



Serviço Público Federal
Universidade Federal do Pará
Campus Universitário de Altamira
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

PPGBC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

Hitalo Christoffer Alamar Melo

**CARACTERIZAÇÃO DE MICRONUTRIENTES E METAIS
PESADOS EM PEIXES, SOLO E CORPOS D'AGUA EM ÁREAS DE
CULTIVO DE ARROZ NA ILHA DO MARAJÓ, PARÁ, BRASIL**

Orientador: Prof. Dr. Felipe Bittioli Gomes
Rodrigues

Coorientador: Prof. Dr. Cristine Bastos do
Amarantes

ALTAMIRA - PA

JANEIRO – 2022

[AP1] Comentário: Lendo toda a dissertação, volto ao título, que acho que está dentro do que foi realizado experimentalmente. No entanto, a partir do resumo e introdução a escrita vai dando muito enfoque para contaminação por inseticidas, agrotóxicos sem explicação de como isso ocorre. Isso já aconteceu em áreas semelhantes onde teve cultivo de arroz? Por que avaliar esta área? Isso não fica claro, além disso não é mostrado no texto a relação de inseticidas, agrotóxicos e metais pesados. Coloquei balões com sugestões para melhora do texto e melhor conclusão.

[AP2] Comentário: corrigir

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS ALTAMIRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE DE CONSERVAÇÃO

Hitalo Christoffer Alamar Melo

**CARACTERIZAÇÃO DE MICRONUTRIENTES E METAIS
PESADOS EM PEIXES, SOLO E CORPOS D'ÁGUA EM ÁREAS DE
CULTIVO DE ARROZ NA ILHA DO MARAJÓ, PARÁ, BRASIL**

Orientador: Prof. Dr. Felipe Bitioli Gomes
Rodrigues

Coorientadora: Prof. Dr. Cristine Bastos do
Amarantes

Dissertação a apresentada à Universidade Federal do Pará, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação para obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação.

[AP3] Comentário: corrigir

ALTAMIRA - PA

JANEIRO – 2022

[AP4] Comentário: corrigir

Dedicatória

Dedico esta pesquisa aos meus queridos pais Walter e Christiane, e também a todos aqueles que me ajudaram ao longo desta caminhada.

Agradecimentos

À Deus, pela minha saúde, por me ajudar a ultrapassar os obstáculos encontrados durante essa minha trajetória.

Aos meus pais e irmãos, que me incentivaram e apoiaram durante a realização deste curso.

Aos meus orientadores, Felipe Bittioli e Cristine Bastos, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, juntamente com o corpo docente por toda a estrutura oferecida durante estes anos de curso.

Aos amigos e colegas, em especial, ao Pedro Pantoja e Anderson Botelho pelo apoio, incentivo, contribuição nas coletas de campo e em laboratório.

À FAPESPA, pelo financiamento durante um momento crucial na realização desta pesquisa.

Sumário

Resumo Geral	1
Introdução Geral	1
Objetivos Gerais	4
Literatura Citada	5
<u>CARACTERIZAÇÃO DE MICRONUTRIENTES E METAIS PESADOS EM PEIXES, SOLO E CORPOS D'AGUA EM ÁREAS DE CULTIVO DE ARROZ NA ILHA DO MARAJÓ, PARÁ, BRASIL</u>	13

1 **Resumo Geral**

2 O Brasil lidera o Ranking de um dos maiores produtores agropecuários do mundo e no
3 uso de insumos, fertilizantes e agrotóxicos, sendo considerado o maior consumidor
4 desses químicos. Apesar dos benefícios do consumo desses produtos, o uso
5 indiscriminado ou em excesso causam forte impacto ambiental, contaminando o ar, a
6 água e o solo, podendo afetar a composição da biodiversidade local e de seus entornos,
7 bem como a interação entre os organismos. Portanto, este estudo tem por objetivo
8 determinar os teores de magnésio, cálcio, cádmio, crômio, ferro, zinco, manganês,
9 chumbo e cobre em peixes, no solo e em corpos d'água em áreas de influência agrícola
10 em Cachoeira do Ararí, no Pará. Os resultados esperados das concentrações para solo,
11 água e peixes serão comparados com os valores referência disponibilizados pela
12 Resolução CONAMA 420/2009, Resolução N° 357/2005, Resolução RDC n° 42/2013 e
13 pelo Decreto n° 5.971/65. Os valores orientados servirão de base para inferir possíveis
14 contaminações nos pontos de amostragem. Sendo assim, será possível realizar uma
15 caracterização dos teores de metais na região, conhecer os possíveis impactos causados
16 pela poluição por metais, além de fornecer informações que poderão auxiliar em estudos
17 futuros sobre conservação e preservação ambiental.

18

19 **Palavras-Chave:**

20 Metais; Peixes; Poluição; Conservação; Amazônia; Contaminação.

21

22 **Abstract**

23 Brazil leads the ranking of one of the largest agricultural producers in the world in the
24 use of inputs, fertilizers, and pesticides, being considered the largest consumer of these
25 chemicals. Despite the benefits of consuming these products, their indiscriminate or
26 excessive use causes a robust environmental impact, contaminating the air, water, and
27 soil, which can affect the composition of local biodiversity and its surroundings, as well
28 as the interaction between organisms. Therefore, this study aims to determine the levels
29 of magnesium, calcium, cadmium, chromium, iron, zinc, manganese, lead, and copper
30 in fish, soil, and water bodies in areas of agricultural influence in Cachoeira do Ararí, in
31 the state Pará. The expected results for soil, water, and fish concentrations will be

[AP5] Comentário: insumo, fertilizantes e agrotóxicos? Tem uso benéfico?

32 compared with the reference values provided by CONAMA Resolution 420/2009,
33 Resolution No. 357/2005, Resolution RDC No. 42/2013, and Decree No. 5,971/65. The
34 oriented values will be a basis for inferring possible contamination at the sampling
35 points. Thus, it will be possible to carry out a characterization of the levels of metals in
36 the region, to know the possible impacts caused by pollution by metals, in addition to
37 providing information that may help in future studies on conservation and
38 environmental preservation.

39

40 **Key words:**

41 Metals; Fish; Pollution; Conservation; Amazon; Contamination.

42

43 **Introdução Geral**

44 O crescimento populacional frequente exige maior demanda alimentar, forçando
45 a intensificação da agricultura acompanhada de usos complementares de fertilizantes e
46 pesticidas, tornando-se um problema cada vez mais proeminente, considerando que sua
47 composição química possui metais pesados os quais representam uma ameaça
48 preocupante a segurança alimentar e ao meio ambiente (GUAN et al., 2019; KHAN et
49 al., 2017). No entanto, a utilização de fertilizantes e pesticidas tornaram-se mais
50 frequentes no agronegócio, fornecendo elementos essenciais para o aumento da
51 produtividade agrícola, e como forma de prevenção e combate as pragas que prejudicam
52 o cultivo (DELCOUR; SPANOGHE; UYTTENDAELE, 2015; KHAN et al., 2017).

53 Atualmente, vivemos em um período onde a poluição ambiental é constante e a
54 introdução de contaminantes químicos, como pesticidas e metais pesados é cada vez
55 mais frequente (BÓKONY et al., 2017). O Brasil lidera o Ranking de um dos maiores
56 produtores agropecuários do mundo e no uso de insumos, fertilizantes e agrotóxicos,
57 sendo considerado o maior consumidor desses químicos (PIGNATI et al., 2017). Apesar
58 dos benefícios do consumo desses produtos, o uso indiscriminado ou em excesso
59 causam forte impacto ambiental, contaminando o ar, a água e o solo, podendo afetar a
60 composição da biodiversidade local e de seus entornos, bem como a interação entre os

[AP6] Comentário: Rever palavra no contexto

61 organismos (FILHO-MEIRELLES, 2014; PERES; MOREIRA, 2003; RIBEIRO et al.,
62 2007).

63 Os principais metais pesados encontrados em solo e/ou corpos d'água
64 contaminados são: prata (Ag), cromo (Cr), cobre (Cu), mercúrio (Hg), cádmio (Cd),
65 níquel (Ni), chumbo (Pb), selênio (Se) e zinco (Zn) (COSTA et al., 2021). Sendo assim,
66 as fontes do acúmulo desses metais no ambiente podem ser provenientes de formas
67 naturais (intemperismo) ou antrópicas, sendo a aplicação de fertilizantes uma das
68 principais fontes antropogênicas de contaminação (SHI et al., 2018). Esta, por sua vez,
69 fornece elementos nutricionais às plantas, dentre eles, destacam-se os elementos
70 primários, secundários e micronutrientes (OTERO et al., 2005). As plantas dependem
71 de alguns micronutrientes para seu desenvolvimento, dentre eles, o cobre (Cu), cobalto
72 (Co), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e o níquel (Ni), todavia, dependendo de
73 suas concentrações podem ser potencialmente tóxicos. Ainda, outros, como o mercúrio
74 (Hg), chumbo (Pb), cádmio (Cd) e cromo (Cr), estes são considerados altamente tóxicos
75 mesmo em concentrações mínimas.

76 A disponibilidade desses elementos no solo está intimamente relacionada com a
77 absorção de metais através do cultivo, e a transferência de metais pesados do solo para
78 as plantas está correlacionada com as concentrações de metais disponíveis no próprio
79 solo (WEI et al., 2020). Sendo assim, a saúde humana e de diversos animais podem ser
80 afetadas por esses elementos, seja diretamente através consumo de produtos agrícolas
81 contaminados (vegetais e/ou grãos) ou indiretamente ao consumir animais que possam
82 ter ingerido produtos agrícolas através da cadeia alimentar (ZHANG et al., 2018).

83 Sabe-se que os metais pesados podem se acumular facilmente na camada
84 superficial do solo, principalmente por meios de reações de adsorção com vários
85 componentes do solo, incluindo matéria orgânica, (hidro) óxidos, metálicos e minerais
86 de argila (HUANG et al., 2019). Além disso, a mobilidade, solubilidade e a capacidade
87 de transferência desses elementos são facilmente influenciadas por processos naturais,
88 como a erosão do solo induzida pelas chuvas, ou até mesmo pelas raízes das plantas,
89 permitindo a ampliação da área de contaminação (HUANG et al., 2019; NAVEEN;
90 SUMALATHA; MALIK, 2018).

91 Portanto, o uso indiscriminado e de longo prazo de fertilizantes pode afetar
92 diretamente e solo e afluentes (KARAOUZAS et al., 2021; KHAN et al., 2017). Alguns
93 estudos evidenciam as consequências do consumo de produtos contaminados por metais
94 pesados e seu potencial acumulativo, podendo exercer efeitos adversos à saúde humana,
95 seja pela ingestão, inalação ou via dérmica de exposição (REHMAN et al., 2018).
96 Ainda, é possível visualizar os efeitos acumulativos dos metais, como mercúrio, cobre,
97 prata, arsênio, chumbo, cromo e cádmio em microorganismos, causando mudanças
98 fisiológicas e estruturais (MOHITE; KOLI; PATIL, 2018).

