

VARIAÇÃO SAZONAL DE BIOMARCADORES BIOQUÍMICOS EM CRUSTÁCEOS DECÁPODES PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DO MANGUEZAL DO RIO PEREQUÊ

Seasonal variation of biochemical biomarkers in decapod crustaceans for the assessment of environmental quality in the perequê river mangrove

Samille Conceição Dias¹, Emanoel Burei Kurt², Indianara Fernanda Barcarolli³.

Resumo

Os manguezais são ecossistemas de transição entre os ambientes terrestres e marinhos, de elevada relevância ecológica e socioeconômica, no entanto a integridade deste ambiente tem sido ameaçada pela contaminação oriunda do processo de industrialização, urbanização e agricultura. Tais contaminantes podem causar efeitos prejudiciais na biota aquática, que podem ser detectados por meio dos biomarcadores de efeito, exposição e suscetibilidade. Diante deste cenário, o objetivo deste estudo foi analisar a variação sazonal de biomarcadores bioquímicos nos crustáceos *Callinectes sapidus* (Decapoda, Portunidae) e *Aratus pisonii* (Decapoda, Grapsidae) para avaliação da qualidade ambiental do manguezal do rio Perequê. As coletas foram realizadas em diferentes estações do ano e os tecidos amostrados foram brânquias, hepatopâncreas e gânglio nervoso. As amostras de tecidos foram utilizadas para análise da atividade enzimática da Catalase (CAT), Glutathione-S-transferase (GST), análise da Acetylcolinesterase (AChE). Os resultados indicaram alterações enzimáticas nos três tecidos analisados em todas as estações para as duas espécies. Foram observados elevados níveis de CAT e AChE principalmente no outono, em contraste neste período houve a diminuição significativa da enzima GST, supondo uma maior concentração de contaminantes neste período. Desta forma, os dados apresentados neste estudo fornecem informações importantes sobre a saúde do ambiente estudado.

Abstract

Mangroves are transitional ecosystems between terrestrial and marine environments, of high ecological and socioeconomic relevance. However, the integrity of this environment has been threatened by contamination stemming from the processes of industrialization, urbanization, and agriculture. Such contaminants can cause detrimental effects on aquatic biota, which can be detected through effect, exposure, and susceptibility biomarkers. In this scenario, the aim of this study was to analyze the seasonal variation of biochemical biomarkers in the crustaceans *Callinectes sapidus* (Decapoda, Portunidae) and *Aratus pisonii* (Decapoda, Grapsidae) for the evaluation of the environmental quality of the Perequê River mangrove. Collections were carried out in different seasons, and the sampled tissues were gills, hepatopancreas, and nervous ganglion. Tissue samples were used for the analysis of the enzymatic activity of Catalase (CAT), Glutathione-S-transferase (GST), and Acetylcholinesterase (AChE). The results indicated enzymatic alterations in all three tissues analyzed in all seasons for both species. Elevated levels of CAT and AChE were observed, particularly in autumn, whereas there was a significant decrease in GST enzyme activity during this period, suggesting a higher concentration of contaminants. Thus, the data presented in this study provide important information about the health of the studied environment.

¹(Autor correspondente): Mestra, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, Santa Catarina, Brasil, bio.samilledias@gmail.com.

² Graduando, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, Santa Catarina, Brasil, emanoeurburei@gmail.com.

³ Doutora, Professora efetiva da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, Santa Catarina, Brasil, barcarolli@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Manguezais são ecossistemas de transição entre os ambientes terrestres e marinhos, que apresentam significativa relevância ecológica (produção de biomassa, sequestro de carbono, berçários naturais para fauna terrestre e marinha, mitigação das mudanças climáticas) e socioeconômica (alimentação, proteção costeira, apoio à pesca) (SIMARD et al., 2019; SOUZA, et al., 2020). No Brasil as extensões de manguezais existem desde a foz do rio Oiapoque, localizada no Estado do Amapá (4°30"N), até o município de Laguna, no estado de Santa Catarina (28°30"S) (BRANDÃO, 2011).

Nos últimos anos, a intensificação desordenada das atividades humanas tem ameaçado o equilíbrio ecológico e a integridade dos manguezais, pois favorece a poluição destes biossistemas, principalmente devido à contaminação química, causada pela descarga de efluentes domésticos ou industriais e a lixiviação de pesticidas em áreas agrícolas (ARAÚJO et al., 2020). Estes efluentes na maioria das vezes são lançados sem tratamento adequado, o que pode promover a contaminação e/ou poluição por elementos metálicos, compostos químicos orgânicos, e com isto expor a biota aquática à contaminantes (SILVA et al., 2018; PEREIRA et al., 2023).

Na ecotoxicologia, esses contaminantes são comumente denominados xenobióticos. De acordo com Collins e Patterson (2020), os xenobióticos são substâncias que não são produzidas naturalmente pelo organismo, no entanto o termo é frequentemente utilizado para referir-se a fármacos, poluentes ambientais e metais pesados. A exposição de organismos aquáticos a essas substâncias pode resultar em efeitos letais e subletais, incluindo alterações genéticas, bioquímicas, celulares, fisiológicas e comportamentais (FERREIRA; PÔMPEO, 2022).

Em nível bioquímico, os efeitos adversos podem envolver a indução ou inibição de enzimas e sistemas enzimáticos, bem como a modulação de suas funções associadas (DUARTE et al., 2016). Essas alterações são amplamente empregadas como biomarcadores de exposição e efeitos de xenobióticos, além de indicarem mudanças nas condições ambientais (DUARTE et al., 2019). Desta forma, o uso de biomarcadores relacionados a esses contaminantes em organismos sentinelas é essencial para avaliação mais precisa de quaisquer efeitos adversos na vida aquática e as consequentes implicações para sua mitigação e proteção da integridade do animal. (PEREIRA et al., 2023; YAMAMOTO et al., 2023).

