pelo *Prof. Dr. Camilo Dias Seabra Pereira*.

À *Profa. Dra. Mônica Lúcia Adam*, por compartilhar os conhecimentos acerca das *Análises das Alterações Nucleares (ANs)*, através do treinamento realizado no *LBC – UNESP/IB-CLP*.

Aos membros das bancas de defesa (*Prof. Dr. Rafael Mendonça Duarte, Prof. Dr. Fernando Luis Medina Mantelatto, Prof. Dr. Alaor Aparecido Almeida e Profa. Dra. Mônica Lúcia Adam*) e de qualificação (*Dr. Alison Carlos Wunderlich e Dr. Fernando Rafael De Grande*), pelas ricas contribuições ao presente trabalho e à pesquisa científica brasileira.

À minha ancestralidade, cuja trajetória, marcada por lutas, escolhas e aprendizados, abriu caminhos para que eu pudesse estar aqui. Sou fruto de suas histórias e da força transmitida por cada geração. É com esse legado que sigo empenhada em contribuir para a conservação da biodiversidade, a valorização do conhecimento e a formação de uma sociedade mais consciente de sua responsabilidade com o meio ambiente e com o presente e futuro das gerações.

À Espiritualidade Superior, por iluminar meu caminho com propósito e discernimento, conduzindo-me, com sutileza e precisão, às vivências essenciais para o meu desenvolvimento moral, intelectual e espiritual.

A todos vocês, minha eterna gratidão!

*“(...)Take me  
To the magic of the moment  
On a glory night  
Where the children of tomorrow dream away  
In the wind of change (...).”*

**Klauss Mine**

*“Desejo que você  
não tenha medo da vida, tenha medo  
de não vivê-la.  
Não há céu sem tempestades, nem  
caminhos sem acidentes.  
Só é digno do pódio, quem usa as  
derrotas para alcançá-lo.  
Só é digno da sabedoria, quem usa as  
lágrimas para irrigá-la.  
Os frágeis usam a força; os fortes, a  
inteligência.  
Seja um sonhador, mas una seus  
sonhos com disciplina, pois sonhos  
sem disciplina produzem pessoas frustradas.  
Seja um debatedor de ideias. Lute pelo  
que você ama”.*

**Augusto Cury**

*Não é sobre alcançar o topo,  
mas sobre elevar quem vier depois.*

## RESUMO

Os manguezais do Estado de São Paulo são extremamente importantes à procriação de diversas espécies ripárias e marinhas, com vários serviços ecossistêmicos cada vez mais impactados por atividades antrópicas. Uma das espécies emblemática e endêmica de manguezal do Atlântico ocidental é o caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*), que possui relevância ecológica e é usada como recurso pesqueiro e alimento humano. O presente estudo avalia o estado de conservação dos manguezais do Sistema Estuarino de Itanhaém, registrando a concentração de 12 metais (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Mn, Pb, Sc, V, Ti e Zn) + P (indicador de contaminação orgânica) em três matrizes ambientais (sedimento, folhas e tecidos), bem como seu possível efeito por biomarcadores citogenotóxicos do caranguejo-uçá, e seu potencial uso como espécie sentinela da qualidade ambiental. Foram avaliadas três áreas de manguezal em três setores estuarinos (baixo, médio e alto estuário), que tiveram seu bosque arbóreo devidamente caracterizado (composição e estrutura), com registro de parâmetros abióticos (temperatura, umidade relativa, intensidade luminosa e salinidade). Em cada manguezal também foi empregado o método indireto para avaliar a densidade, estrutura populacional e potencial extrativo do caranguejo-uçá, bem como 10 exemplares/setor foram coletados para a análise dos biomarcadores (ensaio micronúcleo e demais anormalidades nucleares, bem como o ensaio vermelho neutro – *NRRT*). A quantificação dos metais foi efetuada no sedimento superficial e em duas matrizes bióticas relacionadas às folhas de *R. mangle* (maduras verdes e senescentes) e tecidos do caranguejo-uçá (musculatura e hepatopâncreas). Os bosques de manguezal do SEI apresentaram diferenças marcantes em termos de composição e desenvolvimento estrutural, com predominância de *R. mangle* (57%) sobre as demais espécies. A densidade média de *U. cordatus* foi de  $3,9 \pm 1,7$  ind./m<sup>2</sup>, sendo a distribuição entre os setores influenciada por vários fatores, como o nível de inundação pelas marés, granulometria do sedimento, disponibilidade de nutrientes e alimento. Dos metais avaliados, somente o Hg não foi quantificado em nenhuma das matrizes. Todos os demais foram quantificados nos sedimentos e 9 na musculatura, com destaque para As, Cu, Cr, Pb e Zn. A quantificação de metais nas matrizes seguiu o padrão decrescente de concentração (S > H > M) para a maioria dos metais, exceto para Zn e Cu, em decorrência das funções fisiológicas desempenhadas nos crustáceos. Os resultados dos testes de citotoxicidade (*NRRT*:  $77,0 \pm 27,5$  min), bem como genotoxicidade (*MN%*:  $5,8 \pm 2,6$  cél./1.000) e ocorrência de morfotipos de anomalias nucleares (e.g. núcleo fragmentado e vacuolado), indicam danos celulares e genéticos associados à exposição aguda e crônica aos contaminantes. Os sedimentos apresentaram risco ecológico moderado à biota para arsênio (67% das amostras), leve a moderado para chumbo (6,7%) e baixo risco para cromo, cádmio, cobre e zinco. Nos tecidos musculares dos caranguejos, as concentrações de zinco ultrapassaram os limites permitidos para consumo humano (ANVISA, FAO/WHO, UE) em todas as amostras, com risco adicional para arsênio e chumbo em parte delas. Com relação ao cobre, todas as amostras superaram o LMT de ingestão diária estabelecidos pela EFSA (0,07 mg·kg<sup>-1</sup>) e 20% (n = 6) pela ANVISA (30 mg·kg<sup>-1</sup>). O conjunto de dados e a associação significativa (p < 0,05) entre variáveis, como *NRRT* e *MN%* às alterações nucleares e às concentrações de metais, tanto no hepatopâncreas, como na musculatura, confirmam o efeito da contaminação ambiental e da utilização do *U. cordatus* como bioindicador e espécie sentinela dos manguezais, possibilitando categorizar o SEI como de alto impacto provável (*PHI*). Os resultados serão disponibilizados a órgãos gestores, podendo subsidiar ações de conservação e manejo dos manguezais e do caranguejo-uçá.

**Palavras-chave:** biomonitoramento, caranguejo-uçá, ecotoxicologia, micronúcleo, vermelho neutro.

## ABSTRACT

The mangroves of São Paulo State are crucial breeding grounds for numerous riparian and marine species, providing essential ecosystem services that are increasingly threatened by anthropogenic activities. One of the most emblematic species in these ecosystems is the mangrove crab *Ucides cordatus*, a characteristic organism of Western Atlantic mangroves, which holds both ecological importance and socio-economic value as a fishery resource and food source. This study assessed the conservation status of the mangroves in the Itanhaém Estuarine System (SEI), by quantifying 12 metals (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Mn, Pb, Sc, V, Ti, and Zn) + P (indicator of organic contamination), across three environmental matrices (sediment, leaves, and tissues), and evaluating their potential effects through cytogenotoxic biomarkers in *U. cordatus*. Three mangrove areas along the lower, middle, and upper estuary sectors were analyzed, including structural and compositional characterization of arboreal vegetation and the recording of abiotic parameters (temperature, relative humidity, light intensity, and salinity). Crab density, population structure, and extractive potential were estimated using an indirect method, and 10 individuals per sector were sampled for biomarker analyses (micronucleus assay, other nuclear abnormalities, and the neutral red retention time test – NRRT). Metals quantification was performed in surface sediments, *Rhizophora mangle* leaves (green mature and senescent), and crab tissues (muscle and hepatopancreas). The mangrove forests showed structural variation across sectors, with *R. mangle* dominating (57%). *U. cordatus* density averaged  $3.9 \pm 1.7$  ind./m<sup>2</sup>, influenced by factors such as tidal flooding, sediment granulometry, nutrient availability, and food supply. Mercury was not detected in any matrix, while all other metals were found in sediments and nine in muscle tissues, particularly As, Cu, Cr, Pb, and Zn. Concentration patterns followed the general order S > H > M, except for Zn and Cu due to physiological roles in crustaceans. Biomarker results (NRRT:  $77.0 \pm 27.5$  min; MN%:  $5.8 \pm 2.6$  cells/1,000) revealed cytotoxic and genotoxic effects, including nuclear abnormalities indicative of chronic and acute exposure to contaminants. Sediment data indicated moderate ecological risk for arsenic (67% of samples), low to moderate for lead (6.7%), and low for Cr, Cd, Cu, and Zn. Zinc concentrations in crab muscle tissues exceeded legal limits for human consumption (ANVISA, FAO/WHO, UE) in all samples, with additional risks from arsenic and lead in some cases. All copper concentrations surpassed EFSA's daily intake threshold ( $0.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), and 20% exceeded ANVISA's limit ( $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Significant associations ( $p < 0.05$ ) between NRRT, MN%, nuclear alterations, and metal concentrations in both hepatopancreas and muscle tissues support the use of *U. cordatus* as a sentinel species and biomonitor. These findings categorize the SEI as a probable high-impact area (PHI) and provide critical data to inform conservation and management strategies for mangroves and *U. cordatus* populations.

**Keywords:** biomonitoring, uçá crab, ecotoxicology, micronucleus, neutral red.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização do Sistema Estuarino de Itanhaém (SEI), no litoral sul do Estado de São Paulo, e seus três setores amostrais: A (inferior), B (intermediário) e C (superior).....24
- Figura 2.** Perfil arbóreo dos bosques de manguezal no Sistema Estuarino do Rio Itanhaém (SEI), com base em coletas realizadas entre 17 e 19 de janeiro de 2022, nos três setores amostrais: Setor A (rosa), Setor B (verde) e Setor C (azul).....39
- Figura 3.** Frequência relativa acumulada das espécies arbóreas nos bosques de manguezal dos três setores amostrais (A, B e C) do Sistema Estuarino do Rio Itanhaém (SEI), durante o período de 17 a 19 de janeiro de 2022.....40
- Figura 4.** Frequência relativa acumulada das frações granulométricas dos sedimentos dos setores amostrais A, B e C dos bosques de manguezais do Sistema Estuarino de Itanhaém (SEI), com base em amostragens realizadas entre 17 a 19 de janeiro de 2022.....41
- Figura 5.** Representação ternária da composição granulométrica dos sedimentos nos setores amostrais A, B e C dos bosques de manguezal do Sistema Estuarino do Rio Itanhaém (SEI), com base nas médias das frações granulométricas obtidas no período de 17 a 19 de janeiro de 2022.....43
- Figura 6.** Estrutura populacional de *Ucides cordatus*, com base na distribuição de frequência em classes de tamanho (*LC*, largura de carapaça), nos três setores amostrais (A, B e C) do Sistema Estuarino do Rio Itanhaém (SEI), durante as coletas obtidas entre 13 a 15 de julho de 2022.....47
- Figura 7.** Matriz de Correlação de Spearman: Biometria vs. Metais no Hepatopâncreas de *Ucides cordatus*. Análise entre as variáveis biométricas (*LC*, largura da carapaça, *PE*, peso úmido) e citotóxica (*NRRT*), com a concentração de cada metal (Cr, Mn, Zn, Ti e V) no hepatopâncreas dos caranguejos no Sistema Estuarino do Rio Itanhaém (SEI).....48
- Figura 8.** Matriz de Correlação de Spearman: Biometria vs. Metais na musculatura de *Ucides cordatus*. Análise entre as variáveis biométricas (*LC*, largura da carapaça, *PE*, peso úmido) e citotóxica (*NRRT*), com a concentração de cada metal (Mn, Zn, Ti e V) na musculatura dos caranguejos no Sistema Estuarino do Rio Itanhaém (SEI).....49
- Figura 9.** Matriz de correlação de Spearman: Biometria vs. Genotoxicidade em *Ucides cordatus*. Análise entre as variáveis biométricas (*LC*, largura da carapaça, *PE*, peso úmido) e genotóxica (*MN* = micronúcleo) e as alterações nucleares (*NB* = broto nuclear, *NF* = núcleo fragmentado, *VN* = núcleo vacuolado, *LN* = núcleo lobado, *NR* = núcleo retraído, *BN* = núcleo bolhoso, *BI* = binucleado, *NN* = núcleo entalhado) encontradas nas amostras de hemolinfa de *U. cordatus*, no Sistema Estuarino do Rio Itanhaém (SEI).....50
- Figura 10.** Concentração de metais (mg·kg<sup>-1</sup>) nos sedimentos de manguezal em três setores do Sistema Estuarino do Rio Itanhaém (SEI), com diferentes distâncias da foz: Setor A (até 3,7 km); Setor B (de 3,7 a 4,7 km); e Setor C (acima de 4,7 km), no período de 18 a 20 de julho de 2022.....53