[AP7] Comentário: Acho que seria interessante dizer primeiro que uma das fontes de contaminação são os fertilizantes. Seria bom citar os fertilizantes mais utilizados, mostrar a estrutura química. No resumo vc cita que eles possuem metal pesado na composição, mas em nenhum momento você fala essa composição.

99 Alguns estudos relatam o impacto do acúmulo de metais em peixes e o estudo
100 destes como bioindicadores, sejam em cativeiro ou em condições naturais (LIMA et al.,
101 2015; ŁUCZYŃSKA; PASZCZYK; ŁUCZYŃSKI, 2018; YILMAZ, 2020). Além
102 disso, estudos apontam o acúmulo de metais nos diversos tecidos do organismo, bem
103 como seus efeitos tóxicos, como alterações fisiológicas e morfológicas, influenciando
104 na taxa de sobrevivência, desenvolvimento e crescimento (AFSHAN et al., 2014;
105 JAVED; USMANI, 2019).

[AP8] Comentário: O parágrafo pode ser modificado para ficar mais claro.....

Talvez dizer que uma das formas de avaliar a contaminação ambiental é utilizar bioindicadores do ambiente, solo, água e animais para avaliar a concentração de metais. E depois dizer que as alterações induzidas pelos metais pode ser avaliada por estudos de sobrevivência, desenvolvimento e crescimento...

106 Nesse sentido, uma análise de especiação elementar permite obter um
107 conhecimento mais amplo, além de compreender a mobilidade e a biodisponibilidade
108 das frações de metais e, portanto, fundamentar uma decisão mais racional sobre
109 determinados produtos para fins agrícolas, formas de manejo, conservação e
110 preservação da fauna e flora local. Além disso, uma visão aprofundada e abrangente
111 sobre as consequências ecológicas do uso de fertilizantes e/ou persticidas para o
112 aprimoramento da produção agrícola requer estudos básicos e experimentais, que irão
113 gerar dados para o desenvolvimento do uso racional e seguro de tais produtos, e a
114 promover bases para gerar políticas consistentes no combate ao uso indiscriminado
115 destes, e da poluição ambiental.

116 **Objetivos Gerais**

117 Determinar os teores de magnésio (Mg), cálcio (Ca), cádmio (Cd), crômio (Cr),
118 ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), chumbo (Pb) e cobre (Cu) em peixes, no solo e
119 em corpos d'água em áreas de influência agrícola em Cachoeira do Arará, localizado na
120 Ilha do Marajó, Pará

121 **Objetivos Específicos Artigo 1**

- 122 • Examinar a variabilidade das concentrações de metais em diferentes locais sob
123 diferentes proximidades com os campos de cultivo;
- 124 • Determinar os níveis de contaminação;
- 125 • Expor os riscos potenciais da exposição à contaminação por metais.

126 **Resultados Esperados**

127 Os resultados esperados das concentrações para solo, água e peixes serão
128 comparados com os valores referência disponibilizados pela Resolução CONAMA
129 420/2009, Resolução Nº 357/2005, Resolução RDC nº 42/2013 e pelo Decreto nº
130 5.971/65, respectivamente. Os valores orientados servirão de base para inferir possíveis
131 contaminações nos pontos de amostragem. Abaixo pode-se observar a tabela 1 com os
132 valores orientados.

133 **Tabela 1.** Valores orientados para solo (mg/Kg), água (mg/mL) e peixes (mg/Kg).

Amostra	Elementos								
	Mg	Ca	Cd	Cr	Fe	Zn	Mn	Pb	Cu
Solo	-	-	3	150	-	450	-	180	200
Água	-	-	0,005	0,05	0,3	0,09	0,1	0,01	0,005
Peixe	-	-	0,05	0,1	-	50	-	0,3	30

134

135 Após, a realização das determinações das concentrações dos metais, será
136 possível comparar com os valores orientados, com o intuito de estipular a situação da
137 área de estudo. Se as concentrações detectadas superarem os valores referência
138 demonstrados indicará que possivelmente haverá contaminação no local, mas se estes
139 valores forem inferiores aos amostrados indicará que não há contaminação. Sendo
140 assim, será possível realizar uma caracterização dos teores de metais na região,
141 conhecer os possíveis impactos causados pela poluição por metais, além de fornecer
142 informações que poderão auxiliar em estudos futuros sobre conservação e preservação
143 ambiental.

144 **Literatura Citada**

- 145 AFSHAN, S. et al. Effect of different heavy metal pollution on fish. **Research Journal**
146 **of Chemical and Environmental Sciences**, v. 2, n. December, p. 74–79, 2014.
- 147 BÓKONY, V. et al. Chronic exposure to a glyphosate-based herbicide makes toad
148 larvae more toxic. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 284, n.
149 1858, p. 1–7, 2017.
- 150 COSTA, S. et al. Assessment of chromium bio-accumulation potential in sunflowers.
151 **Revista em Agronegocio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 2, 2021.
- 152 DELCOUR, I.; SPANOGHE, P.; UYTTENDAELE, M. Literature review: Impact of
153 climate change on pesticide use. **Food Research International**, v. 68, n. October, p. 7–
154 15, 2015.
- 155 GUAN, Q. et al. Source apportionment of heavy metals in farmland soil of Wuwei,
156 China: Comparison of three receptor models. **Journal of Cleaner Production**, v. 237,
157 p. 117792, 2019.
- 158 HUANG, B. et al. Loss characteristics of Cd in soil aggregates under simulated rainfall
159 conditions. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 313–320, 2019.
- 160 JAVED, M.; USMANI, N. An Overview of the Adverse Effects of Heavy Metal
161 Contamination on Fish Health. **Proceedings of the National Academy of Sciences**
162 **India Section B - Biological Sciences**, v. 89, n. 2, p. 389–403, 2019.
- 163 KARAOUZAS, I. et al. Heavy metal contamination status in Greek surface waters: A
164 review with application and evaluation of pollution indices. **Chemosphere**, v. 263, p.
165 128192, 2021.
- 166 KHAN, M. N. et al. **Fertilizers and their contaminants in soils, surface and**
167 **groundwater**. [s.l.] Elsevier Inc., 2017. v. 1–5
- 168 LIMA, D. P. DE et al. Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do
169 rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 4, p. 405–414, dez.
170 2015.

171 ŁUCZYŃSKA, J.; PASZCZYK, B.; ŁUCZYŃSKI, M. J. Fish as a bioindicator of
172 heavy metals pollution in aquatic ecosystem of Pluszne Lake, Poland, and risk
173 assessment for consumer's health. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 153,
174 n. November 2017, p. 60–67, maio 2018.

175 MOHITE, B. V.; KOLI, S. H.; PATIL, S. V. Heavy Metal Stress and Its Consequences
176 on Exopolysaccharide (EPS)-Producing *Pantoea agglomerans*. **Applied Biochemistry
177 and Biotechnology**, v. 186, n. 1, p. 199–216, 2018.

178 NAVEEN, B. P.; SUMALATHA, J.; MALIK, R. K. A study on contamination of
179 ground and surface water bodies by leachate leakage from a landfill in Bangalore, India.
180 **International Journal of Geo-Engineering**, v. 9, n. 1, 2018.

181 OTERO, N. et al. Fertiliser characterisation: Major, trace and rare earth elements.
182 **Applied Geochemistry**, v. 20, n. 8, p. 1473–1488, 2005.

183 PIGNATI, W. A. et al. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: Uma
184 ferramenta para a vigilância em saúde. **Ciencia e Saude Coletiva**, v. 22, n. 10, p. 3281–
185 3293, 2017.

186 REHMAN, K. et al. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health
187 consequences. **Journal of Cellular Biochemistry**, v. 119, n. 1, p. 157–184, 2018.

188 SHI, T. et al. Inventories of heavy metal inputs and outputs to and from agricultural
189 soils: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 164, n. August, p. 118–
190 124, 2018.

191 WEI, B. et al. The availability and accumulation of heavy metals in greenhouse soils
192 associated with intensive fertilizer application. **International Journal of
193 Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 15, p. 1–13, 2020.

194 YILMAZ, M. Effect of cage culture environment on farmed fish in terms of metal
195 accumulation. **Aquaculture Research**, v. 51, n. 7, p. 3025–3036, 2020.

196 ZHANG, J. et al. Bioavailability and soil-to-crop transfer of heavy metals in farmland
197 soils: A case study in the Pearl River Delta, South China. **Environmental Pollution**, v.
198 235, p. 710–719, 2018.

199

Este capítulo está formatado nas normas da revista Environmental Pollution, disponível em: <<https://www.elsevier.com/journals/environmental-pollution/0269-7491/guide-for-authors>>.

200

Artigo 1

201 CARACTERIZAÇÃO DE MICRONUTRIENTES E METAIS PESADOS EM
202 PEIXES, SOLO E CORPOS D'AGUA EM ÁREAS DE CULTIVO DE ARROZ NA
203 ILHA DO MARAJÓ, PARÁ, BRASIL

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216 **RESUMO**

217 A poluição por metais pesados tem aumentado consideravelmente devido diversas
218 atividades de produção, incluindo a atividade agrícola. Altas concentrações de metais
219 podem afetar diversos ecossistemas, sejam eles terrestres ou aquáticos. Sendo assim, a
220 caracterização de metais em amostras de solo, água e em diferentes organismos vivos
221 são essenciais no monitoramento da poluição ambiental. Nesse estudo, objetivou-se
222 determinar os teores de magnésio, cálcio, cádmio, crômio, ferro, zinco, manganês,
223 chumbo e cobre em peixes, solo e em corpos d'água em áreas de influência agrícola em
224 Cachoeira do Ararí, no Pará. As amostras de solo, água e os peixes foram coletados em
225 dez locais distintos. As amostras de solo foram secas em sala climatizada por 24 horas,
226 maceradas, peneiradas e digeridas a partir da solução extrativa de Mehlich 1 e KCL 1,9
227 mol L⁻¹. As amostras de água foram tratadas com ácido nítrico concentrado e filtradas
228 em papel filtro quantitativo 80g/m². As amostras de peixes foram liofilizadas, pesadas,
229 maceradas, digeridas à 1 mL de HNO₃ concentrado, aquecidas em bloco digestor,
230 diluídas em 25 mL de água deionizada, e filtradas em papel quantitativo 80 g/m². A
231 determinação dos metais foi realizada utilizando-se um espectrômetro de absorção
232 atômica, marca Thermo, modelo ICE3000. Os resultados revelaram concentrações de
233 metais para água e peixes acima dos valores referência em alguns pontos amostrados,
234 enquanto para solo as concentrações estavam dentro dos parâmetros permitidos. As
235 análises da correlação de Spearman e de Cluster, revelaram alta correlação nos pontos
236 amostrais, além de que pontos amostrais mais próximos da rizicultura compartilham
237 maior similaridade comparado a pontos mais distantes. Com isso, tende-se a concluir
238 que, devido à sua similaridade, não se pode afirmar que esteja havendo uma
239 contaminação, mas os resultados encontrados fornecem valores cruciais de teores de
240 diferentes metais para esta região, servindo de base no monitoramento das condições
241 ambientais.

