

PEIXES

Relatório parcial das análises de bioacumulação de metais e metalóides em peixes

PEIXES

Relatório parcial das análises de bioacumulação de metais e metalóides em peixes

Aline Tavares Santos
Bernardo do Vale Beirão
Flavia Freire de Siqueira
Isabela Sobrinho Martins
Janaína Uchoa Medeiros Agra
Joana Vilar Ramalho
Junia Maria Lousada
Kele Rocha Firmiano
Matheus Martins Mendes
Mônica de Cássia Souza Campos
Regina Paula Benedetto de Carvalho

Data de publicação : 22/07/2022

Instituto Guaicuy, 2022

Qualquer divulgação ao público externo deve ser avaliada pela Coordenação de Estudos Ambientais do Instituto Guaicuy.

159

INSTITUTO GUAICUY. Peixes : Relatório parcial das análises de bioacumulação de metais e metalóides em peixes. Belo Horizonte: Guaicuy, 2022.

27 p. il;

Inclui bibliografia.

1. Qualidade das águas. 2. Contaminação por metais. 3. Impacto da poluição na Bacia do Paraopeba. 5. Minas Gerais. I Título. II Instituto Guaicuy. III. Assessoria Técnica aos Atingidos por Barragem.

CDU 504+577.6

CDD 577.6

Coordenação de Estudos Ambientais

Catálogo na fonte elaborada por Pétalah Lotti

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
INTRODUÇÃO	8
METODOLOGIA	9
RESULTADOS	13
CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- FIGURA 1 - Percentual de amostras alteradas de tecido muscular e hepático 13**
- FIGURA 2 - Número total de amostras analisadas e alteradas por região, para cada tipo de tecido analisado 14**
- FIGURA 3 - Média da concentração de metais e metalóides nas amostras de tecidos de peixes, nas regiões 4 e 5. Valores são expressos em escala logarítmica. 15**
- FIGURA 4 - Média das concentrações de metais e metalóides em tecido hepático dos peixes nas regiões 4 e 5. Valores expressos em escala logarítmica. 18**
- FIGURA 5 - Média das concentrações de metais e metalóides em tecido muscular dos peixes nas regiões 4 e 5. 19**

SUMÁRIO EXECUTIVO

Entre março de 2021 e maio de 2022 o Instituto Guaicuy realizou coletas de espécimes da ictiofauna em pontos localizados nas regiões 4 (Curvelo e Pompéu) e 5 (municípios no entorno do reservatório de Três Marias). O objetivo principal dessas coletas foi avaliar as concentrações de metais e metalóides em amostras de tecidos hepático e muscular. Alguns desses metais, como Ferro, Alumínio e Manganês, são abundantes na composição do rejeito liberado com o rompimento da barragem da Vale S/A sobre o rio Paraopeba. Foram analisadas 396 amostras provenientes da Região 4 e 1209 da Região 5. Foi observada uma grande porcentagem (Região 4 - 56% e Região 5 - 51%) de amostras com a presença dos metais tóxicos (Arsênio, Cádmio, Chumbo e Mercúrio) acima dos valores permitidos para consumo humano, definidos pela legislação brasileira (Anvisa RDC 722/22; Instrução Normativa 160/22). Observou-se ainda altas concentrações de metais e metalóides em espécies de interesse comercial para consumo humano, como Traíra (*Hoplias malabaricus*), Pacamã (*Cephalosilurus fowleri*), Curimba (*Prochilodus lineatus*), Piau três pintas (*Leporinus piau*) e Mandi amarelo (*Pimelodus maculatus*). Amostras de tecido hepático apresentaram maior porcentagem de contaminação em relação àquelas de tecido muscular. Além disso, observou-se outros metais e metalóides nos tecidos muscular e hepático, como Alumínio, Ferro, Manganês e Zinco. Como dito anteriormente, estes metais e metalóides estão presentes na composição do rejeito liberado. Dessa forma, como os peixes são potencialmente bioacumuladores, esses metais e metalóides podem chegar até o topo das cadeias alimentares afetando, inclusive, a saúde humana.

RECOMENDAÇÕES

Diante do exposto, o Instituto Guaicuy, cumprindo sua função de assessorar as pessoas e comunidades atingidas, traz as seguintes recomendações e sugestões:

Solicitar ao órgão ou instituição responsável, por exemplo a ANVISA, que ateste e oriente a população sobre a segurança para o consumo dos peixes;

Desenvolver ações de políticas públicas para assistir a população ribeirinha, pescadores artesanais e profissionais enquanto houver restrições de pesca ou insegurança quanto aos níveis de contaminantes acima dos estabelecidos pela legislação;

Articular com as Secretarias Municipais e Estaduais de Saúde ações para acolher as demandas de possíveis sintomas relacionados ao consumo de peixes contaminados;

Desenvolver estudos sobre o risco à saúde da população causado pela exposição direta aos metais presentes nos peixes;

Relacionar os principais impactos socioeconômicos e ambientais para a cadeia produtiva da pesca nas regiões 4 e 5 e mensurar a média de pessoas impactadas por setor e município;

Dar celeridade às ações de assistência às pessoas ligadas à cadeia produtiva da pesca, considerando a importância da região 5 como polo produtor de pescado;

Levantar dados sobre hábitos de consumo e pesca da população e assim direcionar ações de monitoramento, mitigação e reparação;

Criar e disponibilizar banco de dados agregando informações oriundas de diferentes instituições (p. ex.: Comitê Técnico Científico - CTC-UFMG, Vale S/A, consultorias, Assessorias Técnicas Independentes), bem como levantamento de dados secundários relativos ao período pré-rompimento para subsidiar os estudos de risco à saúde humana e risco ecológico;

Dar continuidade às ações de monitoramento e análise de bioacumulação em tecidos de peixes em toda a bacia do rio Paraopeba, incluindo o reservatório da UHE Três Marias para subsidiar ações de reparação;

Expandir o escopo de analitos, incluído, dentre outros, análises de metilmercúrio;

Dar prioridade de análise e monitoramento para as principais espécies de peixes consumidas pela população.