Os crustáceos decápodes, especialmente os Brachyura (caranguejos e siris), têm sido utilizados frequentemente no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos e costeiros, pois são considerados excelentes modelos para estudos ecológicos e toxicológicos na investigação dos efeitos de substâncias tóxicas (ARAÚJO et al., 2020; RAVI et al., 2023; RAMOS et al., 2024). Esses animais são descritos como bons bioindicadores de poluição e contaminação ambiental, pois apresentam baixa mobilidade, fácil identificação, contato direto com sedimentos e água, abundância no ambiente, ciclo de vida longo, ampla distribuição e disponibilidade durante todo o ano (ZHANG et al., 2020, UĞURLU; SATAR; ÜNLÜ, 2024).

Muitos estudos sobre a qualidade ambiental de manguezais têm mostrado que os poluentes químicos influenciam diretamente na saúde e na qualidade de crustáceos (CARVALHO NETA et al., 2019; JESUS et al., 2021; RAMOS et al., 2024). Assim, o monitoramento ambiental nas áreas de mangue afetadas é relevante para a identificação prévia dos impactos dos poluentes no meio ambiente e nas espécies do ecossistema como um todo (JESUS et al., 2021).

O manguezal do rio Perequê, localizado na costa do estado de Santa Catarina, está restrito às margens estreitas e impactadas deste rio, pois a intensa urbanização na região acabou por comprometer o funcionamento e integridade deste ecossistema (ICMBio, 2018 JANDREY, AUMOND, 2021). O rio Perequê é utilizado para abastecimento público de água, entretanto caracteriza-se como um sistema hídrico altamente impactado, principalmente em decorrência da contaminação por lançamento de efluentes domésticos não tratados e agrotóxicos oriundos das plantações de arroz irrigado (OLIVEIRA

et al., 2019).

No estudo de Oliveira et al. (2019), a análise de biomarcadores na espécie de peixe *Geophagus brasiliensis* mostrou que poluentes presentes no rio Perequê estão afetando a saúde desses organismos e indicando possíveis danos a biota e a saúde da população humana. No entanto, há uma carência de estudos que avaliem a saúde de crustáceos que habitam o manguezal deste rio. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi analisar a variação sazonal de biomarcadores bioquímicos nos crustáceos *Callinectes sapidus* (Decapoda, Portunidae) e *Aratus pisonii* (Decapoda, Grapsidae) para avaliação da qualidade ambiental do manguezal do rio Perequê.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

As coletas sazonais foram realizadas em um ponto do manguezal do rio Perequê, situado no limite entre os municípios de Porto Belo e Itapema no estado de Santa Catarina. O rio Perequê possui aproximadamente 14 km de extensão, passando em sua maior extensão pela área rural dos dois municípios (SIGNORIN et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2019). O entorno da bacia do Rio Perequê é caracterizado como uma área pantanosa e uma cavidade de captação que se enche de água da chuva, devido ao fato de estar em um nível mais baixo que a antepraia. Além disso, na margem do Rio Perequê, observa-se a presença de vegetação de mangue (JANDREY; AUMOND, 2021).

Figura 1 - Mapa de localização do ponto de coleta dos crustáceos no manguezal do rio Perequê.



2.2 Espécies estudadas

2.2.1 *Aratus pisonii*

O caranguejo *Aratus pisonii* (H. Milne Edwards 1837), popularmente conhecido como aratu ma-

rinheiro, é uma das espécies mais comuns em manguezais Neotropicais (LÓPEZ-SÁNCHEZ et al., 2016).

A. pisonii é uma espécie semiterrestre com ciclo de vida anfíbio, e passa a maior parte do tempo fora d'água com privação hídrica diária que pode durar de 6 a 12 horas, devido a essas características atuam como um importante elo entre os módulos terrestres e aquáticos da cadeia alimentar (YEAGER et al., 2016; SANTANA et al., 2018; MAROCHI et al., 2021).

Este caranguejo apresenta hábito arbóreo e vive sobre galhos e troncos de árvores de mangue, sua dieta é baseada principalmente em folhas de mangue, embora ocasionalmente possa se alimentar de outros recursos presentes no ambiente como algas, insetos, moluscos, nematoídes, foraminíferos, ervas marinhas e juvenis da própria espécie (LÓPEZ; CONDE, 2013; LÓPEZ-SÁNCHEZ et al., 2016; QIAN; FRANK, 2024).

Esta espécie vive em uma grande variedade de habitats, incluindo foz de rios e ambientes estuarinos, marinhos e hipersalinos, onde pode ser encontrada associada a várias espécies de mangue, e está distribuída na região do Atlântico ocidental, do Brasil à Flórida, Caribe e ao longo da costa do Pacífico, de Nicarágua ao Peru (LÓPEZ-SÁNCHEZ et al., 2016; MAROCHI et al., 2021; WIDELL, 2023).

2.2.2 *Callinectes sapidus*

O crustáceo *Callinectes sapidus* (Rathbun 1896), comumente chamado de siri-azul, é um dos crustáceos marinhos amplamente estudados devido ao seu alto valor econômico e importância ecológica. Ocorre naturalmente ao longo da costa leste do Oceano Atlântico desde a Nova Escócia (Canadá) até o norte da Argentina e ao golfo do México (MANCINELLI et al. 2021; GONZÁLEZ-ORTEGÓN et al. 2022). Como outros branquiúrus portunidae, *C. sapidus* é comestível e apresenta alto valor nutricional e, portanto, é considerado uma importante pesca comercial, especialmente no Brasil e Estados Unidos (TAVARES et al., 2018; MARCHESSAUX et al., 2023).

