



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA AQUÁTICA E PESCA

KATHERINE SOARES MORAIS

**MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE CRUSTÁCEOS DECÁPODES DULCÍCOLAS
EM UMA ÁREA DE MINERAÇÃO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

**BELÉM-PA
2025**

KATHERINE SOARES MORAIS

**MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE CRUSTÁCEOS DECÁPODES DULCÍCOLAS
EM UMA ÁREA DE MINERAÇÃO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca da Universidade Federal do Pará, para a obtenção do título de Mestre em Ecologia Aquática e Pesca.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Bianca Bentes

Coorientador: Prof. Dr. Gustavo Quevedo Romero

**BELÉM-PA
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S676 Soares Morais, Katherine.
Modelos de distribuição de crustáceos decápodes dulcícolas
em uma área de mineração na Amazônia Brasileira / Katherine
Soares Morais. — 2025.
64 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Bianca Bentes
Coorientador(a): Prof. Dr. Gustavo Quevedo Romero
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Núcleo
de Ecologia Aquática e Pesca da Amazônia, Programa de Pós-
Graduação em Ecologia Aquática e Pesca, Belém, 2025.

1. Crustáceos de Carajás. 2. Estrutura de comunidades. 3.
Modelos preditivos.. I. Título.

CDD 577.7275309811

KATHERINE SOARES MORAIS

**MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE CRUSTÁCEOS DECÁPODES
DULCÍCOLAS EM UMA ÁREA DE MINERAÇÃO NA AMAZÔNIA
BRASILEIRA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia
Aquática e Pesca da Universidade Federal do Pará, para a obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Ecologia e manejo de recursos pesqueiros.

Aprovada em: 26 de fevereiro de 2025

Documento assinado digitalmente



BIANCA BENTES DA SILVA

Data: 01/04/2025 08:59:12-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª Drª. Bianca Bentes da Silva

Universidade Federal do Pará – (Orientadora)

Prof. Dr. Gustavo Quevedo Romero

Universidade Estadual de Campinas – (Coorientador)

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente



JUSSARA MORETTO MARTINELLI LEMOS

Data: 02/04/2025 16:06:52-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.ª Dr.ª. Jussara Moretto Martinelli Lemos - Interno

Universidade Federal do Pará - UFPA

Documento assinado digitalmente



RACHEL ANN HAUSER DAVIS

Data: 03/04/2025 06:18:00-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.ª Dr.ª. Rachel Ann Hauser-Davis - Externo

Fundação Oswaldo Cruz - Fiocruz

Documento assinado digitalmente



CAIO DOS SANTOS NOGUEIRA

Data: 02/04/2025 12:17:27-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Caio dos Santos Nogueira - Externo

Universidade Estadual Paulista – UNESP

SUPLENTES:

Profª. Drª. LÍlian Lund Amado - Interno

Universidade Federal do Pará – UFPA

Prof. Dr. Flávio de Almeida Alves Junior - Externo

Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação à minha mãe, Silvana Oliveira Soares, à minha madrinha, Sandra Regina Oliveira Soares, e à minha avó, Maria Sônia Oliveira Soares, por todo o amor, apoio e força que sempre me ofereceram. Sem o exemplo, o carinho e a presença de vocês, esta conquista não seria possível. E ao meu namorado, Moisés Sena Monteiro, por caminhar ao meu lado com paciência, incentivo e amor em cada etapa dessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me conceder força, sabedoria e serenidade para enfrentar os desafios ao longo desta jornada. Sua presença foi meu alicerce nos momentos de incerteza e minha paz nos dias mais difíceis.

Agradeço à minha família, a quem dedico este trabalho com todo o meu carinho e gratidão. À minha mãe, Silvana Oliveira Soares, por ser minha base, meu exemplo de força e amor incondicional. À minha madrinha, Sandra Soares, e à minha avó, Maria Sônia, por todo o apoio, cuidado e sabedoria compartilhada ao longo da minha vida.

Ao meu namorado, Moisés Monteiro, agradeço pelo amor, pela paciência e por acreditar em mim em cada etapa deste processo. Sua presença foi essencial ao longo dessa jornada.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Bianca Bentes, agradeço pelo comprometimento, paciência e pela orientação fundamental na construção deste trabalho. Sua confiança e apoio foram essenciais nesta nova etapa da minha vida acadêmica. Ao meu coorientador, Prof. Dr. Gustavo Quevedo Romero, agradeço a valiosa contribuição, disponibilidade e pelas importantes orientações ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Sua experiência e apoio foram fundamentais para o aprimoramento desta pesquisa.

À toda a equipe do Grupo de Ecologia, Manejo e Pesca da Amazônia, agradeço pelo apoio, trocas e contribuições ao longo desta jornada, em especial à Cláudia Antônia Campos Rodrigues de Oliveira, Izabelle Tavares, Gabriel Monteiro e Carolina Sales pelo suporte constante, pela força, pelo carinho e pelo companheirismo em cada passo dessa jornada.

Esta pesquisa foi financiada pelo Acordo de Cooperação nº 04/2018, celebrado entre o ICMBio, a Salobo Metais S.A. e a FUNTEC-DF, aos quais agradeço o apoio e investimento na produção científica.

À Victória Rodrigues e aos membros do LABCRUS, agradeço por todo o apoio e por terem me auxiliado e ensinado os primeiros passos na identificação dos crustáceos. Aos Professores Fúlvio Freire e Alexandre Marques, agradeço por todo o apoio nas análises realizadas e pela colaboração essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao LAPMAR – Laboratório de Pesquisa em Monitoramento Ambiental Marinho da UFPA e ao Laboratório de Análises Químicas da UFSM, agradeço pelas análises dos metais e metaloides nos sedimentos, fundamentais para esta pesquisa.

À Universidade Federal do Pará e ao programa de Pós-graduação em Ecologia Aquática e Pesca (PPGEAP), pelo apoio científico para a realização deste trabalho e à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa.

Aos membros titulares e suplentes desta banca, agradeço por gentilmente aceitarem participar da avaliação deste trabalho e por contribuírem com suas valiosas considerações.

A todos os professores, colegas, amigos e instituições que, de alguma forma, contribuíram para a realização desta dissertação, deixo aqui meu mais sincero muito obrigada.

APOIO, INSTITUIÇÕES E FONTES FINANCIADORAS



EPÍGRAFE

A ciência exige paixão, dedicação e uma vontade constante de superar desafios."

Mayana Zatz

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O documento final foi organizado no formato de artigo científico, redigido e padronizado de acordo com as normas da revista *Scientific Reports* (ISSN 2045-2322, IF: 3.8) conforme regulamentação do PPGEAP, é do extrato A da CAPES

Introdução geral: Contemplou uma revisão bibliográfica da região de Carajás, das influências de atividades antrópicas como mineração na biota aquática da região, por meio de um levantamento detalhado de trabalhos publicados.

Capítulo 1: artigo intitulado " Composição das comunidades de crustáceos decápodes dulcícolas e a relação com variáveis ambientais em uma área de mineração, Amazônia, Brasil" que traz os resultados da distribuição de espécies de crustáceos decápodes da região e sua associação com a temperatura da água e a concentração de alguns metais no sedimento (Al, As, Fe, Pb, Mn).

Considerações finais: capítulo integrador que, embora não seja direcionado à publicação, aborda as impressões e perspectivas geradas na pesquisa, bem como iniciativas que consideramos promissoras a partir da oportunidade em Carajás.

RESUMO

O Mosaico de Carajás é um complexo de áreas de conservação localizado no Sudeste da Amazônia brasileira e reconhecido pela presença de importantes recursos minerais. A região é considerada estratégica para a exploração de minério de ferro, com a maioria das atividades mineradoras conduzidas legalmente pela VALE S.A., no entanto, a presença do garimpo ilegal na região continua a representar um desafio. Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo analisar a composição das comunidades de crustáceos decápodes de água doce e sua relação com os metais e metaloides encontrados nas amostras de sedimento, além de avaliar a influência da temperatura da água. As coletas foram realizadas em 2022 em quatro locais da bacia do rio Itacaiúnas e quatro locais da bacia do rio Parauapebas, ambos situados no Mosaico de Carajás, tendo em cada bacia, dois locais classificados como impactados devido à contaminação por rejeitos de mineração e garimpo ilegal e dois considerados não impactados, durante dois períodos sazonais distintos: chuvoso e seco. A relação entre as comunidades de crustáceos e as variáveis ambientais foi analisada por meio de regressões lineares múltiplas, considerando a riqueza e a abundância das espécies como variáveis dependentes, avaliando a influência do limiar de contaminação do sedimento pelos metais Al, Fe, Pb e Mn, o metaloide As e a temperatura da água. Durante as duas campanhas, foram identificadas dez espécies de crustáceos entre camarões e caranguejos. A análise das variáveis físico-químicas em relação aos períodos indicou que, no período chuvoso, foram registradas altas concentrações de As, Fe, Pb e Mn, enquanto os maiores valores de temperatura e Al ocorreram no período seco. A composição das assembleias de crustáceos não sofreu alterações significativas em relação ao período, bacia ou fator de impacto. As áreas não impactadas apresentaram maior abundância, enquanto a variação de temperatura esteve associada a uma redução na diversidade alfa e beta, indicando impactos negativos na saúde das comunidades aquáticas.

Palavras-chave: Crustáceos de Carajás; Estrutura de comunidades; Modelos preditivos.

ABSTRACT

The Carajás Mosaic is a complex of conservation areas located in the southeast of the Brazilian Amazon and recognized for the presence of important mineral resources. The region is considered strategic for the exploitation of iron ore, with the majority of mining activities conducted legally by VALE S.A., however, the presence of illegal mining in the region continues to represent a challenge. Given this context, this study aimed to analyze the composition of freshwater decapod crustacean communities and their relationship with the metals and metalloids found in sediment samples, as well as assessing the influence of water temperature. The samples were collected in 2022 at four locations in the Itacaiúnas River basin and four locations in the Parauapebas River basin, both located in the Carajás Mosaic, with two locations in each basin classified as impacted due to contamination by mining tailings and illegal mining and two considered unimpacted, during two different seasonal periods: rainy and dry. The relationship between crustacean communities and environmental variables was analyzed using multiple linear regressions, considering species richness and abundance as dependent variables, evaluating the influence of the sediment contamination threshold for the metals Al, Fe, Pb and Mn, the metalloid As and water temperature. During the two campaigns, ten species of crustaceans were identified, including shrimps and crabs. Analysis of the physicochemical variables in relation to the periods indicated that high concentrations of As, Fe, Pb and Mn were recorded in the rainy season, while the highest values for temperature and Al occurred in the dry season. The composition of the crustacean assemblages did not change significantly in relation to the period, basin or impact factor. Non-impacted areas showed greater abundance, while temperature variation was associated with a reduction in alpha and beta diversity, indicating negative impacts on the health of aquatic communities.

Keywords: Crustaceans of Carajás; Community structure; Predictive models.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1-** Localização dos pontos de coleta (controle e impactado) dos crustáceos realizadas em maio e novembro de 2022 dentro do Mosaico de Carajás-Sudeste do Pará, assim como quais desses pontos sofrem influência de atividades de garimpo ilegal, com barragem de rejeitos e quais estão próximos de minas.....23
- Figura 2-** Local de coleta Rio Azul (bacia do Rio Itacaiúnas), nos meses de Maio (A); Novembro (B) de 2022 (Fonte: Oliveira,2022).....24
- Figura 3-** Local de coleta REBIO TAPIRAPÉ (bacia do Rio Itacaiúnas), nos meses de Maio (A); Novembro (B) de 2022 (Fonte: Oliveira,2022).....24
- Figura 4-** Local de coleta Rio Cinzento (bacia do Rio Itacaiúnas), nos meses de Maio (A); Novembro (B) de 2022 (Fonte: Oliveira,2022).....24
- Figura 5-** Local de coleta Águas Claras (bacia do Rio Itacaiúnas), nos meses de Maio (A); Novembro (B) de 2022 (Fonte: Oliveira,2022).....24
- Figura 6-** Local de coleta APA do Igarapé Gelado (bacia do Rio Parauapebas), Sudeste do Pará. Área interna da bacia de rejeitos da VALE; Coleta no mês de Maio (A); Novembro (B) de 2022 (Fonte: Oliveira, 2022).....25
- Figura 7-** Local de coleta Rio das Neves (bacia do Rio Parauapebas), Sudeste do Pará. No mês de Maio (A); Novembro (B) de 2022 (Fonte: Oliveira, 2022).....25
- Figura 8-** Local de coleta A jusante a Mina do Sossego (bacia do Rio Parauapebas), Sudeste do Pará. Coleta no mês de Maio (A); Novembro (B) de 2022 (Fonte: Oliveira,2022).....25
- Figura 9-** Local de coleta Porto do Limão (bacia do Rio Parauapebas), Sudeste do Pará. Coleta no mês de Maio (A, B e C); Coleta no mês de Novembro (De E) de 2022 (Fonte: Oliveira, 2022).....25
- Figura 10-** Processo de preparação das armadilhas para captura dos crustáceos em Carajás (Fonte: OLIVEIRA, 2022).....27
- Figura 11-** Preparo da ração de farelo de babaçu, arroz e trigo e posicionamento das iscas na armadilha com auxílio de sacos de chopp (Fonte: OLIVEIRA, 2022).....27
- Figura 12-** Colocação das armadilhas nas águas e posterior retirada das armadilhas e dos crustáceos para armazenamento (Fonte: Oliveira,2022).....28
- Figura 13-** Coleta de água para análise de metal (A); Medidor utilizado para a coleta e análise dos parâmetros físico-químicos da água(B) (Fonte: OLIVEIRA,2022).....28
- Figura 14-** Coleta das amostras de sedimentos para análise de metais em Carajás (Fonte: OLIVEIRA,2022).....29

Figura 15- Processo de identificação e biometria (CT, CC e peso) dos crustáceos com auxílio de lupa, paquímetro digital e balança digital no Laboratório Multiusuário do Núcleo de Ecologia Aquática e Pesca da Amazônia da UFPA-NEAP.....30

CAP I: Composição das comunidades de crustáceos decápodes dulcícolas e a relação com variáveis ambientais em uma área de mineração, Amazônia, Brasil

Figura 1 - Localização dos pontos de amostragem de crustáceos (controle – azul; e impactado – vermelho) realizados em maio e novembro de 2022 dentro do Mosaico Carajás-Sudeste do Pará.....38

Figura 2 - *Biplot* da análise de componentes principais relacionando as variáveis físico-químicas do sedimento amostrado entre os períodos (maio e novembro - a), áreas de impactos de mineração (Sim e Não - b) e a interação entre esses fatores (c), coletados nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, do Mosaico de Carajás, Brasil. A intensidade das setas em tons de cinza indica a contribuição da variável físico-química do sedimento para a variabilidade dos dados. $\alpha < 0,05$41

Figura 3 - Composição da assembleia de crustáceos amostrada entre os períodos (a), áreas de impacto da mineração (b) e a interação desses fatores (c), amostrados nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, Mosaico de Carajás, Brasil.....42

Figura 4 - Relação entre a abundância total da assembleia de crustáceos e temperatura (a), Al (b), Pb (c), Fe (d), Mn (e), As (f), períodos (g), áreas de impacto de mineração (h) e a interação entre esses dois últimos fatores (i), amostrados nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, no Mosaico de Carajás, Brasil. * $\alpha < 0,05$43

Figura 5 - Relação entre a diversidade alfa (através da riqueza de espécies) da assembleia de crustáceos e temperatura (a), Al (b), chumbo (c), Au(d), Mn (e), As (f), períodos (g), áreas de impacto de mineração (h) e a interação entre esses dois últimos fatores (i), amostrados nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, Mosaico de Carajás, Brasil. $\alpha < 0,05$44

Figura 6 - Relação entre a diversidade beta (pelo método de Whittaker) da assembleia de crustáceos e temperatura (a), Al (b), Pb (c), Fe (d), Mn (e), As (f), períodos (g), áreas de impacto de mineração (h) e a interação entre esses dois últimos fatores (i), amostrados nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, no Mosaico de Carajás, Brasil. + indica uma diferença marginalmente significativa ($\alpha < 0,10$).....45

Figura 7 - *Biplot* da Análise de Redundância (RDA) das espécies de crustáceos em relação à variável temperatura; Al (alumínio); Como (arsênico); Fe (ferro); Pb (chumbo) e Mn (manganês).....46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Unidades de conservação criadas pelo Governo Federal, ao redor das áreas concedidas a Companhia Vale (VALE), para a exploração de minério. Unidade de conservação, data de criação, tipo de Unidade e área.....19

Tabela 2 - Locais delimitados para coleta de dados primários no Mosaico Carajás e critérios de classificação do grau de antropização utilizado como fator de análise durante o projeto "Carajás" entre dezembro de 2021 e dezembro de 2023.....26

CAP I:

Tabela 1. Número de camarões e caranguejos capturados por espécie nas áreas impactadas e controle nas bacias de Itacaiúnas e Parauapebas no Mosaico de Carajás (Brasil) durante a estação chuvosa (maio) e a estação seca (novembro).....40

Tabela 2. Média e Erro Padrão dos valores obtidos da análise das variáveis amostras de água (Temperatura) e (Al, As, Fe, Pb, Mn) do sedimento coletadas em maio e novembro de 2022 nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, no Mosaico de Carajás, Brasil. SE – erro padrão.....42

Tabela 3. Modelo final GAMLSS da abundância total de crustáceos com as variáveis físico-químicas do sedimento (Al, As, Fe, Pb e Mn) e os fatores espaço-temporais (Temperatura) no Mosaico de Carajás, Brasil. Legendas cs= termo de suavização aditivo cubic spline; Mn= Manganês; AIC= Critério de Informação de Akaike; R²= Coeficiente de Determinação. Valores em negrito indicam diferenças estatísticas ($\alpha < 0,05$).....43

Tabela 4. Modelo final GAMLSS da diversidade alfa da assembleia de crustáceos com as variáveis físico-químicas do sedimento (Al, As, Fe, Pb e Mn) e temperatura do Mosaico de Carajás, Brasil. Legendas: cs= termo de suavização aditivo cubic spline; AIC= Critério de Informação de Akaike; R²= Coeficiente de determinação; Coef = coeficiente, p = probabilidade. Valores em negrito indicam $\alpha < 0,05$44

Tabela 5. Modelo multivariado relacionando métricas de diversidade beta (utilizando o método de Whittaker) com variáveis físico-químicas do sedimento (Al, As, Fe, Pb e Mn) e espaço temporal (período e área de impacto), amostrados nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, Mosaico de Carajás, Brasil. GL= Graus de Liberdade; R²= Coeficiente de Determinação; F= Teste de Fisher; p = probabilidade. +indica diferença marginalmente significativa ($\alpha < 0,10$).....45

Tabela 6. Resultado da análise de redundância (RDA) da abundância das espécies de crustáceos com as variáveis físico-químicas do sedimento, amostradas nos pontos de coleta das bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, Mosaico de Carajás, Brasil. F Teste de Fisher; p = probabilidade.....46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al – Alumínio

APA - Área de proteção do Igarapé Gelado

As - Arsênio

CEUA - Comissão de Ética no Uso de Animais

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente

CVRD- Companhia estatal brasileira Vale do Rio Doce

CPTe- *Potentially Toxic Elements Concentration* (Concentração de Elementos Potencialmente Tóxicos).