APRESENTAÇÃO

Os estudos do meio biótico realizados pelo Instituto Guaicuy visam compor um diagnóstico ambiental para avaliar potenciais danos gerados pelo rompimento da barragem B-I, e o soterramento das barragens B-IV e B-IVA da Mina Córrego do Feijão da mineradora Vale S/A, localizadas no município de Brumadinho (MG) (de agora em diante, por simplicidade: rompimento) às comunidades aquáticas que habitam ecossistemas lóticos e lênticos ao longo da bacia hidrográfica do rio Paraopeba, localizadas nas regiões atingidas pelo rompimento e que são assessoradas pelo Instituto Guaicuy. Dentro desse objetivo, um dos aspectos avaliados foi a coleta de peixes (ictiofauna) para análises de metais e metalóides como potenciais contaminantes relacionados aos rejeitos liberados pelo rompimento. O diagnóstico visa subsidiar tomadas de decisões, que considerem um conjunto de aspectos dentre os quais se destacam: (i) a resposta das comunidades aquáticas aos potenciais danos decorrentes do rompimento, (ii) o atendimento de demandas específicas das comunidades humanas atingidas, e (iii) os padrões de comportamento das espécies aquáticas analisadas frente aos regimentos legais e normativos.

Constitui objeto do presente relatório a interpretação dos resultados das análises de bioacumulação realizadas em amostras de tecido hepático e muscular de peixes capturados em trechos do rio Paraopeba e nos reservatórios de Retiro Baixo e de Três Marias, compreendidos nas regiões 4 e 5 atendidas pelo Instituto Guaicuy.

INTRODUÇÃO

Os ecossistemas de água doce, como rios e reservatórios, estão entre os mais ameaçados pelos impactos das atividades antrópicas (Reid et al., 2018). Estas, muitas vezes, aumentam a entrada de materiais orgânicos e inorgânicos nas águas e nos sedimentos, causando a poluição dos ambientes aquáticos (Hadlich et al., 2018). A mineração é uma das atividades antrópicas responsáveis por essa entrada de poluentes na água, principalmente metais e metalóides, que provêm do beneficiamento e outros processos realizados para extração de minério (Queiroz et al., 2018). Os contaminantes liberados diminuem a qualidade da água e dos sedimentos, com impactos na biodiversidade e na produtividade dos ecossistemas (Lotze et al., 2006). Além disso, a contaminação da água impacta a economia local e a saúde das pessoas que utilizam essa água e que dependem da pesca para sobrevivência (Guaicuy, 2022). Portanto, é extremamente necessário investigar esse processo, e em que magnitude ele afeta a qualidade dos recursos naturais.

Em janeiro de 2019, a bacia do rio Paraopeba foi severamente impactada pelo rompimento. Estima-se que 12 milhões de m³ de rejeitos foram liberados e afetaram severamente os ecossistemas ribeirinhos e ciliares ao longo do rio Paraopeba (SOS Mata Atlântica, 2019). Com a passagem dos rejeitos pelo leito do rio, sedimentos contendo altas concentrações de alguns elementos químicos tendem a ser carregados de montante para jusante, e a se depositar nas margens e no fundo conforme o fluxo de água se torna menos turbulento. A deposição de algumas dessas substâncias adsortas aos sedimentos gera preocupações ecológicas quanto aos riscos à integridade dos ecossistemas aquáticos (Queiroz et al., 2018; Richard et al., 2020).

Estudos realizados após o rompimento, mostraram que peixes expostos à água e sedimentos contendo material vindo do rejeito de

minério acumularam metais e metalóides, como Ferro, Alumínio e Manganês em seus tecidos (Vergílio et al 2020). Considerando o grande consumo e importância econômica desse recurso para populações ribeirinhas do rio Paraopeba e populações da região do reservatório de Três Marias, o monitoramento de metais e metalóides nos tecidos de peixes ao longo da bacia tem importância fundamental para o mapeamento de potenciais danos causados à biodiversidade aquática e à saúde humana. A legislação brasileira estabelece os limites máximos tolerados de diversos contaminantes em alimentos (ANVISA, RDC 722/2022; Instrução Normativa 160 de 2022). No caso de pescados, há valores orientadores para Arsênio, Cádmio, Chumbo e Mercúrio. No entanto, para outros metais e metalóides, como Ferro, Alumínio e Manganês, não há qualquer valor limite estabelecido. Apesar dessa lacuna, é necessário avaliar a concentração de outros contaminantes, uma vez que são potencialmente nocivos à saúde humana.

METODOLOGIA

Coleta e biometria dos indivíduos em campo

As campanhas de coleta dos peixes foram realizadas pela empresa Ictiológica Consultoria Ambiental¹. As coletas ocorreram entre os meses de março de 2021 e maio de 2022. Para melhor entendimento, neste relatório, "coleta" corresponde ao emprego de diversas metodologias de captura, em um determinado ponto, em um período de tempo. Se faz necessária essa explicação, pois os pontos de coleta não puderam ser amostrados de forma repetida e equivalente ao longo do tempo.

Foram realizadas 84 coletas em nove campanhas, distribuídos da seguinte forma: i) 38 coletas realizadas em 19 pontos selecionados pela

¹ A empresa não presta qualquer tipo de serviço à Vale na bacia do rio Paraopeba.

equipe técnica do Instituto Guaicuy, em quatro campanhas; ii) três campanhas, totalizando 18 pontos de coletas solicitados e indicados pelas pessoas atingidas; iii) uma campanha para coleta em 14 pisciculturas na região 5 em janeiro de 2022; iv) uma campanha complementar (maio de 2022) onde foram realizadas 14 coletas considerando tanto pontos de demanda técnica, quanto por demanda da comunidade.

Para a coleta de **peixes de vida livre**, foram realizados métodos de coleta por meio de buscas ativa e passiva de captura de peixes. Como métodos de busca ativa foram utilizados o peneirão, (0,60 X 0,80m e malha de 0,5 cm), arrasto (10 x 2m e malha de 0,5 cm). Como busca passiva, foram utilizadas redes de emalhar de 20 metros de comprimento e abertura de malha variadas (3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 18 e 20 cm entre nós opostos). A pluralidade de uso dos métodos de amostragem visou contemplar a elevada diversidade de peixes da bacia que ocupam diferentes habitats e nichos ecológicos no ambiente. As técnicas utilizadas foram padronizadas a fim de possibilitar a comparação entre os diferentes pontos amostrais (CETESB, 2011). O material coletado foi identificado prioritariamente com base no livro “Manual de identificação de peixes da região de Três Marias: com chaves de identificação para os peixes da bacia do São Francisco” (Britski, 1986) sendo todos os exemplares identificados ao nível de espécie.