Os juvenis e adultos de *C. sapidus* fornecem importantes serviços ecológicos como predadores e presas, e são geralmente necrófagos oportunistas ou carnívoros focados em invertebrados que vivem no fundo, especialmente moluscos bivalves (RICK et al., 2015). Os adultos de *C. sapidus* habitam predominantemente canais de rios e estuários superiores de profundidades de 0,5–20 m, enquanto as larvas são liberadas na foz dos estuários e se desenvolvem em águas superficiais sobre a plataforma continental (CARACAPPA; MUNROE, 2019; ORTEGA-JIMÉNEZ et al., 2024).

2.3 Coleta dos espécimes

Espécimes de *C. sapidus* foram coletados utilizando-se puçás e armadilhas do tipo covo com isca de fígado e pés de galinha, além disso, pescadores locais ajudaram na captura dos organismos através do lançamento de redes. Os exemplares de *A. pisonii* foram coletados manualmente por meio da busca ativa. Após a captura, os organismos foram então acondicionados em isopor térmico com gelo e transportados até o laboratório para posteriores análises.

As coletas no manguezal do rio Perequê foram realizadas na primavera de 2022, e verão, outono e inverno de 2023. Na campanha de primavera não foram encontrados espécimes de *A. pisonii*, por isso foram coletados apenas *C. sapidus*. Na campanha das demais estações foram coletadas ambas as espécies. No total 52 indivíduos foram capturados durante as campanhas de coleta, sendo 27 exemplares de *C. sapidus* e 25 de *A. pisonii*.

2.4 Coleta de tecidos

No laboratório os organismos foram medidos e dissecados para remoção de tecidos (gânglio nervoso, brânquias e hepatopâncreas) para as análises de biomarcadores. Esses órgãos foram selecionados com base em suas funções, pois tanto as brânquias quanto o hepatopâncreas apresentam funções de depuração, já os gânglios nervosos são apropriados para medições de neurotoxicidade (ARAÚJO et al., 2020). As amostras de tecidos foram armazenadas em microtubos de centrifugação de 1,5 ml, devidamente identificados, homogeneizados em tampão fosfato e mantidas congeladas a -80° C até o momento das análises.

2.5 Determinação dos biomarcadores

Para atividade enzimática da Catalase (CAT), Glutationa-S-Transferase (GST) e Acetilcolinesterase (AChE), os tecidos foram homogeneizados em tampão próprio para cada atividade enzimática e analisadas em espectrofotômetro. Além disso, foram determinadas também a quantidade de proteínas totais de cada amostra coletada.

2.5.1 Atividade da Catalase

O protocolo utilizado para a determinação enzimática Catalase foi o de Beutler (1975). Para isso, foram adicionados em cubetas de quartzo 2mL do meio de reação (tampão CAT – Tris HCL 1M, pH 8,00), 10 µL de amostra, e 10 µL de peróxido de hidrogênio. Foram realizadas 5 leituras em intervalos de 30 segundo, em espectrofotômetro a 240 nm. A atividade da catalase é expressa em unidades de H₂O₂ metabolizado por milígrama de proteína (µmol de H₂O₂ metabolizado. min-1. mg de proteína-1).

2.5.2 Atividade da Glutationa-S-Transferase

Para a determinação da atividade da Glutationa-S-Transferase foi utilizado o protocolo de Keen, Habig e Jakoby (1976). Para isto, foram adicionados em cubetas de polipropileno 2 mL de solução tampão de fosfato de potássio (pH 7,0), 20 µL de glutationa reduzida (GSH) e 20 µL de amostra, em seguida adicionou-se 20 µL de reativo 1-cloro-2,4 dinitrobenzeno CDBN, homogeneizando para iniciar as leituras em espectrofotômetro em 340 nm. A atividade da GST foi expressa em unidades de CDBN conjugado por milígrama de proteína (nmol CDBN conjugado. min-1.mg de proteína-1).

2.5.3 Atividade da Acetilcolinesterase

O protocolo de Ellman et al. (1961) foi utilizado na determinação da atividade da Acetilcolinesterase. Para tal, foram utilizados 2 mL de tampão fosfato (pH 7,00) para 100 µL de reagente de cor (DTNB) adicionados a 100 µL de amostra, e 100µL iodeto de acetilcolina. As leituras foram feitas em espectrofotômetro a 412 nm. A atividade da enzima foi expressa em unidades de ACh por milígrama de proteína (µmol de ACh hidrolisada mg de proteína-1. min-1).

2.5.4 Proteínas Totais

Proteínas totais foram determinadas para todos os tecidos amostrados, no procedimento foram utilizados 2 mL de reagente de biureto, 50 µL de amostra e 50 µL de solução padrão. A mistura homogeneizada foi deixada em repouso por 5 minutos em temperatura ambiente, e em seguida foi realizada

a leitura em espectrofotômetro, em 550 nm.

2.6 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos aos testes de Levene e de Shapiro-Wilk para verificação de homogeneidade e normalidade, respectivamente. Posteriormente, aplicou-se o teste de análise de variâncias (One-way ANOVA), e o teste de Tukey ($p < 0,05$), a fim de verificar possíveis diferenças sazonais nos biomarcadores. Todas as análises estatísticas, bem como a confecção dos gráficos, foram feitas com auxílio dos softwares Excel® e RStudio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

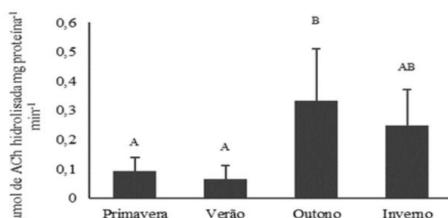
3.1 Biomarcador de neurotoxicidade

A acetilcolinesterase (AChE) é a enzima que hidrolisa o neurotransmissor acetilcolina nas sinapses colinérgicas de vertebrados e invertebrados (ARAÚJO; SANTOS; GONSALVES, 2016). A inibição do seu mecanismo ocorre devido aos efeitos da exposição a compostos neurotóxicos (organofosforados e carbamatos e metais), pois além da alta toxicidade, não se degradam de forma natural e acumulam-se nos tecidos vivos, causando vários distúrbios e doenças (NUNES et al., 2014; LIONETO et al. 2021; CALIANI et al., 2023).