242

243 **PALAVRAS-CHAVE**

244 Metais; Peixe; Poluição; Conservação; Amazônia; Contaminação.

245

246

247

[AP9] Comentário: Como? O que a atividade agrícola tem a ver com metais pesados? Deixar claro!

[AP10] Comentário: Concluir em cima dos resultados apresentados! Tem correlação? Se não tiver, não tem.

248 **ABSTRACT**

249 Pollution by heavy metals has increased considerably due to various production
250 activities, including agricultural activity. High concentrations of metals can affect many
251 ecosystems, whether terrestrial or aquatic. Therefore, the characterization of metals in
252 soil and water samples and different living organisms is essential in monitoring
253 environmental pollution. In this study, the objective was to determine the levels of
254 magnesium, calcium, cadmium, chromium, iron, zinc, manganese, lead, and copper in
255 fish, soil, and water bodies in areas of agricultural influence in Cachoeira do Ararí, Pará.
256 Soil, water, and fish samples were collected in ten different locations. Soil samples were
257 dried in an acclimatized room for 24 hours, macerated, sieved, and digested using
258 Mehlich 1 extractive solution and 1.9 mol L⁻¹ KCL. The water samples were treated
259 with concentrated nitric acid and filtered through 80g/m² quantitative filter paper. The
260 fish samples were freeze-dried, weighed, macerated, digested with 1 mL of concentrated
261 HNO₃, heated in a digester block, diluted in 25 mL of deionized water, and filtered
262 through 80 g/m² quantitative paper. The determination of metals was performed using
263 an atomic absorption spectrometer, Thermo, model ICE3000. The results revealed
264 concentrations of metals for water and fish above the reference values in some sampled
265 points, while for soil the concentrations were within the allowed parameters. The
266 Spearman and Cluster correlation analyses revealed a high correlation in the sampling
267 points, in addition to the fact that sampling points closer to rice cultivation share greater
268 similarity compared to more distant points. With this, one tends to conclude that, due to
269 their similarity, it cannot be said that there is a contamination, but the results found
270 provide crucial values of levels of different metals for this region, serving as a basis for
271 monitoring environmental conditions.

272

273 **KEY WORDS**

274 Metals; Fish; Pollution; Conservation; Amazon; Contamination.

275

276

277

278

279

280 INTRODUÇÃO

281 A poluição por metais pesados tem aumentado consideravelmente devido a
282 indústrias manufatureiras, descarte de resíduos industriais, atividades de mineração, uso
283 contínuo de fertilizantes, pesticidas e herbicidas nas atividades agrícolas atuais, além de
284 outras atividades que exigem uma atenção específica sobre o uso destes por
285 representarem uma ameaça global ao ambiente (Milam et al., 2015; Ogunfowokan et al.,
286 2019). Atualmente, concorda-se que, a concentração de metais pesados no solo, devido
287 a insumos agrícolas, desenvolvimento de tecnologia agrícola moderna e a rápida
288 industrialização estão entre os fatores mais importantes para a poluição ambiental, e isso
289 é refletido em grandes potências, como a China (Milam et al., 2015; Shifaw, 2018).

290 As altas concentrações de metais podem afetar diversos ecossistemas, sejam eles
291 terrestres ou aquáticos, podendo ocasionar solos inférteis, declínio de populações
292 aquáticas, interferência na comunicação dos animais, deformações morfológicas de
293 peixes e anfíbios, interferindo na sua sobrevivência, taxas de crescimento, bem-estar e
294 morfologia externa (Ali et al., 2019). Além disso, a contaminação por metais representa
295 uma ameaça devido à sua toxicidade; bioacumulação e biomagnificações na cadeia
296 alimentar (Milam et al., 2015).

297 A caracterização de metais em amostras de solo, água e em diferentes
298 organismos vivos são essenciais no monitoramento da poluição ambiental (Łuczyńska
299 et al., 2018; Zhou et al., 1997), entretanto, é válido ressaltar que diferentes metais
300 representam diferentes funções biológicas e ecossistêmicas. Metais pesados são aqueles
301 que apresentam alta densidade molecular e são capazes de induzir toxicidade mesmo em
302 baixas concentrações, dentre eles podemos citar, o cádmio (Cd), cromo (Cr) e o chumbo
303 (Pb) (Hejna et al., 2018; Tüzen, 2003; Zoroddu et al., 2019). Outro grupo de metais que
304 são essenciais para manter várias funções bioquímicas e fisiológicas em humanos,
305 animais e plantas, são os micronutrientes como o magnésio (Mg), cálcio (Ca), ferro
306 (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e cobre (Cu), porém, quando presentes em
307 concentrações elevadas podem representar uma potencial fonte de contaminação (Hejna
308 et al., 2018; Tüzen, 2003; Zoroddu et al., 2019).

309 A exemplo, os efeitos da exposição ao Cd em humanos, consistem em danos nos
310 rins, fígado, sistema esquelético, sistema cardiovascular (Genchi et al., 2020; Ju et al.,
311 2017); nos anfíbios causa danos morfológicos e fisiológicos, reduzindo o

[AP11] Comentário: Explicar como a agricultura leva a poluição de metais pesados no ambiente! Citar, dar exemplos, explicar como isso ocorre. Tá muito superficial!

312 desenvolvimento larval e a capacidade de locomoção (Hu et al., 2019; Lu et al., 2021).
313 A contaminação por Cr está associada a câncer no trato respiratório e gástrico, além de
314 causar danos ao DNA e encurtar a sobrevivência de espécies de peixes (Coetzee et al.,
315 2020; Prasad et al., 2021). O Pb pode apresentar efeitos negativos no desenvolvimento
316 de ovos de aves e na motilidade de espermatozoides, existem estudos onde o Pb altera a
317 composição microbiana do solo (Hou et al., 2021; Pain et al., 2019).

318 Embora, o Mg seja um metal essencial para o desenvolvimento de determinados
319 organismos, exposição à altas concentrações podem impactar o crescimento de algumas
320 plantas (Canham et al., 2020). Ainda, existem estudos que relacionam concentrações
321 elevadas de Mg e Ca com a mortalidade por doenças cardiovasculares por consumo
322 constante de água contaminada (Rosborg et al., 2015; Rubenowitz et al., 2000). A alta
323 disponibilidade de Fe no solo pode danificar estruturas celulares de plantas, reduzindo o
324 crescimento e causando danos foliares (Zaitsev et al., 2020). O excesso de Cu e Zn
325 podem levar à alterações nas trocas gasosas, e a redução da eficiência fotoquímica de
326 umas espécies de plantas (Tiecher et al., 2018). Por fim, em um estudo experimental
327 com roedores, a elevada concentração de Mn afetou a reprodução e o comportamento
328 dos indivíduos (Sachse et al., 2019).

329 A região amazônica é território fértil para a atuação de pesquisadores focados
330 em questões ambientais. Nesse contexto, Cachoeira do Arará, município pertencente ao
331 Arquipélago do Marajó, é um exemplo de área onde a realidade socioeconômica gera
332 preocupação, principalmente no que diz respeito às atividades produtivas desenvolvidas
333 e seus impactos no ambiente natural. Segundo o IBGE, até o ano de 2021, o município
334 apresentava uma população estimada de 24.355 habitantes, distribuídos em 3.100,261
335 km² de extensão territorial, sua economia baseia-se principalmente na agropecuária,
336 com foco na criação de bubalinos e bovinos, e na plantação de arroz. A expansão da
337 rizicultura nesta região trouxe algumas discussões em relação aos possíveis impactos
338 sociais e/ou ambientais, desde ao uso indiscriminado de grandes extensões de terra para
339 o cultivo do arroz, como também, desvios de rios, relatos da redução de pescados
340 atribuída a utilização irregular de fertilizantes, além do despejo da água utilizada na
341 irrigação, nos rios; e a ausência de monitoramento e estudos prévios de avaliação
342 ambiental. (Gomes et al., 2018; Huffner and Meirelles, 2016). Nesse sentido,
343 considerando o uso de fertilizantes, pesticidas, inseticidas e outros produtos químicos
344 que auxiliam no desenvolvimento da produção, e que possuem metais em sua

[AP12] Comentário: Acho seria mais interessante iniciar a introdução do este parágrafo e ai você vai desenvolvendo sobre os fertilizantes, pesticidas e inseticidas, depois dos metais pesados e suas consequências para o meio ambiente e organismos.

345 **constituição**, enfatizamos que o uso excessivo desses produtos químicos pode afetar
346 negativamente na qualidade do solo, das águas superficiais e subterrâneas. Além disso,
347 à medida que os metais entram e acumulam no solo e posteriormente são absorvidos
348 pelas plantas, entrando no ciclo ecossistêmico, podem aumentar os riscos de
349 contaminação por metais nos diferentes níveis das cadeias tróficas.

[AP13] Comentário: Em nenhum momento tem exemplos, figuras com estrutura e e composição dos produtos. Ta superficial!

350 Sendo assim, um estudo do **status** de contaminação por metais em solo, água e
351 organismos (peixes) em locais de uso agrícola, fornecerá informações valiosas que
352 poderão demonstrar os possíveis impactos causado pela rizicultura, além de auxiliar em
353 outros estudos ambientais, haja vista a escassez de informações com esta especificidade.
354 Portanto, objetivou-se neste estudo determinar os teores disponíveis de magnésio (Mg),
355 cálcio (Ca), cádmio (Cd), crômio (Cr), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), chumbo
356 (Pb) e cobre (Cu) em peixes, no solo e em corpos d'água em áreas de influência agrícola
357 em Cachoeira do Arará, localizado na Ilha do Marajó, Pará. Ainda, em específico,
358 objetivou-se examinar a variabilidade das concentrações de metais em diferentes locais
359 sob diferentes proximidades com os campos de cultivo, e determinar os níveis de
360 contaminação, além da exposição à contaminação por metais.

[AP14] Comentário: Usar outro termo

361

362 **MATERIAIS E MÉTODOS**

363 **Coleta e preparo das amostras**

364 As amostras de solo, água e os peixes utilizados neste estudo foram coletados
365 em dez pontos distintos, de acordo com a proximidade da rizicultura, no município de
366 Cachoeira do Arará, que se encontra localizado no estado do Pará, a 1°0'16" de latitude
367 Sul e 48°57'27" de longitude a oeste (Figura 1) (Freitas et al., 2022), **abrangendo cerca**
368 **de vinte e oito quilômetros em linha reta ao longo da área de influência direta dos**
369 **campos de arroz.**

[AP15] Comentário: Especificar melhor o local de coleta. Distância entre os pontos, distância da margem e distância do rio. O solo coletado foi da região de arroz? Não fica clara esta informação.