Após as capturas dos **peixes de vida livre**, foi realizada a biometria (peso e comprimento corporal). Alguns indivíduos, foram destinados à dissecação para coleta de tecido muscular e hepático e outros exemplares foram selecionados como testemunhos para serem tombados na coleção ictiológica do Instituto de Biociências, da Unesp *Campus Botucatu* (SP).

A seleção de **pisciculturas** a serem analisadas se deu por demandas das pessoas, e com prévia autorização dos responsáveis pelos cultivos. Em cada empreendimento, os indivíduos foram

coletados pelos próprios funcionários, sendo entregues para a empresa terceirizada para retirada dos tecidos.

Retirada de amostras de tecidos hepático e muscular

Para a retirada dos tecidos hepáticos e musculares em **peixes de vida livre**, foram selecionados até cinco indivíduos de três guildas tróficas: i) topo de cadeia, inclui os piscívoros e carnívoros; ii) meio de cadeia, inclui espécies de guildas variadas, como herbívoros e onívoros; iii) base de cadeia, inclui os detritívoros.

A coleta de tecido hepático e muscular de **peixes cultivados** foi exclusivamente direcionada para as tilápias (*Oreochromis niloticus*), uma vez que é a principal espécie cultivada e de importância econômica nas regiões. Nestas pisciculturas, os proprietários cederam 2 indivíduos.

Todos os animais foram anestesiados e eutanasiados seguindo protocolos estabelecidos pelo órgão fiscalizador (CFBio nº 301/2012, Portaria do CFBio nº 140/2012. Após esses procedimentos, foi realizada a dissecação com material cirúrgico para acesso à cavidade abdominal, onde foram retiradas as amostras de tecido hepático e muscular desses indivíduos (CETESB, 2011). Os tecidos foram acondicionados individualmente em frascos de polietileno e receberam uma numeração de acordo com a matriz biótica, onde constam informações como: espécie, ponto de captura, dados biométricos, entre outros. Estas amostras foram mantidas em *freezer* para posterior envio ao laboratório que realizou as análises. Para o transporte, as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor e mantidas sob refrigeração com gelo seco até chegarem ao laboratório. Todas as amostras de tecidos foram enviadas ao laboratório Tommasi Ambiental², o responsável pelas análises de metais e metalóides nos tecidos dos peixes.

² Acreditado pela CGRE na norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 e não presta qualquer serviço à Vale S/A na bacia do rio Paraopeba.

Análises laboratoriais de concentrações de metais e metalóides

As análises foram executadas pela técnica de determinação de elementos-traço por espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) em tecido animal, com os limites de quantificação pré definidos para cada um dos 13 metais e metalóides analisados cujas concentrações foram expressas em mg/kg: Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Níquel, Selênio e Zinco. Tais minerais foram definidos considerando a possibilidade de apresentarem alguma relação com o rejeito oriundo do rompimento (Vergílio et al., 2020).

Para verificar se a amostra estava dentro dos padrões legais para o consumo humano, utilizou-se como referência os padrões estabelecidos pela ANVISA, em sua Instrução Normativa 160 de 2022, que estabelece valores limites para identificação de contaminação de amostras para quatro metais e metalóides, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Valores máximos de concentração de metais e metalóides em amostras de peixes

Metal	Concentração (mg/kg)
Arsênio	1,00
Cádmio	0,05
Chumbo	0,30
Mercúrio (predadores)	1,00
Mercúrio (não predadores)	0,50

Fonte: Anvisa, Instrução Normativa 160 de 2022.

Análises estatísticas

Análises de média, mediana, máximo, mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação foram realizadas para cada um dos treze metais e metalóides avaliados nos diferentes tipos de tecidos analisados. Além

disso, foram realizados testes estatísticos para responder algumas perguntas em relação à concentração de metais e metalóides presentes nos dois tipos de tecidos analisados, ou ainda sobre a existência de algum padrão espacial ou temporal nas concentrações avaliadas nas amostras coletadas. Assim, foi aplicado o teste de t-Student ($p \leq 0,05$) para:

- verificar se houve diferenças entre a concentração de metais e metalóides acumulados nos tecidos hepáticos e muscular das espécies coletadas,

- verificar se houve diferenças estatísticas entre as concentrações de metais e metalóides de peixes coletados na região 4 e peixes coletados na região 5,

- verificar se houve variação significativa entre as concentrações de metais e metalóides em amostras coletadas em ambientes lóticos (rio) e lênticos (reservatórios), e por fim,

- verificar a existência de diferenças nas concentrações de metais e metalóides das amostras coletadas nos períodos de seca e chuva.

RESULTADOS

Resultados qualitativos gerais: presença de alterações das concentrações de metais e metalóides nos tecidos de peixes de vida livre