<b>Figura 11.</b> Concentração de metais (mg·kg <sup>-1</sup> ) nas folhas de <i>Rhizophora mangle</i> dos setores do Sistema Estuarino do Rio Itanhaém (SEI), em diferentes distâncias da foz: Setor A (até 3,7 km), Setor B (de 3,7 a 4,7 km) e Setor C (acima de 4,7 km), no período de 18 a 20 de julho de 2022.....	54
<b>Figura 12.</b> Concentração de metais (mg·kg <sup>-1</sup> ) nos tecidos do caranguejo-uçá dos setores do Sistema Estuarino do Rio Itanhaém (SEI), em diferentes distâncias da foz: Setor A (até 3,7 km), Setor B (de 3,7 a 4,7 km) e Setor C (acima de 4,7 km), no período de 18 a 20 de julho de 2022.....	55
<b>Figura 13.</b> Matriz de correlação de Spearman: Granulometria vs. Metais no Sedimento.....	57
<b>Figura 14.</b> Frequência acumulada da qualificação ambiental.....	58
<b>Figura 15.</b> Fator de Bioacumulação ( <i>FB</i> ) para as matrizes bióticas avaliadas (folhas verdes e folhas senescentes, de <i>R. mangle</i> ; e hepatopâncreas e musculatura, do <i>U. cordatus</i> ) no Sistema Estuarino de Itanhaém (SEI), para os metais avaliados no estudo (As, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, Ti, Sc e V).....	61

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Síntese de Confirmação de Hipóteses. Onde: <i>S</i> , sedimento; <i>H</i> , hepatopâncreas; <i>M</i> , musculatura, <i>NRRT</i> , ensaio vermelho neutro; <i>MN%</i> , ensaio micronúcleo; <i>DENS</i> , densidade; <i>FB</i> , fator de bioacumulação; <i>PEI</i> , potencial extrativo imediato; <i>PEF</i> , potencial extrativo futuro; <i>PHI</i> , alto impacto provável; <i>CUB</i> , Cubatão; <i>JUR</i> , Jureia; <i>ISQG-PEL</i> , risco ecotoxicológico moderado à biota.....	80
---	----

## LISTA DE TABELAS

- Tabela I.** Parâmetros ambientais e arbóreos registrados (média desvio padrão) para os três setores de manguezal (A, B e C) do Sistema Estuarino do Rio Itanhaém (SEI), no período de 17 a 19 de janeiro de 2022.....39
- Tabela II.** Caracterização granulométrica e físico-química dos sedimentos nos setores amostrais (A, B e C) dos boques de manguezal do Sistema Estuarino do Rio Itanhaém (SEI), com base em amostras coletadas entre 17 e 19 de janeiro de 2022.....44
- Tabela III.** Caracterização química dos sedimentos nos setores amostrais (A, B e C) nos boques de manguezal do Sistema Estuarino de Itanhaém (SEI), com base em coletas realizadas entre 17 e 19 de janeiro de 2022.....45
- Tabela IV.** Comparativo entre variáveis biométricas - *LC* (largura da carapaça, em milímetros) e *PE* (peso, em gramas), citotóxica - *NRRT* (vermelho neutro, em minutos), e genotóxicas - *MN* (micronúcleo, a cada 1.000 células analisadas) e alterações celulares (*NB*, broto nuclear; *NF*, núcleo fragmentado; *VN*, núcleo vacuolado; *LN*, núcleo lobado; *NR*, núcleo retraído; *BN*, núcleo bolhoso; *BI* = binucleada; *NN* = núcleo entalhado), em diferentes setores (A, B, C) do Sistema Estuarino de Itanhaém (SEI), no período de 18 a 20 de julho de 2022.....52
- Tabela V.** Concentração de metais (média desvio padrão, expressa em mg . Kg<sup>-1</sup>), em diferentes matrizes (*S*, sedimento; *R. mangle*: *FV*, folhas verdes maduras; *FS*, folhas senescentes; e *U. cordatus*: *H*, hepatopâncreas; *M*, musculatura) e setores do Sistema Estuarino do Rio Itanhaém (SEI), no período de 18 a 20 de julho de 2022.....59

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMG	Areia Muito Grossa
AG	Areia Grossa
AM	Areia Média
AF	Areia Fina
AMF	Areia Muito Fina
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
APP	Área de Preservação Permanente
AREIA	Frações arenosas
As	Arsênio
<i>A. schaueriana</i>	<i>Avicennia schaueriana</i>
AV	<i>Avicennia schaueriana</i>
BI	Binucleada
BN	Núcleo Bolhoso
B	Boro
Ca	Cálcio
CAP	Circunferência à Altura do Peito
Cd	Cádmio
CL	Cariólise
CPERio	Centro de Pesquisas do Estuário do Rio Itanhaém “Prof. Samuel Murgel Branco”
Cr	Cromo
CRUSTA	Grupo de Pesquisa em Biologia de Crustáceos
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
Cu	Cobre
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
DMSO	Dimetilsulfóxido
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
F	Valor do teste estatístico para ANOVA
Fe	Ferro
FS	Folha Senescente
FV	Folha Verde
h	Altura
HEPES	Ácido 4-(2-hidroxietil)-1-piperazina-etanosulfônico
H + Al	Acidez Potencial do Solo
Hg	Merúrio
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
ISQG	Interim Sediment Quality Guidelines
IO/USP	Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
K	Potássio
KW	Valor do teste de normalidade de Kruskal-Wallis
L	Valor do teste de homocedasticidade de Levene
LAMOM	Laboratório de Metais em Organismos Marinhos
LAQIMAR	Laboratório de Química Inorgânica Marinha
LBC	Laboratório de Biologia da Conservação de Crustáceos e Ambientes Costeiros
LC	Largura da Carapaça
LG	<i>Laguncularia racemosa</i>
LN	Núcleo Lobado
LMT	Limites Máximos Tolerados
<i>L. racemosa</i>	<i>Laguncularia racemosa</i>
LUX <sub>ex</sub>	Intensidade Luminosa Externa
LUX <sub>in</sub>	Intensidade Luminosa Interna
Máx.	Valor máximo
MC	Micrócito

Mg	Magnésio
Mín.	Valor mínimo
Mn	Manganês
MN	Micronúcleo
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MO	Matéria Orgânica
n	Número amostral
Na	Sódio
NB	Broto Nuclear
nd	Não detectado
NF	Núcleo Fragmentado
Ni	Níquel
NIV	Nível de Inundação pelas Marés
NN	Núcleo Entalhado
NR	Núcleo Retraído
NRRT	Neutral Red Retention Time (Tempo de Retenção do Vermelho Neutro)
P	Fósforo
Pb	Chumbo
PE	Peso
PEL	Probable Effects Level
pH	Potencial hidrogeniônico
PLI	<i>Probable Low Impact</i> (Baixo Impacto Provável)
PNI	<i>Probably No Impact</i> (Provável Ausência de Impacto)
PHI	<i>Probable high impact</i> (Alto Impacto Provável)
<i>R. mangle</i>	<i>Rhizophora mangle</i>
RH	<i>Rhizophora mangle</i>
RMBS	Região Metropolitana da Baixada Santista
s	Desvio padrão
S	Silte
SAL	Salinidade
S + A	Frações silte-argilosas
Sc	Escândio
SEI	Sistema Estuarino de Itanhaém
SISBIO	Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade
Temp	Temperatura
Ti	Titânio
TMG	Tamanho Médio do Grão
TOT	Média geral
<i>U. cordatus</i>	<i>Ucides cordatus</i>
UNESP IB	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Instituto de Biociências
UR	Umidade relativa
V	Vanádio
VC	Citoplasma Vacuolado
VN	Núcleo Vacuolado
x	Média
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>22</b>
2.1.	Objetivos Específicos.....	22
<b>3.</b>	<b>MATERIAL &amp; MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
3.1.	Área de Estudo.....	23
3.2.	Caracterização dos Bosques de Manguezal.....	25
3.3.	Densidade e Estrutura Populacional.....	26
3.4.	Coleta e Processamento de <i>Ucides cordatus</i> .....	28
3.4.1.	Biometria.....	28
3.4.2.	Coleta de Hemolinfa e Tecidos.....	29
3.4.3.	Processamento das Amostras Para Quantificação de Metais.....	29
3.5.	Análises Laboratoriais.....	30
3.5.1.	Citotoxicidade: Ensaio do Vermelho Neutro ( <i>NRRT</i> ).....	31
3.5.2.	Genotoxicidade: Ensaio Micronúcleo ( <i>MN%</i> ) e Alterações Nucleares ( <i>AN%</i> ).....	32
3.5.3.	Análise de Metais em Sedimentos, Folhas e Tecidos e LMT.....	33
3.6.	Análises Estatísticas.....	36
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>38</b>
4.1.	Caracterização dos Bosques de Manguezal.....	38
4.2.	Caracterização do Sedimento e Hidrodinâmica dos Manguezais do SEI.....	40
4.3.	Densidade, Estrutura Populacional e Potencial Extrativo do <i>U. cordatus</i> no SEI....	46
4.4.	Citotoxicidade ( <i>NRRT</i> ).....	47
4.5.	Genotoxicidade (Micronúcleo e ANs).....	49
4.6.	Análise de Metais em Sedimentos, Folhas e Tecidos e Limites Máximos Tolerados (LMT).....	53
4.6.1.	Fator de Bioacumulação ( <i>FB</i> ).....	61
<b>5.</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>63</b>
5.1.	Caracterização dos Bosques de Manguezal.....	63
5.2.	Caracterização do Sedimento e Hidrodinâmica dos Manguezais do SEI.....	64
5.3.	Densidade, Estrutura Populacional e Potencial Extrativo do <i>U. cordatus</i> no SEI...67	67
5.4.	Citotoxicidade ( <i>NRRT</i> ).....	69
5.5.	Genotoxicidade (Micronúcleo e ANs).....	71
5.6.	Análise de Metais em Sedimentos, Folhas e Tecidos, Fator de Bioacumulação ( <i>FB</i> ) e Limites Máximos Tolerados (LMT).....	74
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>81</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>83</b>
	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>99</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os manguezais brasileiros têm áreas estimadas que variam de 11.144km<sup>2</sup> (Magris & Barreto, 2010) a 13.790km<sup>2</sup> (Lopes, 2017) sendo encontrados especialmente nas regiões norte e nordeste do país, onde são extremamente exuberantes (Vale & Schaeffer-Novelli, 2018). Isto se deve a maior proximidade do Equador, onde ocorre considerável elevação térmica e um regime das macromarés típico dessas regiões, particularmente dos estados da Região Norte brasileira (Souza-Filho *et al.*, 2019). A região sudeste do Brasil, por sua vez, comporta uma área de manguezais bem mais modesta, compreendendo cerca de 7% deste ecossistema (807 km<sup>2</sup> segundo Lopes, 2017). No litoral do Estado de São Paulo as três espécies arbóreas comumente encontradas nos manguezais são *Rhizophora mangle* (Linnaeus, 1753) (mangue-vermelho), *Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn, 1807 (mangue-branco) e *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke, 1939 (mangue-preto), além de uma ampla diversidade de caranguejos, moluscos e peixes.

O desenvolvimento estrutural dos bosques de manguezal e a distribuição de suas espécies são influenciadas pela dinâmica das marés, com a mistura das massas de águas salinas e dulcícolas, gerando gradientes de salinidade, bem como alterações na topografia e composição granulométrica dos sedimentos (Schaeffer-Novelli *et al.*, 1990, 2002; Cunha-Lignon *et al.*, 2011; Charlier-Sarubo *et al.*, 2015; Soriano-Sierra *et al.*, 2015; Pinheiro & Almeida, 2015). Essas áreas são encontradas em estuários e lagoas costeiras, sujeitas a uma ampla variação de temperatura ao longo do ano (20 a 30°C), típica do clima tropical úmido, com estações secas e chuvosas bem definidas (Spalding *et al.*, 2010). Esses bosques desenvolvem-se em solos lodosos e salinos, onde os manguezais podem variar de composição e tamanho, podendo se misturar com a vegetação de restinga (Ab'Sáber, 2001).

Os manguezais são considerados Áreas de Preservação Permanente (APPs), segundo o Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012), onde sua degradação ou destruição são considerados crimes ambientais. Muitos peixes e outros organismos de importância econômica usam este ambiente como área de refúgio, alimentação e reprodução (Braz & Peres Filho, 2001; Pinheiro *et al.*, 2008; Freret-Meurer *et al.*, 2010; Pinheiro *et al.*, 2012; Sandilyan & Kathiresan, 2012; Souza *et al.*, 2018). Neles ocorrem espécies vegetais endêmicas, algumas delas com propriedades medicinais ou utilizadas na fabricação de corantes e outros produtos. As folhas e propágulos dessa vegetação são utilizados como alimento por alguns animais, como é o caso do caranguejo-uçá *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), que atua na fragmentação da matéria orgânica e na bioturbação do sedimento, contribuindo para a ciclagem de nutrientes (Pinheiro *et al.*, 2012). Devido ao seu hábito alimentar herbívoro-detritívoro e sua estreita relação com o

ecossistema, *U. cordatus* tem sido amplamente utilizado como espécie bioindicadora do estado de conservação dos manguezais (Pinheiro *et al.*, 2015; Duarte *et al.*, 2016, 2017).