EF- *Enrichment Factor* – (Fator de Enriquecimento)

Fe - Ferro

FLONA - Floresta Nacional

GAMLSS - *Generalized Additive Models for Location, Scale and Shape* (Modelos Aditivos Generalizados para Localização, Escala e Forma)

IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

ICMBio- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

LAPMAR - Laboratório de Pesquisa em Monitoramento Ambiental Marinho

Mn - Manganês

NEAP - Núcleo de Ecologia Aquática e Pesca da Amazônia

PCA- Análise de Componentes Principais

PARNA - Parque Nacional dos Campos Ferruginosos

PEL - *Probable Effect Level* (Nível de Efeito Provável)

PERMANOVA - Análise de Variância Multivariada Permutacional

Pb – Chumbo

PTE – *Potentially Toxic Elements* (Elementos Potencialmente Tóxicos)

REBIO - Reserva Biológica

RDA - Análise de Redundância

Se – Selênio

SISBIO - Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade

TAC - Termo de Ajustamento de Conduta

TEL - *Tolerable Effect Level* (Nível de Efeito Tolerável)

TOXAN - Laboratório de Toxicologia Animal

UCs - Unidades de Conservação

VIF- *Variance Inflation Factor* (Fator de Inflação do Desvio)

Zn - Zinco

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	18
JUSTIFICATIVA.....	21
PERGUNTAS NORTEADORAS.....	21
HIPÓTESE	21
OBJETIVOS.....	22
Geral.....	22
Específico.....	22
MATERIAL E MÉTODOS.....	22
Área de estudo.....	22
Desenho amostral e coletas de amostras.....	26
Triagem em laboratório.....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

CAPÍTULO I: Composição das comunidades de crustáceos decápodes dulcícolas e a relação com variáveis ambientais em uma área de mineração, Amazônia, Brasil

Resumo	36
Introdução.....	36
Material e Métodos.....	37
Área de Estudo.....	37
Coleta de Dados.....	38
Análise de dados.....	39
Resultados.....	40
Características das espécies e ambientes de estudo.....	40
Composição e Abundância total da Assembleia de Crustáceos.....	42
Diversidade Alfa e Beta da Assembleia de Crustáceos.....	44
Relação da Abundância das Espécies com as Variáveis Físico-Química.....	46
Discussão.....	47
Referências.....	51
CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	56
ANEXOS.....	57

1. INTRODUÇÃO

Na região norte brasileira, a mineração é uma das principais atividades desenvolvidas, especialmente significativa no Estado do Pará, devido à presença de importantes depósitos minerais, como o minério de ferro, bauxita e ouro (Simineral, 2020). Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2020), o Estado do Pará se destacou no cenário nacional no ano de 2020 como o maior produtor de minérios do país, principalmente devido aos depósitos de minério de ferro da Província Mineral de Carajás, localizada na Região Sudeste do estado (Alves *et al.*, 2020).

Esta área de relevante valor mineral no sudeste do Pará foi descoberta em 1967 pela empresa *United States Steel* que, em associação com a Companhia estatal brasileira Vale do Rio Doce (CVRD), obteve direito de exploração do minério de ferro na região de Carajás em 1974 (ICMBI, 2017). A região era conhecida principalmente por sua atividade extrativista, com destaque para a extração da castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa*) e marcada por conflitos agrários (Palheta *et al.*, 2017). Contudo, com a implementação do projeto Ferro Carajás, administrado pela Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), que tinha como objetivo a extração de minerais da Serra dos Carajás (Penha; Nogueira, 2015) houve uma mudança no papel da região tanto em escala nacional quanto internacional (Palheta *et al.*, 2017).

Nesse contexto em 1987, o Senado Federal concedeu à CVRD por tempo indeterminado o direito real de uso resolúvel e intransferível de 411.948,87 hectares de terras de domínio da União adjacente à província mineral de Carajás no atual município de Parauapebas (ICMBIO, 2017). Após a concessão do direito real de uso sobre as terras na serra dos Carajás para a CVRD, o governo federal criou também, ao redor da área de concessão, Unidades de Conservação (UCs) de diferentes categorias (ICMBIO, 2020).

O conjunto de áreas protegidas de Carajás, é composto por seis UCs e uma terra indígena. Juntas formam um bloco de aproximadamente 1,2 milhões de hectares, denominado de Mosaico Carajás, considerado a maior área de floresta amazônica contínua do sudeste do Pará (ICMBio, 2020). A criação do Mosaico de Carajás coincidiu com a intenção de proteger as jazidas de minério de ferro e outros recursos minerais do avanço populacional, por meio da implementação de áreas protegidas (Inácio *et al.*, 2021) (Tabela 1).

Tabela 1- Unidades de conservação criadas pelo Governo Federal, ao redor das áreas concedidas a Companhia Vale (VALE), para a exploração de minério. Unidade de conservação, data de criação, tipo de Unidade e área.

UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	DATA DE CRIAÇÃO	TIPO	ÁREA
Área de proteção do Igarapé Gelado (APA)	5 de maio de 1989	Uso sustentável	21.600,00 ha
Floresta Nacional do Tapirapé Aquiriri (FLONA)	5 de maio de 1989	Uso sustentável	82.569,00 ha
Reserva Biológica do Tapirapé (REBIO)	5 de maio de 1989	Proteção Integral	103.000,00 ha
Terra Indígena do Cateté	Reconhecida em 26 de Dezembro de 1991	Uso Sustentável	439.000,00 ha
Floresta Nacional de Carajás (FLONA)	2 de Fevereiro de 1998	Uso sustentável	391.263,04 ha
Floresta Nacional Itacaiúnas (FLONA)	2 de Fevereiro de 1998	Uso sustentável	141.400,00 ha
Parque Nacional dos Campos Ferruginosos (PARNA)	05 de Junho de 2017	Proteção Integral	79.029,00 ha

Fonte: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio - 2022.

Os desafios da coexistência entre mineração e preservação no Mosaico Carajás são evidentes, tal realidade pode ser observada no modo como as unidades de conservação (UCs) controlam as operações de mineração, regulam as aquisições ilegais de terras e impõem restrições às comunidades locais, levando a conflitos pelo uso da terra e pela degradação ambiental (Castriota, 2023). Ademais, quase 50 anos de exploração de mineração na região de Carajás impactaram significativamente os ecossistemas locais, incluindo os rios Itacaiúnas e Parauapebas, levando a mudanças socioeconômicas e ambientais substanciais na área (Silva *et al.*, 2014).

A bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas, na qual estão situadas todas as barragens dos empreendimentos minerais de Carajás, junto à bacia do Rio Parauapebas, apresentam grande importância econômica e ambiental para a região, pois hospedam uma parte rica da província mineral de Carajás, mas, recebem impacto direto dessa atividade. Isso acaba atingindo, diretamente, os ecossistemas aquáticos, causando alterações nas variáveis físico-químicas da água, como, por exemplo, o aumento da acidez e turbidez, além da liberação de compostos ricos em metais com potencial tóxico, como As e Hg (Ashton *et al.*, 2001; Farias, 2002; Cruz, 2010; Gallat, 2016).

Essa relação entre as bacias e os impactos constantes da mineração, têm impactos significativos nos ecossistemas aquáticos da região. Estudos mostraram que rios

próximos a áreas de mineração estão fortemente contaminados com metais como Cd, As e Pb que apresentam graves riscos ecológicos (Lao *et al.*, 2024). Em ecossistemas fluviais, metais pesados provenientes de atividades de mineração levam a um aumento significativo no conteúdo de metais nos sedimentos, afetando a estrutura da comunidade de macroinvertebrados bentônicos, que inclui os crustáceos (Marques *et al.*, 2004).

Os crustáceos incluem 73.141 espécies descritas, tornando-se um dos diversos grupos do Filo Arthropoda (Zhang, 2013). Os crustáceos exibem uma diversidade morfológica incomparável, tornando-os o grupo morfológicamente mais variado entre os metazoários (Crandalla *et al.*, 2009). Principalmente aquáticos, os crustáceos habitam ambientes marinhos, de água doce e alguns terrestres, com muitas espécies adaptadas a condições extremas, como fontes hidrotermais e lagos hipersalinos (Benvenuto *et al.*, 2015).

Os crustáceos ocupam diversos nichos ecológicos e desempenham papéis cruciais nos ecossistemas aquáticos, sendo parte integrante das cadeias alimentares, influenciando a dinâmica das comunidades e a saúde do ecossistema (Hardege; Fletcher, 2022). Estudos indicam que as comunidades de crustáceos podem sinalizar mudanças na qualidade da água e na dinâmica do ecossistema, auxiliando na avaliação de distúrbios ambientais (Haruna *et al.*, 2014).

Crustáceos da Ordem Decapoda acumulam poluentes de várias maneiras por serem micrófagos (consumidores de depósitos sedimentares e matéria orgânica) e macrófagos (consumidores de matéria animal e plantas) favorecendo sua utilização como biomonitores de poluição por metais traços em sistemas aquáticos (Macfarlane *et al.*, 2000; Maia *et al.*, 2001; Chagas, 2008). Portanto, os crustáceos são bioindicadores eficazes devido à sua sensibilidade a poluentes, principalmente metais pesados, pois seu acúmulo de toxinas reflete a saúde dos ambientes aquáticos (Rodrigues *et al.*, 2021).

Considerando o desafio de entender a relação entre a ocorrência de espécies de crustáceos aquáticos em um ambiente visivelmente impactado, esse estudo propôs analisar, por meio de métodos de modelagem, a distribuição desses organismos na região de Carajás como resposta a fatores abióticos em dois períodos sazonais, utilizando modelos preditivos. As modelagens preditivas têm sido aplicadas para estudar a distribuição geográfica de espécies, a partir da combinação de dados de ocorrência de uma ou mais espécies com variáveis ambientais (Anderson *et al.*, 2003). O interesse por esse tipo de modelagem deve-se à necessidade de respostas rápidas e fundamentadas para

as ameaças que as espécies têm enfrentado, devido à perda de habitat, invasão de espécies exóticas e atividade antrópicas (Saraiva et al., 2012).

2. JUSTIFICATIVA

A região de Carajás tem experimentado mudanças ambientais significativas, com a influência da mineração e vários trabalhos já foram realizados na região para avaliação da qualidade ambiental (Barros *et al.*, 2010; Sena, 2019; Silva Montes *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2021; Souza *et al.*, 2022). Entretanto, não foram encontrados dados com relação à biodiversidade de crustáceos da região, tampouco de informações básicas que possam elucidar a perda de diversidade.

Devido ao visível comprometimento de corpos hídricos da região pela mineração ao longo dos anos, parece evidente a necessidade de entender como variáveis bióticas e abióticas influenciam a distribuição de espécies. Esse entendimento é relevante para os invertebrados aquáticos que são, frequentemente, utilizados em outras regiões como biomonitores da qualidade ambiental.

Espera-se que os resultados desse estudo possam ser aplicados em programas de monitoramento ambiental contínuo, como condicionantes para a manutenção de empreendimentos mineralógicos, fornecendo dados valiosos para avaliar a saúde dos ecossistemas ao longo do tempo e detectar possíveis mudanças. Isso é importante, uma vez que as atividades antrópicas podem ter aumentado as concentrações de elementos potencialmente tóxicos na água, no sedimento e na fauna aquática da região.

3. PERGUNTAS NORTEADORAS

- A composição da assembleia de crustáceos dulcícolas na região de Carajás varia entre os períodos sazonais e entre áreas com distintos níveis de impacto antrópico relacionados à atividade mineradora?
- De que maneira os fatores abióticos influenciam a composição e a distribuição espaço-temporal das assembleias de crustáceos dulcícolas na região de Carajás?

4. HIPÓTESES

- A composição da assembleia de crustáceos apresenta variações significativas entre os períodos sazonais e entre áreas com diferentes níveis de impacto antrópico decorrente da atividade mineradora

- A composição e a distribuição espaço-temporal da assembleia de crustáceos dulcícolas na região de Carajás podem estar relacionadas à variação dos fatores abióticos sugerindo que diferentes condições físico-químicas influenciam a estrutura dessas comunidades.

5. OBJETIVOS

5.1. Geral

Analisar as relações das variáveis ambientais na distribuição espaço-temporal da assembleia de crustáceos na região de Carajás, com ênfase nos fatores abióticos e antrópicos.

5.2. Específicos

- Identificar as espécies de crustáceos decápodes dulcícolas da região de Carajás e caracterizar sua distribuição espacial e temporal.
- Relacionar as variações sazonais (períodos seco e chuvoso) com as variáveis ambientais, incluindo as concentrações de metais e mataloides na distribuição dos crustáceos.

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1. Área de estudo

Todas as etapas de elaboração desse trabalho foram realizadas com as devidas licenças ambientais (SISBIO nº 47679-3 e Comitê de Ética no Uso de Animais CEUA nº 8587260821), apresentadas nos anexos 1 e 2.

O estudo foi realizado na região dos municípios de Canaã dos Carajás, Marabá e Parauapebas, dentro do Mosaico de Carajás que compreende uma área de 1.200.000 ha na Amazônia brasileira. A área está localizada no sudeste do Estado do Pará, que ocupa uma área total de 25.159.997 km² e tem características semelhantes quanto à ocupação, relações sociais e dinamismo econômico (Alves *et al.*, 2018; Lima *et al.*, 2022) (Figura 1).

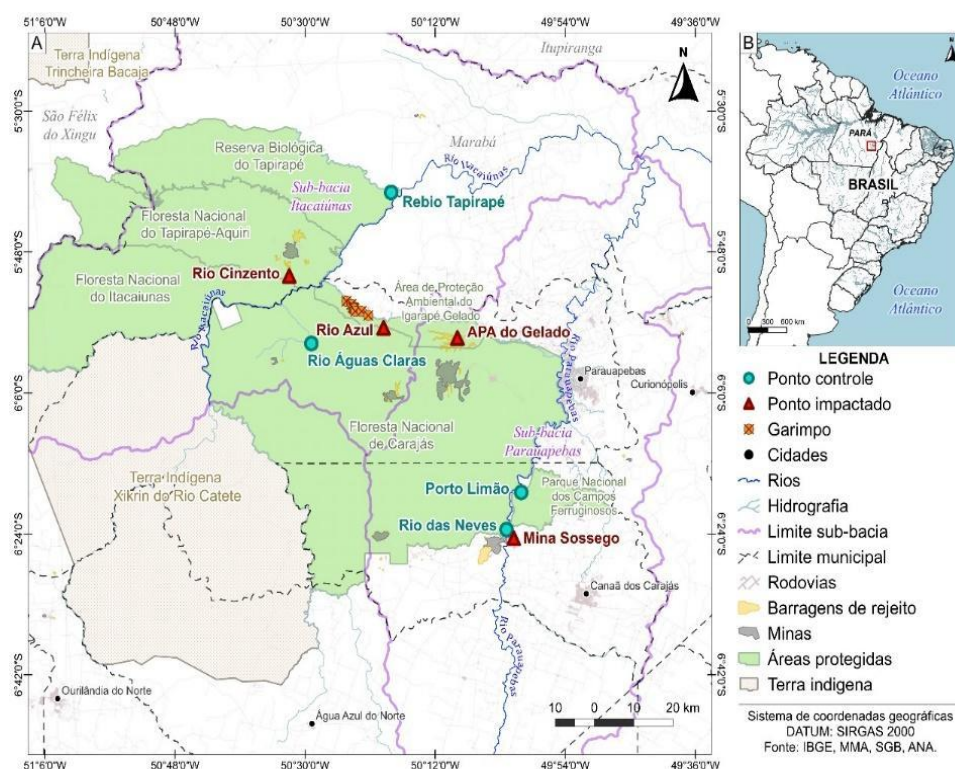


Figura 1- Localização dos pontos de coleta (controle e impactado) dos crustáceos realizadas em maio e novembro de 2022 dentro do Mosaico de Carajás-Sudeste do Pará, assim como quais desses pontos sofrem influência de atividades de garimpo ilegal, com barragem de rejeitos e quais estão próximos de minas.

O Mosaico de Carajás é formado por um conjunto de Unidades de Conservação (UCs) Federais divididas em: áreas de proteção integral (Reserva Biológica do Tapirapé e Parque Nacional dos Campos Ferruginosos) e áreas de uso sustentável (Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado, Floresta Nacional de Carajás, Floresta Nacional do Itacaiúnas e Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri), além da terra indígena Xikrin do Cateté sob gestão da Fundação Nacional dos Povos Indígenas – FUNAI (ICMBIO,2018; Braga *et al.*, 2018).

As bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas abrangem todas as unidades protegidas que compõem o Mosaico de Carajás, sendo a bacia do Itacaiúnas a que abrange os municípios de Marabá e Parauapebas (Cruz, 2010) e a bacia do Rio Parauapebas, importante para a região de Carajás, sendo uma das principais sub-bacias que integram a bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas. A região possui um clima equatorial úmido, caracterizado por temperaturas elevadas e chuvas abundantes ao longo do ano, segundo a classificação de Köopen (IBAMA ,2003).

Assim, foram definidos 8 pontos de coleta na região, sendo 4 pontos na bacia do Rio Itacaiúnas e 4 na bacia do Rio Parauapebas, como indicado nas Figuras (2 à 9)

RIO AZUL



Figura 2- Local de coleta Rio Azul (bacia do Rio Itacaiúnas), nos meses de Maio (A); Novembro (B) de 2022 (Fonte: Oliveira,2022).

REBIO TAPIRAPÉ



Figura 3- Local de coleta REBIO TAPIRAPÉ (bacia do Rio Itacaiúnas), nos meses de Maio (A); Novembro (B) de 2022 (Fonte: Oliveira,2022)

RIO CINZENTO



Figura 4- Local de coleta Rio Cinzento (bacia do Rio Itacaiúnas), nos meses de Maio (A); Novembro (B) de 2022 (Fonte: Oliveira,2022).