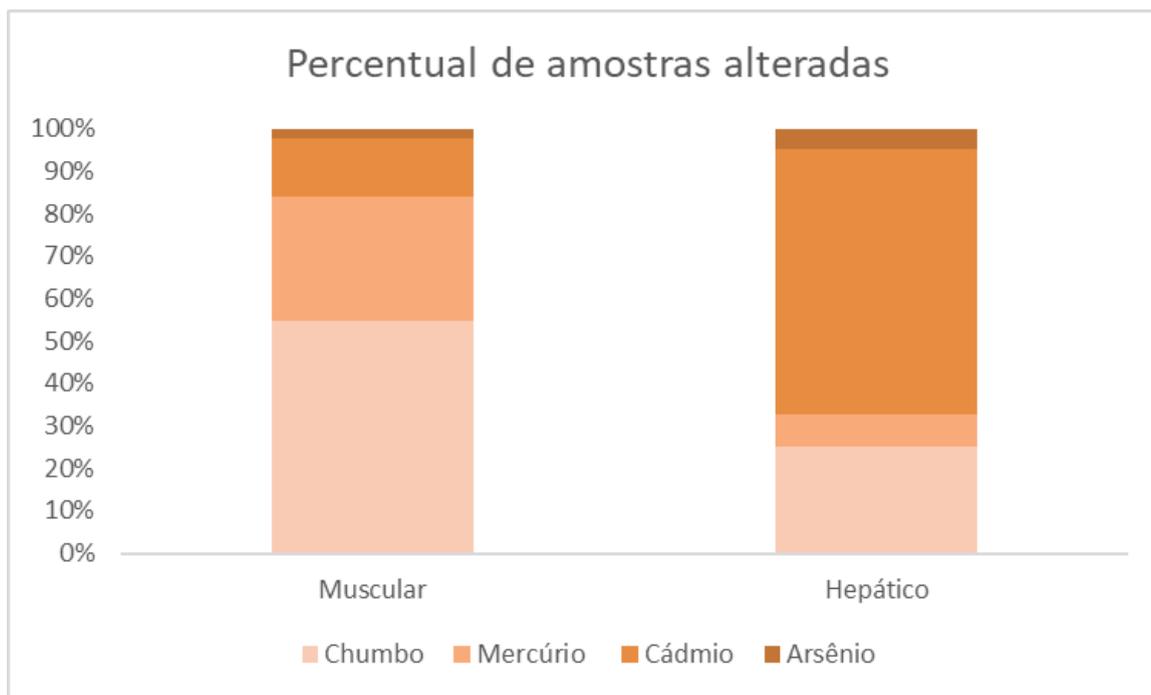
Foram coletadas 1878 amostras de tecidos de diferentes espécies da ictiofauna. Desse total, 1605 foram analisadas, sendo 937 amostras de tecido muscular e 668 amostras de tecido hepático. As 273 amostras restantes não foram analisadas, pois os tecidos hepáticos de indivíduos pequenos não tiveram a quantidade mínima de volume para serem analisados, conforme metodologia utilizada.

Com relação à análise comparativa com os valores legais estabelecidos pela Instrução Normativa da Anvisa, destaca-se que os quatro elementos foram considerados: Arsênio, Cádmio, Chumbo e Mercúrio. Do total de amostras de **tecido muscular** analisadas, 258 (27%) tiveram a presença de pelo menos um contaminante. No caso de **tecido hepático**, 580 amostras (87%) tiveram a presença de pelo menos um contaminante.

A maior porcentagem (analisando-se conjuntamente tecido hepático e muscular) de contaminação se deu pela presença de Cádmio acima dos limites permitidos pela legislação em 598 amostras, seguido por Chumbo, que esteve presente em 388 amostras, Mercúrio em 155 amostras e Arsênio em 48 delas.

Considerando apenas as amostras de tecido muscular, Cádmio esteve presente, acima dos níveis, em 41 delas, Chumbo em 164 amostras, Mercúrio em 88 amostras, arsênio em sete amostras. Já com relação ao tecido hepático, Cádmio ficou acima dos limites em 557 amostras, Chumbo em 224 amostras, Mercúrio 67 alterações e Arsênio 41 amostras. Os resultados em porcentagem podem ser encontrados na Figura 1.

Figura 1 - Percentual de amostras alteradas de tecido muscular e hepático



Fonte: Guaicuy 2022

Foram encontradas 1991 amostras com alterações (74%) de um ou mais metais e metalóides simultaneamente e destas, 840 (52%) estavam alteradas pela presença de um dos quatro metais e metalóides considerados.

Presença de alterações das concentrações de metais e metalóides nos tecidos de peixes de vida livre avaliada por região

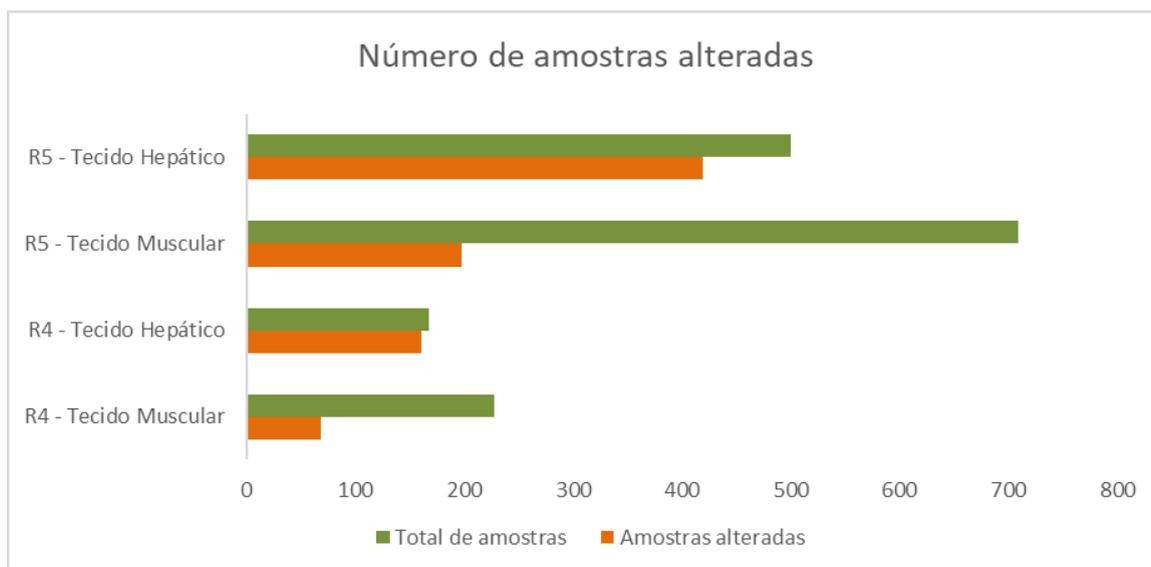
Na **região 4**, foram analisadas 396 amostras, e 221 (56%) delas apresentaram pelo menos uma alteração.

Com relação às amostras de músculo (228 amostras), 68 (30%) apresentaram pelo menos uma alteração. Das 168 amostras de fígado, 161 (96%) apresentaram alterações (Figura 2). Para o metal Cádmio, cinco amostras de tecido muscular e 160 amostras de tecido hepático estiveram alteradas em relação aos valores de referência da legislação. Para o Chumbo, foram verificadas violações em 31 amostras de tecido muscular e 31 de tecido hepático. Mercúrio esteve presente em concentrações acima do preconizado em 26 amostras de tecido

muscular e oito em tecido hepático. Arsênio esteve acima dos limites em seis amostras de tecido muscular e 24 em tecido hepático na região 4.