O caranguejo-uçá é uma espécie explorada comercialmente ao longo do litoral brasileiro, especialmente nas regiões norte e nordeste, onde um expressivo contingente humano se ocupa em sua extração (Legat *et al.*, 2007; Gondim & Araujo, 1996 *apud* Wunderlich *et al.*, 2008). Na Região Sudeste, esse recurso também é explorado, sendo que somente no Município de Itanhaém, entre janeiro/2010 a janeiro/2020, foi registrada a captura de cerca de 8 toneladas de *U. cordatus* pelas unidades produtivas locais, gerando uma receita de R\$ 86 mil (PMAP – SP, 2020). Em período subsequente (fevereiro/2020 a maio/2025), a captura foi de 1.163,5 kg, com receita estimada em R\$ 15.180,53 (PMAP – SP, 2025).

Por ser uma iguaria com alto valor proteico (71,9 %, segundo Pinheiro & Fiscarelli, 2001) e considerável exploração, suas populações vêm diminuindo anualmente (Legat & Puchnick, 2003; Conti & Nalesso, 2010; Dias-Neto, 2011), o que tem causado grande impacto ambiental e prejuízos à sustentabilidade dos estoques pesqueiros (Araújo & Calado, 2008; Castro *et al.*, 2008; Wunderlich *et al.*, 2008; Góes *et al.*, 2010; Castiglioni *et al.*, 2013; Oliveira *et al.*, 2013, Harkot *et al.*, 2017).

O caranguejo-uçá já foi considerado ameaçado de sobre-exploração (Rodrigues *et al.*, 2000), sendo categorizado no Brasil como Quase Ameaçado (NT, *Near Threatened*), inclusive figurando na Instrução Normativa MMA nº 05/2004 como espécie sobre atenção especial para conservação (Pinheiro & Rodrigues, 2011; Pinheiro *et al.*, 2016). No Estado de São Paulo consta da lista de espécies da fauna silvestre com restrições de captura, conforme estabelecidos pelo Decreto nº 64.133/2014 (SÃO PAULO, 2014), existindo diretrizes para sua gestão e ordenamento pesqueiro. Esse crustáceo é objeto de programas de recuperação de estoques e sustentabilidade pesqueira, que incluem estratégias de gestão ambiental voltadas à mitigação da sobrepesca e à conservação de suas populações naturais (Harkot *et al.*, 2017).

Dessa forma, o biomonitoramento surge como uma ferramenta essencial para avaliar alterações em determinados ecossistemas naturais, sejam elas de origem natural ou decorrentes de ações antrópicas (Buss *et al.*, 2003). Essa abordagem utiliza organismos vivos como indicadores das condições ambientais, permitindo detectar efeitos subletais da contaminação (p. ex., alterações fisiológicas, bioquímicas e genéticas), antes que ocorram danos visíveis ao ambiente (Moreira & Ribeiro, 2016; Adam *et al.*, 2023). Essa abordagem é amplamente aplicada em áreas sujeitas à poluição industrial, urbana e agrícola, contribuindo para a gestão ambiental e o desenvolvimento de políticas públicas eficazes.

A exposição a poluentes, como os metais, pode desencadear respostas de estresse nos organismos, incluindo bioacumulação, alterações metabólicas, redução no crescimento e reprodução, danos ao DNA e desequilíbrio nos sistemas antioxidantes (Lima, 2000; Monserrat *et al.*, 2007; Virga *et al.*, 2007). Esses efeitos podem ser detectados por biomarcadores fisiológicos, genéticos e bioquímicos, mesmo após curtos períodos de exposição (Adams *et al.*, 1990; Santos & Umbuzeiro, 2006; Pinheiro *et al.*, 2017; Adam *et al.*, 2023).

Os biomarcadores citotóxicos, de base fisiológica, avaliam o estresse celular causados por agentes químicos. Entre eles, destaca-se a técnica do vermelho-neutro, que tem baixo custo operacional e detecta com eficácia danos às membranas celulares (Lima & Abdalla, 2001; Daguano *et al.*, 2007; Adam *et al.*, 2023). Já os biomarcadores genotóxicos são utilizados para detectar macrolesões ao DNA em organismos expostos à poluição ambiental (Depledge *et al.*, 1993), sendo o ensaio micronúcleo um dos mais aplicados, quantificando a frequência de células micronucleadas a cada 1.000 analisadas (Brunetti *et al.*, 1988; Pinheiro *et al.*, 2013; Duarte *et al.*, 2016).

Os dados obtidos por meio de biomarcadores possibilitam seu confronto aos valores de referência obtidos em áreas prístinas, permitindo avaliar o grau de contaminação de um ecossistema. O ensaio micronúcleo tem sido usado com sucesso desde a segunda metade do século XX para detectar lesões genéticas (macrolesões), tornando-se ferramenta essencial na avaliação dos efeitos genotóxicos em organismos marinhos e costeiros, com implicações diretas na categorização da qualidade ambiental (Burgeot *et al.*, 1995). Estudos *in vitro* têm demonstrado a eficácia do ensaio micronúcleo como marcador genético em diversos grupos taxonômicos, como mamíferos (Shimada *et al.*, 1992; Ballestreri, 2017), anfíbios (Jaylet *et al.*, 1986; Skovronski *et al.*, 2018), peixes (Carrasco *et al.*, 1990; Williams & Metcalfe, 1992; Galindo *et al.*, 2012; Canedo *et al.*, 2021; Rosa-Neto *et al.*, 2022) e invertebrados (Brunetti *et al.*, 1988; Scarpato *et al.*, 1990; Wrisberg *et al.*, 1992; Duarte *et al.*, 2016; Pinheiro *et al.*, 2022; Adam *et al.*, 2023). Nos invertebrados, esta ferramenta tem sido altamente sensível na estimativa de danos genéticos em mexilhões do gênero *Mytilus* (Barsiene, 2002; Recabarren-Villalón *et al.*, 2019), crustáceos cirripédios do gênero *Balanus* (Nigro *et al.*, 2006; Niyogi *et al.*, 2021), e em crustáceos braquiúros como *Ucides cordatus* (Nudi *et al.*, 2007; Bordon *et al.*, 2012; Pinheiro *et al.*, 2013; Pinheiro *et al.*, 2022; Adam *et al.*, 2023).

As análises de contaminação dos sedimentos também têm sido utilizadas para avaliar os níveis de poluição (Cesar *et al.*, 2006, 2015; Ventura *et al.*, 2024), o mesmo ocorrendo com os macroinvertebrados bentônicos. Estes animais são reconhecidamente excelentes bioindicadores ambientais, devido ao seu comportamento mais sedentário, ciclo de vida curto, alimentação

próxima ao sedimento, alta diversidade biológica e importância fundamental nos ecossistemas aquáticos, inclusive na ciclagem de nutrientes e processamento da matéria orgânica (Adam *et al.*, 2023; Costa *et al.*, 2024; Nascimento-Moreira *et al.*, 2024). Esses invertebrados são capazes de imobilizar ou eliminar os contaminantes, que são absorvidos por contato pela epiderme, brânquias ou ingestão de alimentos contaminados (Chiba *et al.*, 2011), fornecendo respostas fisiológicas e genéticas mensuráveis após curtos períodos de exposição.

Dentre estes organismos, o caranguejo-uçá destaca-se como uma espécie bioindicadora altamente eficaz para ambientes de manguezal. Essa espécie reúne várias características relevantes, como endemismo, baixa mobilidade, hábito escavador, elevada longevidade (cerca de 10 anos; Pinheiro *et al.*, 2005), alta abundância e facilidade de captura (Goulart & Callisto, 2003). Além disso, possui hábito alimentar herbívoro-detritívoro, com base na serapilheira disponível, o que favorece o acúmulo de metais em seus tecidos, com possível biomagnificação ao longo da cadeia trófica, afetando peixes, aves e mamíferos, incluindo o ser humano (Fiscarelli & Pinheiro, 2002; Souza & Pinheiro, 2022). Além disso, *U. cordatus* também responde a outros poluentes orgânicos persistentes, como benzeno, DDT, DDE, DDD, HCB, HCH, aldrin, dieldrin e endrin (Tavares *et al.*, 1999), confirmando a relevância deste crustáceo como espécie sentinela na avaliação da qualidade ambiental em ecossistemas costeiros.

Segundo Buss *et al.* (2003), a escassez de recursos e de pessoal técnico especializado nas agências ambientais tem limitado a fiscalização e o monitoramento contínuo dos impactos ambientais no Brasil. Assim, as universidades e centros de pesquisas assumem papel fundamental na geração de dados e diagnósticos. Esta lacuna também ocorre no Sistema Estuarino de Itanhaém (SEI), com escassez de estudos sobre a contaminação ambiental e seus reflexos ecológicos e socioeconômicos. O Município de Itanhaém (SP), apresentou um expressivo crescimento populacional entre 1998 a 2022, de 27.000 para 112.467 mil habitantes (IBGE, 2022), resultando em rápida expansão urbana, ocupações irregulares em áreas de proteção ambiental, intensificação do lançamento de efluentes domésticos e instalação de condomínios e marinas nas imediações do estuário (Souza & Pinheiro, 2020).

Tais informações, aliadas a contaminação por arsênio nos sedimentos do Rio Itanhaém e nos tecidos de *U. cordatus* (Carmo *et al.*, 2004), embasam a necessidade de uma investigação mais atual, inclusive com análise da concentração deste e outros metais nos manguezais, bem como sobre o estado de qualidade ambiental deste sistema estuarino. Além da importância ecológica, temos reflexos à economia e alimentação humana nesta região, onde o caranguejo-uçá é comercializado por pescadores artesanais e consumido por turistas e moradores locais (Souza & Pinheiro, 2020), o que urge um diagnóstico atualizado sobre este tema.

Embora alguns estudos sobre metais tenham sido desenvolvidos em áreas de manguezal da Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), como Cubatão, Santos, São Vicente e Bertioga (Harris & Santos, 2000; Silva *et al.*, 2002; Hortellani *et al.*, 2005; Siqueira *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2006; Pinheiro *et al.*, 2013; Vedolin *et al.*, 2020), o SEI ainda permanece subamostrado (Souza *et al.*, 2014). Os poucos dados já publicados alertam para a presença de alguns metais, assim como hidrocarbonetos e óleos (Santos *et al.*, 2017). Neste sentido, Pinheiro *et al.* (2012) encontraram altas concentrações de cromo (Cr) e cobre (Cu) nos manguezais de Cubatão e Bertioga, enquanto Abessa *et al.* (2018) registraram contaminação por cobre (Cu) e zinco (Zn) em sedimentos de manguezal nas diferentes unidades de conservação marinha paulistas.

A presente investigação propõe uma abordagem integrada para avaliar o estado ambiental dos manguezais do SEI, pela quantificação de 12 elementos metálicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Mn, Pb, Sc, V, Ti e Zn) + P, como arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), níquel (Ni), manganês (Mn), chumbo (Pb), escândio (Sc), vanádio (V), titânio (Ti), zinco (Zn) + fósforo (P), em três matrizes ambientais: sedimentos, folhas de *Rhizophora mangle* (madura verde e senescentes) e tecidos de *U. cordatus* (hepatopâncreas e musculatura). Apesar do arsênio ser considerado um metaloide, segundo a IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*), ele foi referido como metal, assim como os demais 12 elementos quantificados. O elemento fósforo (P), não metal, foi quantificado e utilizado como indicador de contaminação orgânica nos sedimentos. Os sedimentos acumulam metais ao longo do tempo, atuando como reservatórios histórico de contaminantes (Mahiques *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023); as folhas refletem a disponibilidade de metais na rizosfera e na deposição atmosférica (Santos *et al.*, 2022; Pereira *et al.*, 2023); e os tecidos do caranguejo evidenciam tanto a exposição aguda como crônica (hepatopâncreas) quanto o potencial risco ao consumo humano (musculatura) (Ferreira *et al.*, 2021; Prata *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2022). A associação entre os dados físico-químicos dos manguezais e os efeitos citotóxicos e genotóxicos em *U. cordatus* oferece uma visão multivariada sobre o grau de contaminação e suas implicações ecológicas e sanitárias.

Considerando o histórico ambiental e os impactos antrópicos crescentes do Litoral Centro de São Paulo, bem como os desafios metodológicos da análise integrada de múltiplas variáveis, espera-se que os resultados deste estudo possam contribuir para a categorização dos manguezais do SEI quanto ao seu nível de contaminação, subsidiando medidas de conservação e manejo. O uso combinado de biomarcadores e contaminação por metais em múltiplas matrizes

ambientais viria a reforçar o status do caranguejo-uçá como espécie na avaliação da qualidade ambiental de manguezais.