RIO ÁGUAS CLARAS



Figura 5- Local de coleta Águas Claras (bacia do Rio Itacaiúnas), nos meses de Maio (A); Novembro (B) de 2022 (Fonte: Oliveira,2022).

APA DO GELADO



Figura 6- Local de coleta APA do Igarapé Gelado (bacia do Rio Parauapebas), Sudeste do Pará. Área interna da bacia de rejeitos da VALE; Coleta no mês de Maio (A); Novembro (B) de 2022 (Fonte: Oliveira, 2022).

RIO DAS NEVES



Figura 7- Local de coleta Rio das Neves (bacia do Rio Parauapebas), Sudeste do Pará. No mês de Maio (A); Novembro (B) de 2022 (Fonte: Oliveira, 2022)

MINA DO SOSSEGO



Figura 8- Local de coleta A jusante a Mina do Sossego (bacia do Rio Parauapebas), Sudeste do Pará. Coleta no mês de Maio (A); Novembro (B) de 2022 (Fonte: Oliveira, 2022).

PORTO DO LIMÃO



Figura 9- Local de coleta Porto do Limão (bacia do Rio Parauapebas), Sudeste do Pará. Coleta no mês de Maio (A, B e C); Coleta no mês de Novembro (De E) de 2022 (Fonte: Oliveira, 2022).

6.2.Desenho amostral e coleta de amostras

As coletas de dados foram realizadas em maio de 2022 (período chuvoso) e em novembro de 2022 (período seco), levando em consideração os períodos sazonais amazônicos, sendo 4 pontos na bacia do rio Itacaiúnas (destes, 2 foram considerados controles e 2 contaminados), e 4 pontos na bacia do rio Parauapebas (considerando 2 controles e 2 contaminados), totalizando 8 pontos de coleta dentro do mosaico. Os locais de captura foram escolhidos com base no grau de impacto da mineração, tanto legal (realizada por uma empresa multinacional) quanto ilegal (garimpos clandestinos) (Tabela 2).

Tabela 2: Locais delimitados para coleta de dados primários no Mosaico Carajás e critérios de classificação do grau de antropização utilizado como fator de análise durante o projeto "Carajás" entre dezembro de 2021 e dezembro de 2023.

Bacia	Local	Código	Grau de Antropização	Critério de Classificação
ITACAIÚNAS	Reserva Biológica-REBIO- Tapirapé	I-RT	Controle	Unidade de proteção integral criada pelo decreto nº 97.719 de 05 de maio de 1969. Sendo uma unidade de proteção integral não é permitida a interferência humana direta ou modificações ambientais, exceto os casos com fins de preservação ambiental. São de posse e domínio público. A visitação pública é permitida com fins educacionais. Seguindo regulamento específico. A pesquisa científica depende de autorização prévia e é regulamentada
	Rio Águas Claras	I-RAC	Controle	O Local de coleta está inserido no Parque Nacional dos campos ferruginosos que também é uma área de proteção integral criada pelo Decreto sem nº, de 05 de junho de 2017. Além disso, o ponto de coleta está situado à montante do projeto Baia (mina de ouro)
	Rio Azul	I-RAZ	Impactado	Rio de Águas avermelhadas e de uma quantidade significativa de garimpos ilegais
	Rio Cinzento	I-RCZ	Impactado	Rio que banha minas ativas de Ferro, Cobre e Ouro
PARAUAPEBAS	Rio da Neves	P-RN	Controle	Áreas mais distantes dos centros urbanos, minas e rejeitos de mineração (nascentes na Serra Morte no caso do Rio das Neves e na Serra da Bocaina no caso do Porto do Limão.
	Porto do Limão	P-PL	Controle	

Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado	P-AIG	Impactado	Embora seja uma unidade de conservação de uso sustentável, é nítido o comprometimento dos corpos hídricos que são utilizados para irrigação das atividades agrícolas e para a deposição de rejeitos de mineração
Mina do Sossego	P-MS	Impactado	Rio que banha uma das minas ativas de Cobre de Carajás

As capturas foram realizadas com a utilização de 15 Armadilhas Covo feitas de nylon® e armação de metal de 90 cm de diâmetro, contendo 6 entradas de 12cm e malha de 0,3 cm sendo todas previamente identificadas. Para atrair os crustáceos foi utilizado uma ração composta de farelo de coco babaçu (*Attalea speciosa*), arroz e trigo. Essa mistura foi colocada no interior das armadilhas com o auxílio de sacos plásticos pequenos (Figuras 10, 11 e 12).



Figura 10- Processo de preparação das armadilhas para captura dos crustáceos em Carajás (Fonte: OLIVEIRA, 2022).

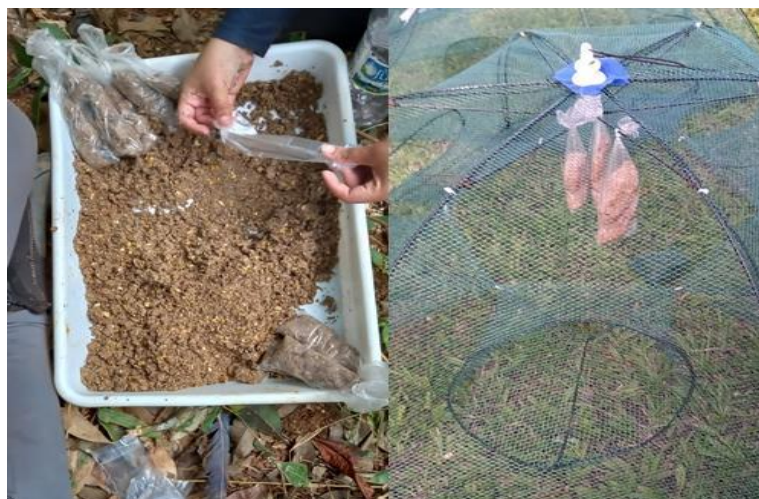


Figura 11- Preparo da ração de farelo de babaçu, arroz e trigo e posicionamento das iscas na armadilha com auxílio de sacos de chopp (Fonte: OLIVEIRA, 2022).



Figura 12- Colocação das armadilhas nas águas e posterior retirada das armadilhas e dos crustáceos para armazenamento (Fonte: Oliveira,2022).

As armadilhas foram todas colocadas no sentido da corrente de cada local de coleta, permanecendo imersas por um período de 12 horas (18hs às 6:00hs). Após esse período, foram retiradas e os crustáceos capturados foram guardados em sacos plásticos, previamente identificados, colocados em isopor contendo gelo e transportados para o freezer do escritório do ICMBio em Parauapebas. Posteriormente, foram transportados ao Núcleo de Ecologia Aquática e Pesca da Amazônia - NEAP, na Universidade Federal do Pará, para identificação e processamento.

Os parâmetros físico-químicos (pH e temperatura) da água foram registrados utilizando medidores multiparâmetro (sondas), modelos HANNA HI 98194 e Exo-1 Y.S.I, sendo essa última cedida e com apoio técnico da SEMAS/PA. Os dados foram coletados *in loco* duas vezes (à noite e pela manhã) (Figura 13).



Figura 13- Coleta de água para análise de metal (A); Medidor utilizado para a coleta e análise dos parâmetros físico-químicos da água(B) (Fonte: OLIVEIRA,2022).

Amostras do sedimento de fundo dos corpos d'água foram coletados em triplicata entre 5 e 10m da margem com o auxílio de draga manual modelo Petersen aço inox de 3 litros (AFK 0200) (Fig.14).



Figura 14- Coleta das amostras de sedimentos para análise de metais em Carajás (Fonte: OLIVEIRA,2022).

6.3. Triagem em laboratório

A identificação taxonômica dos crustáceos foi realizada (nível de espécie) mediante o emprego das chaves, descrições e ilustrações disponíveis nas revisões de Magalhães (1986, 2003) e, eventualmente, em outras publicações pertinentes (Magalhães, 1990; Magalhães; Rodriguez, 2002; García-Dávila; Magalhães, 2003; Pimentel, 2003; Sampaio *et al.*, 2009; Valencia; Campos, 2007; Magalhães, 2016; Santos, 2016). Após a identificação taxonômica, foram obtidas as medidas morfométricas dos espécimes. O comprimento total (CT) dos camarões, bem como o comprimento (CC) e a largura da carapaça (LC) dos caranguejos, foram mensurados com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm. O peso total (em gramas) de ambos os grupos foi determinado com uma balança digital de precisão (0,01 g) (Figura 15).

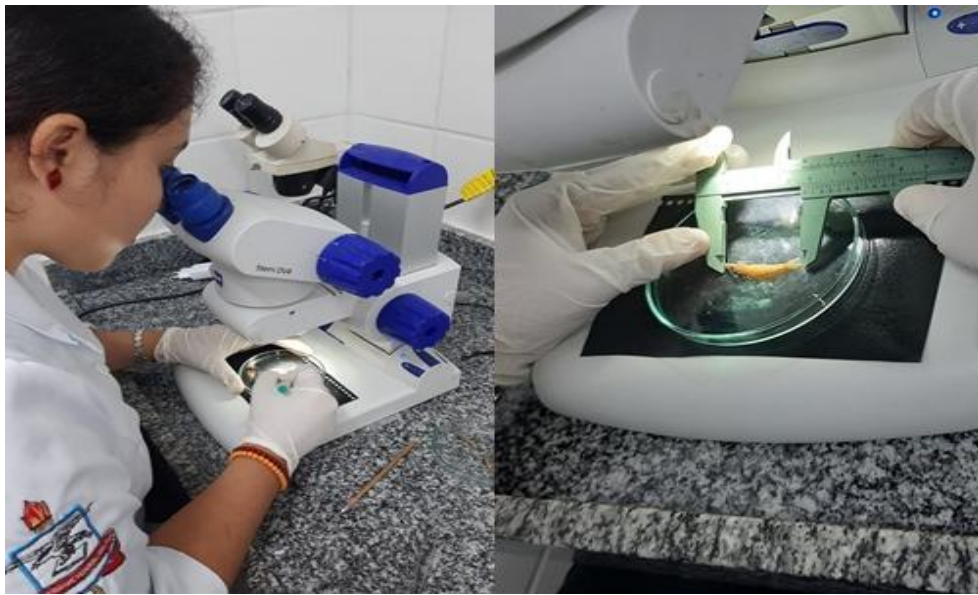


Figura 15- Processo de identificação e biometria (CT, LC, CC e peso) dos crustáceos com auxílio de lupa, paquímetro digital e balança digital no Laboratório Multiusuário do Núcleo de Ecologia Aquática e Pesca da Amazônia da UFPA-NEAP.

7. REFERÊNCIAS

- ALVES, E. O.; QUEIROZ, B. F. P.; OLIVEIRA, N. M.; LUZ, R. A. Região de integração dos Carajás – Pará: uma análise regional. *Acta Geográfica*, v. 12, n. 30, p. 150–171, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18227/2177-4307.acta.v12i30.4929>.
- ALVES, E. et al. Mineração – metalurgia – siderurgia: mineração na Amazônia, a liderança do Pará. Informe especial: a província mineral do Vale do Paramirim, na Bahia. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/revista/403/PDF.pdf>.
- ANDERSON, R. P.; LEW, D.; PETERSON, A. T. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, v. 162, p. 211–232, 2003.
- ASHTON, P. J. et al. An overview of the impact of mining and mineral processing operations on water resources and water quality in Zambezi, Limpopo and Olifants catchments in Southern Africa. Zimbabwe: University of Zimbabwe, 2001. 362 p.
- BARROS, B. et al. Determinação de Cd, Cr e Al em tecido de peixes provenientes do Rio Gelado/APA, Floresta de Carajás-PA. 2010.
- BENVENUTO, C. et al. Crustaceans of extreme environments. 2016. Disponível em: https://www.academia.edu/27826331/Crustaceans_of_Extreme_Environments.
- BRAGA, M. et al. Conhecendo Amazônia: a atividade de educação ambiental crítica no Mosaico de Carajás. In: *Ciência, tecnologia e desenvolvimento rural: compartilhando conhecimentos inovadores e experiências*, 2018.
- CASTRIOTA, R. Preservar para extrair, grilar e espolar. *Revista Geografias*, v. 18, n. 2, p. 21–43, 17 mar. 2023.
- CHAGAS, G. C. das. Avaliação do potencial bioindicador de *Trichodactylus fluviatilis* (Latreille, 1828) (Crustacea: Decapoda: Trichodactylidae) na bacia do Rio Corumbataí. 2008. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2008. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/99560>
- CRANDALL, K. A.; PORTER, M. L.; PÉREZ-LOSADA, M. Crabs, shrimps, and lobsters (Decapoda). *Oxford University Press eBooks*, p. 293–297, 23 abr. 2009.
- CRUZ, F. M. Avaliação geoambiental e hidrológica da bacia do rio Itacaiunas, PA. 2010. 183 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.
- DA SILVA MONTES, C. et al. Evaluation of metal contamination effects in piranhas through biomonitoring and multi biomarkers approach. *Heliyon*, v. 6, n. 8, p. e04666, ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04666>.
- FARIAS, C. E. G. Mineração e o meio ambiente no Brasil. 2002. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5694145/mod_resource/content/1/10675%20%

[20Minera%C3%A7%C3%A3o%20e%20meio%20ambiente%20no%20Brasil%20%281%29.pdf](https://ppgeap.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2016/PPGEAP_Dissertac%CC%A7a%CC%83o_Lucas%20Gallat%20de%20Figueiredo_2016.pdf).

GALLAT, L.; FIGUEIREDO, D. F. Universidade Federal do Pará – Instituto de Ciências Biológicas: Programa de Pós-graduação em Ecologia Aquática e Pesca. [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em: https://ppgeap.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/2016/PPGEAP_Dissertac%CC%A7a%CC%83o_Lucas%20Gallat%20de%20Figueiredo_2016.pdf.

GARCÍA-DÁVILA, C. R.; MAGALHÃES, C. Revisão taxonômica dos camarões de água doce (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae, Sergestidae) da Amazônia Peruana. Manaus: INPA, 2003.

HARDEGE, J. D.; FLETCHER, N. Crustacean ecology in a changing climate. In: *Crustaceans*, p. 157–165, 27 out. 2022.

HARUNA, A. S. et al. Spatial-temporal distribution and limnology of crustaceans in a tropical freshwater lake, Nigeria. *Journal of Ecology and the Natural Environment*, v. 6, n. 4, p. 166–173, 9 abr. 2014.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Plano de manejo para uso múltiplo da Floresta Nacional de Carajás. Brasília: IBAMA, 2003.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. Relatório de atividades 2020. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/06/Relatorio-de-atividades_2020_ATUALIZADO.pdf.

INÁCIO, A. P. et al. Unidades de conservação em Carajás: entre conservação e desenvolvimento econômico. *Encontros Universitários da UFC*, v. 6, n. 3, p. 2392–2392, 2021.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBio. *Plano de pesquisa: geossistemas ferruginosos da Floresta Nacional de Carajás*. Brasília, DF: ICMBio, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/centrais-de-conteudo/plano-de-pesquisa-flona-carajas-06-09-2017-final-2-pdf/view>.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBio. Proposta de criação do Parque Nacional dos Campos Ferruginosos de Carajás. [S.l.]: ICMBio, 2018.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBio. Fauna da Floresta Nacional de Carajás: fauna silvestre. v. 1. [S.l.]: ICMBio, 2020. 257 p.

LAO, X. et al. Distribution characteristics and assessment of heavy metal pollution in sediments of Fengyuan River, Guangdong. *Environmental Forensics*, p. 1–13, jul. 2024.

LIMA, M. W. et al. Bioaccumulation and human health risks of potentially toxic elements in fish species from the southeastern Carajás Mineral Province, Brazil. *Environmental Research*, v. 204, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112024>.

MacFARLANE, G. R.; BOOTH, D. J.; BROWN, K. R. The semaphore crab, *Heloeccius cordiformis*: bio-indication potential for heavy metals in estuarine systems. *Aquatic Toxicology*, Amsterdam, v. 50, p. 153–166, 2000.

MAGALHÃES, C. Revisão taxonômica dos caranguejos de água doce brasileiros da família Pseudothelphusidae (Crustacea, Decapoda). *Amazoniana*, v. 9, n. 4, p. 609–636, 1986.

MAGALHÃES, C. A new species of the genus *Kingsleya* from Amazonia, with a modified key for the Brazilian Pseudothelphusidae (Crustacea: Decapoda: Brachyura). *Zoologische Mededelingen*, v. 63, n. 21, p. 275–281, 1990.

MAGALHÃES, C.; RODRIGUEZ, G. The systematic and biogeographical status of *Fredius reflexifrons* (Ortmann, 1897) and *Fredius fittkau* (Bott, 1967) (Crustacea: Brachyura: Pseudothelphusidae) from the Amazon and Atlantic Guianas rivers basins. *Acta Amazonica*, v. 32, n. 4, p. 677–689, 2002a.

MAGALHÃES, C. Camarões e caranguejos da Amazônia. 2002b. Disponível em: <http://www.canalciencia.ibict.br>.

MAGALHÃES, C. Brachyura: Pseudothelphusidae e Trichodactylidae. In: MELO, G. A. S. (org.). *Manual de identificação dos crustáceos decápodos de água doce brasileiros*. São Paulo: Edições Loyola, 2003. p. 143–297.

MAGALHÃES, C. Abbreviated larval development of *Macrobrachium inpa* Kensley and Walker, 1982 (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae) from an Amazon Basin forest stream, Brazil, reared in the laboratory. *Nauplius*, v. 24, n. 0, 2016.

MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARRELLA, W. *Indicadores ambientais: conceitos e aplicações*. São Paulo: Educ, 2001.

MARQUÊS, M. J.; MARTÍNEZ-CONDE, E.; ROVIRA, J. V. Effects of zinc and lead mining on the benthic macroinvertebrates of a fluvial ecosystem. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 148, p. 363–388, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1025411932330>.

PALHETA, J. M. et al. Conflictos por el uso del territorio en la Amazonia mineral. *Mercator*, v. 16, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4215/rm2017.e16023>.

PENHA, L. R.; NOGUEIRA, A. P. F. Os impactos do desenvolvimento na área de influência da Estrada de Ferro Carajás. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 1, n. 1, p. 212–225, 30 jun. 2015.

PIMENTEL, F. R. Taxonomia dos camarões de água doce (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae, Euryrhynchidae, Sergestidae) da Amazônia Oriental: estados do Amapá e Pará. *Inpa.gov.br*, 2003.

RODRIGUES et al. A systematic review on metal dynamics and marine toxicity risk assessment using crustaceans as bioindicators. *Biological Trace Element Research*, v. 200, n. 2, p. 881–903, 31 mar. 2021.