Na **região 5**, foram analisadas 1209 amostras e 617 (51%) apresentaram pelo menos uma alteração. Do total de 709 amostras de tecido muscular, 198 (28%) apresentaram alterações. Das 500 amostras de fígado, 419 (84%) apresentaram pelo menos uma alteração (Figura 2). Para o metal Cádmio, 36 amostras de tecido muscular e 397 de tecido hepático estiveram alteradas. Para o Chumbo, respectivamente, 133 amostras de tecido muscular e 195 de tecido hepático apresentaram violações. Mercúrio esteve presente em concentrações acima dos limites legais em 62 amostras de tecido muscular e 59 em tecido hepático. Arsênio esteve acima dos limites em uma amostra de tecido muscular e 17 em tecido hepático na região 5.

Figura 2 - Número total de amostras analisadas e alteradas por região, para cada tipo de tecido analisado

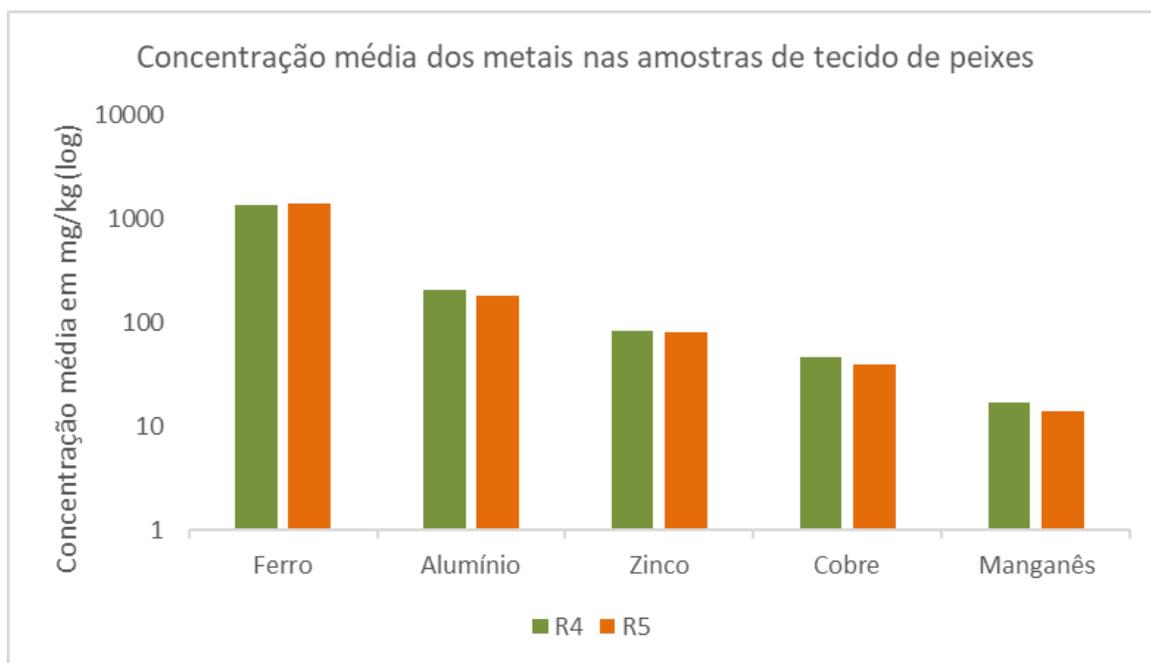


Fonte: Guaicuy 2022

Presença de alterações das concentrações de metais e metalóides nos de peixes de vida livre avaliada por tipo de tecido

Com relação aos 13 metais analisados, Ferro foi o metal que apresentou as maiores médias de concentração em todas as amostras (1348 ± 2850 mg/kg), e também quando analisados em tecidos separadamente (tecido hepático: 2980 ± 3828 mg/Kg; tecido muscular: 184 ± 473 mg/Kg). Seguido pelos metais Alumínio, Zinco, Cobre e Manganês (Figura 3).

Figura 3 - Média da concentração de metais e metalóides nas amostras de tecidos de peixes, nas regiões 4 e 5. Valores são expressos em escala logarítmica.



Fonte: Guaicuy 2022

Os resultados das estatísticas básicas (i.e. média, mediana, máximo, mínimo e desvio padrão e coeficiente de variação) para as concentrações de metais e metalóides por tecido analisado são apresentados nas tabelas 2 e 3, a seguir. Os valores foram analisados considerando o montante total de amostras das regiões 4 e 5 em conjunto.

Tabela 2 - Concentrações (mg/Kg) de metais e metalóides em tecido hepático de peixes de vida livre

	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
Alumínio	177,18	51,70	0,73	14400,00	731,67	412,95
Arsênio	0,30	0,14	0,00	4,03	0,44	146,94
Bário	9,46	0,32	0,05	102,00	28,37	299,86
Cádmio	1,63	0,19	0,00	102,00	9,86	601,86
Chumbo	1,77	0,17	0,00	102,00	11,77	665,11
Cobre	79,08	35,80	0,27	2080,00	177,61	224,59
Cromo	4,97	0,27	0,00	102,00	20,20	405,72
Ferro	2980,36	1890,00	20,30	41400,00	3828,33	128,45
Manganês	11,09	7,18	0,21	215,00	18,52	166,98
Mercúrio	2,34	0,22	0,00	101,00	13,93	595,00
Níquel	12,86	0,12	0,00	102,00	33,30	258,82
Selenio	16,50	9,96	0,42	273,00	22,59	136,87
Zinco	142,32	119,00	7,20	1480,00	112,59	79,11

Fonte: Guaicuy 2022

Tabela 3 - Concentrações (mg/Kg) de metais e metalóides em tecido muscular de peixes de vida livre