Neste contexto, as hipóteses deste estudo são:

- **Hipótese I:** A densidade, a estrutura populacional e o potencial extrativo imediato do caranguejo-uçá variam entre os setores do Sistema Estuarino de Itanhaém (SEI), refletindo diferentes os níveis de impacto antrópico e parâmetros ambientais locais;
- **Hipótese II:** O tempo médio de retenção do vermelho neutro (*NRRT*) em *Ucides cordatus* no SEI é inferior ao observado em áreas de manguezal mais preservadas, como a Juréia, refletindo maior estresse celular associado à contaminação dos sedimentos;
- **Hipótese III:** A frequência de células micronucleadas (*MN%*) em *U. cordatus* no SEI encontra-se acima dos valores basais registrados em áreas de manguezal de menor impacto, indicando exposição a agentes genotóxicos;
- **Hipótese IV:** O manguezal do SEI apresenta nível intermediário de contaminação por metais quando comparado a outros manguezais do Litoral Centro-Sul Paulista, refletindo variabilidade nas fontes e distintas intensidades de poluição ao longo do estuário.
- **Hipótese V:** A concentração dos 12 metais + P analisados nas diferentes matrizes ambientais (sedimento, folhas e tecidos) difere entre as áreas de manguezal do SEI, sendo influenciada pela proximidade de potenciais fontes de contaminação antrópica;
- **Hipótese VI:** Os níveis de metais nos tecidos de *U. cordatus* são significativamente maiores no SEI do que na Juréia, refletindo maiores concentrações nos sedimentos, com padrão de bioacumulação decrescente: sedimento > hepatopâncreas > musculatura.

## 2. OBJETIVO GERAL

Avaliar o estado de conservação dos manguezais do Sistema Estuarino do Rio Itanhaém (SEI), em Itanhaém (SP), por meio de análise das concentrações de metais e da resposta de biomarcadores (citotóxico e genotóxico) no caranguejo-uçá (*U. cordatus*), visando à categorização da qualidade ambiental deste ecossistema.

### 2.1. Objetivos Específicos

- 1) Caracterizar os parâmetros populacionais (densidade, estrutura populacional e potencial extrativo) do caranguejo-uçá (*U. cordatus*) para cada setor amostrado e no SEI como um todo;
- 2) Determinar a concentração de 12 metais (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Mn, Pb, Sc, V, Ti e Zn) + P em três áreas de manguezal nos respectivos setores do SEI, utilizando como matrizes ambientais os sedimentos, folhas (verdes maduras e senescentes) de *R. mangle* e tecidos (hepatopâncreas e musculatura) de *U. cordatus*;
- 3) Quantificar os efeitos citotóxicos e genotóxicos no caranguejo *Ucides cordatus*, com base nos biomarcadores *NRRT* (vermelho neutro) e ensaio micronúcleo (*MN%*), e avaliar sua correlação com as concentrações de metais nas matrizes ambientais; e
- 4) Confrontar as concentrações dos metais nos sedimentos e na musculatura do caranguejo-uçá com limites de referência nacionais e internacionais, identificando os riscos à saúde humana e categorizando o nível de contaminação ambiental do SEI em comparação com dados previamente registrados para outros seis manguezais do Litoral Centro-Sul Paulista.

## 6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo revelam que os manguezais do Sistema Estuarino do Rio Itanhaém (SEI) apresentam características estruturais e funcionais peculiares, moldadas por interações complexas entre fatores abióticos, bióticos e antrópicos. A distribuição das espécies vegetais típicas de mangue — *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia schaueriana* —, associada a distintas fases de desenvolvimento e padrões espaciais, é fortemente influenciada por variáveis ambientais como a salinidade, a dinâmica hidrológica das marés, o regime de drenagem fluvial e a composição granulométrica dos sedimentos.

As análises sedimentológicas evidenciaram diferenças entre setores em termos de frações texturais (silte, areia e argila), as quais condicionam não apenas a vegetação, mas também a estrutura populacional do caranguejo-uçá, espécie-chave dos manguezais atlânticos, e a concentração de metais no sedimento. A densidade e as características morfológicas-funcionais das tocas refletiram não apenas os gradientes ecológicos, mas também a influência direta de distúrbios ambientais.

A detecção de metais (p. ex., Mn, Ni, Zn, Ti, V e Cr) em matrizes abióticas (sedimento) e bióticas (folhas de *R. mangle*, hepatopâncreas e musculatura de *U. cordatus*) indicou padrões de bioacumulação potencialmente ligados a fontes de poluição antrópica, como lançamento de esgoto (bruto ou tratado), uso agrícola de fertilizantes, deposição de resíduos sólidos e contaminação por hidrocarbonetos de embarcações.

A aplicação de biomarcadores celulares, como o tempo de retenção do vermelho neutro (*NRRT*), frequência de micronúcleos (*MN%*) e alterações nucleares (*NB*, *LN*, *VN* etc.), evidenciou respostas citotóxicas e genotóxicas consistentes com a exposição crônica a contaminantes ambientais. A associação entre biomarcadores, metais e dados biométricos reforça a eficácia do uso de *U. cordatus* como organismo sentinela em programas de monitoramento ambiental de manguezais.

Com base na integração dos dados estruturais da vegetação, das respostas populacionais e fisiológicas do caranguejo-uçá e das análises físico-químicas e citogenotóxicas, conclui-se que os manguezais arbóreos do SEI apresentam, em grande parte, uma fisionomia madura, com estrutura vertical bem desenvolvida e predominância de indivíduos adultos, o que sugere estabilidade ecológica local. No entanto, a ocorrência de danos celulares recorrentes, a bioacumulação de metais e os padrões espaciais de impacto apontam para um estuário submetido a pressões antrópicas crônicas, o que permite sua categorização como um sistema de "Alto Impacto Provável – *PHP*", conforme os critérios propostos por Duarte *et al.* (2016). Essa

condição impõe riscos à biota e à funcionalidade ecossistêmica, especialmente nos setores com menor renovação hidrodinâmica.

De forma integrada, este estudo contribui para o entendimento dos impactos antrópicos nos manguezais do SEI, revelando zonas mais críticas em termos de saúde ambiental e funcionalidade ecossistêmica. Os achados ressaltam a urgência de estratégias de gestão e conservação que incorporem abordagens multiescalares e multidisciplinares, capazes de mitigar os efeitos da degradação ambiental sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos associados aos manguezais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Sáber, N.A. 2001. **Litoral do Brasil**. Metavídeo SP Produção e Comunicação Ltda. 288 p.
- Abessa, D.M.S.; Albuquerque, H.C.; Morais, L.G; Araújo, G.S.; Fonseca, T.G.; Cruz, A.C.F.; Campos, B.G.; Camargo, J.B.D.A.; Gusso-Choueri, P.K.; Perina, F.C.; Choueri, R.B. & Lucas M.Buruaem, L.M. 2018. Pollution status of marine protected areas worldwide and the consequent toxic effects are unknown. *Environmental Pollution*, 243, 1450-1459.
- Abessa, D.M.S. & Ambrozewicius, A.P. 2008. Poluição aquática e tratamento de esgotos, Cap. 04, pp. 41-54. In: Oliveira, A.J.F.C.; Pinheiro, M.A.A. & Fontes, R.F.C. (orgs.). *Panorama Ambiental da Baixada Santista*. 1ª Edição. São Vicente (SP), Universidade Estadual Paulista - Campus Experimental do Litoral Paulista, 127 p. ISBN 978-85-61498-02-3.
- Abessa, D.M.S. 2002. **Avaliação da qualidade de sedimentos do Sistema Estuarino de Santos, SP, Brasil**. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO/USP). São Paulo (SP), 295p. (*Tese de Doutorado*)
- Adam, M.L.; Torres, R.A.; Boos, H. & Pinheiro, M.A.A. 2023. Espécies sentinelas: Monitoramento Ambiental com base em biomarcadores de efeito cito- e genotóxico. *Revista CEPSUL - Biodiversidade e Conservação Marinha*, 12, e2023002. <https://doi.org/10.37002/revistacepsul.vol12.2333e20230002>
- Adams, S.M.; Shepard, K.L.; Greeley JR, M.S.; Jimenez, B.D.; Ryon, M.G.; Shugart, L.R. & Mccarthy, J.F. 1990. The Use of Bioindicators for Assessing the Effects of Pollutant Stress of Fish. *Marine Environment Research*, 28, 459-464.
- Ahearn, G.A., 2010. Heavy metal transport and detoxification in crustacean gastrointestinal and renal epithelial cells, pp. 295-326. In: Kalups, R.K., Koropatnick, J. (eds.). **Cellular and Molecular Biology of Metals**. New York, CRC Press.
- Ahearn, G.A.; Mandal P.K. & Mandal, A. 2004. Mechanisms of heavy-metal sequestration and detoxification in crustaceans: a review. *Journal of Comparative Physiology B*, 174,439-452.
- Alloway, B.J. 1993. **Heavy metals in soils**. New York, Black Academic, 339 p.
- Alongi, D.M. 2015. The impact of climate change on mangrove forests. *Current Climate Change Reports*, 1, 30-39.
- Anderson, M.B.; Lepak, J.M. & Brady, F.O. 1999. Biological roles of manganese. In: Sigel, H. & Sigel, A. (eds.). **Manganese and its Role in Biological Processes**. Marcel Dekker.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2013. Resolução - RDC Nº 42, de 29 de agosto de 2013. Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos. Brasil, DOU, 42: 1.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2022. Instrução Normativa - IN Nº 160, de 1º de julho de 2022. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de contaminantes em alimentos. Brasil, DOU, 126.
- Araújo-Filho, J.R. 1950. A “vila” de Itanhaém. *Boletim Paulista de Geografia*, 6, 3-22.
- Araújo, M.S.L.C. & Calado, T.C.S. 2008. Bioecologia do caranguejo-uçá *Ucides cordatus* (Linnaeus) no complexo estuarino lagunar Mundáu/Manguaba (CELMM), Alagoas, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 8, 169-181.
- Ballestreri, E. 2017. Teste de micronúcleos como ferramenta para avaliação da exposição ocupacional a pesticidas: revisão. *Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade*, 10(1). <https://doi.org/10.22280/revintervol10ed1.260>

- Banci, K.R.S.; Mori, G.M.; Oliveira, M.A.; Paganelli, F.L.; Pereira, M.R. & Pinheiro, M.A.A. 2017. Can environmental pollution by metals change genetic diversity? *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) as a study case in Southeastern Brazilian mangroves. *Marine Pollution Bulletin*, 116(1-2), 440–447.
- Barrento, S.; Marques, A.; Teixeira, B.; Anacleto, P.; Carvalho, M. L.; Vaz-Pires, P.; Nunes, M. L. 2009. Macro and trace elements in two populations of brown crab *Cancer pagurus*: Ecological and human health implications. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 65–71.
- Barsiene, J. 2002. Genotoxic impacts in Klaipeda Marine port and Butinge oil terminal areas (Baltic Sea). *Marine Environmental Research*, 54(3-5), 475–479.
- Barwise, A.J.G. 1990. Role of nickel and vanadium in petroleum classification. *Energy & Fuels*, 4(6), 647–652. <https://doi.org/10.1021/ef00024a005>
- Bebianno, M. J. & Serafim, A. 2003. Metallothionein induction in molluscs exposed to mixtures of metals. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 136(3), 265–275.
- Benatti, M.N & Marcelli, M. P. 2007. Gêneros de fungos liquenizados dos manguezais do Sul- Sudeste do Brasil, com enfoque no manguezal do Rio Itanhaém, Estado de São Paulo. *Acta Botânica Brasil*, 21(4), 863–878.
- Bernini, E. & Rezende, C.E. 2004. Estrutura da vegetação em florestas de mangue do estuário do rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 18, 491–502.
- Bernini, E.; Silva, M.A.B.D.; Carmo, T.M.S.D. & Cuzzuol, G.R.F. 2006. Composição química do sedimento e de folhas das espécies do manguezal do estuário do Rio São Mateus, Espírito Santo, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 29, 689–699.
- Bertness, M.D.; Gaines, S.D. & Hay, M.E. (eds.). 2001. **Marine community ecology**. Sunderland, MA, Sinauer Associates, 550 p.
- Blotta, K.D.; Guimarães, L.L.; Braz, E.M.Q.; Magenta, M.A.G.; Ribeiro, R.B. & Giordano, F. 2021. Diagnóstico de Manguezais Periurbanos após 20 anos de impactos antrópicos. *Research, Society and Development*, 10(1), e23610110657-e23610110657.
- Bolognesi, C. & Hayashi, M. 2011. Micronucleus assay in aquatic animals. *Mutagenesis*, 26(1), 205–213.
- Bonassi, S.; Hagmar, L.; Strombert, U.; Montagud, A.H.; Tinnerbert, H.; Forni, A.; Heikkila, P.; Wanders, S.; Wilhardt, P.; Hansteen, I.L.; Knudsen, L.E. & Norppa, H. 2000. European study group on cytogenetic biomarkers and heath chromosomal aberrations in lymphocytes predict human cancer independently of exposure to carcinogens. *Cancer Research*, 60, 1619–1625.
- Bordon, I.C.A.C.; Sarkis, J.E.S.; Tomás, A.R.G.; Scalco, A.; Lima, M. & Hortellani, M.A. 2012. A preliminary assessment of metal bioaccumulation in the Blue Crab, *Callinectes danae* S., from the São Vicente Channel, São Paulo State, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88, 577–581.
- Borges, A.L. & Silva-Junior, J.F. Nutrição, Calagem e Adubação. 2010. pp. 25-34. In: Silva Junior, J. F.; Lopes, G.M.B.; Ferraz, L.G B. (eds.). **Sistema de produção de banana para a Zona da Mata de Pernambuco**. Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros.
- BRASIL. 1998. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Diário Oficial da União. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19605.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm)>. Acesso em: 20 mar 2020.
- BRASIL. 2005. Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005. Brasília, DF.