Neste estudo a atividade da AChE em gânglios de *C. sapidus*, apresentada na Figura 2, indicou diferenças significativas, sendo estatisticamente menor durante a primavera e verão em comparação ao outono. A atividade enzimática do inverno não apresentou diferenças em relação as demais estações.

Figura 2 – Atividade enzimática da Acetilcolinesterase do gânglio nervoso de *Callinectes sapidus*.

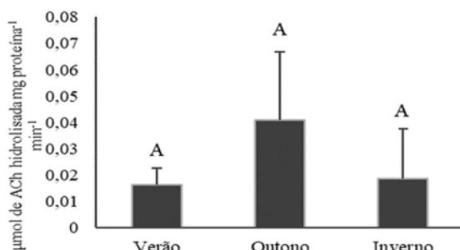
I) AChE gânglio nervoso



Legenda: os dados são expressos em média \pm desvio padrão. Letras diferentes representam diferenças sazonais significativas ($p < 0,05$).

Resultado semelhante foi observado por Araújo et al. (2020), onde a atividade de AChE de tecidos musculares de *Callinectes danae*, coletados no Sistema Estuarino Cananéia-Iguape-Peruíbe em São Paulo, foi estatisticamente menor durante o verão em todos os pontos de amostragem. Mudanças sazonais na atividade da AChE muscular também foram observadas em *Callinectes ornatus* e *Callinectes bocourtii* da baía de São José e da baía de São Marcos no Maranhão (RIGHI et al., 2022).

Em relação ao biomarcador de neurotoxicidade em *A. pisonii*, a atividade de AChE não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os períodos estudados (Figura 3), no entanto, pode-se observar maior atividade no outono. Diferente dos resultados constatados por Cardozo et al. (2010), onde as variações sazonais foram estatisticamente menores em outubro, na AChE de gânglios nervosos de *C. sapidus*, coletados em todas as estações no estuário da Lagoa dos Patos, no Rio Grande do Sul).

Figura 3 – Atividade enzimática da Acetilcolinesterase do gânglio nervoso de *Aratus pisonii*.
I) AChE gânglio nervoso


Legenda: os dados são expressos em média \pm desvio padrão. Letras diferentes representam diferenças sazonais significativas ($p < 0,05$).

Cerezer et al. (2020) enfatizam que embora a AChE seja considerada um biomarcador de neurotoxicidade para xenobióticos, em alguns organismos a mesma pode ser influenciada pela temperatura. Os autores constataram o aumento da atividade da AChE no crustáceo *Aegla longirostri* com a elevação da temperatura em condições controladas e por isso ressaltam que ao se avaliar a saúde de ecossistemas por meio de organismo *in situ*, deve-se considerar o efeito de fatores abióticos, como a temperatura. No entanto, no presente estudo os níveis de AChE no verão (estação mais quente) e inverno (estação mais fria) apresentaram valores menores, enquanto que níveis mais elevados foram observados durante o outono para ambas as espécies. Esses dados sugerem que a atividade da acetilcolinesterase não está sendo influenciada pela temperatura, sendo assim, a diminuição ou inibição desta enzima pode estar relacionada a exposição a contaminantes presentes na água e sedimento do rio Perequê.

Da mesma forma, Oliveira et al., (2019), identificou em peixes da espécie *Geophagus brasiliensis* coletados no rio Perequê, que não houveram diferenças significativas na AChE cerebral entre as estações estudadas (outono e primavera), entretanto, o autor observou diferenças na atividade da AChE muscular entre as estações primavera e outono, em todos os pontos de amostragem, com maior atividade média no outono e menor atividade média na primavera, período de menor índice de chuvas, subsequente à época de pulverização de agrotóxicos nas plantações de arroz próximas ao rio.

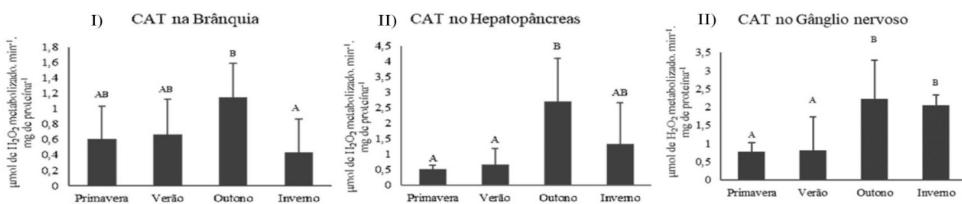
Com tudo, as baixas taxas de atividade de AChE em alguns períodos de amostragem sugerem que os organismos analisados podem estar expostos a uma maior concentração de compostos xenobióticos nestas estações do ano.

3.2 Biomarcadores do sistema de defesa antioxidante

A catalase (CAT) é uma das mais importantes enzimas antioxidantes envolvidas na eliminação do H₂O₂, um dos produtos das reações dos radicais livres. Por isso, é considerado como um biomarcador importante e sensível do estresse oxidativo, revelando efeitos biológicos sobre o estado redox dos organismos (KAUSHAL et al., 2018; CEREZER et al., 2020).

Neste estudo, a atividade da CAT em *C. sapidus* (Figura 4) apresentou diferenças entre as estações em todos os tecidos analisados, sendo expressivamente maior no outono. Os níveis de CAT na primavera e verão apresentaram similaridades em ambos os tecidos. No inverno a atividade desta enzima foi diferente entre brânquia, hepatopâncreas e gânglio nervoso.