	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
Alumínio	196,74	94,00	0,76	6050,00	367,84	186,96
Arsênio	0,25	0,08	0,00	101,00	3,30	1304,34
Bário	4,56	1,21	0,05	102,00	14,84	324,80
Cádmio	42,62	0,02	0,00	102,00	50,25	117,89
Chumbo	1,24	0,11	0,00	102,00	9,94	797,34
Cobre	4,37	0,95	0,02	1440,00	51,59	1178,14
Cromo	1,14	0,33	0,00	101,00	6,71	586,37
Ferro	184,66	87,70	7,66	8470,00	473,84	256,59
Manganês	14,56	5,80	0,19	479,00	30,15	207,06
Mercúrio	1,93	0,14	0,00	101,00	12,65	652,90
Níquel	5,88	0,10	0,00	102,00	23,31	396,13
Selenio	1,46	1,13	0,07	20,70	1,61	110,44
Zinco	39,40	29,50	0,79	327,00	31,66	80,34

Fonte: Guaicuy 2022

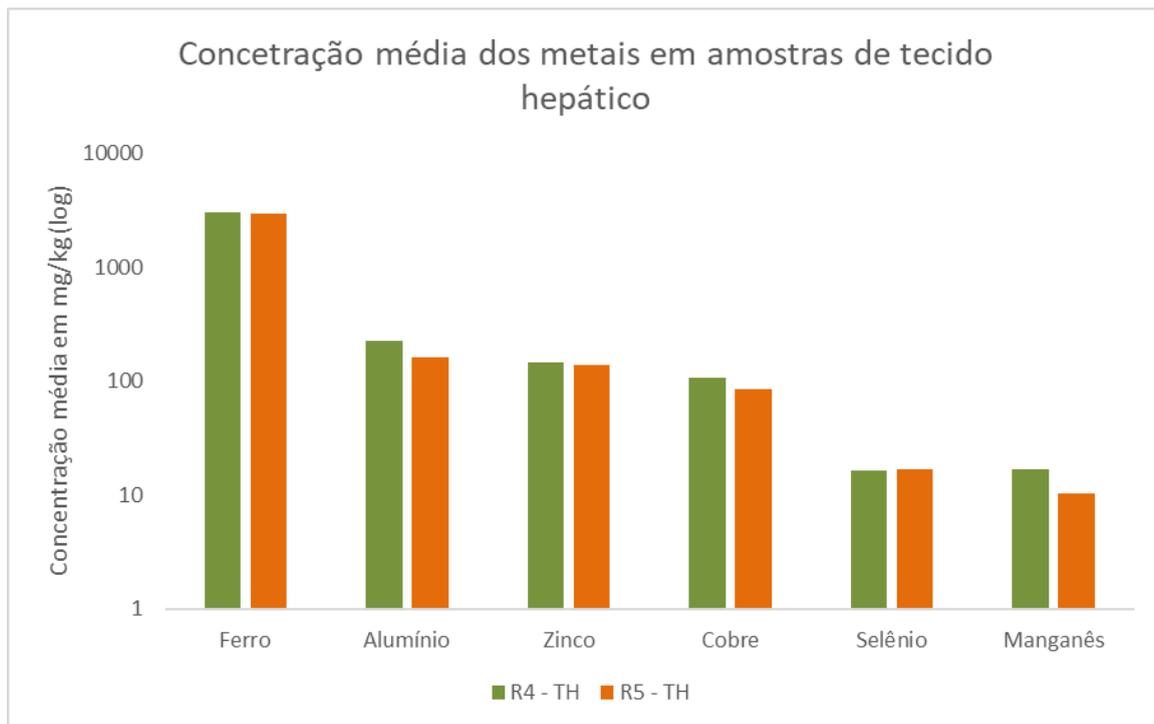
Para as amostras de tecido hepático, as maiores concentrações foram de Ferro, seguida de Alumínio, Zinco e Cobre. Para as amostras de tecido muscular, os metais com as maiores concentrações médias foram o Alumínio, seguido do Ferro, Cádmio, Zinco e Manganês.

Comparativamente, a bioacumulação de metais e metalóides foi significativamente maior nas amostras de tecido hepático para os seguintes elementos: Bário ($p < 0,001$), Cobre ($p < 0,001$), Cromo ($p < 0,001$), Ferro ($p < 0,001$), Níquel ($p < 0,001$), e Zinco ($p < 0,001$). Somente para o Cádmio ($p < 0,001$) e Manganês ($p = 0,008$), as concentrações foram significativamente maiores no tecido muscular. Alumínio, Arsênio, Chumbo, Mercúrio e Selênio não apresentaram diferença significativa.

As amostras de tecido hepático, também apresentaram médias maiores de concentração de Ferro, com o diferencial para Selênio, que

também indicou concentrações elevadas nas amostras de fígado (Figura 4).

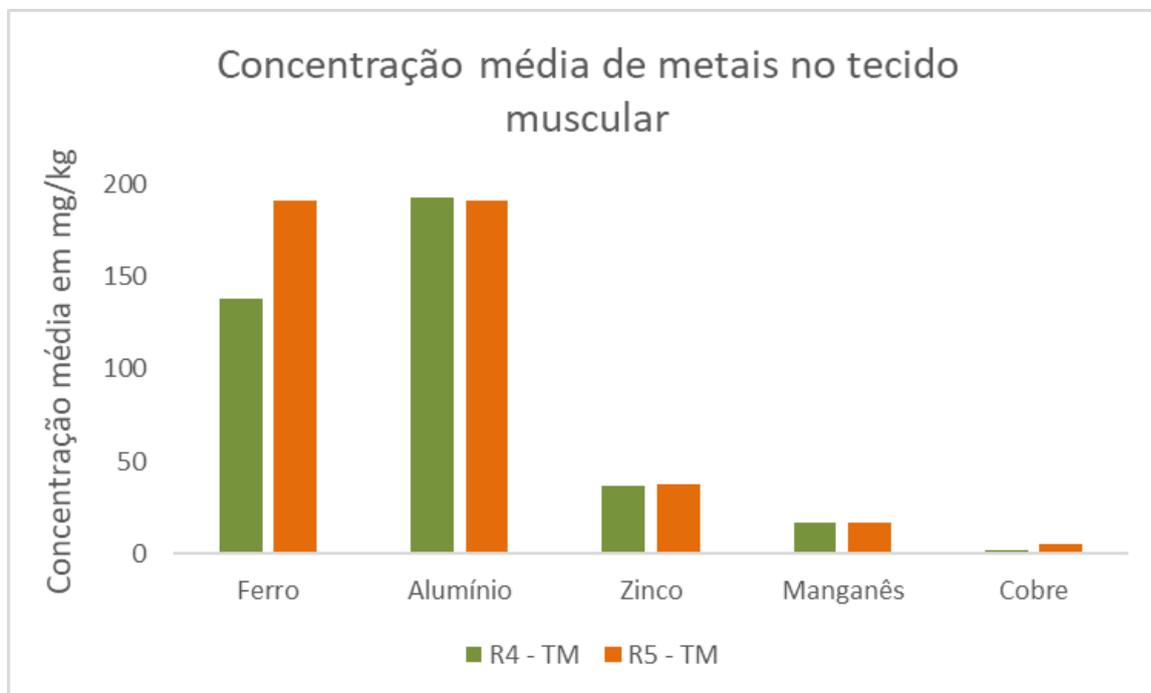
Figura 4 - Média das concentrações de metais e metalóides em tecido hepático dos peixes nas regiões 4 e 5. Valores expressos em escala logarítmica.