370 **Para a obtenção das amostras de solo, os critérios estabelecidos foram em razão**
371 **do tempo de uso de fertilizantes no local (< 10 anos), sendo necessário coletar amostras**
372 **de aproximadamente quinhentas gramas, entre 0-10 cm de profundidade (EMBRAPA,**
373 **2006).** Após a coleta, as amostras de solo foram secas em sala climatizada por 24 horas,
374 maceradas e peneiradas (peneira de 1 mm) para retirada de resíduos fibrosos, após esses
375 procedimentos iniciou-se o processo de digestão química.

[AP16] Comentário: Ver comentário acima

376 Para as amostras de água, foram obtidas 500 mL a 20 cm de profundidade da
377 superfície das poças d'água e rios de locais distintos para a triplicata, em cada ponto
378 amostral (EMBRAPA, 2006). Posteriormente, foi adicionado 2,5 mL de ácido nítrico
379 (5mL de HNO₃, p.a., para 1L de água) para a digestão dos materiais orgânicos e
380 preservação das amostras, posteriormente, estas foram filtradas em papel filtro
381 quantitativo 80g/m², e por fim, foi realizado a leitura por espectrômetro de absorção
382 atômica (EMBRAPA, 2006).

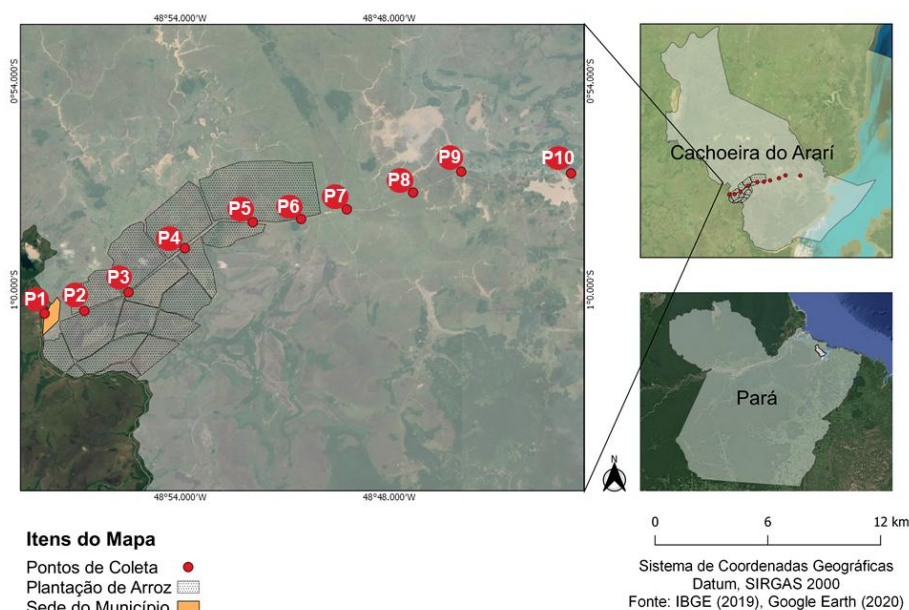
[AP17] Comentário: Qual a distância entre os pontos e da margem terrestre?

383 Os peixes amostrados pertencem às famílias Rivulidae (*Rivulus spp.*),
384 Characidae (*Moenkhausia spp.*) e Cichlidae (*Apistogramma spp.*), todos de hábitos
385 alimentares semelhantes, foram capturados em somente sete pontos amostrais, sendo
386 eles: P3, P4, P5, P6, P8, P9, P10 (Figura 1). Para a coleta foi utilizado uma peneira,
387 passada por todo o perímetro das poças, e após a captura os animais identificados e
388 separados por famílias e/ou gênero, em seguida, foram armazenados em gelo até o
389 início do processo de digestão química.

[AP18] Comentário: Por que foram utilizados estes peixes? Por que não fizeram a mesma quantidade de coleta acima?

[AP19] Comentário: Foram separados por gênero também? Por que?

390 **Figura 1.** Mapa de localização dos pontos de coleta.



391

392 **Digestão das amostras de solo**

393 Para a determinação dos teores de Cd, Cr, Fe, Zn, Mn, Pb e Cu em solo, foi
394 realizado a digestão com a solução extrativa de Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄
395 0,0125 mol L⁻¹), e para os teores de Ca e Mg, a digestão foi realizada com a solução
396 extrativa KCL 1,9 mol L⁻¹ (Teixeira et al., 2017). Inicialmente, foi pesado 5mg do solo
397 peneirado, transferido para um Erlenmeyer de 125 mL, adicionado 50 mL da solução
398 extrativa, e colocado por 5 min no agitador horizontal. Em seguida, as mostras foram
399 deixadas em repouso por 12 horas para decantar o precipitado, e então foi realizada a
400 filtragem em papel quantitativo 80g/m², por fim, a determinação dos metais foi
401 realizada a partir da solução resultante. A digestão foi realizada em quadruplicata e
402 branco analítico foi preparado pelo mesmo método sem adição da amostra.

403 **Digestão das amostras de tecido animal**

404 O preparo das amostras dos peixes ocorreu conforme o método utilizado por
405 Tüzen (2003), com algumas adaptações. As amostras foram liofilizadas por 24 horas,
406 em seguida, maceradas em almofariz até obtenção da textura de pó, e então pesado 1g
407 de cada amostra, transferido para tubos de ensaio e adicionado 1 mL de HNO₃
408 concentrado. Por fim, as amostras foram aquecidas em bloco digestor à 130 °C por 90
409 min, posteriormente foram diluídas em 25 mL de água deionizada, filtradas em papel
410 quantitativo 80 g/m² e mantidas em tubos de Falcon até a momento da leitura do teor
411 total de metais.

412 **Determinação dos metais**

413 A determinação dos metais foi realizada no Laboratório de Análises Químicas
414 do *Campus* Pesquisa do Museu Paraense Emílio Goeldi utilizando-se um espectrômetro
415 de absorção atômica com chama ar/acetileno, marca Thermo, modelo ICE3000. Os
416 parâmetros instrumentais para a determinação dos elementos estão apresentados na
417 tabela 1.

418 **Tabela 1.** Parâmetros instrumentais utilizados para a determinação de Mg, Ca, Cd, Cr,
419 Fe, Zn, Mn, Pb e Cu.

Elemento	Comprimento de Onda (nm)	Corrente da Lâmpada (%)	Resolução Espectral (nm)
Mg	285,2	75	0,5
Ca	422,7	100	0,5
Cd	228,8	50	0,5
Cr	357,9	100	0,5

Fe	248,3	75	0,2
Zn	213,9	75	0,2
Mn	279,5	75	0,2
Pb	217	75	0,5
Cu	324,8	75	0,5

420 **Análise Estatística**

421 A quantificação dos elementos no solo e na água foram medidos por
422 Espectrometria de Absorção com Chama, e realizou-se a média de três determinações, a
423 partir das quais calculou-se seus respectivos desvios padrão. A validação estatística
424 considerou o limite de detecção (LOD) e o limite de quantificação (LOQ) o qual foram
425 determinados a partir do desvio padrão de dez medidas consecutivas do branco
426 analítico, e ainda, considerou-se a inclinação da respectiva curva de calibração,
427 conferindo um nível de confiança de 99,6%.

428 Posteriormente as análises, os valores foram convertidos para a determinação
429 das concentrações dos metais totais nas amostras originais. Os resultados foram
430 expressos em mg/Kg para sedimento e tecido animal e mg/mL para as amostras de água.

431 Em seguida, os dados obtidos foram submetidos estatisticamente, por meio do RStudio.

[AP20] Comentário:

432 As concentrações de metais detectadas em cada ponto amostral foram avaliadas pelo
433 teste de Spearman com o intuito de medir a intensidade da relação entre os pontos
434 amostrais. O coeficiente da correlação de Spearman é uma medida não-paramétrica

[AP21] Comentário: Para avaliar a correlação!!

435 utilizada para dados com distribuição não normais (Akoglu, 2018). Um valor de p
436 abaixo de 0,05 foi considerado estatisticamente significativo.

437 Ainda, foi desenvolvido a Análise Hierárquica de Cluster que é usada para
438 reconhecer padrões de similaridades nas amostras a partir de um conjunto de dados
439 obtidos, sendo representado por dendrogramas, que pode ser interpretado analisando as
440 distâncias entre os pontos, quanto menor for a distância entre estes, maior a semelhança
441 entre as amostras (Assis et al., 2017; Carmo et al., 2011; Santana and Barroncas, 2007).

[AP22] Comentário: Retirar

442

443 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

444 Para a determinação das concentrações dos elementos analisados, primeiramente
445 realizamos a leitura das soluções padrões de cada elemento, levando em consideração as

446 faixas de calibração demonstradas na tabela 2. Para que uma curva de calibração seja
447 considerada confiável, é necessário que o coeficiente de determinação (R^2) seja no
448 mínimo 0,9800.

449 **Tabela 2.** Coeficientes de determinação das curvas de calibração.

Coeficiente de Determinação									
	Mg	Ca	Cd	Cr	Fe	Zn	Mn	Pb	Cu
R^2	0,9997	0,9996	0,9978	0,9970	0,9998	0,9998	0,9997	0,9996	0,9998

450 De acordo com o coeficiente de determinação (R^2) obtido, observou-se boa
451 linearidade com curvas confiáveis, permitindo a determinação das concentrações dos
452 elementos presentes nas amostras deste estudo.

453 Os teores médios de Mg, Ca, Cd, Cr, Fe, Zn, Mn, Pb e Cu encontrados nas
454 amostras de solo, água e peixes, incluindo os valores referências, estão apresentados na
455 Tabela 3.

456 De modo geral, os teores de metais nas amostras de solo encontram-se abaixo
457 dos parâmetros considerados normais para solos que possuem influência de atividade
458 agrícola, segundo os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009, a qual
459 define os padrões nacionais de qualidade do solo (Brasil, 2009), com exceção do Cd e
460 Cr que ficaram abaixo do limite de detecção. As concentrações para magnésio, cálcio,
461 ferro, zinco, manganês, chumbo e cobre variam espacialmente em todos os pontos
462 amostrais, sendo magnésio, cálcio e ferro os mais abundantes dentre os parâmetros de
463 quantificação nas amostras de solo. Essa variação de concentrações pode ser explicada
464 por diferentes fatores como a erosão, propriedades do solo, uso do solo, e trocas de
465 matéria e energia entre solo e água (Bai et al., 2009; Wang et al., 2017). Ainda, as
466 características geográficas da região podem contribuir para essa variação, pois a região
467 apresenta relevo característico de planície, apresentando baixas elevações o que
468 possibilita a inundação de várias áreas em períodos chuvosos, e o rápido escoamento ou
469 drenagem dos metais para os corpos d'água de drenagem de microbacia (Teles et al.,
470 2018).