- BRASIL. 2007. Lei nº 11.516, de 28 de agosto de 2007. Dispõe sobre a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. Diário Oficial da União. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11516.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11516.htm)>. Acesso em 20 mar 2020.
- BRASIL. 2012. Lei n. 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em: 20 jun 2020.
- Braz, E.M.Q & Peres Filho, A. 2001. Influência do Esgoto Doméstico no Ecossistema Manguezal. *Holos Environment*, 1(2), 199-213.
- Brierley, G.J. & Fryirs, K.A. 2005. **Geomorphology and river management: applications of the river styles framework**. John Wiley & Sons. 398 p.
- Brunetti, R.; Majone, F.; Gola, I. & Beltrame, C. 1988. The micronucleus test: Examples of application to marine ecology. *Marine Ecology and Progress Series*, 44, 65–68.
- Bryan, G. W. 1968. Concentrations of zinc and copper in the tissues of decapod crustaceans. *Journal of the Marine Biological Association (UK)*, 48, 303–321.
- Bryan, G.W. 1967. Zinc concentrations of fast and slow contracting muscles in the lobster. *Nature*, 213, 043–1044.
- Burgeot, T.; His, E. & Galgani, F. 1995. The micronucleus assay in *Crassostrea gigas* for the detection of seawater genotoxicity. *Mutation Research*, 342, 125–140.
- Burger, J. & Gochfeld, M. 2005. Heavy metals in commercial fish in New Jersey. *Environmental Research*, 99(3), 403–412.
- Buss, D.F.; Baptista, D.F. & Nessimian, J.L. 2003. Bases Conceituais para aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. *Cadernos da Saúde Pública*, 19(2), 465–473.
- Camargo, A.F.M. & Cancian, L.F. 2016. Ecologia da bacia do rio Itanhaém: características limnológicas e uso do solo, pp. 197-218. In: Moraes, M.E.B. & Lorandi, R. (orgs.). **Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas** [online]. Ilhéus, BA, Editus. ISBN 978-85- 7455-443-3.
- Camargo, M.G. 2006. Sysgran: Um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. *Revista Brasileira de Geociências*, 36(2): 371–378.
- Canedo, A.; Jesus, L.W.O.; Bailão, E.F.L.C. & Rocha, T.L. 2021. Micronucleus test and nuclear abnormality assay in zebrafish (*Danio rerio*): Past, present, and future trends. *Environmental Pollution*, 290, 118019.
- Canli, M. & Fumess, R.W. 1993. Toxicity of heavy metals dissolved in seawater and influences of sex and size on metal accumulation and tissue distribution in the Norway lobster *Nephrops norvegicus*. *Marine Environmental Research*, 36, 217–236.
- Canli, M. & Atli, G. 2003. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental Pollution*, 121(1), 129–136. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00194-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00194-X)
- Carmo, C.V.; Martins, L.M.P.; Abessa, D.M.S. & Crespo, M.L.L. 2004. Contaminação química, toxicidade de sedimentos hídricos e acúmulo de metais em caranguejos de manguezais de Itanhaém. *O mundo da Saúde*, 28(4), 450–454.

Carrasco, K.R.; Tilbury, K.L. & Myers, M.S. 1990. Assessment of the piscine micronucleus test as an in situ biological indicator of chemical contaminant effects. *Canadian Journal of Fishery and Aquatic Science*, 47, 2123–2136.

Castiglioni, D.S.; Silva-Castiglioni, D. & Oliveira, P.J.A. 2013. Biologia reprodutiva de *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Brachyura, Ucididae) em duas áreas de manguezal do litoral sul do Estado de Pernambuco, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 13, 433–444.

Castro, A.C.L.; Correia, M.M.F.; Nascimento, A.R.; Piedade-Júnior, R.N.; Gama, L.R.M.; Sousa, M.M.; Sena, A.C.S. & Sousa, R.C.C. 2008. Aspectos bioecológicos do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*, L. 1763) (Decapoda, Brachyura) nos manguezais da ilha de São Luís e litoral oriental do Estado do Maranhão, Brasil. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*, 3, 17–36.

CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. 1999. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables. Updated, Canadian Environment Quality Guidelines

CE – Comissão Europeia. 2023. Regulamento (UE) da Comissão nº 915, de 25 de abril de 2023, relativo aos teores máximos de certos contaminantes presentes nos géneros alimentícios e que revoga o Regulamento (CE) nº 1881/2006. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32023R0915>>. Acesso em: 14 jan 2024.

Cesar, A.; Dufour, S.; Thorel, M.; Chiappero, M.B., Demoy-Schneider, M.; Deudero, S. & Bald, J. 2015. Metal contamination and histo-pathological effects in mangrove crabs (*Ucides cordatus*) from Cubatão, southeastern Brazil. *Science of The Total Environment*, 527, 216–225.

Cesar, A.; Pereira, C.D.S.; Santos, A.R.; Abessa, D.M.S.; Fernández, N.; ChouerI, R.B. & Delvalls, T.A. 2006. Ecotoxicological assessment of sediments from the Santos and São Vicente estuarine system-Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 54(1), 55–63.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. 2001. Sistema Estuarino de Santos e São Vicente. Relatório do Programa de Controle de Poluição. São Paulo (SP), 137 p + 46 pranchas.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. 2014. Apêndice D: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade. pp 65–84. In: Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo. CETESB. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Ap%C3%AAndice-D-Significado-Ambiental-e-Sanit%C3%A1rio-das-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-29-04-2014.pdf>>. Acesso em: 01 jul 2025.

Charlier-Sarubo, S.; Cunha-Lignon, M. & Schaeffernovelli, Y. 2015. Protocolo de coleta de dados e monitoramento dos ecótonos entre manguezal e marisma e entre manguezal e vegetação de restinga, pp. 104–111. In: Turra, A. & Denadai, M.R. (orgs.). **Protocolos de campo para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros**. Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros. São Paulo, ReBentos.

Chiba, W.A.C.; Passerini, M.D. & Tundisi, J.G. 2011. Metal contamination in benthic macroinvertebrates in a sub-basin in the southeast of Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 71(2).

Cintrón, G. & Schaeffer-Novelli, Y. 1983. Factores abióticos, pp. 19–29. In: **Introducción a la ecología del manglar**. UNESCO-ROSTLAC.

Conti, R.C. & Nalessoo, R.C. 2010. Status of the population structure of the mangrove crab *Ucides cordatus* (Decapoda: Ocypodidae) on the Piraquê-açu River estuary, Espírito Santo, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(2), 81–92.

- Costa, E.; Silva, J.G.M. & Linares, M.S. 2024. Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade da água em um cenário de mudanças climáticas: uma revisão sistemática. *Revista Espinhaço*, 13(1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10700733>
- Correll, D.L. 1998. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: a review. *Journal of Environmental Quality*, 27(2), 261–266. <https://doi.org/10.2134/jeq1998.00472425002700020004x>
- Costa, R.S. 1979. Bioecologia do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) - Crustáceos, Decápode - no nordeste brasileiro. *Boletim Cearense de Agronomia*, 20, 1–74.
- Cunha-Lignon, M.; Kampel, M.; Menghini, R.P.; Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón, G. & Dahdouhguebas, F. 2011. Mangrove forests submitted to depositional processes and salinity variation investigated using satellite images and vegetation structure surveys. *Journal of Coastal Research*, 64, 344–348.
- Daguano, J.K.M.F.; Santos, C. & Rogero, S.O. 2007. Avaliação da citotoxicidade de biocerâmicas desenvolvidas para uso em sistemas de implantes. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 12, 134–139.
- Darmono, D. & Denton, G.R.W. 1990. Heavy metal concentrations in the banana prawn, *Penaeus merguensis*, and leader prawn, *P. monodon*, in the Townsville region of Australia. *The Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 44, 479–86.
- Depledge, M.H.; Amaral-Mendes, J.J.; Daniel, B.; Halbrook, R.S.; Kloepper-Sams, P.; Moore, M.N. & Peakall, D.B. 1993. The Conceptual Basis of the Biomarker Approach. In: Peakall, D.B., Shugart, L.R. (eds.) **Biomarkers**. NATO ASI Series, 119 p.
- Dias-Neto, J. 2011. **Proposta de plano Nacional de Gestão para o Uso Sustentável do caranguejo-Uçá, do Guaiamum e do Siri-Azul**. Brasília, Ibama.
- Ding, Z.; Wua, H.; Feng, X.; Liu, J.; Liu, Y.; Yuan, Y.; Zhang, L.; Lin, Z. & Jiayong, P. 2011. Distribution of Hg in mangrove trees and its implication for Hg enrichment in the mangrove ecosystem. *Applied Geochemistry*, 26(2), 205–212.
- Dorband, W.R.; Van Alst, J.C.; Carlberg, J.M. & Ford, R.F. 1976. Effects of Chemicals in Thermal Effluent on *Homarus americanus* Maintained in Aquaculture Systems. *Proceedings of the Annual Meeting of the Worm Mariculture Society*, 7, 391–414.
- Duarte, L.F.A.; Souza, C.A.; Nobre, C.R.; Pereira, C.D. & Pinheiro, M.A.A. 2016. Multi-level biological responses in *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ucididae), as indicators of conservation status in mangrove areas from the Western Atlantic. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 133, 176–187.
- Duarte, L.F.A.; Souza, C.A.; Pereira, C.D.S. & Pinheiro, M.A.A. 2017. Metal toxicity assessment by sentinel species of mangroves: In situ case study integrating chemical and biomarkers analyses. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 145, 367–376.
- EFSA Scientific Committee. 2023. Scientific Opinion on the re-evaluation of the existing health-based guidance values for copper and exposure assessment from all sources. *EFSA Journal*, 21(1), 7728:117. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7728>
- Eisler, R. 1981. **Trace metal concentrations in marine organisms**. New York, Pergamon Press, 687 p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2021. **Cultivo da banana**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/banana/pre-producao/manejo/adubacao/adubacao>>. Acesso em: 18 maio 2024.
- Engku-Ariff, E.A.R.; Seman-Kamarulzaman, A.F. & Suratman, M.N. 2021. Energy Flux in Mangrove Ecosystems. In: Rastogi, R.P., Phulwaria, M. & Gupta, D.K. (eds.) *Mangroves: Ecology, Biodiversity and Management*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-2494-0\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-16-2494-0_5)

FAO/WHO – Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization. 2002. Codex Alimentarius Commission. Information Paper on Establishment of Codex Maximum Levels and Residues Limits for Feedingstuffs and Foods. Disponível em: < [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FShared%2BDocuments%252FArchive%252FMeetings%252FTFAF%252Ftfaf3%252FAF02\\_05e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FShared%2BDocuments%252FArchive%252FMeetings%252FTFAF%252Ftfaf3%252FAF02_05e.pdf)>. Acesso em: 14 jan 2024.

Fenech, M.; Holland, N.; Chang, W. P., Zeiger, E., & Bonassi, S. 1999. The Human MicroNucleus Project – An international collaborative study on the use of the micronucleus technique for human biomonitoring. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 428(1–2), 271–283. [https://doi.org/10.1016/S1383-5742\(99\)00053-8](https://doi.org/10.1016/S1383-5742(99)00053-8)

Fenech, M. 2000. The in vitro micronucleus technique. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 455(1–2), 81–95. [https://doi.org/10.1016/S0027-5107\(00\)00065-8](https://doi.org/10.1016/S0027-5107(00)00065-8)

Fenech, M. 2007. Cytokinesis-block micronucleus cytome assay. *Nature Protocols*, 2(5), 1084–1104. <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.77>

Fiscarelli, A.G. & Pinheiro, M.A.A. 2002. Perfil sócio-econômico e conhecimento etnobiológico do catador do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), nos manguezais de Iguape (24°41'S), SP, Brasil. *Atualidades Biológicas*, 24(77), 129–142.

Folk, R.L. & Ward, W.C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3–26.

Frenet, M. & Alliot, A. 1985. Comparative bioaccumulation of metals in *Palaemonetes varians* in polluted and non-polluted Environments. *Marine Environmental Research*, 17, 19–44.

Frenzilli, G.; Nigro, M. & Lyons, B.P. 2009. The Comet assay for the evaluation of genotoxic impact in aquatic environments. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 681(1), 80–92 <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2008.03.001>

Freret-Meurer, N.V.; Andreato, J.V.; Meurer, B.C.; Manzano, F.V.; Baptista, M.G.S.; Teixeira, D.E. & Longo, M.M. 2010. Spatial distribution of metals in sediments of the Ribeira Bay, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 60(4): 627–629.

Gai, X.; Wang, H.; Liu, J.; Zhai, L.; Liu, S.; Ren, T. & Liu, H. 2014. Effects of feedstock and pyrolysis temperature on biochar adsorption of ammonium and nitrate. *PLoS ONE*, 9(12), 1–19.

Galindo, T.; Silva, E. & Rosário, I. 2012. Indução de micronúcleos e toxicidade por efluente doméstico em duas populações de *Bathygobius soporator* (Valenciennes, 1837) (Teleostei, Gobiidae) no Litoral de Salvador (BA), Brasil. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 16(1), 1–7.