SAMPAIO, S. R. et al. Camarões de águas continentais (Crustacea, Caridea) da Bacia do Atlântico oriental paranaense, com chave de identificação tabular. *Acta Biológica Paranaense*, v. 38, n. 1–2, p. 11–34, 2009.

SANTOS, M. Composição e distribuição da fauna de camarões de água doce (Crustacea: Decapoda) no Estado de Roraima, Brasil. *Inpa.gov.br*, 2016.

SARAIVA et al. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. *Rodriguésia*, v. 63, n. 3, p. 733–749, 1 set. 2012.

SENA. Avaliação de genotoxicidade em peixes de duas áreas portuárias do Rio Tapajós, no Oeste do Pará. *Ufopa.edu.br*, 2019.

SILVA, E. C. da; GUTJAHR, A. L. N.; BRAGA, C. E. de S. Diagnóstico ambiental do rio Ouricuri em Capanema, Pará: bioindicação por macroinvertebrados aquáticos. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 10, p. 352–368, 20 out. 2021.

SILVA et al. Geography and mining in Carajás/Pará (Northern Region of Brazil). *International Journal of Geosciences*, v. 5, n. 12, p. 1426–1434, 1 jan. 2014.

SOUSA, P. E. S. et al. Macroelementos em peixes de rios da Amazônia Oriental: estudo de caso na Região de Integração de Carajás. *Revista Acadêmica Ciência Animal*, v. 20, 2022.

SIMINERAL – Sindicato das Indústrias Minerárias do Estado do Pará. Disponível em: <https://www.simineral.org.br/mineracao>. Acesso em: 25 jan. 2024.

VALENCIA, D. M.; CAMPOS, M. Freshwater prawns of the genus *Macrobrachium* Bate, 1868 (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae) of Colombia. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228390021_Freshwater_Prawns_Of_The_Genus_Macrobrachium_Bate_1868_Crustacea_Decapoda_Palaemonidae_Of_Colombia. Acesso em: 8 fev. 2024.

ZHANG, Z.-Q. Phylum Arthropoda. In: ZHANG, Z.-Q. (Ed.). *Animal Biodiversity: An Outline of Higher-level Classification and Survey of Taxonomic Richness (Addenda 2013)*. *Zootaxa*, v. 3703, n. 1, p. 17–26, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3703.1.6>.

CAPÍTULO I

COMPOSIÇÃO DAS COMUNIDADES DE CRUSTÁCEOS DECÁPODES DULCÍCOLAS E A RELAÇÃO COM VARIÁVEIS AMBIENTAIS EM UMA ÁREA DE MINERAÇÃO, AMAZÔNIA, BRASIL

Artigo submetido para publicação no periódico **SCIENTIFIC REPORTS** ISSN: 2045-2322 (online). Foram respeitadas todas as normas de apresentação de artigos da revista, para fins de padronização do *layout* de apresentação desta dissertação.

Composição das comunidades de crustáceos decápodes dulcícolas e a relação com variáveis ambientais em uma área de mineração, Amazônia, Brasil

Resumo:

A Amazônia brasileira é composta por diferentes complexos de áreas de conservação e alguns desses são reconhecidos pela presença de importantes recursos minerais, sendo uma área estratégica para a exploração de minério. Esse estudo investigou a composição das comunidades de crustáceos decápodes de água doce e sua relação com as variáveis ambientais da área do Mosaico de Carajás. As coletas foram realizadas em dois períodos sazonais de 2022 (período chuvoso e seco) em quatro pontos em cada bacia que compõem o mosaico (Itacaiúnas e Parauapebas), sendo dois impactados e dois não impactados. A análise da relação das comunidades de crustáceos com as variáveis ambientais, foi verificada por meio de regressões lineares múltiplas considerando as variáveis dependentes como a riqueza e abundância das espécies de crustáceos em função do limiar de contaminação do sedimento pelos metais Al, As, Fe, Pb e Mn e a temperatura da água. Dez espécies distribuídas entre as famílias Trichodactylidae, Palaemonidae and Pseudothelphusida foram identificadas. A alta média de temperatura está associada a um padrão de redução da diversidade alfa e beta, indicando impactos negativos na saúde das comunidades aquáticas. As áreas impactadas apresentaram menor abundância e diversidade de crustáceos em comparação às áreas não impactadas.

Palavras-chave: Crustáceos de Carajás; Modelos preditivos; Estrutura de comunidades; Crustáceos em áreas de mineração.

Introdução

Os crustáceos são um grupo taxonômico vital nos ecossistemas aquáticos, contribuindo significativamente para a biodiversidade e servindo como espécies-chave nas cadeias alimentares ¹. Esses indivíduos habitam uma ampla variedade de ambientes, de oceanos profundos a sistemas de água doce, mostrando sua adaptabilidade e importância ecológica ².

Entre os crustáceos dulcícolas, os da ordem decápode desempenham um papel crucial nos ecossistemas aquáticos, facilitando a decomposição da matéria orgânica, aumentando a disponibilidade de nutrientes e como indicadores sensíveis da saúde do ecossistema, uma vez que são sensíveis às mudanças ambientais, principalmente devido à exposição a metais pesados ^{3,4}.

Dadas as suas características ecológicas, esse grupo se destaca como excelentes bioindicadores, pois sendo detritívoros vivem em contato próximo com o sedimento e respondem de forma relativamente rápida às mudanças estruturais do ambiente ^{5,6}. Ameaças ao ecossistema aquáticos, como a mineração, interrompem os habitats naturais dos crustáceos decápodes, levando ao declínio da biodiversidade ⁷.

A região de Carajás tem experimentado mudanças ambientais significativas com a influência da mineração, a qual é recorrente na região e alguns estudos já foram realizados na área para avaliação da qualidade ambiental ^{8, 9, 10}. O estado do Pará se destaca como um dos maiores produtores de minério do Brasil, ao lado de Minas Gerais ¹¹. Uma vez, que é dotado de vastas reservas minerais e acomoda no sudeste do estado a Província Mineral de Carajás, que possui enormes depósitos de minério de ferro, juntamente com quantidades significativas de manganês, cobre, ouro e níquel ¹².

Embora amplamente praticada na região, a atividade mineradora é sempre vista de forma negativa e considerada um dos principais fatores de mudança na bacia hidrográfica

do Rio Itacaiúnas, no qual estão situadas todas as barragens dos empreendimentos minerais de Carajás, junto à bacia do Rio Parauapebas, as quais recebem impacto direto dessa atividade após quase 50 anos de exploração ^{13, 14}.

Dessa forma, os poluentes que entram nos corpos d'água alteram as propriedades físico-químicas, incluindo pH e temperatura, enquanto expõem os ecossistemas aquáticos a altas concentrações de contaminantes tóxicos, como metais pesados ¹⁵. Ademais, condições hidrológicas na região de Carajás, influenciadas pelas altas temperaturas e chuvas, afetam significativamente os ciclos químicos e o transporte de materiais, impactando assim as concentrações de metais no solo, na água e nos sedimentos ¹⁶. Essa contaminação e acumulação de metais em sedimentos de fundo acaba por representar um grande risco ao meio ambiente e à biota aquática ¹⁷.

Devido ao visível comprometimento de corpos hídricos da região de Carajás pela mineração ao longo dos anos, assim como a ausência de dados com relação à biodiversidade de crustáceos da região, e de nenhuma informação que possa elucidar a perda de diversidade, esse estudo teve como objetivo descrever a composição das assembleias de crustáceos decápodes da região (caranguejos e camarões) e a associação às variáveis ambientais (temperatura, os metais Al, Pb, Fe e Mn e o metaloide As) e temporais (períodos sazonais), por meio da utilização de modelos preditivos, tendo em vista a necessidade de respostas rápidas e fundamentadas para o entendimento dos impactos causados aos ecossistemas locais ¹⁸. Adicionalmente, esse estudo é o primeiro a estudar os crustáceos da região de Carajás com enfoque ecossistêmico.

Material e métodos

Área de estudo

O presente estudo foi realizado nos municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás e Marabá, todos localizados na região de integração de Carajás, no sudeste da Amazônia brasileira (Figura 1). Esta região inclui uma série de Unidades de Conservação (UC's) federais, bem como o território indígena Xikrin do Cateté, que juntos compõem o Mosaico de Carajás. As bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas banham todas as unidades de conservação que constituem o Mosaico Carajás ¹⁹.

O clima da região de Carajás, se enquadra no tipo “Aw” segundo a classificação de Köppen-Geiger, sendo tropical úmido com altas temperaturas e chuvas abundantes durante todo o ano ²⁰. Detém, de um índice pluviométrico anual elevado, podendo alcançar os 2.033 mm ao ano, a presença de um período bem definido de estiagem e uma temperatura média mensal que varia entre 25,1° C e 26,3° C, sendo a mínima absoluta situada entre 15,6° C e 18,3° C e a máxima entre 34,3° C e 38,1° C ²¹. A variação de solos na região é considerável, podendo ser encontrados os solos Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, Neossolo Litólico Distrófico, Latossolo Vermelho Distrófico, Cambissolos, Plintossolos ^{22, 23}.

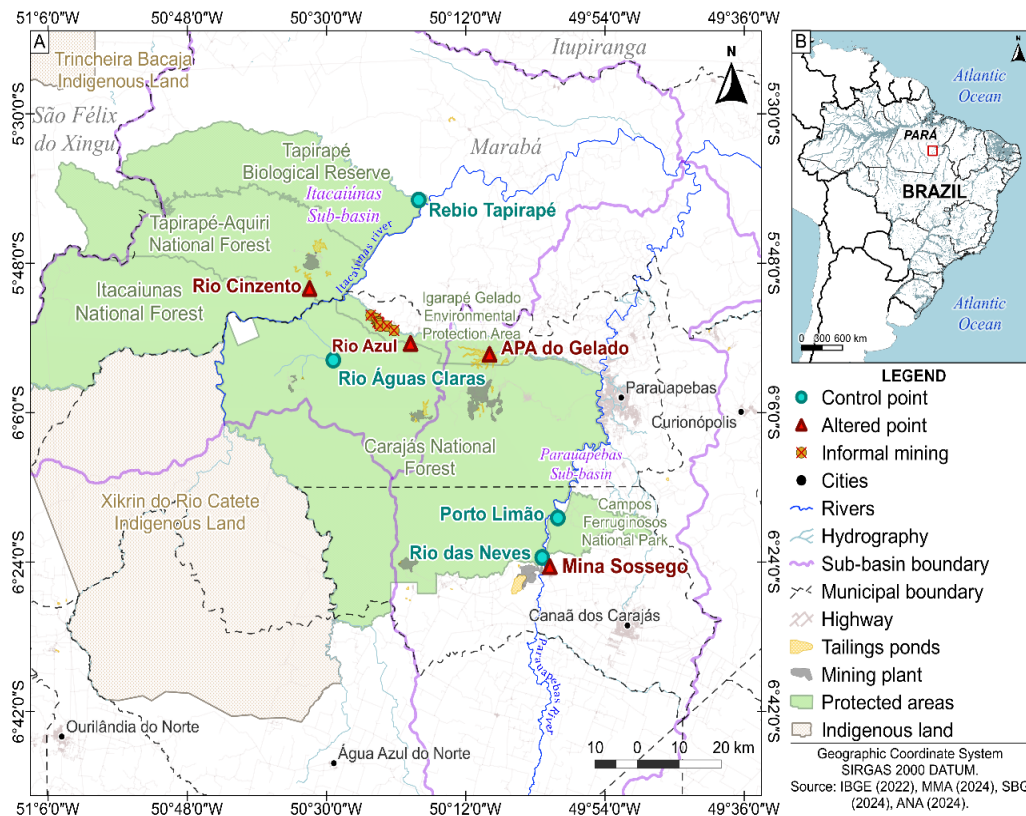


Figura 1. Localização dos pontos de amostragem de crustáceos (controle – azul; e impactado – vermelho) realizados em maio e novembro de 2022 dentro do Mosaico Carajás-Sudeste do Pará.

Coleta de dados

As coletas ocorreram em maio e novembro de 2022, durante os períodos chuvoso e seco, nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas. Os locais de captura foram escolhidos com base no grau de impacto da mineração, tanto legal (realizada pela mineradora Vale S.A.) quanto ilegal (garimpos clandestinos). Foram definidos 8 pontos de coleta, 4 em cada bacia, sendo 2 considerados controle e 2 considerados contaminados.

As capturas dos exemplares de crustáceos foram realizadas por meio de 15 Armadilhas Covo feitas de nylon® e armação de metal de 90 cm de diâmetro, contendo 6 entradas de 12cm e malha de 0,3 cm sendo todas previamente identificadas. As armadilhas foram iscadas com uma mistura de polpa de noz de babaçu (*Attalea speciosa*; *Liliopsida*), arroz e farinha de trigo, e foram instaladas voltadas para a corrente do córrego, onde permaneceram submersas continuamente por 12 horas (das 18:00h às 06:00h). A identificação taxonômica foi realizada a nível de espécie, mediante o emprego das chaves, oficiais e ilustrações disponíveis nas revisões ^{24,25 e 26}.

A temperatura da água foi registrada utilizando medidores multiparâmetro (sondas), com precisão de ± 0.15 °C e amplitude de -5 a 35 °C. Todos os dados foram coletados *in loco* duas vezes (à noite e pela manhã). A coleta de sedimentos para análise de metais traços foi realizada em triplicata entre 5 e 10m da margem dos corpos d'água. A coleta foi realizada com o auxílio de draga manual modelo Petersen aço inox 3 litros (AFK 0200).

No laboratório, as amostras foram secas em estufa a 65°C em sacos de papel e foram enviados ao Laboratório de Análises Químicas da Universidade Federal de Santa Maria- UFSM para extração e análise. As amostras de sedimentos foram analisadas após

a digestão total da amostra em Forno de Microondas (MW) e inicialmente processadas por digestão ácida empregando a mistura oxidante $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ de acordo com o método de referência EPA3050B descrito pela EPA (Método 3050B: Digestão Ácida de Sedimentos, Lodos e Solos, Revisão 2) ²⁷. Após a digestão total, as amostras foram diluídas em água ultrapura (Milli-Q) e analisadas de acordo com as metodologias validadas para cada elemento.

Análise de dados

Inicialmente, foi realizada uma análise exploratória dos dados, seguindo o protocolo proposto por ²⁸, sendo verificada a presença de outliers, colinearidade, independência da variável resposta e linearidade entre as variáveis. Seguindo o valor limite do Fator de inflação de Variância (VIF) menor que 3, foram removidas as variáveis de pH da água e concentração de Ni no sedimento, uma vez que geralmente um valor de VIF menor que 3 indica baixa multicolinearidade entre as variáveis na análise de regressão ²⁹.

A matriz abiótica foi previamente padronizada por meio do método de *z-score* (“standardize”), por apresentar diferentes unidades de medida em cada variável ³⁰. A matriz das variáveis físico-químicas do sedimento foi testada em relação às variáveis espaço-temporais (períodos, áreas de impactos da mineração e a interação entre esses fatores), por meio de PERMANOVA (função “adonis2” do pacote “Vegan”) ³¹. Para a visualização multivariada da relação entre as variáveis físico-químicas do sedimento, em cada comparação, foi gerado um biplot da Análise de Componentes Principais (PCA), incluindo a quantificação da contribuição individual de cada parâmetro.

A matriz de dados bióticos (abundância das espécies) foi padronizada, por meio do método de Hellinger ³⁰. Em seguida, a composição da assembleia de crustáceos foi testada em relação às variáveis espaço-temporais, por meio de PERMANOVA, seguidas pela plotagem das correlações da PCA.

A abundância total e a diversidade alfa (por meio da riqueza de espécies) foram quantificadas em cada réplica amostral, sendo, o primeiro desses, representado pela soma da quantidade de indivíduos capturados em cada amostra. A riqueza de espécies foi determinada através da função “specnumber” do pacote “vegan” ³¹. A abundância total e a diversidade alfa da assembleia de crustáceos foram testadas em relação às variáveis físico-químicas do sedimento e espaço-temporais, por meio de GAMLSS (Generalized Additive Models for Location Scale and Shape; GAMLSS) ³². Esse procedimento estatístico foi utilizado pela ausência de linearidade entre a variável resposta e as preditoras, sendo utilizado termos de suavização aos dados não-lineares.

A função “fitDist” do pacote GAMLSS também foi utilizada para classificar a distribuição da variável resposta analisada. Em seguida, o “stepAICAll.A” analisou o modelo estatístico partindo somente do intercepto, testando a introdução de cada variável, baseado no “Generalized Akaike Information Criterion” (GAIC). O modelo final selecionou as variáveis preditoras que possuíam maior influência no conjunto, sempre retornando aquele com menor valor do GAIC.

Por fim, esses modelos univariados foram validados por meio da verificação de “wormplot” ³³. A inclusão de variáveis de efeitos aleatórios foi realizada, por haver a quebra da independência da variável resposta, por conta da realização de medidas repetidas, com coletas em períodos distintos nos mesmos locais.

A diversidade beta (por meio do método de Whittaker) foi testada em relação às variáveis físico-químicas do sedimento (mencionar quais) e espaço-temporais (mencionar quais), por meio de uma PERMANOVA, e plotada univariadamente através da distância

Euclidiana para os centróides. A relação entre a abundância das espécies de crustáceos e as variáveis físico-químicas do sedimento foi testada por meio de uma Análise de Redundância (RDA). As matrizes de dados bióticos e abióticos, previamente padronizadas (“Hellinger” e “Z-score”, respectivamente), foram testados quanto à significância por meio das funções “permutest” e “anova.cca”, respectivamente, do pacote “vegan”. A significância das variáveis físico-químicas do sedimento foi avaliada por meio da função “envfit”. Sendo, apenas variáveis ambientais com pontuações maiores que 0,4 e menores que -0,4 consideradas biologicamente significativas³⁴, somente as espécies que apresentaram os autovetores acima de 0,4 foram consideradas biologicamente significativas³⁵. All the analyses based on permutations were run using 9,999 replications, including the Bonferroni correction of the p value. A $p = 0.05$ significance level was considered for all the analyses, although marginally significant results ($p = 0.05$ – 0.10) were also reported.

Resultados

Características das espécies e ambientes de estudo

Um total de 624 crustáceos individuais foram capturados nas duas campanhas de campo, com os espécimes sendo atribuídos a 10 espécies distribuídas em três famílias – Trichodactylidae, Palaemonidae e Pseudothelphusidae (Tabela 1). *Macrobrachium jelskii* (Miers, 1877) e *Sylviocarcinus pictus* (H. Milne-Edwards, 1853) foram as mais abundantes dessas espécies, enquanto *Fredius reflexifrons* (Ortmann, 1897) e *Macrobrachium nattereri* (Heller, 1862) podem ter sido registrados na região pela primeira vez (análise de DNA pendente).