471 **Tabela 3.** Níveis médios de magnésio e outros metais nas dez áreas de amostragem em
472 Cachoeira do Ararí. Unidades de concentração: mg/Kg para solo e peixes; mg/mL para
473 água *VR: Valor Referência. *n.d: Não Detectado.

Local	Amostra	Mg	Ca	Cd	Cr	Fe	Zn	Mn	Pb	Cu
P1	Solo	269,90	445,10	n.d	n.d	82,50	1,00	6,40	n.d	0,60
	Água	2,39	1,69	n.d	n.d	5,09	n.d	0,09	n.d	n.d
P2	Solo	166,00	106,40	n.d	n.d	324,50	0,70	0,70	0,70	0,40
	Água	1,65	1,48	n.d	n.d	2,86	n.d	0,06	n.d	n.d
P3	Solo	210,30	147,50	n.d	n.d	24,50	0,50	6,80	0,20	0,10
	Água	0,79	1,39	0,03	n.d	2,79	n.d	0,03	n.d	n.d
	<i>Apistogramma</i>	3154,21	59958,47	13,40	n.d	1371,44	413,58	140,05	n.d	0,16
P4	Solo	182,00	77,90	n.d	n.d	4,50	0,40	0,70	0,10	0,10
	Água	1,93	3,02	n.d	n.d	1,31	n.d	0,03	n.d	n.d
	<i>Rivulidae</i>	1703,00	32569,00	13,00	n.d	367,00	119,00	180,00	n.d	n.d
P5	Solo	1111,60	396,90	n.d	n.d	99,60	0,90	4,80	n.d	0,60
	Água	1,44	2,61	n.d	n.d	2,75	n.d	0,03	n.d	n.d
	<i>Apistogramma</i>	1419,97	32840,80	12,82	n.d	252,67	256,08	183,42	n.d	n.d
P6	Solo	423,40	289,60	n.d	n.d	n.d	2,70	20,10	n.d	0,50
	Água	1,23	0,46	0,03	n.d	1,85	n.d	0,04	n.d	n.d
	<i>Apistogramma</i>	1648,36	39283,20	20,50	n.d	688,46	327,11	130,77	n.d	n.d
P7	Solo	1618,50	704,90	n.d	n.d	66,70	1,50	72,60	n.d	0,20
	Água	14,33	4,88	0,00	n.d	1,33	n.d	0,60	n.d	n.d
P8	Solo	1033,70	345,50	n.d	n.d	664,60	6,70	206,50	n.d	1,10
	Água	6,24	1,61	0,02	n.d	4,64	n.d	0,20	n.d	n.d
	<i>Moenkhausia</i>	847,69	10807,89	3,03	n.d	127,84	88,84	35,14	n.d	n.d
P9	Solo	901,40	269,90	n.d	n.d	91,00	0,90	10,20	n.d	0,40
	Água	3,96	3,62	0,02	n.d	n.d	n.d	0,13	n.d	n.d
	<i>Moenkhausia</i>	1863,20	29449,99	n.d	n.d	458,39	276,87	55,09	n.d	n.d
P10	Solo	356,80	231,40	n.d	n.d	2,30	2,00	4,00	n.d	0,10
	Água	2,70	2,92	n.d	n.d	3,56	n.d	0,04	n.d	n.d
	<i>Apistogramma</i>	12001,77	323423,85	348,77	n.d	6416,40	1613,75	1088,11	n.d	n.d
VR Solo		-	-	3	150	-	450	-	180	200
VR Água		-	-	0,005	0,05	0,3	0,09	0,1	0,01	0,005
VR Peixe		-	-	0,05	0,10	-	50,00	-	0,30	30,00

474 Nas amostras de água nota-se (em negrito) que algumas concentrações estão
475 acima dos valores referência estabelecidos pela Resolução Nº 357/2005 do Conselho
476 Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 2005). Os resultados revelam concentrações de
477 cádmio, ferro e manganês acima dos valores referência (VR) em diferentes pontos
478 amostrais. Porém, para cromo, zinco, chumbo e cobre, bem como em alguns pontos
479 amostrais para cádmio, os valores estavam abaixo do limite de detecção. Os metais em
480 água podem sofrer influência do pH, matéria orgânica, lixiviação, e ainda reagirem com
481 outros metais se presente no ambiente gerando novas formas de íons, e isso pode
482 influenciar nos resultados de detecção, além disso, o sistema de irrigação da planta
483 por inundação facilita a mobilidade desses elementos podendo se acumular em diversas
484 áreas com diferentes concentrações (Gomes et al., 2021; Reis et al., 2020) .

485 Os teores de magnésio e cálcio estão associados a capacidade de fertilidade e
486 acidez do solo, concentrações baixas de Mg e Ca o solo tende a ser mais ácido, e teores
487 elevados o solo tende a ser mais fértil (Prezotti, 2013). A presença destes está
488 relacionada a fatores, como localização geográfica, tipo de rocha, pH, natureza da água
489 de drenagem, teor de argila, capacidade de troca de cátions, intemperismo, condições
490 climáticas, tipo de planta cultivada, processo de fertilização do solo e ao fenômeno de
491 lixiviação (Guarda et al., 2021; Jodral-Segado et al., 2006; Mortvedt and Cox, 1985).
492 Para este estudo, as concentrações determinadas de Mg e Ca apresentaram variações
493 para cada ponto amostral, tanto para amostras de solo quanto para amostras de água e
494 peixes e isto pode estar relacionado com alguns dos fatores citados acima, no entanto,
495 esses dados não puderam ser comparados com valores referências devido à escassez
496 destas informações. Ainda, as coletas das amostras foram realizadas somente em um
497 período do ano, o chuvoso, não sendo possível comparar com dados desta região para
498 períodos secos (menos chuvoso).

499 Para as amostras de peixes, coletados apenas nos pontos P3, P4, P5, P6, P8, P9 e
500 P10, pode-se inferir que os teores de cádmio e zinco estavam acima do permitido
501 segundo a Resolução RDC nº 42/2013 e do Decreto nº 5.971/65, enquanto os demais
502 metais como magnésio, cálcio, ferro e manganês não puderam ser comparados com
503 valores referência. Para cromo e chumbo não foi possível detectar valores mínimos em
504 todos os pontos, como também para cobre com exceção do ponto P3, e o teor detectado
505 estava dentro dos limites estabelecidos (Brasil, 2013, 1965)

506 A contaminação por cádmio em solo provocou alterações no
507 metabolismo de plantas, reduzindo a homeostase celular e o crescimento do vegetal no
508 estudo de Sharma and Kumar (2020). No estudo de Lu et al., (2021), a exposição de
509 girinos de *R. zhenhaiensis* a determinadas concentrações de cádmio demonstrou
510 alterações na taxa de sobrevivência e desenvolvimento, bioacumulação hepática,
511 estresse oxidativo e dano genotóxico. Em nosso estudo, não foram detectados teores de
512 cádmio em solo, somente para amostras de água nos pontos P3, P6, P8, P9, estas, por
513 sua vez, estavam acima do valor referência, como também para algumas amostras de
514 peixes. No estudo de Luo et al., (2020), o qual investigou a contaminação por cádmio
515 em sistema de cocultura de peixes em ambiente de cultivo de arroz, foi detectada altas
516 concentrações de cádmio em peixes da espécie *Cyprinus carpio* estando correlacionado
517 com teores de cádmio também detectados em solo.

518 Apesar de não ter sido detectada em nosso estudo, o cromo é uma ameaça
519 ambiental significativa quando presente no ambiente, sejam aquáticos ou terrestres.
520 Prasad et al. (2021) descreve em seu estudo de revisão diversas consequências em razão
521 da contaminação por Cr, como, efeitos acumulativos nos tecidos humanos e animais,
522 sendo tóxicos e prejudiciais à saúde, como também, afeta negativamente as atividades
523 metabólicas das plantas, prejudicando o crescimento e o rendimento das culturas.

524 O ferro apesar de ter sua importância na manutenção dos sistemas biológicos, o
525 excesso deste metal provocou danos fisiológicos, disfunção respiratória, peroxidação
526 lipídica e redução de varredores de radicais em espécimes de *Labeo rohita* em um
527 estudo realizado por Singh et al., (2019). Nas amostras de solo deste estudo o teor de
528 ferro se manteve variável para cada ponto amostral, no entanto, não pode ser comparado
529 com valores referência para solo desta região, porém, para as amostras de água foi o que
530 mais se destacou, apresentando concentrações superiores aos dos demais metais, e
531 acima do valor referência. Esses resultados corroboram com os encontrados por Guarda
532 et al. (2020) e Suster et al. (2020). Nas amostras de peixes os valores de ferro variaram
533 entre 6416,40-127,84 (mg/Kg), seguindo uma abundância de: Apistogramma>
534 Characidae>Rivulidae. O acúmulo de Fe em peixes pode ser atribuído a grandes
535 quantidades presentes na água, dependendo da forma existente de íon pode haver reação
536 produzindo hidróxido férrico que torna o corpo d'água deficiente em oxigênio como
537 resultado de sua acidez, gerando condição anaeróbica resultando em morte de peixes
538 como destaca Hikal (2020).

[AP23] Comentário: Você não explica e não sugere como os valores de cádmio estavam mais elevados nos peixes, já que não foi identificado cádmio no solo e água! Explicar e sugerir!

539 Laurent et al. (2020) associa a disponibilidade de zinco em solo à fertilização
540 orgânica contínua em regiões agrícolas. Bhatti et al. (2018) identificaram níveis
541 excessivos de Zn com grande potencial genotóxico em áreas de uso agrícola. A presença
542 de concentrações elevadas de zinco no solo pode provocar a redução da diversidade
543 bacteriana no solo, como descrito por Moffett et al. (2003). Em nosso estudo os teores
544 de zinco para as amostras de solo estavam de acordo com o permitido, estando dentro
545 dos parâmetros de qualidade para solo, e para água não foi possível detectar
546 concentrações mínimas. Por outro lado, para amostras de peixes, em todos os pontos
547 amostrais, os teores detectados de zinco ultrapassaram os valores referência, e isso pode
548 estar relacionado a ocorrência natural ou às atividades econômicas predominantes na
549 região, como a pecuária e agricultura, e nesta, há a aplicação de fertilizantes que são
550 levados até os rios pela água das chuvas.

[AP24] Comentário: Novamente os produtos.... Qual a correlação destes com zinco?