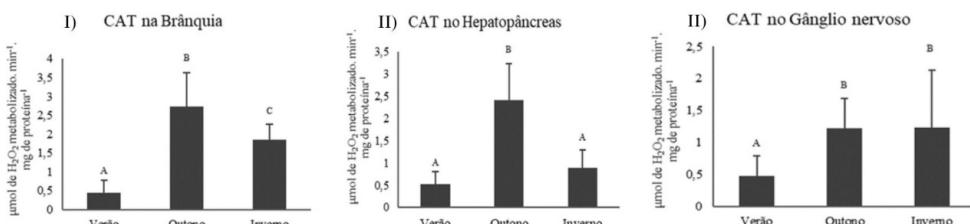
Figura 4 – Atividade enzimática da Catalase nas brânquias (I), hepatopâncreas (II) e gânglio nervoso (III) de *Callinectes sapidus*.



Legenda: os dados são expressos em média \pm desvio padrão. Letras diferentes representam diferenças sazonais significativas ($p < 0,05$).

Os níveis de CAT em *A. pisonii*, apresentados na Figura 5, indicaram comportamento diferente entre os tecidos durante estações, sendo maior durante o outono, com exceção do gânglio nervoso. No verão a CAT foi semelhante entre os tecidos, e o inverno seguiu padrões diferentes em ambos os tecidos amostrados.

Figura 5 – Atividade enzimática da Catalase nas brânquias (I), hepatopâncreas (II) e gânglio nervoso (III) de *Aratus pisonii*.

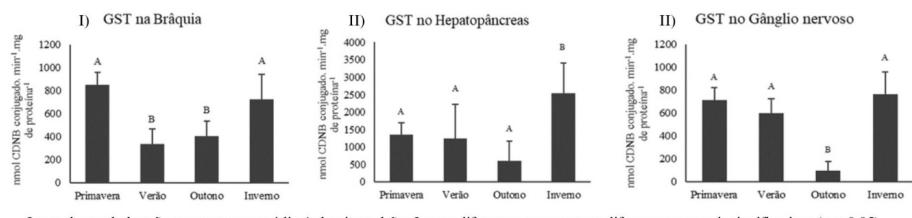


Legenda: os dados são expressos em média \pm desvio padrão. Letras diferentes representam diferenças sazonais significativas ($p < 0,05$).

Nas brânquias de *C. sapidus* a CAT apresentou diferença significativa apenas entre outono (maior atividade) e inverno (menor atividade), enquanto em *A. pisonii* foram observadas diferenças significativas entre as três estações, com atividade média menor no verão e a maior no outono. Diferente do comportamento observado no caranguejo da lama *Scylla serrata*, onde a atividade da CAT nas brânquias foi maior no verão e menor no inverno (KONG; WANG; LI, 2008).

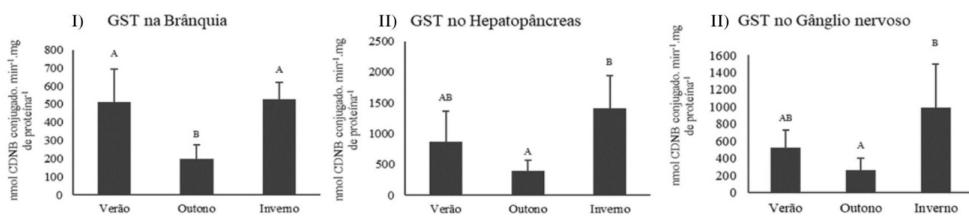
Os níveis de CAT no tecido branquial, hepatopâncreas e gânglio nervoso foram maiores no outono para as duas espécies estudadas. Isso pode estar relacionado com a exposição a uma maior concentração de poluentes no ambiente nesse período do ano. Esse resultado corrobora com vários trabalhos anteriores que mostraram um aumento nas atividades enzimáticas CAT em crustáceos expostos a poluentes (JESUS et al., 2021; FRÍAS-ESPERICUETA et al., 2022), como o caranguejo verde *Carcinus maenas* (GHEDIRA et al., 2011) e o caranguejo azul africano *Portunus segnis* (DGHIM; AMEUR; ANNABI, 2023). O aumento da CAT também foi observado nas brânquias do caranguejo do mangue *Ucides cordatus* (JESUS et al. 2020) e no hepatopâncreas de *Callinectes danae* (LIMA, 2018) ambos coletados no período chuvoso em áreas portuárias.

Em relação a glutationa-S-transferase (GST), esta enzima é um importante biomarcador bioquímico envolvido na desintoxicação celular de compostos eletrofílicos, e apresenta sensibilidade aos sinais iniciais de estresse causado por diversos poluentes (CARVALHO NETA et al., 2019, VAISH et al., 2020). Neste estudo, a GST nos tecidos de *C. sapidus* apresentou diferença significativa em pelo menos uma estação (Figura 6). Verão e inverno tiveram os maiores valores de atividade em todos os tecidos amostrados, enquanto o outono apresentou os menores níveis, exceto para a brânquia.

Figura 6 – Atividade enzimática da Glutationa-S-Transferase nas brânquias (I), hepatopâncreas (II) e gânglio nervoso (III) de *Callinectes sapidus*.

Legenda: os dados são expressos em média \pm desvio padrão. Letras diferentes representam diferenças sazonais significativas ($p < 0,05$).

Na espécie *A. pisonii* os níveis médios de GST, dispostos na Figura 7, foram maiores no inverno e menores no outono nos três tecidos analisados. A atividade enzimática no hepatopâncreas e gânglio nervo foi semelhantes em todas as estações.

Figura 7 – Atividade enzimática da Glutationa-S-Transferase nas brânquias (I), hepatopâncreas (II) e gânglio nervoso (III) de *Aratus pisonii*.

Legenda: os dados são expressos em média \pm desvio padrão. Letras diferentes representam diferenças sazonais significativas ($p < 0,05$).

A GST nas brânquias de *C. sapidus* registrou maior atividade na primavera e menor no verão, no caranguejo *A. pisonii* a maior atividade foi verificada no verão e a menor no outono. No estudo de Pinheiro e Oliveira (2016) com o crustáceo *Parastacus brasiliensis promatensis*, coletado em todas as estações, a atividade de GST das brânquias também foi maior no verão, no entanto o menor nível de atividade foi registrado no inverno, e não no outono como neste estudo.