Tabela 1. Número de camarões e caranguejos capturados por espécie nas áreas impactadas e controle nas bacias de Itacaiúnas e Parauapebas no Mosaico de Carajás (Brasil) durante a estação chuvosa (maio) e a estação seca (novembro).

Espécies	Período	Número de espécimes coletadas em:	
		Áreas impactadas	Áreas controle
<i>Macrobrachium amazonicum</i> (Heller, 1862)	Chuvoso	6	15
	Seco	1	13
<i>Macrobrachium brasiliense</i> (Heller, 1862)	Chuvoso	9	23
	Seco	32	21
<i>Macrobrachium jelskii</i> (Miers, 1877)	Chuvoso	33	44
	Seco	7	33
<i>Macrobrachium nattereri</i> (Heller, 1862)	Chuvoso	0	1
	Seco	0	0
<i>Macrobrachium surinamicum</i> Holthuis, 1948	Chuvoso	8	12
	Seco	32	9
<i>Macrobrachium</i> sp.	Chuvoso	28	56

Bate, 1868	Seco	15	28
<i>Sylviocarcinus devillei</i> H. Milne-Edwards, 1853	Chuvoso	10	13
	Seco	6	7
<i>Sylviocarcinus pictus</i> (H. Milne-Edwards 1853)	Chuvoso	48	39
	Seco	13	34
<i>Valdivia serrata</i> White, 1847	Chuvoso	1	4
	Seco	5	0
<i>Fredius reflexifrons</i> (Ortmann, 1897)	Chuvoso	0	0
	Seco	1	0

Em relação as concentrações de metais observadas nas amostras de sedimento, os elementos Al, As, Fe, Pb e Mn foram os que apresentaram maiores concentrações. The highest concentrations of As, Fe, Pb, and Mn were recorded in the rainy season (May), whereas the highest temperature and Al concentration were registered in the dry season (November) apesar da baixa contribuição na variabilidade dos dados (PERMANOVA; FPERÍODO=8.448; pPERÍODO=0.0001; FIMPACTO= 6.168; pIMPACTO= 0.0004; Tabela 2; Figura 2a). As concentrações de Fe, Pb e Mn, foram mais altas nas áreas impactadas e a temperatura e o Al nas áreas não impactadas (p= 0.0004; Tabela 2; Figura 2b). Dessa forma, analisando os fatores de interação entre sazonalidade e impacto, os metais Fe e Pb tiveram altas concentrações no mês de maio e o Mn no mês de novembro, ambos nas áreas impactadas. Os altos valores de Al e da temperatura, foram mais relacionados ao mês de novembro e nas áreas não impactadas (Tabela 2; PERMANOVA; p= 0.0003; Tabela 2; Figura 2c).

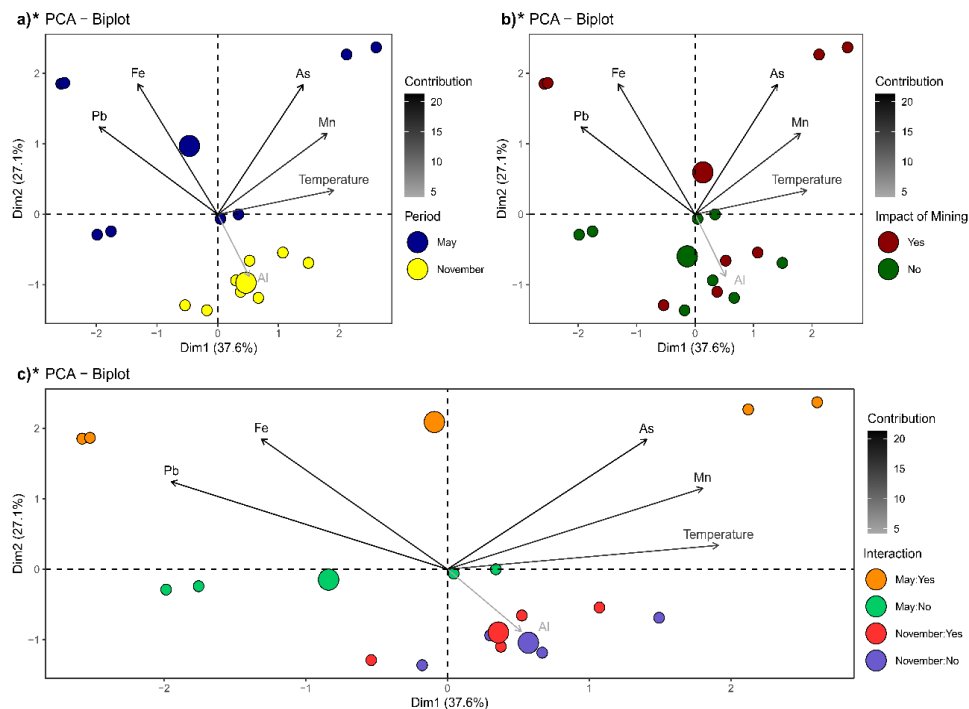


Figura 2. Biplot da análise de componentes principais relacionando as variáveis físico-químicas do sedimento amostrado entre os períodos (maio e novembro - a), áreas de impactos de mineração (Sim e Não - b) e a interação entre esses fatores (c), coletados nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, do Mosaico de Carajás, Brasil. A intensidade das setas em tons de cinza indica a contribuição da variável físico-química do sedimento para a variabilidade dos dados. $\alpha < 0,05$.

Tabela 2. Média e Erro Padrão dos valores obtidos da análise das variáveis amostras de água (Temperatura) e (Al, As, Fe, Pb, Mn) do sedimento coletadas em maio e novembro de 2022 nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, no Mosaico de Carajás, Brasil. SE – erro padrão.

Variáveis	Impactado		Controle	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
	Média ± Erro Padrão	Média ± Erro Padrão	Média ± Erro Padrão	Média ± Erro Padrão
Temperatura	34,4 ± 1,03	34,5 ± 1,2	32,8 ± 0,68	34,4 ± 1,2
Al (mg/kg)	3.035 ± 935,5	5.798,7 ± 1.771,7	1.138,6 ± 43,3	27.968,9 ± 10.637,7
As (mg/kg)	0,22 ± 0,10	0,01 ± 0,0	0,09 ± 0,05	0,0 ± 0,0
Fe (mg/kg)	74.630,7 ± 24.668,5	4.220 ± 111,4	8.612,4 ± 260,5	6.233,6 ± 2.217,6
Pb (mg/kg)	7,2 ± 2,4	1,52 ± 0,24	6,4 ± 1,9	2,6 ± 0,9
Mn (mg/kg)	415,3 ± 182,8	165,4 ± 36,9	39,1 ± 18,1	277,1 ± 156,4

Composição e Abundância total da Assembleia de Crustáceos

A composição da assembleia de crustáceos nas bacias do Rio Itacaiúnas e Parauapebas não variou entre os períodos sazonais (PERMANOVA; $F = -0.023$; $p = 0.9846$; Figura 3a), áreas de impacto (PERMANOVA; $F = 1.176$; $p = 0.3344$; Figura 3b) e na interação desses fatores (PERMANOVA; $F = 0.093$; $p = 0.9491$; Figura 3c).

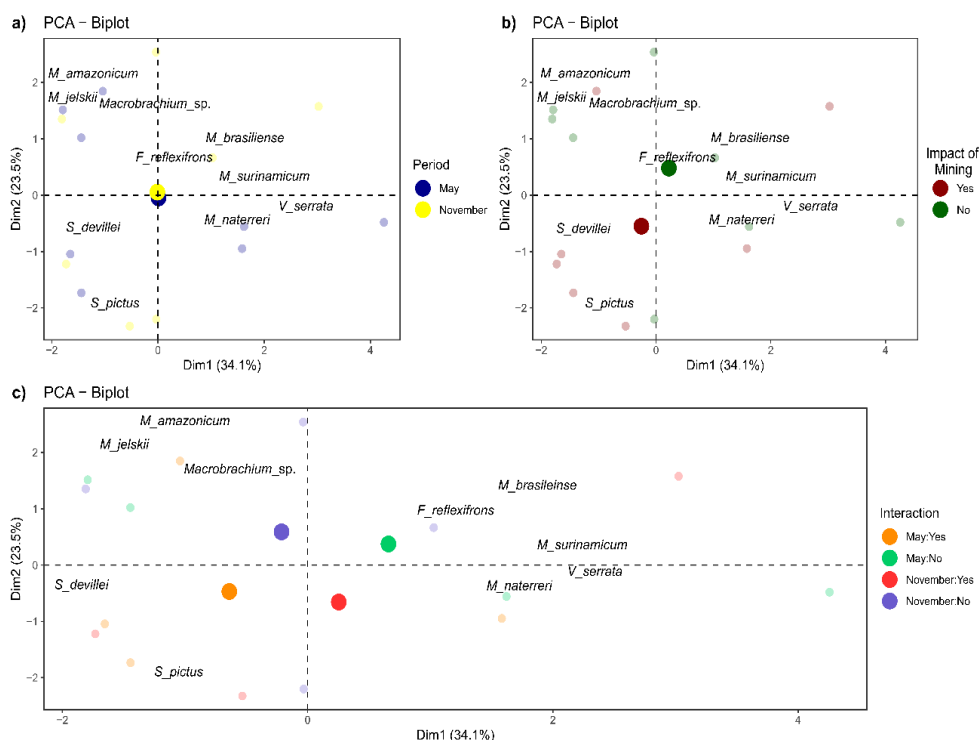


Figura 3. Composição da assembleia de crustáceos amostrada entre os períodos (a), áreas de impacto da mineração (b) e a interação desses fatores (c), amostrados nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, Mosaico de Carajás, Brasil.

A abundância de crustáceos mostrou uma relação não linear com a temperatura, apresentando uma redução significativa com o aumento desta variável (GAMLSS; $p = 0,0003$; Tabela 3; Figura 4a). Adicionalmente, há um pico de abundância de indivíduos quando a concentração de Mn é próxima à 100mg/Kg, e em seguida a abundância é reduzida a zero (GAMLSS; $p = 0,0023$; Tabela 3; Figura 4e). A maior abundância de crustáceos ($46,2 \pm 12,84$) foi observada em áreas não impactadas, ($32,0 \pm 12,24$; GAMLSS; $p = 0,0010$; Tabela 3; Figura 4h). A relação entre os períodos amostrados e a interação entre os fatores espaço-temporais não apresentaram significância estatística, não sendo selecionado no modelo estatístico final (GAMLSS; $p > 0,05$; Tabela 3; Figura 4g, i).

Tabela 3. Modelo final GAMLSS da abundância total de crustáceos com as variáveis físico-químicas do sedimento (Al, As, Fe, Pb e Mn) e os fatores espaço-temporais (Temperatura) no Mosaico de Carajás, Brasil. Legendas cs= termo de suavização aditivo cubic spline; Mn= Manganês; AIC= Critério de Informação de Akaike; R^2 = Coeficiente de Determinação. Valores em negrito indicam diferenças estatísticas ($\alpha < 0,05$).

Modelo: Abundância ~ cs(Temperatura) + cs(Mn) + Impacto; Família: Binomial Negativa				
Tipo II; AIC= 143,803; R^2= 81,99%.				
Mu coef.	Estimate	Standard Error	t value	Pr (> t)
Intercepto	17.6379	2.2351	7.891	0.0005
cs (Temperatura)	-0.5895	0.0683	-8.622	0.0003
cs (Mn)	0.0031	0.0005	5.662	0.0023
Impacto (Não)	1.6456	0.2402	6.850	0.0010

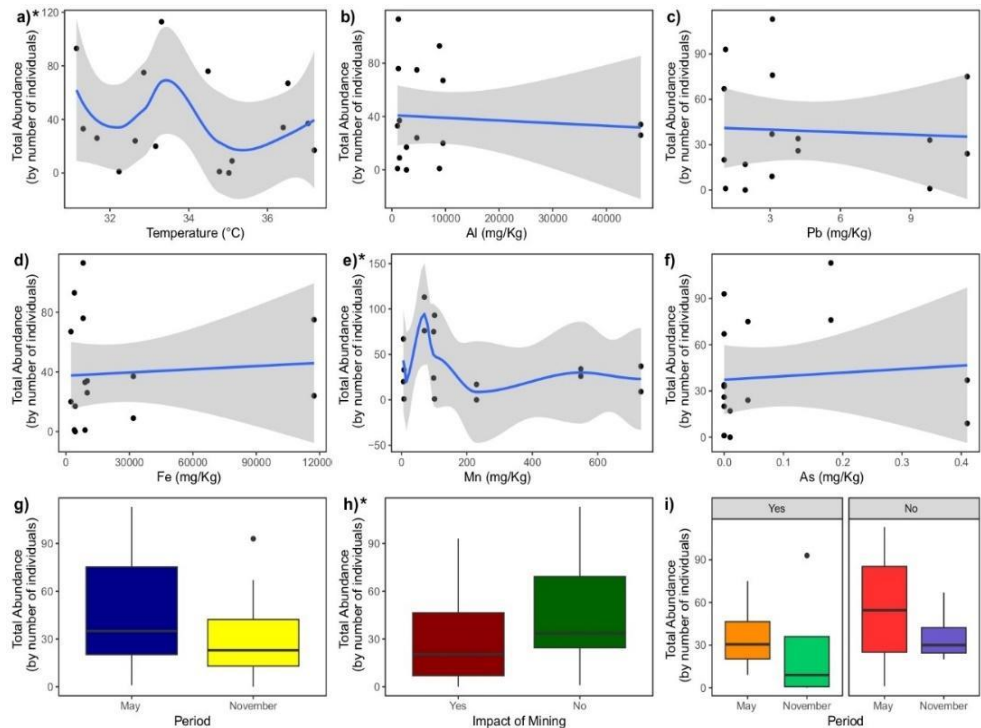


Figura 4. Relação entre a abundância total da assembleia de crustáceos e temperatura (a), Al (b), Pb (c), Fe (d), Mn (e), As (f), períodos (g), áreas de impacto de mineração (h) e a interação entre esses dois últimos fatores (i), amostrados nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, no Mosaico de Carajás, Brasil. * $\alpha < 0,05$.

Diversidade Alfa e Beta da Assembleia de Crustáceos

A diversidade alfa apresentou uma relação não linear com a temperatura, reduzindo seus valores com o incremento dessa variável (GAMLSS; $p=0.10$; Tabela 4; Figura 5a). As demais variáveis físico-químicas e espaço-temporais não diferiram estatisticamente (GAMLSS; $p>0.05$; Tabela 4; Figura 5b, c,d,e,f,g,h,i).

Tabela 4. Modelo final GAMLSS da diversidade alfa da assembléia de crustáceos com as variáveis físico-químicas do sedimento (Al, As, Fe, Pb e Mn) e temperatura do Mosaico de Carajás, Brasil. Legendas: cs= termo de suavização aditivo cubic spline; AIC= Critério de Informação de Akaike; R^2 = Coeficiente de determinação; Coef = coeficiente, p = probabilidade. Valores em negrito indicam $\alpha<0.05$.

Modelo: Diversidade alfa ~ cs(Temperatura), Coef. Sigma ~ aleatório (Local); Família: Poisson Zero Inflacionado Tipo II; AIC= 70,994; $R^2= 49,58\%$.				
Mu coef.	Estimativa	Erro padrão	t value	p ($> t$)
Intercepto	169.8841	1.5264	111.3	<2e-16
cs (Temperatura)	-4.9303	0.0453	-108.8	<2e-16

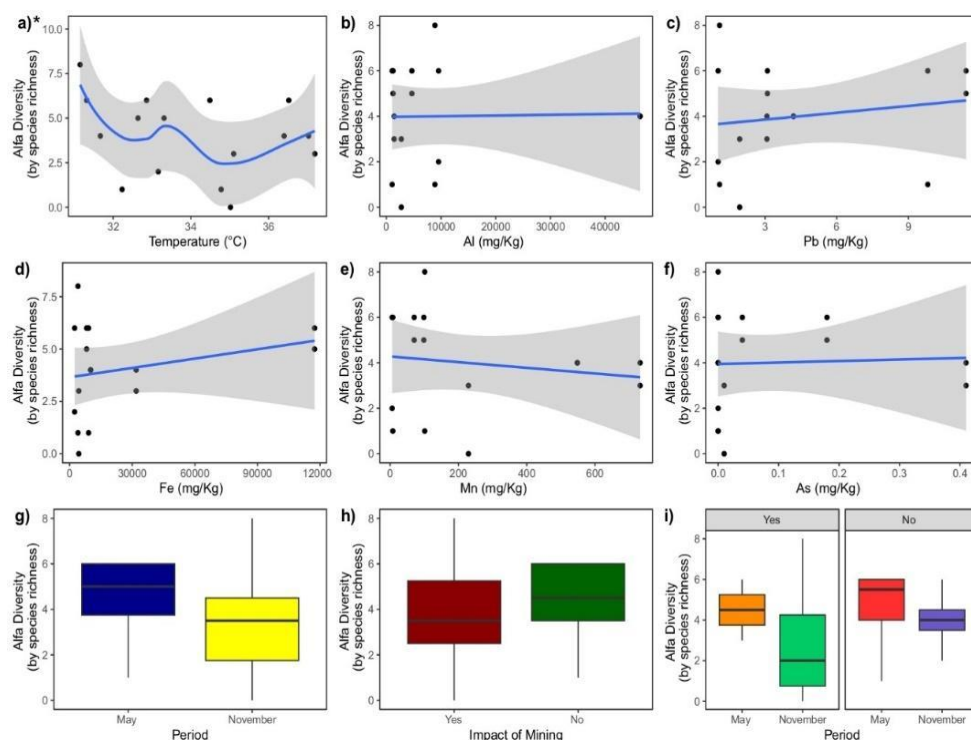


Figura 5. Relação entre a diversidade alfa (através da riqueza de espécies) da assembleia de crustáceos e temperatura (a), Al (b), chumbo (c), Au(d), Mn (e), As (f), períodos (g), áreas de impacto de mineração (h) e a interação entre esses dois últimos fatores (i), amostrados nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, Mosaico de Carajás, Brasil. $\alpha<0.05$.

A diversidade beta apresentou uma redução marginal com o incremento da temperatura (PERMANOVA; $F=3.256$; $p=0.0671$; Tabela 5; Figura 6a). Em relação às demais variáveis físico-químicas do sedimento e espaço-temporais não foi verificada diferença estatística significativa (PERMANOVA; $p>0.05$; Tabela 5; Figura 6b, c, d, e, f, g, h, i).