551 O teor de manganês no solo variou em todos os pontos amostrais, concentrando
552 maiores médias em pontos distantes da plantação de arroz, semelhante aos teores
553 quantificados nas amostras de água, o qual apresentou maiores concentrações nos
554 pontos P7, P8 e P9, estes, por sua vez, estavam no limite máximo permitido quando
555 comparado ao valor referência, com exceção do P7 que estava acima do limite desejado.
556 O teor médio de manganês em peixes variou entre 1088,11-35,14 (mg/Kg) que de
557 acordo com Olmedo et al. (2013) são aceitáveis para consumo, a ingestão desses
558 produtos não excederia os valores de referência de toxicidade internacional. Em um
559 estudo realizado em *Oreochromis niloticus* por exposição a determinadas concentrações
560 de Mn, Coppo et al. (2018) observaram bioacumulação no tecido animal, além de danos
561 significativos ao material genético e anormalidades nucleares.

562 Metais pesados podem ter efeitos acumulativos em diversos organismos,
563 podendo impactar a cadeia alimentar, servindo de ponte de contaminação entre animais
564 e seres humanos (Ćwieląg-Drabek et al., 2020; Okoye et al., 2021; Sonone et al., 2020).
565 O chumbo, por exemplo, pode interferir na resposta imune de peixes, além de
566 interromper ações de neurotransmissores como descreve Lee et al. (2019). Na revisão de
567 Boskabady et al. (2018) a exposição de seres humanos ao chumbo pode causar doenças
568 respiratórias, neurológicas, digestivas, cardiovasculares e urinárias. Nossos dados
569 demonstram a presença de chumbo somente em amostras de solo nos pontos P2, P3, e
570 P4, dentro da área da rizicultura, e tais concentrações estavam dentro dos limites

571 permitidos, enquanto em amostras de água e peixes não foi possível detectar
572 concentrações mínimas.

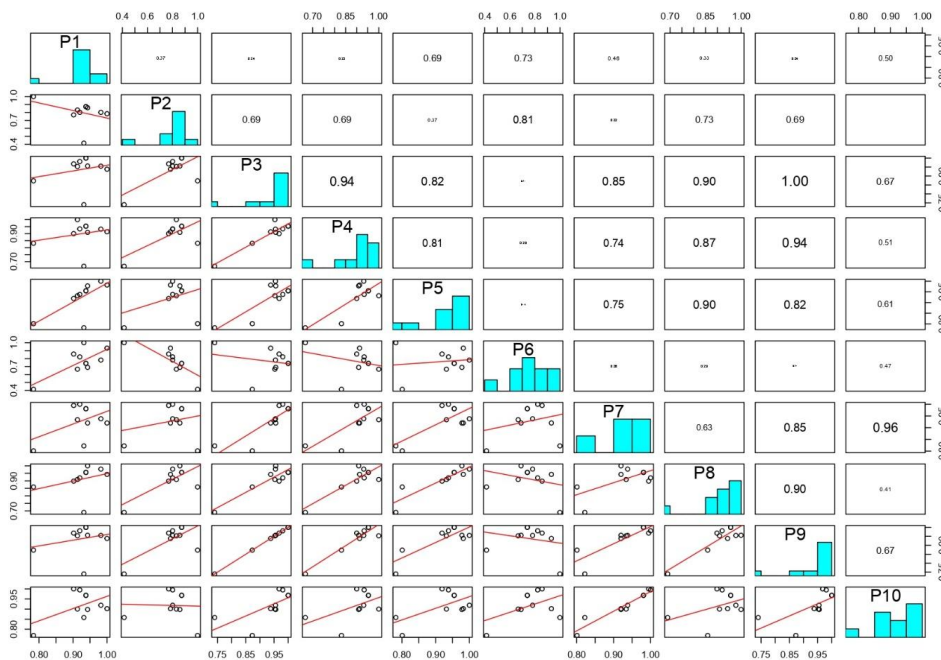
573 Por fim, concentrações de cobre foram detectadas somente em amostras de solo,
574 e no ponto P3 em uma amostra de peixe, todas estavam dentro dos parâmetros
575 adequados quando comparado ao valor referência. Segundo Chao et al. (2021), a
576 exposição a concentrações elevadas de cobre causou eclosão retardada, batimentos
577 cardíacos anormais e deformação de embrião de *Danio rerio*.

578 Os peixes coletados nesse estudo possuem hábitos alimentares semelhantes, e
579 estão presentes em regiões com características de ambiente hostil. As espécies do
580 gênero *Rivulus* exibem habilidades notáveis para sobreviver fora da água por longos
581 períodos (Furness et al., 2018). A família Characidae é a mais diversa dentre os peixes
582 de água doce, o gênero *Moenkhausia* possui espécies de hábitos generalistas que
583 permitem a sobrevivência em ambientes efêmeros (Oliveira et al., 2021). O gênero
584 *Apistogramma* (Cichlidae) é amplamente distribuído, comumente utilizado como peixe
585 ornamental, é facilmente encontrado e de fácil reprodução, sendo muito utilizado em
586 estudos ambientais, além disso, a presença destes pode ser um indicativo de ambiente
587 poluído (Agorku et al., 2009; Baroiller and D’Cotta, 2001; Caroline Mendes et al.,
588 2021; Gonzalez et al., 2002; Rana, 2021).

589 Os valores de rho de Spearman correlacionando os pontos amostrais são
590 representados na Figura 2. Diante dessa análise, observou-se alta correlação em quase
591 todos os pontos amostrais, isso pode estar relacionada às características do solo, clima
592 da região e a escolha dos pontos amostrais. Os solos são em grande parte distróficos,
593 além disso, a região é composta por campos com poucas manchas de florestas, áreas de
594 uso agrícola e para agropecuária. No período chuvoso (dezembro a junho) ocorre o
595 alagamento dos campos facilitando a mobilidade dos metais para outros locais. **Ainda, o**
596 **limite entre cada ponto amostral foi de aproximadamente 2 Km, o que influencia na alta**
597 **correlação entre os pontos de coleta devido à proximidade.**

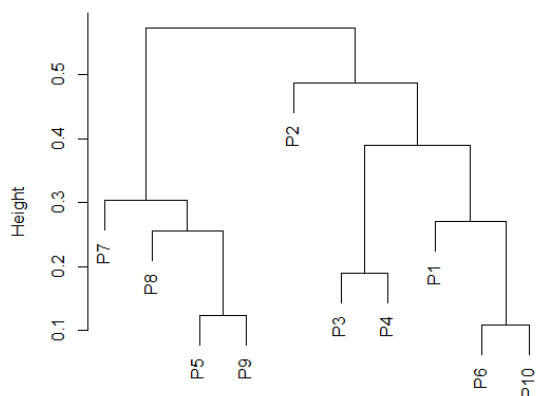
[AP25] Comentário: Informação precisa estar na metodologia.

598 **Figura 2.** Valores da rho de Spearman da correlação de metal-área nos dez
 599 pontos de amostragem em Cachoeira do Ararí. Nível de significância <0,05.



600 De acordo com as informações obtidas das concentrações de cada elemento
 601 químico para cada ponto amostral, obteve-se o dendrograma (Figura 3),

602 **Figura 3.** Dendrograma das análises de concentrações dos metais das amostras de solo
 603 de dez pontos amostrais.



604

605 No dendrograma é possível observar a formação de dois principais grupos. O
606 grupo 1 contendo P5, P7, P8 e P9, cujo pontos encontram-se mais distantes do epicentro
607 da rizicultura, região de maior intensidade agrícola. E o grupo 2, contendo os pontos
608 P1, P2, P3, P4, P6 e P10, estes, por sua vez, encontram-se dentro da área de maior
609 intensidade agrícola, com exceção do P10. O ponto amostral P2 apresentou 48% de
610 similaridade com os pontos P1, P3, P4, P6 e P10, bem como P1 apresentou 27% de
611 similaridade para P6 e P10, e P3 e P4 apresentaram 19% de similaridade entre si.

[AP26] Comentário: Muito confuso!!!
Olho a figura e não vejo identificação de grupos.... difícil de entender!
Não houve explicação da relevância de similaridade e o que este resultado diz!

612 No grupo 2, observou-se que o ponto P7 apresentou 31% de similaridade com os
613 pontos P5, P8 e P9, posteriormente P8 apresentou 26% de similaridade com P5 e P9, e
614 por fim P5 e P9 apresentaram 12% de similaridade entre si. Os parâmetros que levaram
615 a formação desses agrupamentos foram as concentrações de todos os metais analisados
616 neste estudo que apresentaram valores aproximados em suas médias. Com isso, tende-se
617 a concluir que, devido à sua similaridade, não se pode afirmar que esteja havendo uma
618 contaminação. A princípio, leva-se a crer que as concentrações encontradas são de
619 ocorrência natural. Para que o estudo seja aprofundado, é necessário realizar coletas de
620 amostras de arroz e outros alimentos cultivados na região, assim como, amostras de
621 cabelo dos habitantes, e por fim, a determinação de metais a partir do fracionamento das
622 amostras de peixes.

[AP27] Comentário: Novamente....
Mesmo problema do balão acima.

[AP28] Comentário: Como você
chegou nessa conclusão! Explicar com base
nos dados reais e não suposição.

623 Portanto, conclui-se que todos os locais onde foram coletadas as amostras
624 compartilham alguma semelhança em sua composição química com base nas
625 concentrações dos metais analisados. Os pontos amostrais mais próximos da rizicultura
626 compartilham maior similaridade comparado a pontos amostrais mais distantes,
627 indicando uma possível influência da atividade agrícola, bem como evidenciam a
628 importâncias das características geomorfológicas nos processos de acumulação ou
629 escoamento dos metais.

[AP29] Comentário: Para que? Qual a
relação com seu trabalho?

630 A partir dos resultados obtidos neste estudo, não foi possível detectar a
631 existência de contaminação por metais na área de estudo, sendo sugerido o
632 monitoramento contínuo, em diferentes épocas do ano e outros organismos. Os dados
633 encontrados nesta pesquisa servirão de ponto inicial para monitoramentos futuros, e
634 auxiliarão próximas investigações sobre a influência de áreas com atividade agrícola na
635 contaminação por metais, e nos fornece valores cruciais de teores de diferentes metais
636 para esta região, servindo de base no monitoramento das condições ambientais, além
637 auxiliar outros estudos nessa vertente.