A atividade da GST nos gânglios nervosos apresentou diferenças significativas entre o outono e inverno tanto para de *C. sapidus* como *A. pisonii*, sendo o inverno estatisticamente maior que o outono em ambas as espécies. O comportamento sazonal da GST foi semelhante em gânglios e hepatopâncreas em *A. pisonii*.

A análise da GST no hepatopâncreas no siri *C. sapidus* apresentou diferença significativa apenas no inverno que também teve a maior atividade média, e o outono registrou a menor atividade. Enquanto em *A. pisonii*, foi observado diferença significativa entre outono (menor atividade) e inverno (maior atividade). Semelhante ao resultado de Pinheiro e Oliveira (2016), pois a GST no hepatopâncreas de *P. brasiliensis promatensis* também apresentou baixos níveis no outono.

Araújo et al., (2020) analisou a GST no hepatopâncreas do siri *Callinectes danae*, e constatou que no verão as atividades de GST no hepatopâncreas foram semelhantes para todos os locais de amostragem. Entretanto, no inverno, algumas diferenças foram observadas, onde os organismos de um local apresentaram menores atividades de GST e os espécimes de outro local apresentaram maiores atividades de GST em comparação a área de referência. Esses resultados sugerem que mudanças sazonais provocam alterações nas concentrações dos poluentes nesses locais e influenciam nas respostas bioquímicas dos organismos.

Em *C. sapidus* a GST apresentou valores mais elevados durante o inverno e primavera nos três tecidos amostrados. Em *A. pisonii* a maior atividade dessa enzima também corresponde ao inverno. Com relação ao outono, esta estação foi a que apresentou a menor atividade média de GST em todos os te-

cidos das duas espécies estudadas, com exceção da brânquia de *C. sapidus* que apresentou a menor atividade média no verão. Contrário à atividade da CAT nesse mesmo período, que apresentou altos índices em todos os tecidos amostrados de *C. sapidus* e *A. pisonii*. No estudo de Oliveira et al. (2019) não houve diferenças na CAT entre as estações, porém a GST demonstrou diferenças na atividade da glutationa-S-transferase (GST) entre as estações, independente de qual ponto em análise, com menor atividade média na primavera e maior no outono.

Altos valores de atividade de GST em organismos aquáticos indicam um padrão alterado em função da exposição a poluentes, no entanto valores muito baixos de atividade de GST ou mesmo a não detecção da atividade dessa enzima também indica um padrão alterado, pois alguns estudos mostram que o sistema enzimático pode ser danificado por contaminantes, causando a diminuição ou inibição da enzima (CARVALHO NETA et al., 2012; ARAÚJO et al., 2020). Isso pode ser explicado pelo fato de o mecanismo bioquímico-enzimático ser um dos primeiros níveis de organização biológica que pode ser esgotado em casos de efeitos adversos causados por contaminantes (CARVALHO NETA et al., 2019).

4 CONCLUSÃO

O presente estudo investigou as variações sazonais nos biomarcadores de neurotoxicidade (AChE) e do sistema de defesa antioxidant (CAT e GST) nos crustáceos *A. pisonii* e *C. sapidus* coletados no manguezal do rio Perequê. Nesse sentido, foram observadas alterações enzimáticas nos três tecidos amostrados (brânquia, hepatopâncreas e gânglio nervoso), em todas as estações para as duas espécies. Além disso, o outono foi a estação com maiores valores de atividade enzimática para CAT e AChE, no entanto, apresentou os menores níveis de GST, indicando que os organismos analisados podem ter sido expostos a uma maior concentração de compostos xenobióticos nesta estação do ano.

Portanto, as análises de biomarcadores foram capazes de detectar alterações bioquímicas nos organismos estudados, que podem ser ocasionadas devido degradação ambiental no manguezal do rio Perequê. Esses resultados sugerem que os níveis de contaminantes presentes nesse ambiente podem ser suficientes para produzir efeitos negativos sobre a biota nativa. Sendo assim, estudos adicionais são necessários para compreender de forma mais precisa os efeitos adversos desses poluentes na fauna local.

5 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, C. R. M.; SANTOS, V. L. A.; GONSALVES, A. A. Acetylcholinesterase - AChE: A pharmacological interesting enzyme. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 6, p. 1818–1834, 2016. Disponível em: <<https://rvq.sbj.org.br/pdf/v8n6a04>>. Acesso em 03 jun. 2024.
- ARAÚJO, G. S. et al. Metal Associated Biomarkers Responses in Crabs from a Marine Protected Area in Southeastern Brazil. **Arch Environ Contam Toxicol**, 78, 463–477, 2020. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00244-020-00710-5>>. Acesso em 06 mai. 2024.
- BEUTLER, E. **Red cell metabolism: A manual of biochemical a methods**. Grune & Stron, New York, 1975, 161 p.
- CALIANI, I. et al. A multidisciplinary integrated approach using *Pachygrapsus marmoratus* to assess the impact of port activities on mediterranean marine protected áreas. **Chemosphere**, v. 312, 137129, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653522036220?via%3Dihub>>. Acesso em 11 dez. 2023.

CARDOZO, J. G. et al. Variação sazonal de biomarcadores no siri azul *Callinectes sapidus* para a avaliação de contaminantes aquáticos no estuário da Lagoa dos Patos (RS). **9ª Mostra da Produção Universitária (MPU)**, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS, Brasil, 2010.

CARVALHO NETA, R. N. F. et al. Biochemical and morphological responses in *Ucides cordatus* (Crustacea, Decapoda) as indicators of contamination status in mangroves and port areas from northern Brazil. **Environ. Sci. Pollut. Res.** V. 26, p. 15884–15893, 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-04849-0>>. Acesso em 06 mai. 2024.