Tabela 5. Modelo multivariado relacionando métricas de diversidade beta (utilizando o método de Whittaker) com variáveis físico-químicas do sedimento (Al, As, Fe, Pb e Mn) e espaço temporal (período e área de impacto), amostrados nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, Mosaico de Carajás, Brasil. GL= Graus de Liberdade; R²= Coeficiente de Determinação; F= Teste de Fisher; p = probabilidade. +indica diferença marginalmente significativa ($\alpha<0,10$).

Modelo: Diversidade beta ~ Temperatura + Al + Pb + Fe + Mn + As + Período * Impacto; Distância: Euclidiana; N° de permutações: 9,999; R²=67.78%.				
Variáveis	GL	R²	F	p (>F)
Temperatura	1	22,87	3,256	0,0671 ⁺
Al	1	7,33	1,043	0,4178
As	1	4,45	0,634	0,5795
Fe	1	4,18	0,595	0,6175
Pb	1	9,12	1,298	0,3314
Mn	1	6,00	0,854	0,4857
Período	1	3,85	0,549	0,6416
Impacto	1	0,01	0,001	0,9300
Período: Impacto	3	9,93	0,404	0,8786

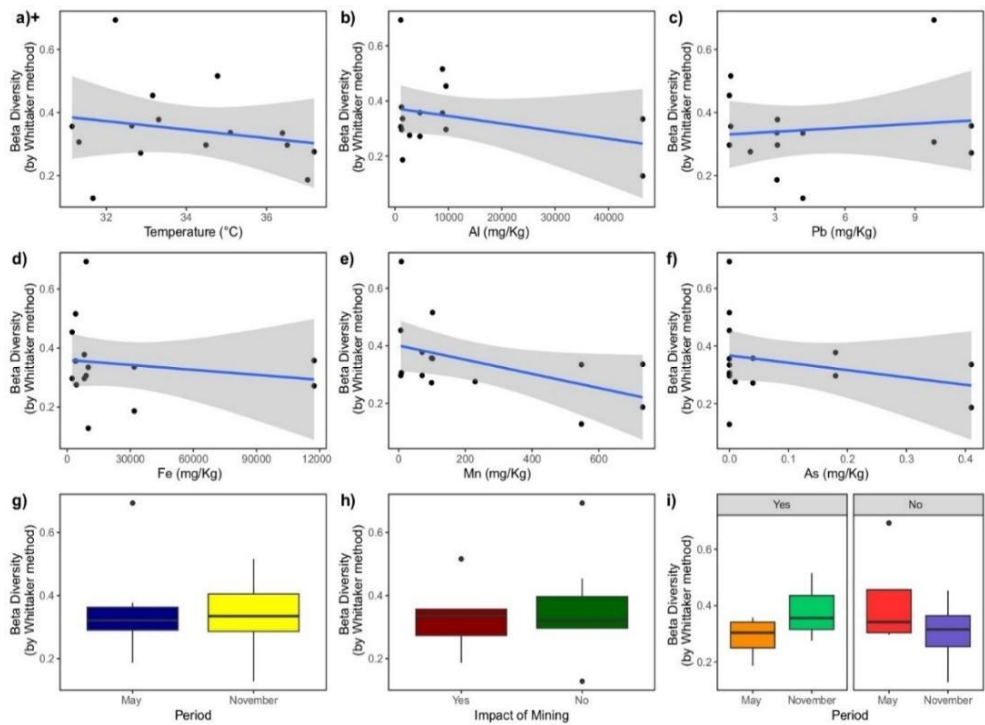


Figura 6. Relação entre a diversidade beta (pelo método de Whittaker) da assembleia de crustáceos e temperatura (a), Al (b), Pb (c), Fe (d), Mn (e), As (f), períodos (g), áreas de impacto de mineração (h) e a interação entre esses dois últimos fatores (i), amostrados nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, no Mosaico de Carajás, Brasil. + indica uma diferença marginalmente significativa ($\alpha<0,10$).

Relação da Abundância das Espécies com as Variáveis Físico-Química

Na RDA, somente o primeiro eixo foi significativo (32,01% da variabilidade dos dados; RDA; F=1.861; p=0,0245; Tabela 6; Fig 7). Para a abundância dos crustáceos estudados, somente a temperatura e as concentrações de Al e As foram significativas (RDA; p<0,05; Tabela 6; Figura 7). As espécies *S. pictus*, *S. devilei*, *M. jelskii* e *M. amazonicum* apresentaram relação positiva com a temperatura e As, e negativa com Al (Tabela 6; Fig 7). As espécies *M. surinamicum*, *M. brasiliense*, *V. serrata*, *M. naterreri* e *F. reflexifrons* apresentaram relação positiva com Al, e negativa com temperatura e As (Tabela 6; Fig 7).

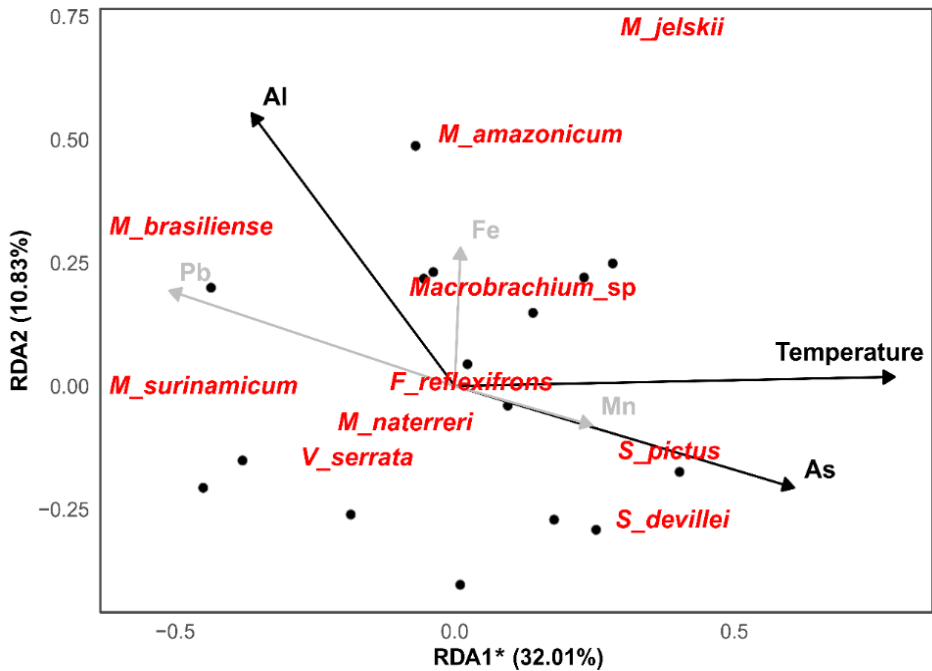


Figura 7. Biplot da Análise de Redundância (RDA) das espécies de crustáceos em relação à variável temperatura; Al (alumínio); Como (arsênio); Fe (ferro); Pb (chumbo) e Mn (manganês).

Tabela 6. Resultado da análise de redundância (RDA) da abundância das espécies de crustáceos com as variáveis físico-químicas do sedimento, amostradas nos pontos de coleta das bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, Mosaico de Carajás, Brasil. F Teste de Fisher; p = probabilidade

RDA	Autovalor	Prop. Exp. (%)	F	p(>F)
Axis 1	0.1588	32.01	6,456	0,0130
Axis 2	0.0537	10.83	2,184	0,6440
Physico-chemical variables	Eixo 1	Eixo 2	R ² (%)	Pr (>r)
Temperature	0.7867	0.0186	6193	0.0020
Al	-0.3633	0.5536	4385	0.0136
Pb	-0.5102	0.1935	2978	0.1052
Fe	0.0104	0.2808	790	0.6157
Mn	0.2454	-0.0794	666	0.6309
As	0.6069	-0.2062	4109	0.0241
Species	Eixo 1	Eixo 2		
<i>Macrobrachium amazonicum</i>	0.0804	0.2569		
<i>Macrobrachium brasiliense</i>	-0.4066	0.1986		

<i>Macrobrachium jelskii</i>	0.2571	0.3858
<i>Macrobrachium surinamicum</i>	-0.5287	-0.0203
<i>Macrobrachium nattereri</i>	-0.0474	-0.0217
<i>Macrobrachium</i> sp	0.0915	0.1383
<i>Sylviocarcinus pictus</i>	0.4026	-0.0488
<i>Sylviocarcinus devillei</i>	0.4079	-0.1246
<i>Valdivia serrata</i>	-0.1277	-0.0532
<i>Fredius reflexifrons</i>	-0.0116	-0.0163

Discussão

A diversidade de crustáceos nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, particularmente das famílias Trichodactylidae, Pseudothelphusidae e Palaemonidae é significativa, mas pouco explorada. Essas famílias são ecologicamente importantes, sendo uma fonte vital de alimento para níveis tróficos mais elevados, contribuindo para a ciclagem de nutrientes e a manutenção da saúde dos habitats ^{36, 37}. A presença dessas famílias no ambiente, indica a saúde do ecossistema e influência na estrutura das cadeias alimentares, o que é essencial para manter o equilíbrio ecológico, uma vez que sua vulnerabilidade destaca a necessidade de esforços de conservação ^{38,39}.

Embora a presença dessas famílias na região revele uma rica biodiversidade, é essencial considerar os impactos ecológicos, uma vez que decápodes de água doce enfrentam ameaças de atividades antrópicas e a falta de avaliações para muitas espécies ⁴⁰. Dentre as espécies registradas, as do gênero *Macrobrachium* foram as mais numerosas, possivelmente pelo uso de iscas de coco de babaçu para sua captura. Estudos anteriores ⁴¹ com *Macrobrachium amazonicum* comprovam a eficácia dessa isca, que supera consistentemente outras opções em volume de captura. Assim, vale ressaltar que o táxon *Macrobrachium* abrange uma grande diversidade de camarões de água doce, cuja taxonomia é complexa, sendo influenciada por variações morfológicas e pela distribuição geográfica dessas espécies ⁴², o que pode levar a diferentes respostas comportamentais e de captura dependendo da região e das características dos indivíduos. A presença e saúde desse gênero podem refletir os impactos ecológicos mais amplos das atividades humanas nos sistemas de água doce da Amazônia ⁴³.

A mineração afeta ambas as bacias de estudo há quase 50 anos e, embora os impactos dessa atividade nos habitats locais possam ter criado condições únicas que dão suporte a uma diversidade de espécies de crustáceos ⁴⁴, também colaborou para um possível aumento da contaminação desses ambientes por metais. Alguns estudos evidenciam que até mesmo espécies do gênero *Macrobrachium*, podem ser afetadas diretamente por metais como cádmio e arsênio por revelarem uma bioacumulação significativa desses elementos quando expostos a rejeitos de mina ⁴⁵. Representantes menos comuns como *Macrobrachium brasiliense* e *Macrobrachium surinamicum*, e mesmo a presença da espécie de caranguejo *Valdivia serrata*, amplamente documentada em rios neotropicais, ressalta a diversidade taxonômica da região.

O gênero *Sylviocarcinus*, também é representativo na fauna regional, especificamente por meio das espécies *S. devillei* e *S. pictus*. Particularmente espécie *S. pictus*, desempenha um papel significativo nos ecossistemas de água doce, auxiliando na decomposição da matéria orgânica, aumentando a disponibilidade de nutrientes para outros organismos aquáticos ⁴⁶. Ademais, sua estratégia de cuidado parental, aumenta a sobrevivência juvenil e reduz a dispersão, contribuindo para a manutenção da população local, divergência genética e sucesso ecológico geral nesses habitats ⁴⁷.

Duas espécies – o camarão *Macrobrachium nattereri* e o caranguejo *Fredius reflexifrons* – podem ter sido identificadas pela primeira vez na região de Carajás. Estudos

anteriores ^{48, 24}, indicam que a espécie *M. nattereri* é frequentemente encontrada em ambientes de água doce de correntes rápidas e áreas ricas em sedimentos. A descoberta de *M. nattereri* em Carajás sugere uma resiliência dessa espécie e a necessidade de mais pesquisas para entender suas adaptações às condições locais.

Por outro lado, *F. reflexifrons* é menos conhecido fora das áreas de várzea e margens de rios em regiões neotropicais, e a presença desta espécie em Carajás representa uma extensão significativa de sua distribuição conhecida. Parece provável que esta espécie sempre esteve presente na região de estudo, mas não havia sido identificada em estudos anteriores, devido ao escopo restrito desses estudos ou simplesmente porque eles não amostraram os habitats nos quais a espécie é encontrada. Carajás está localizada em uma área remota de difícil acesso, e qualquer pesquisa dentro desta região, incluindo a área de estudo atual, requer autorização específica dos órgãos ambientais responsáveis pela administração da área.

Além disso, os registros em Carajás apresentam relevância biogeográfica, pois ampliam o conhecimento da distribuição de crustáceos no bioma amazônico, mesmo em ambientes muito degradados. Tais achados reforçam o que foi apontado previamente ²⁴, que destacou a necessidade de investigações regionais para preencher lacunas de dados sobre a fauna de Decapoda no Brasil.

O estudo também demonstrou a relação entre a sazonalidade e os níveis de impacto nas assembleias de crustáceos. Nas áreas impactadas, no período chuvoso, foram registradas altas concentrações dos metais As, Fe, Pb e Mn denotando que o aumento das chuvas potencializa a lixiviação, responsável pela extração do depósito sedimentar, acabando por atingir águas superficiais, com condições favoráveis à sua deposição no sedimento ^{49, 50}.

No período seco, a temperatura e o Al tiveram registros mais altos que no período chuvoso especialmente nas áreas não impactadas, o que pode ser explicado pela estabilização sedimentar e redução no transporte de materiais, em decorrência da menor vazão dos rios e a ausência de perturbações mais intensas. A ausência de distúrbios internos, como inundações ou atividades humanas, permite que os sedimentos permaneçam estáveis, promovendo processos naturais de sedimentação e mantendo o equilíbrio ecológico nos ecossistemas de captação, apoiando assim a qualidade da água e os ciclos biogeoquímicos de forma eficaz ⁵¹. Dessa forma, em condições estáveis, os metais pesados podem fazer a transição para formas menos biodisponíveis ⁵².

Além disso, o alumínio, sendo um elemento amplamente presente na região, tem sua distribuição influenciada pela ressuspensão de sedimentos e incorporação biológica, indicando que menor turbulência e transporte sedimentar podem aumentar a imobilização do alumínio ⁵³. A maior parte dos elementos encontrados em Carajás, são determinados pelo material de origem do solo, assim, as concentrações de Al, Fe e Mn são atribuídas à essas fontes litogênicas, associadas ao revolvimento oriundo das atividades mineradoras legal e ilegal (atividades garimpeiras) presente na região ^{54, 55}.

A composição da assembleia de crustáceos nas bacias dos rios Itacaiúnas e Parauapebas, não diferiu significativamente entre os períodos sazonais, entre as áreas impactadas ou não, ou na interação entre esses fatores. Caranguejos e camarões de água doce podem suportar mudanças sazonais significativas, indicando variações em suas respostas bioquímicas, fatores ambientais, no acúmulo de metais e nas respostas ao estresse ⁵⁶. A resiliência da fauna de crustáceos pode estar ligada a seus papéis ecológicos e adaptabilidade às condições ambientais flutuantes ⁵⁷, uma vez que ocupam vários nichos, desde ambientes marinhos a terrestres, permitindo que se adaptem a diferentes condições ⁵⁸.

A abundância total de crustáceos apresentou uma relação não linear aos altos valores de temperatura, sugerindo que o aumento dessa variável pode limitar o número de indivíduos no ambiente. O aumento da temperatura da água afeta negativamente a vida aquática, incluindo crustáceos decápodes de água doce, causando estresse fisiológico e alterando as interações tróficas, o que pode levar à diminuição da abundância ⁵⁹. Esse padrão, como já descrito em um estudo conduzido com a espécie de camarão *Macrobrachium nipponense* (De Haan, 1849) pode estar associado a alterações nos processos biológicos dos crustáceos em função da temperatura, indicando que esse estresse térmico afeta significativamente seu metabolismo e sobrevivência ⁶⁰.

De maneira semelhante, a concentração de Mn foi outro fator relevante para a diminuição da abundância. A exposição a altos níveis deste elemento pode resultar em efeitos variados nos crustáceos, como suprimir seu sistema imunológico ⁶¹. Ness e estudo, os altos valores de concentração foram responsáveis pela diminuição nos níveis de abundância das espécies. O Mn, embora essencial para os processos metabólicos pode se tornar tóxico em concentrações elevadas, afetando a saúde e a dinâmica populacional de organismos aquáticos ⁶².

A análise da diversidade alfa e beta dos crustáceos apresentou uma relação não linear e negativa com a temperatura. A relação entre temperatura e riqueza de espécies geralmente não é linear, com o aquecimento há perda de espécies em certos ecossistemas ⁶³. Isso acaba por refletir o impacto da temperatura como um importante fator de estresse ambiental. A teoria metabólica da ecologia sugere que temperaturas mais altas podem reduzir a riqueza de espécies devido ao aumento das taxas metabólicas, particularmente em táxons com tempos de geração curtos ⁶⁴. Além disso, embora tenha sido observada uma variação nos níveis dos metais As, Al, Pb, Fe e Mn, essa diferença não foi estatisticamente significativa, confirmando que a temperatura exerce uma influência direta e preponderante sobre a diversidade no contexto avaliado. Pois, embora a toxicidade do metal também possa afetar as populações de crustáceos, os efeitos imediatos das mudanças de temperatura geralmente têm precedência, especialmente no contexto de mudanças climáticas ⁶⁵.

Na RDA, as espécies *Sylviocarcinus pictus*, *Sylviocarcinus devillei*, *Macrobrachium jelskii* e *Macrobrachium amazonicum* mostraram relação positiva com a temperatura e o As, mas negativa com o Al, sugerindo que a temperatura e o As podem atuar como fatores ambientais favoráveis para essas espécies, enquanto o Al pode representar uma condição menos propícia ou até um fator limitante. As flutuações de temperatura podem alterar as taxas metabólicas e as respostas ao estresse em crustáceos, levando a mudanças no comportamento e nas taxas de sobrevivência ⁶⁶. Da mesma forma, a transferência horizontal dos genes da *arsenito metiltransferase* facilitou a adaptação de várias formas de vida, incluindo crustáceos, pois essa troca genética permite que os organismos metabolizem o arsênio de forma mais eficaz, promovendo a sobrevivência em condições tóxicas ⁶⁷.