638 **REFERÊNCIAS**

- 639 Agorku, E.S., Voegborlo, R.B., Adimado, A.A., 2009. Total mercury levels in nine species of
640 freshwater fish from two hydroelectric reservoirs and a crater lake in Ghana. *Environ.*
641 *Monit. Assess.* 153, 383–389. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0365-8>
- 642 Akoglu, H., 2018. User's guide to correlation coefficients. *Turkish J. Emerg. Med.* 18, 91–93.
643 <https://doi.org/10.1016/j.tjem.2018.08.001>
- 644 Ali, H., Khan, E., Ilahi, I., 2019. Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous
645 heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *J. Chem.* 2019.
646 <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- 647 Assis, D.M.S., Lima, A.B., Silva, E.R.M., Silva, A.S., Barbosa, I.C.C., 2017. Evaluation of the
648 Physical and Chemical Parameters of the Water Supply in Different Neighborhoods of the
649 Municipality of Salvaterra (Marajó Archipelago, PA). *Rev. Virtual Química* 9, 1825–1839.
650 <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170107>
- 651 Bai, J., Cui, B., Xu, X., Ding, Q., Gao, H., 2009. Heavy Metal Contamination in Riverine Soils
652 Upstream and Downstream of a Hydroelectric Dam on the Lancang River, China. *Environ.*
653 *Eng. Sci.* 26, 941–946. <https://doi.org/10.1089/ees.2008.0136>
- 654 Baroiller, J.F., D'Cotta, H., 2001. Environment and sex determination in farmed fish. *Comp.*
655 *Biochem. Physiol. - C Toxicol. Pharmacol.* 130, 399–409. [https://doi.org/10.1016/S1532-0456\(01\)00267-8](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(01)00267-8)
- 657 Bhatti, S.S., Sambyal, V., Nagpal, A.K., 2018. Analysis of Genotoxicity of Agricultural Soils
658 and Metal (Fe, Mn, and Zn) Accumulation in Crops. *Int. J. Environ. Res.* 12, 439–449.
659 <https://doi.org/10.1007/s41742-018-0103-1>
- 660 Boskabady, M., Marefati, N., Farkhondeh, T., Shakeri, F., Farshbaf, A., Boskabady, M.H.,
661 2018. The effect of environmental lead exposure on human health and the contribution of
662 inflammatory mechanisms, a review. *Environ. Int.* 120, 404–420.
663 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.08.013>
- 664 Brasil, 2013. Resolução - RDC N° 42, de 29 de agosto de 2013. Agência de Vigilância Sanitária
665 1–11.
- 666 Brasil, 2009. Resolução N°420, de 28 de Dezembro De 2009 - Dispõe sobre critérios e valores
667 orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas. *Cons. Nac.*
668 *do Meio Ambient.* 16. <https://doi.org/10.1128/AAC.03728-14>
- 669 Brasil, 2005. Resolução CONAMA N° 357, De 17 De Março De 2005* (Retificada). *Cons.*

670 Nac. do Meio Ambient. 36.

671 Brasil, 1965. Decreto nº 55871, de 26 de março de 1965. Diário Of. da União.

672 Canham, C.A., Cavalieri, O.Y., Setterfield, S.A., Freestone, F.L., Hutley, L.B., 2020. Effect of
673 elevated magnesium sulfate on two riparian tree species potentially impacted by mine site
674 contamination. Sci. Rep. 10, 2880. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59390-9>

675 Carmo, C.A., Abessa, D.M. de S., Neto, J.G.M., 2011. Metais em águas, sedimentos e peixes
676 coletados no estuário de São Vicente-SP, Brasil. O Mundo da Saúde 35, 64–70.
677 <https://doi.org/10.15343/0104-7809.20113516470>

678 Caroline Mendes, G., Samuel Ricioli, L., Guillermo-Ferreira, R., 2021. Behavioral repertoire of
679 biparental care in *Apistogramma trifasciata* (Pisces: Cichlidae). J. Appl. Ichthyol. 37, 957–
680 962. <https://doi.org/10.1111/jai.14226>

681 Chao, S.J., Huang, C.P., Lam, C.C., Hua, L.C., Chang, S.H., Huang, C., 2021. Transformation
682 of copper oxide nanoparticles as affected by ionic strength and its effects on the toxicity
683 and bioaccumulation of copper in zebrafish embryo. Ecotoxicol. Environ. Saf. 225,
684 112759. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112759>

685 Coetzee, J.J., Bansal, N., Chirwa, E.M.N., 2020. Chromium in Environment, Its Toxic Effect
686 from Chromite-Mining and Ferrochrome Industries, and Its Possible Bioremediation.
687 Expo. Heal. 12, 51–62. <https://doi.org/10.1007/s12403-018-0284-z>

688 Coppo, G.C., Passos, L.S., Lopes, T.O.M., Pereira, T.M., Merçon, J., Cabral, D.S., Barbosa,
689 B.V., Caetano, L.S., Kampke, E.H., Chippari-Gomes, A.R., 2018. Genotoxic, biochemical
690 and bioconcentration effects of manganese on *Oreochromis niloticus* (Cichlidae).
691 Ecotoxicology 27, 1150–1160. <https://doi.org/10.1007/s10646-018-1970-0>

692 Ćwieląg-Drabek, M., Piekut, A., Gut, K., Grabowski, M., 2020. Risk of cadmium, lead and zinc
693 exposure from consumption of vegetables produced in areas with mining and smelting
694 past. Sci. Rep. 10, 3363. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60386-8>

695 EMBRAPA, 2006. Manual de Procedimentos de Coleta de Amostras em Áreas Agrícolas para
696 Análise da Qualidade Ambiental : Solo , Água e Sedimentos Coleta de Amostras em Áreas
697 Agrícolas para Análise da Qualidade Ambiental : Solo , Água e Sedimentos, 1st ed.
698 Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna.

699 Freitas, E.P.B. de, Craveiro, R.S., Assunção, J.M.B. de, Lopes, Y.M. dos S., Modesto Junior,
700 E.N., Souza, R.F. de, 2022. Caracterização físico-química em méis de abelhas produzidos
701 no município de Cachoeira do Arari – Ilha de Marajó, Pará. Res. Soc. Dev. 11,
702 e34811326532. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i3.26532>

- 703 Furness, A.I., Reznick, D.N., Tatarenkov, A., Avise, J.C., 2018. The evolution of diapause in
704 Rivulus (Laimosemion). *Zool. J. Linn. Soc.* 184, 773–790.
705 <https://doi.org/10.5061/dryad.8p8t27d>
- 706 Genchi, G., Sinicropi, M.S., Lauria, G., Carocci, A., Catalano, A., 2020. The effects of
707 cadmium toxicity. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 1–24.
708 <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>
- 709 Gomes, D.L., As, W.S., Cruz, N.D., Araújo, R. de O., Otaviano, J.J.S., Oliveira, J.D. de, 2021.
710 Influência dos resíduos sólidos urbanos na distribuição, mobilidade e biodisponibilidade
711 de metais potencialmente tóxicos no solo do lixão de Imperatriz-MA / Influence of urban
712 solid waste in the distribution, mobility, and bioavailability of potentially. *Brazilian J.*
713 *Dev.* 7, 48065–48088. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n5-282>
- 714 Gomes, D.L., Cruz, B.E.V. da, Calvi, M., Reis, C.C. dos, 2018. EXPANSÃO DO
715 AGRONEGÓCIO E CONFLITOS SOCIOAMBIENTAIS NA AMAZÔNIA
716 MARAJÓARA/Expansion of agribusiness and socio-environmental conflicts in the
717 Brazilian Amazon. *Rev. NERA* 21, 135–161. <https://doi.org/10.47946/rnera.v0i42.5690>
- 718 Gonzalez, R.J., Wilson, R.W., Wood, C.M., Patrick, M.L., Val, A.L., 2002. Diverse strategies
719 for ion regulation in fish collected from the ion-poor, acidic Rio Negro. *Physiol. Biochem.*
720 *Zool.* 75, 37–47. <https://doi.org/10.1086/339216>
- 721 Guarda, P.M., Gualberto, L. da S., Mendes, D.B., Guarda, E.A., da Silva, J.E.C., 2020. Analysis
722 of triazines, triazoles, and benzimidazoles used as pesticides in different environmental
723 compartments of the Formoso River and their influence on biodiversity in Tocantins. *J.*
724 *Environ. Sci. Heal. Part B* 55, 783–793. <https://doi.org/10.1080/03601234.2020.1784667>
- 725 Guarda, P.M., Rambo, M.K.D., Jaconi, A., Guarda, E.A., Silva, J.E.C. da, 2021. Concentrações
726 de metais tóxicos em água, solo e sedimento do rio Formoso, TO. *Res. Soc. Dev.* 10,
727 e177101421897. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21897>
- 728 Hejna, M., Gottardo, D., Baldi, A., Dell’Orto, V., Cheli, F., Zaninelli, M., Rossi, L., 2018.
729 Review: Nutritional ecology of heavy metals. *Animal* 12, 2156–2170.
730 <https://doi.org/10.1017/S175173111700355X>
- 731 Hikal, W., 2020. Determination of Iron in some Fish Species from the Red Sea , Duba Coast ,
732 Tabuk , Saudi Arabia.
- 733 Hou, X., Han, H., Tigabu, M., Li, Q., Li, Z., Zhu, C., Huang, S., Cai, L., Liu, A., 2021. Lead
734 contamination alters enzyme activities and microbial composition in the rhizosphere soil
735 of the hyperaccumulator *Pogonatherum crinitum*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 207, 111308.

- 736 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111308>
- 737 Hu, Y.C., Tang, Y., Chen, Z.Q., Chen, J.Y., Ding, G.H., 2019. Evaluation of the sensitivity of
738 *Microhyala fissipes* tadpoles to aqueous cadmium. *Ecotoxicology* 28, 1150–1159.
739 <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02117-y>
- 740 Huffner, J.G.P., Meirelles, R.S., 2016. Os Reflexos Socioeconômicos e Ambientais do Avanço
741 da Rizicultura no Município de Cachoeira do Arari - PA. *Geografares* 113–127.
742 <https://doi.org/10.7147/geo21.11644>
- 743 Jodral-Segado, A.M., Navarro-Alarcón, M., De La Serrana, H.L.-G., López-Martínez, M.C.,
744 2006. Calcium and Magnesium Levels in Agricultural Soil and Sewage Sludge in an
745 Industrial Area from Southeastern Spain: Relationship with Plant (*Saccharum officinarum*
746) Disposition. *Soil Sediment Contam. An Int. J.* 15, 367–377.
747 <https://doi.org/10.1080/15320380600751736>
- 748 Ju, H., Arumugam, P., Lee, J., Song, J.M., 2017. Impact of Environmental Pollutant Cadmium
749 on the Establishment of a Cancer Stem Cell Population in Breast and Hepatic Cancer. *ACS*
750 *Omega* 2, 563–572. <https://doi.org/10.1021/acsomega.6b00181>
- 751 Laurent, C., Bravin, M.N., Crouzet, O., Pelosi, C., Tillard, E., Lecomte, P., Lamy, I., 2020.
752 Increased soil pH and dissolved organic matter after a decade of organic fertilizer
753 application mitigates copper and zinc availability despite contamination. *Sci. Total*
754 *Environ.* 709, 135927. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135927>
- 755 Lee, J.W., Choi, H., Hwang, U.K., Kang, J.C., Kang, Y.J., Kim, K. II, Kim, J.H., 2019. Toxic
756 effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune
757 responses in fish: A review. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 68, 101–108.
758 <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.010>
- 759 Lu, H., Hu, Y., Kang, C., Meng, Q., Lin, Z., 2021. Cadmium-induced toxicity to amphibian
760 tadpoles might be exacerbated by alkaline not acidic pH level. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*
761 218, 112288. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112288>
- 762 Łuczyńska, J., Paszczyk, B., Łuczyński, M.J., 2018. Fish as a bioindicator of heavy metals
763 pollution in aquatic ecosystem of Pluszne Lake, Poland, and risk assessment for
764 consumer's health. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 153, 60–67.
765 <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.01.057>
- 766 Luo, W., Wang, D., Xu, Z., Liao, G., Chen, D., Huang, X., Wang, Y., Yang, S., Zhao, L.,
767 Huang, H., Li, Y., Wei, W., Long, Y., Du, Z., 2020. Effects of cadmium pollution on the
768 safety of rice and fish in a rice-fish coculture system. *Environ. Int.* 143, 105898.