Geraldes, M., & Calventi, I. 1983. Estudios experimentales para el mantenimiento en cautiverio del cangrejo *Ucides cordatus*. *Ciencia interamericana*, 23(4): 41–53.

Góes, P.; Branco, J.O.; Pinheiro, M.A.A.; Barbieri, E.; Costa, D.; Fernandes, L.L. 2010. Bioecology of the uçá-crab, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), in Vitória bay, Espírito Santo State, Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58(2), 153–163.

Gonçalves, G.A.R.; Rolon, A.C.A.; Cottens, K.F.; Santos, N.G.; Cella, V.G.C. & Metri, C.B. 2022. Monitoramento do Caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) no Lagamar Paranaense. *Biodiversidade Brasileira*, 12(1), 143–158.

Goulart, M.D. & Callisto, M. 2003. Bioindicadores de qualidade de água como ferramenta em estudos de impacto ambiental. *FAPAM*, 2(1).

Gouveia-Souza, C.R. 2012. Praias arenosas oceânicas do estado de São Paulo (Brasil): síntese dos conhecimentos sobre morfodinâmica, sedimentologia, transporte costeiro e erosão costeira. *Revista do Departamento de Geografia*, 308–371.

Harkot, P.F.G.; Pinheiro, M.A.A.; Machado, I.C.; Barros, M.R.; Graça-Lopes, R.; Ávila-Da-Silva, A.O.; Fagundes, L.; Trasmonte, P. & Zilbermann, B. 2017. O caranguejo-uçá, *Ucides cordatus*, como recurso pesqueiro no litoral centro de São Paulo: uma iniciativa de gestão. São Paulo, Instituto de Pesca. 47 p. (Série Relatórios Técnicos, nº 55).

Harris, R.R. & Santos, M.C.F. 2000. Heavy metal contamination and physiological variability in the Brazilian mangrove crabs *Ucides cordatus* and *Callinectes danae* (Crustacea: Decapoda). *Marine Biology*, 137(4), 691–703.

Hattori, G.Y.; Christofolletti, R.A.; Sant’Anna, B.S. & Pinheiro, M.A.A. 2008. Influência de três espécies de mangue sobre a densidade do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ocypodidae), na região de Iguape (SP). *Resumos do V Congresso Brasileiro sobre Crustáceos, Gramando, RS: 74*.

Henmi, Y. 1993. Geographic variations in life-history traits of the intertidal ocypodid crab *Macrophthalmus banzai*. *Oecologia* 96: 324–330.

Hortellani, M.A.; Sarkis, J.E.; Abessa, D. & Sousa, E.C. 2008. Avaliação da contaminação por elementos metálicos dos sedimentos do Estuário Santos-São Vicente. *Química Nova*, 31, 10–19.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2003. Portaria IBAMA nº 52 de 30 de setembro de 2003. Brasília: D.O.U., 2003. Disponível em: [http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2003/p\\_ibama\\_52\\_2003\\_defesocaranguejouca\\_se\\_s.pdf](http://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2003/p_ibama_52_2003_defesocaranguejouca_se_s.pdf). Acessado: 25 jun 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Panorama Itanhaém. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/index.html>. Acessado em: 29 jun 2025.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2007. Instrução Normativa ICMBio nº 154, de 1º de março de 2007. Diário Oficial da União, seção 1. 42, 57–59. ISSN 1677-7042.

Jaylet, A.; Deparis, P.; Ferrière, V.; Grinfeld, S. & Siboulet, R. 1986. A new micronucleus test using peripheral blood erythrocytes of the newt *Pleurodeles waltl* to detect mutagens in fresh water pollution. *Mutation Research*, 164, 245–257.

Jen, M. & Yan, A.C. 2010. Syndromes associated with nutritional deficiency and excess. *American Journal of Clinical Dermatology*, 28(6), 669–685.

Kilca, R.V.; Alberti, L.F.; Souza, A.M. & Wolf, L. 2011. Estrutura de uma floresta de mangue na Baía da Babitonga, São Francisco do Sul, SC. *Ciência e Natura*, 33(2), 57–72.

Kjerfve, B. 2018. **Hydrodynamics of Estuaries**: Volume II Estuarine Case Studies. CRC Press.

Lacerda, L.D. 1997. Trace metals in mangrove plants: why such low concentrations?, pp. 171–178. In: Kjerfve, B.; Lacerda, L.D. & Diop, H.S. (eds.). **Mangrove Ecosystem Studies in Latin America and Africa**. Unesco, Paris.

Lacerda, L.D.; Resende, C.E.; Jose, D.V.; Wasserman, J.C. & Francisco, M.C. 1985. Mineral concentrations in leaves of mangrove trees. *Biotropica*, 17, 260–262.

Leão, A.R.; Leite, A.P. & Fumi, P.M. 2018. Manguezal e as unidades de conservação, cap. 4. In: **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Brasília, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO).

- Lee, J. W.; Kidder, M.; Evans, B.R.; Paik, S.; Buchanan Iii, A.C.; Garten, C.T. & Brown, R.C. 2010. Characterization of biochars produced from cornstovers for soil amendment. *Environmental Science and Technology*, 44(20), 7970–7974.
- Legat, J. & Puchnick, A. 2003. **Sustentabilidade da pesca do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus*, nos estados de Piauí e do Maranhão**: uma visão da cadeia produtiva do caranguejo a partir de fóruns participativos de discussão. Teresina, Embrapa Meio-Norte, 25 p.
- Legat, J.F.A.; Legat, A.P., Pereira, A.L.M.; Góes, J.M.; Góes, L.C.F. & Routledge, E.A.B. 2007. **Biologia, ecologia e pesca do caranguejo-uçá**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 20 p.
- Lima, E.S.; & Abdalla, D.S.P. 2001. Peroxidação lipídica: mecanismos e avaliação em amostras biológicas. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 37(3), 293–303
- Lima, J.S. 2000. **Bioindicação e biomonitoramento**: aspectos bioquímicos e morfológicos. Techoje. Instituto de Educação Tecnológica – IETC, Belo Horizonte/MG, 11 p.
- Lopes, J.P.N. 2017. Mapeamento e detecção de mudanças em áreas de manguezais, nos litorais sul e sudeste do Brasil, utilizando dados multisensores de sensoriamento remoto e técnica de classificação orientada a objeto. (*Trabalho de Conclusão de Curso*).
- Lowe, D.M.: Sorvechia, C. & Moore, M.N. 1995. Lysosomal membrane responses in the blood and digestive cells of mussels experimentally exposed to fluoranthene. *Aquatic Toxicology*, 33(2), 105–112.
- Luoma, S.N. & Rainbow, P.S. 2008. **Metal Contamination in Aquatic Environments**: Science and Lateral Management. Cambridge University Press.
- Lyon, R. & Simkiss, K. 1984. The ultrastructure and metal-containing inclusions of mature cell types in the hepatopancreas of a crayfish. *Tissue and Cell*, 16, 805–817.
- MacFarlane, G.R. ; Koller, C.E. & Blomberg, S.P. 2007. Accumulation and partitioning of heavy metals in mangroves: a synthesis of field-based studies. *Chemo sphere*, 69, 1454–1464.
- Magris, R.A. & Barreto, R. 2010. Mapping and assessment of protection of mangrove habitats in Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, Rio Grande, 5(4), 546–556.
- Marins, R.V.; Paula-Filho, F.J. & Rocha, C.A.S. 2007. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do rio Jaguaribe – costa nordeste oriental brasileira. *Química Nova*, 30(5), 1208-1214. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000500029>
- Masuda, L.S.M.; Chaves, F.O.; Reis, L.M.A.; Pinheiro, M.A.A.; Soares, M.L.G.; Acosta, R.K. in press. Programa Monitora nas Unidades de Conservação - Cap. I. *In*: Masuda, L.S.M., Andrade, D.F.C., Mendes, K.R., Reis, L.M.A., Acosta, R.K., Chaves, F., Pinheiro, M.A.A., Soares, M.L.G. (orgs.). **Protocolos Básicos para o Monitoramento do Manguezal**. Vol. 1 - Roteiro Metodológico. Brasília, ICMBio/MMA.
- Milhome, M.A.L.; Holanda, J.W.B.; Araújo-Neto, J.R.D. & Nascimento, R.F.D. 2018. Diagnóstico da contaminação do solo por metais tóxicos provenientes de resíduos sólidos urbanos e a influência da matéria orgânica. *Revista Virtual de Química*, 10 (1), 59–72.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. 2004. Instrução Normativa nº 5, de 21 de maio de 2004 – Anexo II: Lista Nacional das espécies de invertebrados aquáticos e peixes sobreexplotadas ou de sobreexploração. Brasília: D.O.U. [www.legisweb.com.br/legislacao/?id=75936](http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=75936). Acessado: 25 mar 2020.
- Monserrat, J.M.; Martínez, P.E.; Geracitano, L.A.; Amado, L.L.; Martins, C.M.G.; Pinho, G.L.L.; Chaves, I.S.; Ferreira-Cravo, M.; Ventura-Lima, J. & Bianchini, A. 2007. Pollution biomarkers in

estuarine animals: Critical review and new perspective. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 146, 121–234.

Moraes-Calado, S.L.; Salgado, L.D.; Santos, G.S.; Silva-Carvalho Neto, F. & Menezes, M.S. 2021. Trace metals in estuarine organisms from a port region in southern Brazil: consumption risk to the local population. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 5283–5295.

Moreira, R.A., & Ribeiro, C.A.O. 2016. *Biomonitoramento ambiental: princípios e aplicações*. pp. 321–345. In: Espindola, E.L.G. & Marin-Morales, M.A. (orgs.). **Ecotoxicologia**. São Carlos, Rima.

Nascimento, S.A.; Santos, E.R. & Bonfim, L. 1982. **Estudo bio-ecológico do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) e do manguezal do litoral do Estado de Sergipe, nordeste do Brasil**. Sergipe, Administração Estadual do Meio Ambiente ADEMA, 12 p.

Nascimento-Monte, C.; Castro-Rodrigues, A.P.; Freitas, A.R.; Braz, B.F.; Freire, A.S.; Cordeiro, R.C. & Machado, W.T.V. 2021. Ecological risks associated to trace metals of contaminated sediments from a densely urbanized tropical eutrophic estuary. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1–15.

Nascimento-Moreira, G.; Cunha-Biscalquini, A.; Vieira-Gonçalves, I. A.; Rodrigues-Silva, E.; Milla-Santos-Senhuk, A.P. & Borella-Marfil-Anhê, A.C. 2024. Uso de macroinvertebrados bentônicos para análise integrada da Sub-Bacia do Ribeirão Conquistinha, afluente do Rio Grande (MG, Brasil). *Scientia Plena*, 20(2). <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2024.02240>

Neri, M.; Fucic, A. Knudsen, L.E.; Lando, C.; Merlo, F. & Bonassi, S. 2003. Micronuclei frequency in children exposed to environmental mutagens: a review. *Mutation Research*, 544, 243–254.

Nigro, M.; Falleni, A.; Del Barga, I.; Scarcelli, V.; Lucchesi, P.; Regoli, F. & Frenzilli, G. 2006. Cellular biomarkers for monitoring estuarine environments: Transplanted versus native mussels. *Aquatic Toxicology*, 77, 339–347.

Nimer, E. 1989. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro, IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais.

Niyogi, S.; Biswas, S.; Sarker, S. & Datta, A.G. 2001. Seasonal variation of antioxidant and biotransformation enzymes in barnacle, *Balanus balanoides*, and their relation with polyaromatic hydrocarbons. *Marine Environmental Research*, 52(1), 13–26.

Nordhaus, I., Wolff, M. & Diele, K. 2006. Litter processing and population food intake of the mangrove crab *Ucides cordatus* in a high intertidal forest in northern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67(1-2), 239–250.

Nudi, A.H.; Wagener, A.D.L.R.; Francioni, E.; Lemos-Scofield, A.; Sette, C.B. & Veiga, A. 2007. Validation of *Ucides cordatus* as a bioindicator of oil contamination and bioavailability in mangroves by evaluating sediment and crab PAH records. *Environment International*, 33(3), 315–327.

Odum, E.P. 1972. **Ecologia**. 3 ed. México, Nueva Editorial Interamericana. 639 p.

Oliveira, P.J.A.; Coelho, P.A. & Castiglioni, D.S. 2013. Population biology of *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Brachyura, Ucididae) from two tropical mangroves sites in northeast coast of Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 8, 89–103.

Ortiz-Zarragoitia, M. & Cajaraville, M.P. 2006. Biomarkers of exposure and reproduction-related effects in mussels exposed to endocrine disruptors. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 50(3), 361–369. <https://doi.org/10.1007/s00244-005-1082-8>

Pacheco, M. & Santos, M.A. 2002. Biotransformation, endocrine, and genetic responses of *Anguilla L.* to petroleum distillate exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 53(3), 331–347.

Páez-Osuna, F. 1995. Trace metal concentrations and their distribution in the lobster *Panulirus inflatus* (Bouvier, 1895) from the Mexican Pacific Coast. *Environmental Pollution*, 90, 163–170.