Quanto a relação negativa das espécies com o Al, pode ser explicada pelo seu comportamento ambiental complexo e sua toxicidade em ambientes aquáticos, onde níveis elevados de Al podem representar um fator limitante, afetando adversamente sua sobrevivência e reprodução, já que sua ecotoxicidade é influenciada por sua especiação e biodisponibilidade, podendo variar amplamente, limitando potencialmente as populações de decápodes de água doce ⁶⁸.

Por outro lado, as espécies *M. surinamicum*, *M. brasiliense*, *V. serrata*, *M. nattereri* e *F. reflexifrons* apresentaram uma relação positiva com o Al, mas negativa com a temperatura e o As. Embora estudos tenham abordado a bioacumulação e os efeitos tóxicos do alumínio em crustáceos de água doce destacando os impactos negativos desse

metal ^{5, 69}. Esse padrão indica que essas espécies possuem diferenças na tolerância ambiental e preferências ecológicas entre os grupos. Dessa forma, sugerindo que essas espécies podem ser mais tolerantes a presença desse metal no ambiente, ou que habitam áreas onde a concentração é naturalmente mais elevada.

No geral, então, os resultados do presente estudo confirmam que a diversidade e distribuição de crustáceos nas bacias de Itacaiúnas e Parauapebas são influenciadas pela variação sazonal do clima e pelos impactos ambientais da mineração local. Essas descobertas destacam a resiliência dessas comunidades e a necessidade urgente de mais pesquisas, que analisem com mais detalhes os mecanismos de adaptação e tolerância das espécies locais de crustáceos a diferentes fatores ambientais e antropogênicos.

REFERÊNCIAS

1. Ye, H., Zeng, C., Tsutsui, N. & Dirksen, H. Editorial: Crustacean reproductive physiology and its applications. *Frontiers in Physiology* **13**, (2022).
2. Wacker, A. & Steffen Harzsch. Crustaceans in a changing world. *Zoology* **146**, 125921–125921 (2021).
3. Rivera-Pérez, J. M., Cruz, G. M., Cristina & Juen, L. Habitat integrity and interspecific relationships affect the diversity of freshwater crabs (Decapoda: Brachyura: Pseudothelphusidae, Trichodactylidae) in eastern Amazon streams— *Journal of Crustacean Biology* **44**, (2024).
4. Gray, B. C. T., Champion, C., Broadhurst, M. K., Coleman, M. A. & Benkendorff, K. Effects of contaminants and flooding on the physiology of harvested estuarine decapod crustaceans: A global review and meta-analysis. *Environmental Pollution* **364**, 125347 (2025).
5. Rodrigues, P., De Almeida, R. G., Ferrari, R. G., Kato, L. S., Hauser-Davis, R. A. & Conte-Junior, C. A. A Systematic review on metal dynamics and marine toxicity risk assessment using crustaceans as bioindicators. *Biological Trace Element Research* **200**, 881–903 (2021).
6. Ihunwo, O.C. *et al.* Metal accumulation in two crab species from the Woji Creek (Nigeria) and human health risk assessment due to crab consumption: *Callinectes sapidus* and *Cardisoma armatum*. *Watershed Ecology and the Environment* **4**, 169–176 (2022).
7. Christodoulou, M., Grave, S. D., Vink, A. & Arbizu, P. M. Taxonomic assessment of deep-sea decapod crustaceans collected from polymetallic nodule fields of the East Pacific Ocean using an integrative approach. *Marine Biodiversity* **52**, (2022).
8. Barros, B. D. C. V., Pereira, S. D. F. P., Palheta, D. D. C. & Silva, C. S. Determinação de Cd, Cr e Al em tecido de peixes provenientes do Rio Gelado/APA, floresta de Carajás-PA. *Holos Environment* **10**, 195 (2010).
9. Wu, X., Fan, Y., Ma, K., Li, J. & Feng, J. Transcriptomic, histological and biochemical analyses of *Macrobrachium nipponense* response to acute heat stress. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2320616/v1> (2022).
10. Sousa, P. E. S. *et al.* Macroelementos em peixes de rios da Amazônia Oriental: estudo de caso na Região de Integração de Carajás. *Revista Acadêmica Ciência Animal* **20**, (2022).
11. Paulo, J., Antônio, M., Cezar, C. & Hamid, S. S. Mining and agriculture in municipalities with mineral-based economy in Brazil. *Observatório De La Economía Latinoamericana* **21**, 23733–23755 (2023).
12. Figueiredo, R. C., Lobato, L. M., Rosière, C. A. & Hagemann, S. Petrographic and geochemical studies at giant Serra Norte iron ore deposits in the Carajás mineral province, Pará state, Brazil. *Geonomos* (2013) doi:<https://doi.org/10.18285/geonomos.v19i2.54>.
13. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. Fauna da Floresta Nacional de Carajás: *Fauna Silvestre* **1**, 257 (2020).
14. Dantas, C. I. *et al.* Os impactos ambientais causados pela atividade mineradora. <https://www.confef.org.br/midias/uploads> (2021).
15. Rajak, P. *et al.* Toxic contaminants and their impacts on aquatic ecology and habitats. *Elsevier eBooks* 255–273. doi:<https://doi.org/10.1016/b978-0-323-95282-8.00040-7> (2024).
16. Damous, N. R., Wagener, A. de L. R., Patchineelam, S. R. & Wagene, K. Baseline studies on water and sediments in the copper mining region of Salobo-3A, Carajás: Amazon, Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **13**, 140–150 (2002).

17. Kolarova, N & Napiórkowski, P. Trace elements in aquatic environment. Origin, distribution, assessment and toxicity effect for the aquatic biota. *Ecohydrology & Hydrobiology* **21**, 655–668 (2021).
18. Saraiva, A. M. *et al.* Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. *Rodriguésia* **63**, 733–749 (2012).
19. Cruz, F. M. Avaliação geoambiental e hidrológica da bacia do rio Itacaiunas, PA. *Ufpa.br*. doi:<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/10980>. (2025).
20. Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes Gonçalves, J. L. & Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* **22**, 711–728 (2013).
21. Viana, P. L. *et al.* Flora das cangas da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: história, área de estudos e metodologia. *Rodriguésia* **67**, 1107–1124 (2016).
22. Corrêa, G.R. *et al.* Caracterização de solos derivados de rochas máficas na Serra de Carajás. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais* **11**, 33–47 (2017).
23. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. *Plano de manejo da Floresta Nacional de Carajás (Diagnóstico)*. Brasília: ICMBio (2016). 1.
24. Melo, G., Magalhães, C., Bond-Buckup, G. & Buckup, L. Manual de identificação dos crustacea decapoda de água doce do Brasil. *Repositorio.usp.br* <https://repositorio.usp.br/item/001342495> (2003).
25. Valencia, D. M. & Campos, M. R. Freshwater prawns of the genus *Macrobrachium* Bate, 1868 (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae) of Colombia. *Zenodo (CERN European Organization for Nuclear Research)* (2007) doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.176325>. 1.
26. Sampaio, S. R., Nagata, J. K., Lopes, O. L. & Masunari, S. Camarões de águas continentais (Crustacea, Caridea) da Bacia do Atlântico oriental paranaense, com chave de identificação tabular. *Acta Biológica Paranaense* **38**, (2009).
27. *Method 3050B acid digestion of sediments, sludges, and soils 1.0 scope and application*. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf>.
28. Zuur, A. F., Ieno, E. N. & Elphick, C. S. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution* **1**, 3–14 (2010).
29. Mulyanto, A. D. mVIF Package: A Tool for Detecting Multicollinearity without Dependent Variables. *MATICS: Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (Journal of Computer Science and Information Technology)* **14**, 70–73 (2022).
30. Legendre, P. and Legendre, L. (1998) Numerical Ecology, 2nd English Edition, Elsevier, Amsterdam, 1-853. - References - Scientific Research Publishing. *Scirp.org* <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3103110> (2021).
31. Oksanen, J. *et al.* *Package 'vegan' Title: Community Ecology Package_*. R package version 2.6-4, <<https://CRAN.R-project.org/package=vegan>>. (2022).
32. Rigby, R. A. & Stasinopoulos, D. M. Generalized Additive Models for Location, Scale and Shape. *Journal of the Royal Statistical Society Series C: Applied Statistics* **54**, 507–554 (2005).
33. Buuren, S., Fredriks, M. Worm plot: a simple diagnostic device for modelling growth reference curves. *Statistics in Medicine* **20**, 1259–1277 (2001).
34. Rakocinski, C. F., Lyczkowski-Shultz, J. & Richardson, S. L. Ichthyoplankton Assemblage Structure in Mississippi Sound as Revealed by Canonical Correspondence Analysis. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **43**, 237–257 (1996).

35. Rakocinski, C.F., Lyczkowski-Shultz, J., Richardson, S. L. Ichthyoplankton assemblage structure in Mississippi sound as revealed by canonical correspondence analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **43**, 237–257 (1996).
36. Yogback, G. E. et al. Biodiversity of Freshwater Shrimp of the Genus *Macrobrachium* (Decapoda Palaemonidae) in the Nyong Basin of Cameroon. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology* **3**, (2018).
37. Campos, M. R. Estudio taxonómico de los crustáceos decápodos de água dulce (Trichodactylidae, Pseudothelphusidae) de Casanare, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales* **34**, 257–266 (2023).
38. Cumberlidge, N., Alvarez, F. & Villalobos, J. L. Results of the global conservation assessment of the freshwater crabs (Brachyura, Pseudothelphusidae and Trichodactylidae): The Neotropical region, with an update on diversity. *ZooKeys* **457**, 133–157 (2014).
39. Christodoulou, M., Chryssa Anastasiadou, Jure Jugovic & Theodoros Tzomos. Freshwater shrimps (Atyidae, Palaemonidae, Typhlocarididae) in the broader Mediterranean region: distribution, life strategies, threats, conservation challenges and taxonomic Issues. *Springer eBooks* 199–236. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-42527-6_7. (2016).
40. Magalhães, C., Campos, M. R., Collins, P. A. & Mantelatto, F. L. Diversity, distribution and conservation of freshwater crabs and shrimps in South America. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-42527-6_10. 9. (2015).
41. Bentes, B. et al. Experimental study on the efficiency of different types of traps and baits for harvesting *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862). *Acta Scientiarum Biological Sciences* **36**, 383–383 (2014).
42. Molina, W. F. et al. Molecular Cytogenetic Analysis in Freshwater Prawns of the Genus *Macrobrachium* (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae). *International Journal of Molecular Sciences* **21**, 2599–2599 (2020).
43. Galvão, R. C. F. et al. Freshwater shrimps (*Macrobrachium depressimanum* and *Macrobrachium jelskii*) as biomonitors of Hg availability in the Madeira River Basin, Western Amazon. *Repositorio.ufc.br*. doi:https://doi.org/0167-6369. (2018).
44. Karanovic, T., Eberhard, S. M., Perina, G. & Callan, S. Two new subterranean ameirids (Crustacea : Copepoda : Harpacticoida) expose weaknesses in the conservation of short-range endemics threatened by mining developments in Western Australia. *Invertebrate Systematics* **27**, 540–540 (2013).
45. Cresswell, T., Smith, R., Dayanthi Nuggeoda & Simpson, S. L. Comparing trace metal bioaccumulation characteristics of three freshwater decapods of the genus *Macrobrachium*. *Aquatic Toxicology* **152**, 256–263 (2014).
46. Mantelatto, F. L., Faganello, G. S., Geremias, H., Robles, R. & Magalhães, C. Unravelling genetic structure of the neotropical freshwater crab *Sylviocarcinus pictus* (Decapoda, Trichodactylidae) along the rapids-dwelling Xingu River, Amazon basin. *Acta Zoologica* (2025) doi:https://doi.org/10.1111/azo.12533.
47. Sant’Anna, B. S., Takahashi, H. & Hattori, G. Y. Parental care in the freshwater crab *Sylviocarcinus pictus* (Milne-Edwards, 1853). *Open Journal of Ecology* **3**, 161–163 (2013).
48. Magalhães, C. Família Trichodactylidae (caranguejos braquiúros da água doce). Os Crustáceos do Rio Grande do Sul. *Porto Alegre* **1**, 486–490 (1999).
49. Oliveira, R. C. B. De; Marins, R. V. Trace metals dynamics in soil and estuarine sediment as a major factor controlling contaminants. Contribution to the aquatic environment: Review. *Revista Virtual de Química* **3**, 2 (2011).

50. Paganini, É. R., Manzini, F. F. & Maria. Comportamento da concentração do metal manganês no solo de acordo com a sazonalidade. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista* **11**, (2015).
51. López-Tarazón, J. A., Byrne, P. & van der Perk, M. Preface. *Journal of Soils and Sediments* **17**, 2577–2581 (2017).
52. Liu, Y., Tang, Y., Zhong, G. & Zeng, H. A comparison study on heavy metal/metalloid stabilization in Maozhou River sediment by five types of amendments. *Journal of Soils and Sediments* **19**, 3922–3933 (2019).
53. Hulten, van *et al.* On the effects of circulation, sediment resuspension and biological incorporation by diatoms in an ocean model of aluminium. *Biogeosciences* **11**, 3757–3779 (2014).
54. Baize, D. & Thibault Sterckeman. Of the necessity of knowledge of the natural pedo-geochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements. *The Science of The Total Environment* **264**, 127–139 (2001).
55. Souza-Filho, P. W. M. *et al.* Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. *Journal of Environmental Management* **167**, 175–184 (2016).
56. Pereira, P., Pablo, H. de Subida, M. D., Vale, C. & Pacheco, M. Bioaccumulation and biochemical markers in feral crab (*Carcinus maenas*) exposed to moderate environmental contamination—The impact of non-contamination-related variables. *Environmental Toxicology* **26**, 524–540 (2010).
57. Zhang, K. *et al.* Temporal and spatial variations in zooplankton communities in relation to environmental factors in four floodplain lakes located in the middle reach of the Yangtze River, China. *Environmental Pollution* **251**, 277–284 (2019).
58. Marin, I. N. & Tiunov, A. V. Terrestrial crustaceans (Arthropoda, Crustacea): taxonomic diversity, terrestrial adaptations, and ecological functions. *ZooKeys* **1169**, 95–162 (2023).
59. Johnson, M. F. *et al.* Rising water temperature in rivers: Ecological impacts and future resilience. *WIREs Water* **11**, (2024).
60. Wu, X., Fan, Y., Ma, K., Li, J. & Feng, J. Transcriptomic, histological and biochemical analyses of *Macrobrachium nipponense* response to acute heat stress. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2320616/v1> (2022).
61. Hernroth, B., Tassidis, H. & Baden, S. P. Immunosuppression of aquatic organisms exposed to elevated levels of manganese: From global to molecular perspective. *Developmental & Comparative Immunology* **104**, 103536 (2020).
62. Baden, S. P. & Neil, D. M. Accumulation of manganese in the haemolymph, nerve and muscle tissue of *Nephrops norvegicus* (L.) and its effect on neuromuscular performance. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A Molecular & Integrative Physiology* **119**, 351–359 (1998).
63. Hillebrand, H., Burgmer, T. & Biermann, E. Running to stand still: temperature effects on species richness, species turnover, and functional community dynamics. *Marine Biology* **159**, 2415–2422 (2011).
64. Rajakaruna, H. & Lewis, M. Do yearly temperature cycles reduce species richness? Insights from calanoid copepods. *Theoretical Ecology* **11**, 39–53 (2017).
65. Frederich, M. & Lancaster, E. R. Temperature Thresholds of Crustaceans in the Age of Climate Change. *Apple Academic Press eBooks* 175–228 doi:<https://doi.org/10.1201/9781003405016-5>. (2023).
66. Jost, J., Podolski, S. & Frederich, M. Enhancing thermal tolerance by eliminating the pejus range: a comparative study with three decapod crustaceans. *Marine Ecology Progress Series* **444**, 263–274 (2012).

67. Chen, S.-C. *et al.* Recurrent horizontal transfer of arsenite methyltransferase genes facilitated adaptation of life to arsenic. *Scientific Reports* **7**, (2017).
68. Gandhi, N. & Diamond, M. L. Freshwater ecotoxicity characterization factors for aluminum. *The International Journal of Life Cycle Assessment* **23**, 2137–2149 (2018).
69. Malev, O. *et al.* Genotoxic, physiological and immunological effects caused by temperature increase, air exposure or food deprivation in freshwater crayfish *Astacus leptodactylus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* **152**, 433–443 (2010).

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

A pesquisa corrobora que as áreas impactadas pela mineração apresentam significativa redução na abundância e diversidades alfa e beta das comunidades de crustáceos decápodes, evidenciando os efeitos negativos da contaminação ambiental. As espécies de crustáceos identificadas e analisadas demonstraram potencial como biomonitores da qualidade ambiental, com as variações na composição associadas às concentrações de metais pesados, como o As, Fe e Pb nas amostras de sedimento.

O padrão sazonal, aliado a fatores abióticos, apontou uma influência direta nas distribuições das espécies, destacando a complexidade da interação entre as condições abióticas e a biota local. Algumas das espécies identificadas demonstraram condições adversas, adaptando-se aos ambientes impactados, enquanto outras apresentaram maior vulnerabilidade, apontando riscos à biodiversidade local.

Portanto, recomenda-se a implementação de programas regulares de monitoramento ambiental na região de Carajás, com foco nas comunidades de crustáceos como monitores da saúde dos ecossistemas aquáticos. É essencial aprofundar a identificação e a descrição das espécies de crustáceos da região, contribuindo assim, para um melhor entendimento de sua ecologia e distribuição. Investigar os efeitos a longo prazo da bioacumulação de metais pesados nesses organismos considerando as cadeias alimentares permitirá uma abordagem mais eficaz dos danos causados pela mineração. Além disso, políticas públicas que promovam a redução da poluição e a recuperação das áreas impactadas devem ser priorizadas para garantir a preservação da biodiversidade e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos locais.

ANEXOS

Anexo 1 - Licença de coleta biológica do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO).