CARVALHO-NETA R. N. F.; TORRES JUNIOR, A. R.; ABREU-SILVA, A. L. Biomarkers in catfish *Sciades herzbergii* (Teleostei: Ariidae) from polluted and non-polluted areas (São Marcos' bay, northeastern Brazil). **Appl Biochem Biotech**, 166:1–12, 2012. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12010-011-9519-1>>. Acesso em 22 maio. 2024.

CEREZER, C. et al. Raising the water temperature: consequences in behavior and biochemical biomarkers of the freshwater crab *Aegla longirostri* (Crustacea, Anomura). **Environ Sci Pollut Res**, v. 27, p. 45349–45357, 2020. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-10423-w>>. Acesso em 06 mai. 2024.

COLLINS, S. L.; PATTERSON, A. D. The gut microbiome: an orchestrator of xenobiotic metabolism. **Acta Pharmaceutica Sinica B**, v. 10, n.1, p. 19-32, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211383519309736>>. Acesso em 04 fev. 2025.

DGHIM, A.; AMEUR, W. B.; ANNABI, A. Assessment of the Accumulation of Trace Metals and Oxidative Stress Response Biomarkers in the Portunid *Portunus segnis*. **Appl. Sci.** 13, 7197, 2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2076-3417/13/12/7197>>. Acesso em 06 mai. 2024.

DUARTE, L. F. A. et al. Mangrove metal pollution induces biological tolerance to C don a crab sentinel species subpopulation. **Science of the Total Environment**, v. 687, p. 768–779, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719325999?via%3Dihub>>. Acesso em 18 abr. 2024.

DUARTE, L. F. A. et al. 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**, v. 133, p. 176–187, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651316302809?via%3Dihub>>. Acesso em 22 mai. 2024.

ELLMAN, G. L.; COUTNEY, K.; ANDRES, V.; FEATHERSTONE, R. M. A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. **Biochem. Pharm.** v.7, p.88-95, 1961.

FERREIRA, K. S.; POMPÉO, M. A ecotoxicologia como ferramenta na avaliação dos mananciais da região metropolitana de São Paulo. In: Pompêo, M.; Carlos, V. M.; Doval, J. C. L. (Orgs.) **Aspectos da ecotoxicidade em ambientes aquáticos. São Paulo**. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, p. 190-207, 2022.

FRÍAS-ESPERICUETA, M. G. et al. Metals and Oxidative Stress in Aquatic Decapod Crustaceans: A Review with Special Reference to Shrimp and Crabs. **Aquat. Toxicol.**, 242, 106024, 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166445X21002848?via%3Dihub>>. Acesso em 10 mar. 2024.

GHEDIRA, J. et al. Use of Oxidative Stress Biomarkers in *Carcinus Maenas* to Assess Littoral Zone Contamination in Tunisia. **Aquat. Biol.**, 14, 87–98, 2011. Disponível em: <<https://www.int-res.com/abstracts/ab/v14/n1/p87-98/>>. Acesso em 15 dez. 2023.

GONZÁLEZ-ORTEGÓN, E., et al. Free Pass Through the Pillars of Hercules? Genetic and Historical Insights Into the Recent Expansion of the Atlantic Blue Crab *Callinectes sapidus* to the West and the East of the Strait of Gibraltar. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, 918026, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fmars.2022.918026>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

ICMBIO. **Atlas dos Manguezais do Brasil** / Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018, 176 p. Disponível em: <https://ava.icmbio.gov.br/pluginfile.php/4592/mod_data/content/14085/atlas%20dos_manguezais_do_brasil.pdf>. Acesso em 15 dez. 2023.

JANDREY, S.; AUMOND, J. J. **Simulação da elevação do aumento do nível do oceano na cidade de Itapema/Sc. Políticas Públicas e Mobilidade Urbana**. 1. ed. Guarujá: Editora Científica Digital, v. 1. p. 351-370, 2021. Disponível em: <<https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/210102755.pdf>>. Acesso em 26 jan. 2025.

JESUS, W. B. et al. Biomarcadores enzimáticos e histológicos em brânquias de *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Brachyura, Ucididae) indicativos de impactos ambientais em uma região portuária do nordeste do Brasil. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.72, n.4, p.1413-1423, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/abmvz/a/v5VQkXyN5MtnLKDLv3q3BDt/?lang=pt>>. Acesso em 03 jun. 2024.

JESUS, W. B. et al. Biomarkers and Occurrences of Heavy Metals in Sediment and the Bioaccumulation of Metals in Crabs (*Ucides cordatus*) in Impacted Mangroves on the Amazon Coast, Brazil. **Chemosphere**, 271, 129444, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520336420?via%3Dihub>>. Acesso em 07 mai. 2024.

KAUSHAL, J.; SINGH, S. G.; RAINA, A.; ARYA, S. K. Catalase enzyme: Application in bioremediation and food industry. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 16, p. 192–199, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818118302846?via%3Dihub>>. Acesso em 15 dez. 2023.

KEEN, J. H.; HABIG, W. H.; JAKOBY, W. B. Mechanism for several activities of the glutathione-S-transferase. **J. Biol. Chem.** v. 251 p. 6183-6188, 1976.

KONG, X.; WANG, G.; LI, S. Seasonal variations of ATPase activity and antioxidant defenses in gills of the mud crab *Scylla serrata* (Crustacea, Decapoda). **Mar. Biol.** 154, 269276, 2008. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00227-008-0920-4>>. Acesso em 21 mai. 2024.

LIMA, I. M. A. **Biomarcadores em Callinectes danae (Crustacea, Decapoda, Portunoidea) para monitoramento ambiental em áreas portuárias na ilha do Maranhão, Brasil**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.uema.br/handle/123456789/1133>>. Acesso em 09 nov. 2023.