Fonte: Guaicuy 2022

Com relação às amostras de tecido muscular, Ferro foi o metal com maior média de concentração na região 5. No entanto, na região 4 o metal com maior média de concentração foi o Alumínio (Figura 5).

Figura 5 - Média das concentrações de metais e metalóides em tecido muscular dos peixes nas regiões 4 e 5.



Fonte: Guaicuy 2022

De um modo geral não houve diferença notável das concentrações dos metais e metalóides entre as amostras por região. Entre todos os metais e metalóides analisados, avaliando-se as diferenças das concentrações por região, verificou-se que apenas as concentrações de Cádmio ($p < 0,001$) e Cromo ($p = 0,01$) foram significativamente maiores na região 5. Para os demais metais e metalóides analisados, não houve diferença entre as regiões.

De forma análoga, a concentração de metais e metalóides bioacumulados nas amostras coletadas não foi diferente entre os tipos de ambientes (lótico e lêntico) para a maioria dos elementos avaliados. As exceções se até para Cádmio ($p < 0,001$), com maiores concentrações em ambientes lênticos, e Níquel ($p < 0,001$), com maiores concentrações nos ambientes lóticos.

Em relação ao período hidrológico das coletas, houve diferenças significativas entre as amostras coletadas nos meses de seca e chuva para Bário ($p < 0,001$), Cádmio ($p < 0,001$), Cromo ($p < 0,001$), Manganês ($p = 0,003$) e Níquel ($p < 0,001$), sendo todos eles maiores nos períodos de seca. Os demais metais e metalóides não apresentaram diferenças significativas entre as estações.

Bioacumulação nas espécies de vida livre

Considerando as amostras das regiões 4 e 5 em conjunto, as espécies com maior quantidade de amostras alteradas foram *Pimelodus maculatus* (Mandi amarelo), com 96% de suas amostras apresentando pelo menos uma alteração acima dos valores permitidos pela legislação. Em seguida, as alterações foram observadas em 59% das amostras de *Serrasalmus brandtii* (Piranha branca), e em 54% das amostras de *Leporinus piau* (Piau três pintas), com pelo menos uma substância além dos limites legais.

Ao analisar concentração a média de metais e metalóides das 44 espécies capturadas nas redes, evidenciou-se que 41 espécies apresentaram concentrações médias de Cádmio maiores que a permitida pela legislação. 35 espécies apresentaram teores de Chumbo elevados, e 26 apresentaram concentrações de Mercúrio acima dos limites legais e 12 espécies com amostras alteradas pela presença de Arsênio. As espécies que apresentaram as maiores concentrações médias de cada metal e metalóide estão apresentadas na tabela 4. Destaca-se a presença de metais e metalóides em altas concentrações nas espécies de interesse comercial para consumo, como por exemplo *Hoplias malabaricus* (Traíra), *Cephalosilurus fowleri* (Pacamã), *Prochilodus lineatus* (Curimba) e *Pimelodus maculatus* (Mandi amarelo).

Tabela 4 - Espécies de peixes com as maiores médias de concentrações de metais e metalóides (mg/Kg)

Espécie	Nome popular	Cádmio	Vezes acima do limite (0,05)
<i>Cephalosilurus fowleri</i>	Pacamã	2,10	42,00
<i>Hoplias malabaricus</i>	Traíra	1,80	36,00
<i>Prochilodus costatus</i>	Curimba	1,16	23,20
<i>Prochilodus lineatus</i>	Curimba	1,14	22,80
<i>Hoplosternum littorale</i>	Tamboatá	1,13	22,60
Espécie	Nome popular	Chumbo	Vezes acima do limite (0,3)
<i>Hoplias malabaricus</i>	Traíra	1,58	5,26
<i>Iheringichthys labrosus</i>	Mandi beíçudo	0,82	2,73
<i>Astyanax bimaculatus</i>	Lambari do rabo amarelo	0,77	2,56
<i>Pimelodus maculatus</i>	Mandi amarelo	0,48	1,60
<i>Knodus moenkhausii</i>	Lambari	0,45	1,50
Espécie	Nome popular (Não predadores)	Mercúrio	Vezes acima do limite (0,5)
<i>Acestrorhynchus lacustris</i>	Peixe cachorro	1,18	2,36
<i>Acestrorhynchus britskii</i>	Peixe Cachorro	1,17	2,34
<i>Cichla kelberi</i>	Tucunaré	0,67	1,34
<i>Hoplias malabaricus</i>	Traíra	0,59	1,18
<i>Leporinus taeniatus</i>	Piau	0,54	1,08

Fonte: Guaicuy 2022

Fonte: Guaicuy 2022

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises preliminares dos resultados de bioacumulação de peixes apontam uma grande porcentagem de amostras com a presença dos metais tóxicos (Arsênio, Cádmiio, Chumbo e Mercúrio)

acima dos valores permitidos para consumo humano, definidos pela legislação brasileira. Os tecidos hepáticos apresentaram maior porcentagem de contaminação em relação ao tecido muscular, indicando que os peixes estão expostos a metais e metalóides que são potencialmente bioacumuladores, e podem chegar até o topo das cadeias alimentares, afetando a saúde humana. Além disso, observamos outros metais e metalóides com altas concentrações nos tecidos analisados, como Alumínio, Ferro, Manganês e Zinco. Como não existem valores limites para esses metais e metalóides na legislação, não há como discutir níveis de risco ou propor qualquer restrição em relação ao consumo. Importante reforçar a necessidade de avaliar limites para os quais valores de concentração desses contaminantes possam apresentar riscos ambientais e à saúde humana.