Ministério do Meio Ambiente - MMA
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 75796-4	Data da Emissão: 04/03/2022 10:07:36	Data da Revalidação*: 01/09/2022
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Dulcídeia da Conceição Palheta	CPF: 227.422.042-53
Título do Projeto: AVALIAÇÃO DOS EFEITOS AMBIENTAIS DE ATIVIDADES MINERÁRIA E SIDERÚRGICA E SUA INFLUÊNCIA NA SAÚDE DE POPULAÇÕES DO ENTORNO RIO PARAUAPEBAS - DISTRITO INDUSTRIAL DE MARABÁ/PA SUBPROJETO: ESTUDO DA VARIAÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DA ICTIOFAUNA E CARCINOFAUNA E OS EFEITOS TOXICOLÓGICOS EM UMA ÁREA SOB INFLUÊNCIA DIRETA DE EMPREENDIMENTOS MINERALÓGICOS: O CASO DO RIO PARAUAPEBAS	
Nome da Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia	CNPJ: 05.200.001/0001-01

Cronograma de atividades

#	Descrição da atividade	Início (mês/ano)	Fim (mês/ano)
1	Coleta do período chuvoso: Deslocamento, coleta efetiva, retorno à Belém	04/2022	05/2022
2	Coleta do período seco: Deslocamento, coleta efetiva, retorno à Belém	10/2022	11/2022

Equipe

#	Nome	Função	CPF	Nacionalidade
1	Luiz Fernando da Silva Garcez	Executor	028.253.452-02	Brasileira
2	BIANCA BENTES DA SILVA	Vice-Cordenadora	637.205.742-53	Brasileira
3	CLÁUDIA ANTÔNIA CAMPOS RODRIGUES	Executor	845.904.242-15	Brasileira
4	Tatiane do Nascimento Medeiros	Executor	031.874.314-02	Brasileira
5	MARCELO COSTA ANDRADE	Executor	946.987.083-20	Brasileira
6	ALINE TEIXEIRA E SOUSA	Executor	019.737.742-40	Brasileira
7	Paulo Sergio dos Santos Souto	Executor	049.161.232-04	Brasileira

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0757960420220304

Página 1/6



Ministério do Meio Ambiente - MMA
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 75796-4	Data da Emissão: 04/03/2022 10:07:36	Data da Revalidação*: 01/09/2022
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Dulcídeia da Conceição Palheta	CPF: 227.422.042-53
Título do Projeto: AVALIAÇÃO DOS EFEITOS AMBIENTAIS DE ATIVIDADES MINERÁRIA E SIDERÚRGICA E SUA INFLUÊNCIA NA SAÚDE DE POPULAÇÕES DO ENTORNO RIO PARAUAPEBAS - DISTRITO INDUSTRIAL DE MARABÁ/PA SUBPROJETO: ESTUDO DA VARIAÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DA ICTIOFAUNA E CARCINOFAUNA E OS EFEITOS TOXICOLÓGICOS EM UMA ÁREA SOB INFLUÊNCIA DIRETA DE EMPREENDIMENTOS MINERALÓGICOS: O CASO DO RIO PARAUAPEBAS	
Nome da Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia	CNPJ: 05.200.001/0001-01

Observações e ressalvas

1	A autorização não eximirá o pesquisador da necessidade de obter outras anuências, como: I) do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador quando as atividades forem realizadas em área de domínio privado ou dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso; II) da comunidade indígena envolvida, ouvido o órgão indigenista oficial, quando as atividades de pesquisa forem executadas em terra indígena; III) do Conselho de Defesa Nacional, quando as atividades de pesquisa forem executadas em área indispensável à segurança nacional; IV) da autoridade marítima, quando as atividades de pesquisa forem executadas em águas jurisdicionais brasileiras; V) do Departamento Nacional da Produção Mineral, quando a pesquisa visar a exploração de depósitos fossilíferos ou a extração de espécimes fósseis; VI) do órgão gestor da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, dentre outras.
2	Deve-se observar as recomendações de prevenção contra a COVID-19 das autoridades sanitárias locais e das Unidades de Conservação a serem acessadas.
3	Esta autorização NÃO libera o uso da substância com potencial agrotóxico e/ou inseticida e NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de atender às exigências e obter as autorizações previstas em outros instrumentos legais relativos ao registro de agrotóxicos (Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, entre outros).
4	Esta autorização NÃO libera o uso da substância com potencial agrotóxico e/ou inseticida e NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de atender às exigências e obter as autorizações previstas em outros instrumentos legais relativos ao registro de agrotóxicos (Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002, entre outros).
5	Este documento somente poderá ser utilizado para os fins previstos na Instrução Normativa ICMBio nº 03/2014 ou na Instrução Normativa ICMBio nº 10/2010, no que especifica esta Autorização, não podendo ser utilizado para fins comerciais, industriais ou esportivos. O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior.
6	As atividades de campo exercidas por pessoa natural ou jurídica estrangeira, em todo o território nacional, que impliquem o deslocamento de recursos humanos e materiais, tendo por objeto coletar dados, materiais, espécimes biológicos e minerais, peças integrantes da cultura nativa e cultura popular, presente e passada, obtidos por meio de recursos e técnicas que se destinem ao estudo, à difusão ou à pesquisa, estão sujeitas a autorização do Ministério de Ciência e Tecnologia.
7	Este documento não dispensa o cumprimento da legislação que dispõe sobre acesso a componente do patrimônio genético existente no território nacional, na plataforma continental e na zona econômica exclusiva, ou ao conhecimento tradicional associado ao patrimônio genético, para fins de pesquisa científica, bioprospecção e desenvolvimento tecnológico. Veja maiores informações em www.mma.gov.br/cgen .
8	O titular de licença ou autorização e os membros da sua equipe deverão optar por métodos de coleta e instrumentos de captura direcionados, sempre que possível, ao grupo taxonômico de interesse, evitando a morte ou dano significativo a outros grupos; e empregar esforço de coleta ou captura que não comprometa a viabilidade de populações do grupo taxonômico de interesse em condição in situ.
9	Esta autorização NÃO exime o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de obter as anuências previstas em outros instrumentos legais, bem como do consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade, inclusive do órgão gestor de terra indígena (FUNAI), da unidade de conservação estadual, distrital ou municipal, ou do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador de área dentro dos limites de unidade de conservação federal cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso.
10	Em caso de pesquisa em UNIDADE DE CONSERVAÇÃO, o pesquisador titular desta autorização deverá contactar a administração da unidade a fim de CONFIRMAR AS DATAS das expedições, as condições para realização das coletas e de uso da infraestrutura da unidade.

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0757960420220304

Página 2/6



Ministério do Meio Ambiente - MMA

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio

Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 75796-4	Data da Emissão: 04/03/2022 10:07:36	Data da Revalidação*: 01/09/2022
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Dulcideia da Conceição Palheta	CPF: 227.422.042-53
Título do Projeto: AVALIAÇÃO DOS EFEITOS AMBIENTAIS DE ATIVIDADES MINERÁRIA E SIDERÚRGICA E SUA INFLUÊNCIA NA SAÚDE DE POPULAÇÕES DO ENTORNO RIO PARAUAPEBAS - DISTRITO INDUSTRIAL DE MARABÁ/PA	
SUBPROJETO: ESTUDO DA VARIAÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DA ICTIOFAUNA E CARCINOFAUNA E OS EFEITOS TOXICOLÓGICOS EM UMA ÁREA SOB INFLUÊNCIA DIRETA DE EMPREENDIMENTOS MINERALÓGICOS: O CASO DO RIO PARAUAPEBAS	
Nome da Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia	CNPJ: 05.200.001/0001-01

Observações e ressalvas

11	O titular de autorização ou de licença permanente, assim como os membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente, ou quando da inadequação, omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização ou licença suspensa ou revogada pelo ICMBio, nos termos da legislação brasileira em vigor.
----	--

Outras ressalvas

1		CEPAM Manaus-AM
2	As autorizações de acesso as UC's do NGI de Carajás (FLONA Carajás / FLONA Tapirapé Aquiri / FLONA Itacaiúnas / PARNA Campos Ferruginosos / REBIO Tapirapé e APA do Igarapé Gelado) deverão ser solicitadas pelo e-mail (ctc_ngicarajas@icmbio.gov.br) com no mínimo cinco dias de antecedência as atividades de campo. Informações necessárias para a autorização: Cópia SISBio; nome e CPF da equipe; período; modelo e placa do veículo.	APA Igarapé Gelado

Locais onde as atividades de campo serão executadas

#	Descrição do local	Município-UF	Bioma	Caverna?	Tipo
1	Mina do Sossego	Parauapebas-PA	Amazônia	Não	Fora de UC Federal
2	Maraba	Marabá-PA	Amazônia	Não	Fora de UC Federal
3	Vila Bom Jesus	Canaã dos Carajás-PA	Amazônia	Não	Dentro de UC Estadual
4	Área de Proteção Ambiental do Igarapé Gelado	PA	Amazônia	Não	Dentro de UC Federal

Atividades

#	Atividade	Grupo de Atividade
1	Coleta/transporte de espécimes da fauna silvestre in situ	Fora de UC Federal
2	Coleta/transporte de espécimes da fauna silvestre in situ	Dentro de UC Federal
3	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Fora de UC Federal
4	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Dentro de UC Federal
5	Coleta/transporte de amostras biológicas ex situ	Atividades ex-situ (fora da natureza)
6	Captura de animais silvestres in situ	Fora de UC Federal
7	Captura de animais silvestres in situ	Dentro de UC Federal
8	Pesquisa socioambiental em UC federal	Dentro de UC Federal
9	Levantamento de dados abióticos em UC federal	Dentro de UC Federal

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0757960420220304

Página 3/6



Ministério do Meio Ambiente - MMA
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio
Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 75796-4	Data da Emissão: 04/03/2022 10:07:36	Data da Revalidação*: 01/09/2022
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Dulcídeia da Conceição Palheta	CPF: 227.422.042-53
Título do Projeto: AVALIAÇÃO DOS EFEITOS AMBIENTAIS DE ATIVIDADES MINERÁRIA E SIDERÚRGICA E SUA INFLUÊNCIA NA SAÚDE DE POPULAÇÕES DO ENTORNO RIO PARAUAPEBAS - DISTRITO INDUSTRIAL DE MARABÁ/PA SUBPROJETO: ESTUDO DA VARIAÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DA ICTIOFAUNA E CARCINOFAUNA E OS EFEITOS TOXICOLÓGICOS EM UMA ÁREA SOB INFLUÊNCIA DIRETA DE EMPREENDIMENTOS MINERALÓGICOS: O CASO DO RIO PARAUAPEBAS	
Nome da Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia	CNPJ: 05.200.001/0001-01

Atividades X Táxons

#	Atividade	Táxon	Qtde.
1	Captura de animais silvestres in situ	Decapoda	-
2	Coleta/transporte de amostras biológicas ex situ	Decapoda	-
3	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Decapoda	-
4	Coleta/transporte de espécimes da fauna silvestre in situ	Decapoda	800
5	Captura de animais silvestres in situ	Actinopterygii	-
6	Coleta/transporte de amostras biológicas ex situ	Actinopterygii	-
7	Coleta/transporte de amostras biológicas in situ	Actinopterygii	-
8	Coleta/transporte de espécimes da fauna silvestre in situ	Actinopterygii	1600

A quantidade prevista só é obrigatória para atividades do tipo "Coleta/transporte de espécimes da fauna silvestre in situ". Essa quantidade abrange uma porção territorial mínima, que pode ser uma Unidade de Conservação Federal ou um Município.

A quantidade significa: por espécie X localidade X ano.

Materiais e Métodos

#	Tipo de Método (Grupo taxonômico)	Materiais
1	Amostras biológicas (Invertebrados Aquáticos)	Outras amostras biológicas(Coleta de estômago, gônadas, trato gastro intestinal e brânquias.)
2	Amostras biológicas (Peixes)	Fragmento de tecido/órgão, Outras amostras biológicas(Coleta de estômago, gônadas, trato gastro intestinal e brânquias.), Sangue
3	Método de captura/coleta (Invertebrados Aquáticos)	Rede de arrasto de praia: cerco de praia (tração manual), Rede de espera (tipo aviaozinho), Rede de plâncton, Picaré, Armadilha (covo, manzuá, potes para polvos, substrato específico, manilha e variações), Captura manual, Coleta manual
4	Método de captura/coleta (Peixes)	Anzol e linha (op.manual):linha de mão,de corso,carretilha,molinete,corrico,vara e isca viva, Rede de emalhar (emalhe de deriva, de fundo, malhadeiras, caceio, feiteiras,tresmalhos e caçoeira), Tarrafa, Puçá, Artes fixas (gamboa, curral e variações), Coleta manual, Captura manual, Picaré, Rede de arrasto de meia-água (tração motorizada), Rede de arrasto de praia: cerco de praia (tração manual), Rede de plâncton

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0757960420220304

Página 4/6



Ministério do Meio Ambiente - MMA

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio

Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 75796-4	Data da Emissão: 04/03/2022 10:07:36	Data da Revalidação*: 01/09/2022
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Dulcídeia da Conceição Palheta	CPF: 227.422.042-53
Título do Projeto: AVALIAÇÃO DOS EFEITOS AMBIENTAIS DE ATIVIDADES MINERÁRIA E SIDERÚRGICA E SUA INFLUÊNCIA NA SAÚDE DE POPULAÇÕES DO ENTORNO RIO PARAUAPEBAS - DISTRITO INDUSTRIAL DE MARABÁ/PA SUBPROJETO: ESTUDO DA VARIAÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DA ICTIOFAUNA E CARCINOFAUNA E OS EFEITOS TOXICOLÓGICOS EM UMA ÁREA SOB INFLUÊNCIA DIRETA DE EMPREENDIMENTOS MINERALÓGICOS: O CASO DO RIO PARAUAPEBAS	
Nome da Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia	CNPJ: 05.200.001/0001-01

Destino do material biológico coletado

#	Nome local destino	Tipo destino
1	Universidade Federal Rural da Amazônia	Outro

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0757960420220304

Página 5/6



Ministério do Meio Ambiente - MMA

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio

Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBIO

Autorização para atividades com finalidade científica

Número: 75796-4	Data da Emissão: 04/03/2022 10:07:36	Data da Revalidação*: 01/09/2022
De acordo com o art. 28 da IN 03/2014, esta autorização tem prazo de validade equivalente ao previsto no cronograma de atividades do projeto, mas deverá ser revalidada anualmente mediante a apresentação do relatório de atividades a ser enviado por meio do Sisbio no prazo de até 30 dias a contar da data do aniversário de sua emissão.		

Dados do titular

Nome: Dulcideia da Conceição Palheta	CPF: 227.422.042-53
Título do Projeto: AVALIAÇÃO DOS EFEITOS AMBIENTAIS DE ATIVIDADES MINERÁRIA E SIDERÚRGICA E SUA INFLUÊNCIA NA SAÚDE DE POPULAÇÕES DO ENTORNO RIO PARAUAPEBAS - DISTRITO INDUSTRIAL DE MARABÁ/PA	
SUBPROJETO: ESTUDO DA VARIAÇÃO ESPAÇO TEMPORAL DA ICTIOFAUNA E CARCINOFAUNA E OS EFEITOS TOXICOLÓGICOS EM UMA ÁREA SOB INFLUÊNCIA DIRETA DE EMPREENDIMENTOS MINERALÓGICOS: O CASO DO RIO PARAUAPEBAS	
Nome da Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia	CNPJ: 05.200.001/0001-01

Registro de coleta imprevista de material biológico

De acordo com a Instrução Normativa nº 03/2014, a coleta imprevista de material biológico ou de substrato não contemplado na autorização ou na licença permanente deverá ser anotada na mesma, em campo específico, por ocasião da coleta, devendo esta coleta imprevista ser comunicada por meio do relatório de atividades. O transporte do material biológico ou do substrato deverá ser acompanhado da autorização ou da licença permanente com a devida anotação. O material biológico coletado de forma imprevista, deverá ser destinado à instituição científica e, depositado, preferencialmente, em coleção biológica científica registrada no Cadastro Nacional de Coleções Biológicas (CCBIO).

Táxon*	Qtde.	Tipo de Amostra	Qtde.	Data

* Identificar o espécime do nível taxonômico possível.

Este documento foi expedido com base na Instrução Normativa nº 03/2014. Através do código de autenticação abaixo, qualquer cidadão poderá verificar a autenticidade ou regularidade deste documento, por meio da página do Sisbio/ICMBio na Internet (www.icmbio.gov.br/sisbio).

Código de autenticação: 0757960420220304

Página 6/6

Anexo 2 - Certificado da Comissão de Ética para Uso de Animais (CEUA).



UFPA
Universidade Federal do Pará

**Comissão de Ética no
Uso de Animais**

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "AVALIAÇÃO DOS EFEITOS AMBIENTAIS DE ATIVIDADES MINERÁRIA E SIDERÚRGICA E SUA INFLUÊNCIA NA SAÚDE DE POPULAÇÕES DO ENTORNO RIO PARAUAPEBAS - DISTRITO INDUSTRIAL DE MARABÁ/PA.", protocolada sob o CEUA nº 8587260821 (ID 001884), sob a responsabilidade de **Bianca Bentes da Silva e equipe; Dulcidéia da Conceição Palheta; Paulo Sergio dos Santos Souto; Kelly Das Graças Fernandes Dantas; Enilson da Silva Sousa; Tatiane do Nascimento Medeiros Rodrigues; Claudia Antonia Campos Rodrigues de Oliveira; Natália Gomes Alves de Souza** - que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **aprovada** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal do Pará (CEUA/UFPA) na reunião de 28/04/2022.

We certify that the proposal "EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL EFFECTS OF MINING AND STEEL ACTIVITIES AND ITS INFLUENCE ON THE HEALTH OF POPULATIONS AROUND RIO PARAUAPEBAS - INDUSTRIAL DISTRICT OF MARABÁ/PA.", utilizing 500 Fishes (males and females), protocol number CEUA 8587260821 (ID 001884), under the responsibility of **Bianca Bentes da Silva and team; Dulcidéia da Conceição Palheta; Paulo Sergio dos Santos Souto; Kelly Das Graças Fernandes Dantas; Enilson da Silva Sousa; Tatiane do Nascimento Medeiros Rodrigues; Claudia Antonia Campos Rodrigues de Oliveira; Natália Gomes Alves de Souza** - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **approved** by the Ethic Committee on Animal Use of the Federal University of Para (CEUA/UFPA) in the meeting of 04/28/2022.

Finalidade da Proposta: **Pesquisa**

Vigência da Proposta: de **04/2022** a **11/2022**

Área: **Biologia Pesqueira - Manejo dos Recursos Aquáticos (Ufpa)**

Origem: **Não se aplica**

Espécie: **Peixes**

sexo: **Machos e Fêmeas**

idade: **2 a 3 anos**

N: **500**

Linhagem: **selvagem**

Peso: **200 a 500 g**

Local do experimento: Nos municípios de Marabá, Parauapebas e Canãa dos Carajás

Belém, 29 de abril de 2022

Prof. Dra. Barbarella de Matos Macchi
Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Universidade Federal do Pará

Prof. Dra. Maria Vivina Barros Monteiro
Vice-Coordenadora da Comissão de Ética no Uso de Animais
Universidade Federal do Pará