MANCINELLI, G., R.; BARDELLI, R.; ZENETOS, A. A global occurrence database of the Atlantic blue crab *Callinectes sapidus*. **Sci Data**, v. 8, n. 111, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41597-021-00888-w>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

MARCHESSAUX, G.; GJONI, V.; SARÀ, G. Environmental drivers of size-based population structure, sexual maturity and fecundity: A study of the invasive blue crab *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) in the Mediterranean Sea. **PLOS ONE**, 18(8): e0289611, 2023. Disponível: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289611>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

NUNES, B.; BARBOSA, A. R.; ANTUNES, S. C.; GONÇALVEZ, F. Combination effects of anticholinesterasics in acetylcholinesterase of a fish species: effects of a metallic compound, an organophosphate pesticide, and a pharmaceutical drug. **Environ Sci Pollut Res**. 21:6258–6262, 2014. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-014-2584-6>>. Acesso em 15 mai. 2024.

OLIVEIRA, F. G. et al. Toxicological effects of anthropogenic activities in *Geophagus brasiliensis* from a coastal river of southern Brazil: A biomarker approach. **Science of the Total Environment**, v. 667, p. 371–383, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719306564?via%3Dihub>>. Acesso em 28 abr. 2024.

ORTEGA JIMÉNEZ, E.; Cuesta, J. A.; Laiz, I.; González Ortegón, E. Diet of the Invasive Atlantic Blue Crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Decapoda, Portunidae) in the Guadalquivir Estuary (Spain). **Estuaries and Coasts**, v. 47, p.1075–1085, 2024. Disponível em:<<https://doi.org/10.1007/s12237-024-01344-9>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

PINHEIRO, L. C.; OLIVEIRA, G. T. Oxidative status profile in different tissues of *Parastacus brasiliensis* promatensis (Crustacea, Decapoda, Parastacidae) over a seasonal cycle. **J. Exp. Zool.** 325A:318–328, 2016. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jez.2019>>. Acesso em 06 maio. 2024.

QIAN, R.; FRANK, T. M. Comparative study of spectral sensitivity, irradiance sensitivity, spatial resolution and temporal resolution in the visual systems of *Ocypode quadrata* and *Aratus pisonii*. **Journal of Experimental Biology**, 227 (3): jeb246813, 2024. Disponível em: <<https://doi-org.ez71.periodicos.capes.gov.br/10.1242/jeb.246813>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

RAMOS, M. A. V. et al. C Soil Contamination and Biomarkers in *Ucides cordatus* in Mangroves from Baía de Todos os Santos, Bahia, Brazil. **Water Air Soil Pollut**, v. 235, n. 218, 2024. Disponível em:<<https://doi-org.ez71.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11270-024-07037-0>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

RAVI, R. et al. Impact of Chlorpyrifos on Cytopathological Indices in Mangrove Crab, *Episesarma tetragonum* (Fabricius). **Veterinary Sciences**, v. 10, n. 53, 2023. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2306-7381/10/1/53>>. Acesso em 04 fev. 2025.

RIGHI, B. D. P. et al. Response of biomarkers to metals, hydrocarbons and organochlorine pesticides contamination in crabs (*Callinectes ornatus* and *C. bocourti*) from two tropical estuaries (São José and São Marcos bays) of the Maranhão State (northeastern Brazil). **Chemosphere**, 288:132649. 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521031210?via%3Dihub>>. Acesso em 03 jun. 2024.

SIGNORIN, M. PEREIRA FILHO, J.; DELFIM, R., SCHETTINI, C. A. F. Hidrodinâmica e nutrientes inorgânicos dissolvidos no estuário do Rio Perequê, SC. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 14, n. 2, p. 13, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.univali.br/index.php/bjast/article/view/2553>>. Acesso em 29 nov. 2023.

SILVA, B. M. S.; MORALES, G. P.; GUTJAHR, A. L. N.; FAIAL, K. C. F. Biomonitoramento de elementos metálicos no caranguejo *Ucides cordatus linnaeus* (1763), em manguezal amazônico (Curuçá/Brasil). In: Carneiro, J. S. et al. **Interfaces em Química: uma produção do Grupo de Pesquisa em Química da Universidade do Estado do Pará**. Belém: EDUEPA, p. 23-33, 2018.

UĞURLU, P.; SATAR, E. İ.; ERHAN ÜNLÜ, E. Toxic effects of commercial grade indoxacarb and endosulfan on *Gammarus kischineffensis* (Schellenberg, 1937) (Crustacea: Amphipoda). **Chemosphere**, v. 360, 142387, 2024. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com.ez71.periodicos.capes.gov.br/science/article/abs/pii/S0045653524012803?via%3Dihub#bib91>>. Acesso em 04 fev. 2025.

VAISH, S.; GUPTA, D.; MEHROTRA, R.; MEHROTRA, S.; BASANTANI, M. K. Glutathione S-transferase: a versatile protein family. **3Biotech**, 10, 321, 2020. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13205-020-02312-3>>. Acesso em 15 dez. 2023.

WIDELL, S. Comparing *Aratus pisonii* Distributions Across Built and Woody Habitats Along a Population Range Margin. **Southeastern Naturalist**, v. 22, n. 4, p. 561-568, 2023. Disponível em: <<https://doi.org.ez71.periodicos.capes.gov.br/10.1656/058.022.0408>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

YAMAMOTO, F. Y. et al. Biomarcadores anteriores em peixes evidenciando respostas de estresse à poluição por metais e orgânicos ao longo da Bacia do Rio Doce. **Poluição Ambiental**, 329, 2023. Disponível em: <<https://doi-org.ez71.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.envpol.2023.121720>>. Acesso em: 20 fev. 2025.

ZHANG, Y. et al. Gene rearrangements in the mitochondrial genome of Chiromantes eulimene (Brachyura: Sesarmidae) and phylogenetic implications for Brachyura. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 162, p. 704-714, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813020336370?via%3Dihub>>. Acesso em 06 mai. 2024.