Ao analisar as espécies com maiores concentrações de metais e metalóides no geral, é preocupante observar que as espécies de interesse comercial para consumo humano, como por exemplo Traíra, Pacamã, Curimba, Piau três pintas e Mandi amarelo, sejam as que mais possuem alterações de metais e metalóides concentrados em seus tecidos. Além disso, Mandi amarelo, Piranha branca e Piau três pintas foram as espécies que apresentaram maiores quantidades de amostras alteradas para os metais Arsênio, Cádmiio, Chumbo e Mercúrio, que apresentam valores máximos permitidos pela legislação brasileira.

Recentemente, um estudo realizado pela Fiocruz em parceria com a UFRJ, divulgou resultados em que foi verificada altas concentrações (acima dos limites de referência) desses mesmos metais, além do Manganês, no organismo de populações humanas atingidas em Brumadinho, indicando exposição das pessoas a esses metais (FIOCRUZ, 2022). Estudos como este reforçam a importância de se investigar as fontes de exposição das pessoas aos metais e metalóides, sendo o consumo de alimentos contaminados, como os peixes, por exemplo, pode ser uma delas. Os efeitos potencialmente tóxicos desses metais e metalóides a longo prazo para a saúde humana são conhecidos (Vormittag et al., 2017; Peixoto et al., 2020). Portanto, é

fundamental que as análises de bioacumulação nos peixes sejam aprofundadas, e que medidas de remediação aos danos decorrentes das contaminações indicadas sejam adotadas a fim de reparar os danos causados à cultura, economia e qualidade de vida das populações atingidas pelo rompimento das regiões 4 e 5.

Somente dois dos metais analisados (Arsênio e Mercúrio) foram maiores na região 4, ou seja, não há diferenças significativas entre as regiões 4 e 5. Diante disso, é importante salientar a preocupação com a saúde física e mental das pessoas que vivem da pesca e do consumo dos pescados, tanto na região 4 como na região 5. Muitas delas dependem da pesca para o sustento próprio e de suas famílias. Isso demonstra a necessidade de se pensar ações de remediação para esses grupos afetados, buscando a promoção da qualidade de vida nos territórios atingidos através da emancipação de serviços que amparem a saúde e a garantia de renda da população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Britski, Heraldo A. Manual de identificação de peixes da Região de Três Marias: com chaves de identificação para os peixes da Bacia do São Francisco. 1986. Volumes 4, 1986, Publicação / CODEVASF

CETESB, 2011. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos / Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. -- São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

FIOCRUZ, 2022. Programa de Ações Integradas em Saúde de Brumadinho. Projeto Saúde Brumadinho, Resultados da linha de base (2021) . Organizadores: Peixoto SV., Asmus C., Souza MA., Castro CM. Disponível em <https://www.cpqrr.fiocruz.br/saudebrumadinho/>

Hadlich HL, Venturini N, Martins CC, Hatje V, Tinelli P, De Oliveira Gomes LE, Bernardino AF. Multiple biogeochemical indicators of environmental quality in tropical estuaries reveal contrasting conservation opportunities. *Ecological Indicators*. 2018, 95(1):21–31. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.07.027

Instituto GUAICUY. Dossiê Matriz de Danos Análise dos danos identificados nas regiões 4 e 5. Belo Horizonte: Guaicuy. 2022

Lotze HK, Lenihan HS, Bourque BJ, Bradbury RH, Cooke RG, Kay MC, Kidwell SM, Kirby MX, Peterson CH, Jackson JBC. Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science*. 2006;312(5781):1806–1809. doi: 10.1126/science.1128035.

PEIXOTO, Sérgio Viana; ASMUS, Carmen Ildes Rodrigues Fróes. O desastre de Brumadinho e os possíveis impactos na saúde. *Cienc. Cult.*, São Paulo , v. 72, n. 2, p. 43-46, Apr. 2020.

Queiroz HM, Nóbrega GN, Ferreira TO, Almeida LS, Romero TB, Santaella ST, Bernardino AF, Otero XL. The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination? *Science of The Total Environment*, Volumes 637–638, 2018, Pages 498-50

Reid, A.J., Carlson, A.K., Creed, I.F., Eliason, E.J., Gell, P.A., Johnson, P.T.J., Kidd, K.A., MacCormack, T.J., Olden, J.D., Ormerod, S.J., Smol, J.P., Taylor, W.W., Tockner, K., Vermaire, J.C., Dudgeon, D., Cooke, S.J., 2018. Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biol. Rev.* 94, 849–873. <https://doi.org/10.1111/brv.12480>

Richard EC, Estrada GCD, Bechtold J-P, Duarte HA, Maioli BG, Freitas AHA, Warner KE, Figueiredo LHM. Water and sediment quality in the coastal zone around the mouth of Doce River after the Fundão tailings dam failure. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2020;16(5):643–654. doi: 10.1002/ieam.4309.

SOS Mata Atlântica, 2019. Observando os Rios: O retrato da qualidade da água na bacia do rio Paraopeba após o rompimento da barragem Córrego do Feijão – Minas Gerais. Disponível em https://cms.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/02/SOSMA_Expedicao-Paraopeba_Relatorio.pdf

Vergilio, C.d.S., Lacerda, D., Oliveira, B.C.V.d. *et al.* Metal concentrations and biological effects from one of the largest mining disasters in the world

(Brumadinho, Minas Gerais, Brazil). *Sci Rep* 10, 5936 (2020).
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-62700-w>

Vormittag EMPAA, Oliveira MA, Rodrigues CG, et al. Avaliação dos riscos em saúde da população de Barra Longa/MG afetada pelo desastre. São Paulo, SP: Instituto Saúde e Sustentabilidade / Greenpeace (2017)