769 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105898>

770 Milam, C., Dimas, B., Jang, A., Eneche, J., 2015. Determination of Some Heavy Metals in Vital
771 Organs of Cows and Bulls at Jimeta Abattoir, Yola, Adamawa State, Nigeria. *Am. Chem.*
772 *Sci. J.* 8, 1–7. <https://doi.org/10.9734/acscj/2015/17012>

773 Moffett, B.F., Nicholson, F.A., Uwakwe, N.C., Chambers, B.J., Harris, J., Hill, T.C.J., 2003.
774 Zinc contamination decreases the bacterial diversity of agricultural soil. *FEMS Microbiol.*
775 *Ecol.* 43, 13–19. [https://doi.org/10.1016/S0168-6496\(02\)00448-8](https://doi.org/10.1016/S0168-6496(02)00448-8)

776 Mortvedt, J.J., Cox, F.R., 1985. Production, Marketing, and Use of Calcium, Magnesium, and
777 Micronutrient Fertilizers, in: *Fertilizer Technology and Use*. Soil Science Society of
778 America, Madison, WI, USA, pp. 455–481.
779 <https://doi.org/10.2136/1985.fertilizertechnology.c12>

780 Ogunfowokan, A.O., Adekunle, A.S., Oyebode, B.A., Oyekunle, J.A.O., Komolafe, A.O.,
781 Omoniyi-Esan, G.O., 2019. Determination of Heavy Metals in Urine of Patients and
782 Tissue of Corpses by Atomic Absorption Spectroscopy. *Chem. Africa* 2, 699–712.
783 <https://doi.org/10.1007/s42250-019-00073-y>

784 Okoye, E.A., Bocca, B., Ruggieri, F., Ezejiolor, A.N., Nwaogazie, I.L., Domingo, J.L., Rovira,
785 J., Frazzoli, C., Orisakwe, O.E., 2021. Metal pollution of soil, plants, feed and food in the
786 Niger Delta, Nigeria: Health risk assessment through meat and fish consumption. *Environ.*
787 *Res.* 198, 111273. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111273>

788 Oliveira, E., Ignácio, A.R.A., Lázaro, W.L., Muniz, C.C., Campos, D.V.S., Costa, J.V.M.,
789 Ribeiro, T., Santos-Filho, M., 2021. Feeding aspects of knodus heteresthes (Eigenmann,
790 1908) and moenkhausia lepidura (kner, 1858) (characiformes, characidae) in the teles pires
791 and juruena rivers, southern amazon. *Brazilian J. Biol.* 81, 343–350.
792 <https://doi.org/10.1590/1519-6984.226136>

793 Olmedo, P., Hernández, A.F., Pla, A., Femia, P., Navas-Acien, A., Gil, F., 2013. Determination
794 of essential elements (copper, manganese, selenium and zinc) in fish and shellfish samples.
795 Risk and nutritional assessment and mercury-selenium balance. *Food Chem. Toxicol.* 62,
796 299–307. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.08.076>

797 Pain, D.J., Mateo, R., Green, R.E., 2019. Effects of lead from ammunition on birds and other
798 wildlife: A review and update. *Ambio* 48, 935–953. [https://doi.org/10.1007/s13280-019-](https://doi.org/10.1007/s13280-019-01159-0)
799 [01159-0](https://doi.org/10.1007/s13280-019-01159-0)

800 Prasad, S., Yadav, K.K., Kumar, S., Gupta, N., Cabral-Pinto, M.M.S., Rezanian, S., Radwan, N.,
801 Alam, J., 2021. Chromium contamination and effect on environmental health and its

802 remediation: A sustainable approaches. *J. Environ. Manage.* 285, 112174.
803 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112174>

804 Prezotti, L.C., 2013. Guia de interpretação de análise de solo e foliar. Incaper, Vitória, ES.

805 Rana, S., 2021. Review Article Toxicity Induced by Engineered Nanoparticles in Fresh Water.
806 *EC Pharmacol. Toxicol.* 1–22.

807 Reis, M.M., Santos, L.D.T., Silva, A.J. da, Pinho, G.P. de, Rocha, L.M., 2020. Heavy metals in
808 soils and forage grasses irrigated with Vieira River water, Montes Claros, Brazil,
809 contaminated with sewage wastewater. *Ambient. e Agua - An Interdiscip. J. Appl. Sci.* 15,
810 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2440>

811 Rosborg, I., Kozisek, F., Precautions, S., 2015. Drinking Water Minerals and Mineral Balance,
812 Drinking Water Minerals and Mineral Balance. Springer International Publishing, Cham.
813 <https://doi.org/10.1007/978-3-319-09593-6>

814 Rubenowitz, E., Molin, I., Axelsson, G., Rylander, R., 2000. Magnesium in drinking water in
815 relation to morbidity and mortality from acute myocardial infarction. *Epidemiology* 11,
816 416–421. <https://doi.org/10.1097/00001648-200007000-00009>

817 Sachse, B., Kolbaum, A.E., Ziegenhagen, R., Andres, S., Berg, K., Dusemund, B., Hirsch-Ernst,
818 K.I., Kappenstein, O., Müller, F., Röhl, C., Lindtner, O., Lampen, A., Schäfer, B., 2019.
819 Dietary Manganese Exposure in the Adult Population in Germany—What Does it Mean in
820 Relation to Health Risks? *Mol. Nutr. Food Res.* 63, 1–29.
821 <https://doi.org/10.1002/mnfr.201900065>

822 Santana, G.P., Barroncas, P.S.R., 2007. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e
823 Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus (AM). *Acta Amaz.* 37, 111–118.
824 <https://doi.org/10.1590/S0044-59672007000100013>

825 Sharma, M., Kumar, P., 2020. Biochemical alteration of mustard grown under tin contaminated
826 soil. *Plant Arch.* 20, 3487–3492.

827 Shifaw, E., 2018. Review of heavy metals pollution in China in agricultural and urban soils. *J.*
828 *Heal. Pollut.* 8. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-8.18.180607>

829 Singh, M., Barman, A.S., Devi, A.L., Devi, A.G., Pandey, P.K., 2019. Iron mediated
830 hematological, oxidative and histological alterations in freshwater fish *Labeo rohita*.
831 *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 170, 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.129>

832 Sonone, S.S., Jadhav, S. V, Sankhla, M.S., Kumar, R., 2020. Water Contamination by Heavy
833 Metals and their Toxic Effect on Aquaculture and Human Health through Food Chain.

834 Lett. Appl. NanoBioScience 10, 2148–2166.
835 <https://doi.org/10.33263/LIANBS102.21482166>

836 Suster, D., Michal, Michael, Huang, H., Ronen, S., Springborn, S., Debiec-Rychter, M.,
837 Billings, S.D., Goldblum, J.R., Rubin, B.P., Michal, Michal, Suster, S., Mackinnon, A.C.,
838 2020. Myxoinflammatory fibroblastic sarcoma: an immunohistochemical and molecular
839 genetic study of 73 cases. *Mod. Pathol.* 33, 2520–2533. [https://doi.org/10.1038/s41379-](https://doi.org/10.1038/s41379-020-0580-6)
840 [020-0580-6](https://doi.org/10.1038/s41379-020-0580-6)

841 Teixeira, P.C., Donagemma, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G., 2017. Manual de métodos de
842 análise de solo, 3rd ed. Embrapa, Brasília.

843 Teles, E., Marin, R.A., Guimarães, U.S., 2018. Dinâmica da Paisagem no Território Quilombola
844 entre Rio Arari e Rio Gurupá, Ilha de Marajó, PA. *União Geomorfologia Bras. - Lsle* 7, 1–
845 12.

846 Tiecher, T.L., Soriani, H.H., Tiecher, T., Ceretta, C.A., Nicoloso, F.T., Tarouco, C.P., Clasen,
847 B.E., De Conti, L., Tassinari, A., Melo, G.W.B., Brunetto, G., 2018. The interaction of
848 high copper and zinc doses in acid soil changes the physiological state and development of
849 the root system in young grapevines (*Vitis vinifera*). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 148, 985–
850 994. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.074>

851 Tüzen, M., 2003. Determination of heavy metals in soil, mushroom and plant samples by atomic
852 absorption spectrometry. *Microchem. J.* 74, 289–297. [https://doi.org/10.1016/S0026-](https://doi.org/10.1016/S0026-265X(03)00035-3)
853 [265X\(03\)00035-3](https://doi.org/10.1016/S0026-265X(03)00035-3)

854 Wang, Y., Wen, A., Guo, J., Shi, Z., Yan, D., 2017. Spatial distribution, sources and ecological
855 risk assessment of heavy metals in Shenjia River watershed of the Three Gorges Reservoir
856 Area. *J. Mt. Sci.* 14, 325–335. <https://doi.org/10.1007/s11629-016-3838-1>

857 Zaitsev, G.A., Dubrovina, O.A., Shainurov, R.I., 2020. Iron and manganese migration in “soil–
858 plant” system in Scots pine stands in conditions of contamination by the steel plant’s
859 emissions. *Sci. Rep.* 10, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68114-y>

860 Zhou, C.Y., Wong, M.K., Koh, L.L., Wee, Y.C., 1997. Soil lead and other metal levels in
861 industrial, residential and nature reserve areas in Singapore. *Environ. Monit. Assess.*
862 <https://doi.org/10.1023/A:1005712519751>

863 Zoroddu, M.A., Aaseth, J., Crisponi, G., Medici, S., Peana, M., Nurchi, V.M., 2019. The
864 essential metals for humans: a brief overview. *J. Inorg. Biochem.* 195, 120–129.
865 <https://doi.org/10.1016/j.jinorgbio.2019.03.013>