Paiva-Canesin, F.; Bellido Jr, A.V. & Bellido, L.F. 2002. Comportamento cinético do manganês numa floresta de manguezal-Itacuruçá, RJ. Associação Brasileira de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, RJ (Brazil). *In: International Nuclear Atlantic Conference–INAC*.

Paula-Filho, F.J.; Marins, R.V.; Lacerda, L.D.; Aguiar, J.E. & Peres, T.F. 2015. Background values for evaluation of heavy metal contamination in sediments in the Parnaíba River Delta estuary, NE/Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 91(2), 424–428.

Peerzada, N.; Nojok, M. & Lee, C. 1992. Distribution of heavy metals in prawns from northern territory, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 24, 416–418.

Pereira, P.E.S. & Camargo, A.F.M. 2004. Efeito da Salinidade e do esgoto orgânico sobre a comunidade zooplânctônica, com ênfase nos copépodes, do estuário do rio Itanhaém, Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum, Biological Sciences*, 26(1), 9–17.

Perina, F.C.; Torres, R.J.; Mozeto, A.A.; Nascimento, M.R.L. & Abessa, D.M.S. 2018. Sediment quality assessment of the tributaries of the Santos-São Vicente Estuarine System – Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 13(2), 25–38. <https://doi.org/10.5132/eec.2018.02.05>

Pinheiro, M.A.A. (no prelo), *in press*. Protocolo Básico de Monitoramento do Caranguejo-Uçá - Cap. III. *In: Masuda, L.S.M., Andrade, D.F.C., Mendes, K.R., Reis, L.M.A., Acosta, R.K., Chaves, F., Pinheiro, M.A.A., Soares, M.L.G. (orgs.). Protocolos Básicos para o Monitoramento do Manguezal. Vol. 1 - Roteiro Metodológico. Brasília, ICMBio/MMA.*

Pinheiro, M.A.A. & Almeida, R. 2015. Monitoramento da densidade e da estrutura populacional do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura: Ucididae), pp. 118–129. *In: Turra, A.; Denadai, M. R. (orgs.). Protocolos de campo para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros. Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros. São Paulo, ReBentos.*

Pinheiro, M.A.A. & Fiscarelli, A.G. 2001. **Manual de Apoio à Fiscalização do Caranguejo-Uçá (*Ucides cordatus*)**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) / Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros do Litoral Sudeste e Sul (CEPSUL), 1ª Edição, ISBN 85-88570-02-5, Itajaí, 43 p.

Pinheiro, M.A.A. & Fiscarelli, A.G. 2009. Length-weight relationship of the carapace and condition factor of the mangrove crab *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Brachyura, Ucididae). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52(2), 397–406.

Pinheiro, M.A.A. & Rodrigues, A.M.T. 2011. Crustáceos sobre-explotados e o Plano Nacional de Gestão dos caranguejos uçá (*Ucides cordatus*), guaiamú (*Cardisoma guanhumi*) e do siri-azul (*Callinectes sapidus*): uma estratégia para evitar que passem ao “status” de ameaçados de extinção. *CEPSUL – Biodiversidade e Conservação Marinha*, 2(1), 50–57.

Pinheiro, M.A.A. 2012. **Impacto genotóxico em populações de caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Brachyura, Ucididae):** Avaliação e correlação com a concentração de metais pesados em seis manguezais do Estado de São Paulo. São Vicente: Relatório Científico Final – Projeto Uçá III (FAPESP Proc. 2009/14725-1), UNESP Campus do Litoral Paulista, São Vicente, 153 p.

Pinheiro, M.A.A. 2006. **Biologia e manejo do caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Decapoda, Brachyura).** São Vicente: (Relatório Científico Final FAPESP – Projeto Uçá II (FAPESP Proc. nº 2002/05614-2). UNESP Campus do Litoral Paulista, São Vicente.

Pinheiro, M.A.A.; Duarte, L.F.A.; Toledo, T.R.; Adams, M.A. & Torres, R.A. 2013. Habitat monitoring and genotoxicity in *Ucides cordatus* (Crustacea: Ucididae), as tools to manage a mangrove reserve in southeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(10), 8273–8285.

Pinheiro, M.A.A.; Fiscarelli, A.G. & Hattori, G.Y. 2005. Growth of the mangrove crab *Ucides cordatus* (Brachyura, Ocypodidae). *Journal of Crustacean Biology*, 25(2), 293–301.

Pinheiro, M.A.A.; Oliveira, A.J.F.C.; Fontes, R.F.C. 2008. **Panorama Ambiental da Baixada Santista**, Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil. São Paulo, Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental do Litoral Paulista, 1ª edição, 127 p.

Pinheiro, M.A.A.; Santos, L.C.M.; Souza, C.A.; João, M.C.A.; Dias-Neto, J. & Ivo, C.T.C. 2016. Avaliação do Caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Decapoda: Ucididae). Cap. 33: p. 441–458. In: Pinheiro, M. & Boos, H. (orgs.). **Livro Vermelho dos Crustáceos do Brasil: Avaliação 2010-2014**. Porto Alegre, RS, Sociedade Brasileira de Carcinologia - SBC, 466 p.

Pinheiro, M.A.A.; Silva, P.P.G.; Duarte, L.F.A.; Almeida, A.A. & Zanotto, F.P. 2012. Accumulation of six metals in the mangrove crab *Ucides cordatus* (Crustacea: Ucididae) and its food source, the red mangrove *Rhizophora mangle* (Angiosperma: Rhizophoraceae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 81, 114–121.

Pinheiro, M.A.A.; Souza, C.A.; Zanotto, F.P.; Torres, R.A. & Pereira, C.D.S. 2017. The crab *Ucides cordatus* (Malacostraca, Decapoda, Brachyura) and other related taxa as environmental sentinels for assessment and monitoring of tropical mangroves from South America, Cap. 10: pp. 212–241. In: Larramendi, M.L. (ed.). **Ecotoxicology and Genotoxicology Non-traditional Aquatic Models**. Issues in Toxicology n° 33. London, Royal Society of Chemistry (RSC).

Pinheiro, M.A.A.; Souza, F.V.B.; Boos, H. & Duarte, L.F.A. 2022. Cytotoxicity, genotoxicity, and impact on populations of the mangrove sentinel species, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ocypodidae) after an environmental disaster at Cubatão, São Paulo, Brazil. *Nauplius*, 30, e2022025.

Pinheiro, M.A.A.; Souza, F.V.B.; Perroca, J.F.; Silva, M.M.T.; Sousa, R.L.M.; Mota, T.A. & Rocha, S.S. 2023. Advances in population monitoring of the mangrove ‘uçá’-crab (*Ucides cordatus*): reduction of body size variance for better evaluation of population structure and extractive potential. *Marine Biology Research*, 19(2-3), 141–153. <https://doi.org/10.1080/17451000.2023.2205148>

Pinheiro, M.A.A.; Souza, M.R.; Santos, L. & Fontes, R.F. 2018 Density, abundance and extractive potential of the mangrove crab, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ocypodidae): subsidies for fishery management. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 90, 1381–1395.

Pino, F.A.; Santos-Francisco; V.L.F. Perez, L.H. & Amaro, A.A. 2000. A cultura da banana no Estado de São Paulo. *Informações Econômicas-Governo do Estado de São Paulo Instituto de Economia Agrícola*, 30(6), 45–75.

PMAP-SP – Programa de Monitoramento da Atividade Pesqueira Marinha e Estuarina do Estado de São Paulo – SP. 2020. Disponível em: <<http://www.propesq.pesca.sp.gov.br/27/conteudo>>. Acessado em: 15 jun 2020.

PMAP-SP – Programa de Monitoramento da Atividade Pesqueira Marinha e Estuarina do Estado de São Paulo – SP. 2025. Disponível em: < <http://www.propesq.pesca.sp.gov.br/relatorio/30>>. Acessado em: 29 jun 2025.

Pohlert, T. 2014. The pairwise multiple comparison of mean ranks package (PMCMR). *R package*, 27, 9.

R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Rainbow, P. S. 2002. Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: why and so what? *Environmental Pollution*, 120(3), 497–507.

- Rainbow, P.S. & Black, W.H. 2005. Cadmium, zinc and uptake of calcium by two crabs, *Carcinus maenas* and *Eriocheir sinensis*. *Aquatic Toxicology*, 72, 45–65.
- Rainbow, P.S. 1985. Accumulation of Zn, Cu and Cd by crabs and barnacles. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 21, 669–686.
- Rainbow, P. S. 2007. Trace metal bioaccumulation: models, metabolic availability and toxicity. *Environment International*, 33(4), 576–582.
- Ramos, M.A.V. 2012. Avaliação preliminar dos teores de metais traço em peixes e crustáceos provenientes da porção Norte da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Bahia. (*Dissertação de Mestrado*)
- Recabarren-Villalón, T.; Runday, A.C. & Arias, A.H. 2019. Uso de biomarcadores en la evaluación ambiental de ecosistemas marinos en América. *JAINA Costas y Mares ante el Cambio Climático*, 1( 2), 1–18.
- Rengel, Z. 2011. Soil pH, Soil Health and Climate Change. In: Singh, B., Cowie, A., Chan, K. (eds.) Soil Health and Climate Change. *Soil Biology*, 29. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-20256-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-20256-8_4)
- Robertson, A.I. & Daniel, P.A. 1989. The influence of crabs on litter processing in high intertidal mangrove forests in tropical Australia. *Oecologia*, 78,191–198. <https://doi.org/10.1007/BF00377155>
- Rodrigues, A.M.T.; Branco, E.J.; Saccardo, S.A. & Blankensteyn, A. 2000. A exploração do caranguejo *Ucides cordatus* (Decapoda: Ocypodidae) e o processo de Gestão Participativa para normatização da atividade na Região Sudeste-Sul do Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 26(1), 63–78.
- Roesijadi, G. 1992. Metallothioneins in metal regulation and toxicity in aquatic animals. *Aquatic Toxicology*, 22(2), 81–114.
- Ronquim, C.C. 2010. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas, EMBRAPA, 26 p.
- Rosa-Neto, E.; Gehlen, G. & Basso de Silva, L. 2022. Avaliação da qualidade da água do Rio Ijuí utilizando o teste de micronúcleo em peixes. *Revista Thema*, Pelotas, 21(4), 1008–1015.
- Rossi, M. & Mattos, I.F.A. 2002. Solos de mangue do estado de São Paulo: caracterização química e física. *Revista do departamento de Geografia*, 15, 101–113.
- Rumisha, C.; Leermakers, M.; Mdegela, R. H.; Kochzius, M. & Elskens, M. 2017. Bioaccumulation and public health implications of trace metals in edible tissues of the crustaceans *Scylla serrata* and *Penaeus monodon* from the Tanzanian coast. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(1), 529. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6248-0>
- Sandilyan, S. & Kathiresan, K. 2012. Mangrove conservation: a global perspective. *Biodiversity and Conservation*, 21(14), 3523–3542.
- Sant’Anna, E.B.; Camargo, A.F.M & Bonocchi, K.S.L. 2007. Effects of domestic sewage discharges in the estuarine region of the Itanhaém River basin (SP, Brazil). *Acta Limnológica Brasileira*, 19(2), 221-232.
- Santos, D.V.; Junio, R.F.P.; Paula-Filho, F.J.; Pinto, L.A.; Souza, T.D.; Moreira-Filho, J.B. & Santiago, M.O. 2020. Caracterização química e morfológica de sedimentos estuarinos do Delta do Rio Parnaíba. *Semiárido Brasileiro Volume*, 4, 40.
- Santos, L.M.M.; Souza, R.C.; Anunciação, D.S.; Viana, Z.C.V. & Santos, V.L.C.S. 2017. Análise de metais em sedimentos de manguezal do Rio Passa Vaca, Salvador, Brasil. *Acta Brasiliensis*, 1(2), 1–7.

- Santos, N.M. & Lana, P. 2017. Present and past uses of mangrove wood in the subtropical Bay of Paranaguá (Paraná, Brazil). *Ocean & Coastal Management*, 148, 97–103.
- Santos, P.E. & Umbuzeiro, G.A. 2006. Ocorrência de micronúcleos em eritrócitos de Parati *Mugil sp* (Mugilidae, Perciformes) coletados na Baía de Evolução do Canal de Piaçaguera e no Canal de Bertioiga – SP. In: I International Congress of Fish Genetics and XI Brazilian Symposium on Fish Cytogenetics, São Carlos, SP.
- SÃO PAULO – Governo do Estado de São Paulo. 2014. Decreto 60.133 de 7 de fevereiro de 2014. São Paulo: D.O.E. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2014/decreto-60133-07.02.2014.html>>. Acessado em: 03 jun 2020.
- Scarpato, R.; Migliore, L.; Alfinito-Cognetti, G. & Barale, R. 1990. Induction of micronucleus in gill tissue of *Mytilus galloprovincialis* exposed to polluted marine waters. *Marine Pollution Bulletin*, 21(2), 74–80.
- Schaeffer-Novelli, Y. & Cintrón, G. 1986. **Guia para Estudos de Áreas de Manguezal: Estrutura, Função e Flora**. São Paulo, Caribbean Ecological Research, 105 p.
- Schaeffer-Novelli, Y. 2018. A diversidade do ecossistema manguezal, pp. 23–36. In: **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).
- Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón-Molero, G.; Adaime, R.R. & Camargo, T.M. 1990. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries*, 13(2), 204–218.
- Schaeffer-Novelli, Y.; Coelho Jr, C. & Tognella-De-Rosa, M. 2004. **Manguezais**. 1ed, São Paulo, Ática.
- Schaeffer-Novelli, Y.; Soriano-Sierra, E.J.; Vale, C.C.; Bernini, E.; Rovai, A.S.; Pinheiro, M.A.A.; Schmidt, A.J.; Almeida, R. Coelho-Jr., C.; Menghini, R.P.; Martinez, D.I.; Abuchahla, G.M.O.; Cunha-Lignon, M.; Charlier-Sarubo, S. & Shirazawa-Freitas, J. 2016. Climate changes in mangrove forests and salt marshes. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64(sp.2): 37–52.
- Schmidt, G. & Schaeffer-Novelli, Y. 1998. Ferro e manganês em folhas de mangue em decomposição no estuário de Cananéia, SP. In: Anais Águas de Lindóia, Aciesp.
- Seriani, R.; Silveira, F.L.; Romano, P.; Pinna, F.V. & Abessa, D.M.S. 2006. Toxicidade de água e sedimentos e comunidade bentônica do estuário do Rio Itanhaém, SP, Brasil: bases para a educação ambiental. *O mundo da saúde*, 30(4), 628–633.
- Sharma, V.R.; Rhudy, K.B.; Koenig, R. & Vazquez, G.F. 1999. Metals in sediments of the upper Laguna Madre. *Marine Pollution Bulletin*, 38(12), 1221–1226.
- Shimada, H.; Suzuki, H.; Itoh, S.; Hattori, C.; Matsura, Y.; Tada, S. & Watanabe, C. 1992. The micronucleus test of benzo[a]pyrene with mouse and rat peripheral blood reticulocytes. *Mutation Research*, 278, 165–168.
- Shimma, E.M.I. 1995. Nutrição - nosso corpo mineral. *Globo Ciência*, 5(52), 33–38.
- Smith, V.H.; Tilman, G.D. & Nekola, J.C. 1999. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100(1–3), 179–196. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00091-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00091-3)
- Silva-Souza, T. & Fontanetti, C.S. 2006. Micronucleus test and observation of nuclear alterations in erythrocytes of Nile tilapia exposed to waters affected by refinery effluent. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 605(1-2), 87–93.
- Silva, C.A.R.; Lacerda, L.D. & Rezende, C.E., 1990. Metals reservoir in a red mangrove. *Biotropica*, 22, 339–345.

Silva, W.L.; Matos, R.H.R. & Kristosch, G.C. 2002. Geochemistry and index of geoaccumulation of mercury in surface sediments from Santos-Cubatão Estuary, State of São Paulo, Brazil. *Química Nova*, 25(5), 753–756.

Silva, W.L.; Matos, R.H.R.; Kristosch, G.C. & Machado, W. 2006. Variabilidade espacial e sazonal da concentração de elementos-traço em sedimentos do sistema estuarino de Santos- Cubatão (SP). *Química Nova*, 29(2), 256–263.

Siqueira, G.W.; Braga, E.S.; Pereira, S.F.P. & Silva, E. 2005. Distribuição do mercúrio em sedimentos de fundo no Estuário de Santos – SP- Brasil. *REM: Revista Escola de Minas*, 58(4), 309–316.

Skovronski, V.J.; Folador, A.; Macagnan, N.; Rutkoski, C.F. & Hartmann, M.T. 2018. Uso do teste de micronúcleo para avaliação de genotoxicidade causada por exposição a agrotóxicos em organismos não alvo, usando anfíbios como animal teste. *In: Anais da VIII Jornada de Iniciação Científica e Tecnológica da Universidade Federal da Fronteira do Sul*, 1, 8.

Soares, M.L.G. 1999. Estrutura vegetal e grau de perturbação dos manguezais da Lagoa da Tijuca, Rio de Janeiro, RJ, *Brasil. Revista Brasileira de Biologia*, 59, 503–515.

Soares, I. A.; Elias, F.; Baroni, S.; Gruchouske, L.; Benvegnu, D.M.; Souza-Franco, G.M.; Oliveira, K.C.S.; Mariano, A.C.M; Silva, M.F.; Bissani, E.A.; Natel, A.B.; Oliveira, A.K.G.; Manosso, F.C.; Gomes, E.M.V. & Düsman, E. 2025. Cellular, Histological Alterations, and Oxidative Stress: A Study Involving *Oreochromis niloticus* in Brazil-Argentina Border Rivers and a Conservation Unit. *ACS ES & T Water*, 5(8), 4494-4506. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.5c00149>

Soriano-Sierra, E.J.; Schaeffer-Novelli, Y.; Rovai, A.S.; Bernini, E. & Abuchahla, G.M.O. 2015. Protocolo mínimo para monitoramento da estrutura de pradarias de marismas como indicadora de mudanças climáticas, pp. 112-117. *In: Turra, A. & Denadai, M.R. (orgs.). Protocolos de campo para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros*. Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros. São Paulo, ReBentos.

Souza-Filho, J.R.; Silva, I.R. & Nunes, F.N. 2019. Avaliação qualitativa dos serviços ecossistêmicos oferecidos pelas praias da APA Lagoa Encantada/Rio Almada, Bahia, Brasil. *Caminhos de Geografia*, 20(72), 15–32.

Souza, C.A.; Duarte, L.F.A.; João, M.C.A. & Pinheiro, M.A.A. 2018. Biodiversidade e conservação dos manguezais: importância bioecológica e econômica, Cap. 1: pp. 16-56. *In: Pinheiro, M.A.A. & Talamoni, A.C.B. (org.). Educação Ambiental sobre Manguezais*. São Vicente: UNESP, Instituto de Biociências, Câmpus do Litoral Paulista.

Souza, C.A.; Duarte, L.F.A.; Zanotto, F.P.; Ortega, P.; Moreira, R.G. & Pinheiro, M.A.A. 2022. Seasonal effect on biomarker responses in sentinel species: innovation in mangrove conservation status assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194: 425. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10078-9>

Souza, E.C.P.M.; Zaroni, L.P.; Gasparro, M.R. & Pereira, C.D.S. 2014. Review of ecotoxicological studies of the marine and estuarine environments of the Baixada Santista (São Paulo: Brazil). *Brazilian Journal of Oceanography*, 6(2), 133–147.

Souza, F.V.B. & Pinheiro, M.A.A. 2020. Percepções ambientais e socioeconômicas acerca da extração do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*) no Sistema Estuarino de Itanhaém (SE Brasil): contribuições à conservação e ao manejo. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, 8(4), 175–195.

Souza, F.V.B. & Pinheiro, M.A.A. 2021. Local Ecological Knowledge (Lek) on the mangrove crab *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763): fishery profile of mangrove areas in Itanhaém (Southeast Brazil). *Ethnoscintia-Brazilian Journal of Ethnobiology and Ethnoecology*, 6(3), 15–42.

- Souza, F.V.B. & Pinheiro, M.A.A. 2022. Biology, trophic chain, and ethnobiological calendar of the mangrove crab, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ocypodidae), according to the perception of catchers in Itanhaém, São Paulo, Brazil. *Nauplius*, 30, e2022017.
- Sterling, K.M.; Roggenbeck, B. & Ahearn, G.A. 2010. Dual control of cytosolic metals by lysosomal transporters in lobster hepatopancreas. *Journal of Experimental Biology* 213, 769–674.
- Suguio, K. 2003. **Geologia sedimentar**. Editora Blucher.
- Svendsen, C.; Spurgeon, D.J.; Hankard, P.K. & Weeks, J.M. 2004. A review of lysosomal membrane stability measured by neutral red retention: is it a workable earthworm biomarker? *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 57, 20–29.
- Szefer, P.; Szefer, R. & Skwarzec, B. 1990. Distribution of trace metals in some representative fauna of the Southern Baltic. *Marine Pollution Bulletin*, 21, 60–62.
- Tavares, T.M.; Beretta, M. & Costa, M.C. 1999. Ratio of DDT – DDE in the All-Saints Bay, Brazil and its use in Environmental Management. *Chemosphere*, 38(6), 1445–1452.
- Trevizam, A.R.; Villanueva, F.C.A.; Muraoka, T.; Nascimento-Filho, V.F.D. & Abreu-Junior, C.H. 2010. Aplicação de fósforo para imobilização química do cádmio em solo contaminado. *Química Nova*, 33, 1235–1241.
- Trevizani, T.H.; Domit, C.; Santos, M.C.D.O. & Figueira, R.C.L. 2023. Bioaccumulation of heavy metals in estuaries in the southwest Atlantic Ocean. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(10), 26703–26717.
- Trevizani, T.H.; Figueira, R.C.L.; Ribeiro, A.P.; Theophilo, C.Y.S.; Majer, A.P.; Petti, M.A.V.; Corbisier, T.N. & Montone, R.C. 2016. Bioaccumulation of heavy metals in marine organisms and sediments from Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. *Marine Pollution Bulletin*, 106, 366–371. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.02.056>.
- Twilley, R. R. 1995, Properties of mangrove ecosystems related to the energy signature of coastal environments, pp. 43–61. In: C. Hall (ed.). **Maximum Power**. Boulder, Colorado, University of Colorado Press.
- USEPA – United States Environmental Protection Agency. 1994. Method 7471A. Mercury in solid or semisolid waste (manual cold-vapor technique). Revision 1.
- Usero, J.; Izquierdo, C.; Morillo, J. & Gracia, I. 2004. Heavy metals in fish (*Solea vulgaris*, *Anguilla anguilla*, *Liza aurata*) from salt marshes on the southern Atlantic coast of Spain. *Environment International*, 29(7), 949–956. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00061-8](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00061-8)
- Vale, C.C. & Schaeffer-Novelli, Y. 2018. A zona costeira do Brasil e os manguezais, pp. 37–56. In: **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).
- Vedolin, M.C.; Trevizani, T.H.; Angeli, J.L.F.; Petti, M.A.V. & Figueira, R.C.L. 2020. Assessment of metal concentration in *Goniopsis cruentata* (Latreille, 1803) (Decapoda, Grapsidae) from two Brazilian mangroves under different anthropogenic influences. *Regional Studies in Marine Science*, 36, 101305.
- Ventura, M.L.; Curreladas, I.D.; Santos, M.A.D.; Boim, M.A.; Maquigusa, E.; Bastos, P.A. & Oliveira-Sales, E.B. 2024. Estresse toxicológico em um rio altamente impactado no ambiente portuário de Santos, SP. *Química Nova*, 47(6), e-20240012.
- Vidal, R.M.B. & Becker, H. 2006. Distribuição de manganês, ferro, matéria orgânica e fosfato nos sedimentos do manguezal do Rio Piranji, Ceará. *Arquivos de Ciências do Mar*, 39, 34–43.

- Vilhena, M.S.; Costa, M.L. & Berredo, J.F. 2013. Accumulation and transfer of Hg, As, Se, and other metals in the sediment-vegetation-crab-human food chain in the coastal zone of the northern Brazilian state of Pará (Amazonia). *Environmental geochemistry and health*, 35, 477–494.
- Virga, R.H.P.; Geraldo, L.P. & Santos, F.H. 2007. Avaliação de contaminação por metais pesados em amostras de siris azuis. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27(4), 779–785.
- Wegner, T. 2010. **Applied business statistics**: Methods and Excel-based applications. Juta and Company Ltd.
- Williams, R.C. & Metcalfe, C.D. 1992. Development of an *in vivo* hepatic micronucleus assay with rainbow trout. *Aquatic Toxicology*, 23, 193–202.
- Withers, P.J.A. & Jarvie, H.P. 2008. Delivery and cycling of phosphorus in rivers: a review. *Science of the Total Environment*, 400(1–3), 379–395. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.08.002>
- Woll, A.K. 2006. **The edible crab**: Biology, grading and handling live crustaceans. Handbook. Alesund, Norway, More Research Institute, 31 p.
- Wrisberg, M.N.; Bilbo, C.M. & Spliid, H. 1992. Induction of micronuclei in hemocytes of *Mytilus edulis* and statistical analysis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 23, 191–205.
- Wunderlich, A.C.; Pinheiro, M.A.A. & Rodrigues, A.M.T. 2008. Biologia do Caranguejo-Uçá, *Ucides cordatus* (Linnaeus) (Crustacea, Decapoda, Brachyura), na Baía da Babitonga, Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 25(2), 188–198.
- Zar, J.H. 1999. **Biostatistical analysis**. Upper Saddle River, Prentice Hall International.
- Zilli, L.; Schiavone, R.; Ingrosso, L.; Marsigliante, S.; Zonno, V.; Storelli, C. & Vilella, S. 2003. Calcium channels are present in the apical plasma membranes of the hepatopancreatic B-cells of *Marsupenaeus japonicus*. *Journal of Comparative Physiology B*, 173, 661–667.
- Zuur, A.F.; Ieno, E.N.; Walker, N.J.; Saveliev, A.A. & Smith, G.M. 2009. **Mixed effects models and extensions in ecology with R**. New York, Springer, 574 p.