UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS DE RIBEIRÃO PRETO

**Avaliação da exposição a elementos químicos em moradores
residentes em áreas atingidas pelo rompimento da barragem de
rejeitos de minério de ferro em Mariana (MG)**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Toxicologia da
Faculdade de Ciências Farmacêuticas de
Ribeirão Preto para obtenção do Título de
Doutor em Ciências

Área de Concentração: Toxicologia

Orientada: Ana Carolina Cavalheiro Paulelli

Orientador: Prof. Dr. Fernando Barbosa Junior

Versão corrigida da Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Toxicologia em 23/08/2019. A versão original encontra-se disponível na
Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto/USP.

Ribeirão Preto
2019

RESUMO

PAULELLI, A. C. C. **Avaliação da exposição a elementos químicos em moradores residentes em áreas atingidas pelo rompimento da barragem de rejeitos de minério de ferro em Mariana (MG).** 2019. 151f. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2019.

No dia 5 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos de mineração, denominada “Fundão”, causando um dos maiores desastres ambientais do Brasil. A lama de rejeitos, contendo elevada quantidade de elementos químicos tóxicos, se difundiu pelo Rio Doce, atingindo o Oceano Atlântico. Como consequência, diversas comunidades ribeirinhas ao longo do Rio Doce foram atingidas. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a exposição ao Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se e Zn em moradores de Regência, Povoação e Campo Grande, no Estado do Espírito Santo e que utilizam água de rios e poços afetados pela lama da barragem. Foram incluídos neste estudo transversal 315 indivíduos. A determinação dos elementos químicos em amostras de sangue, urina, cabelo, água de beber e alimentos foi feita por espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). As comunidades estudadas foram caracterizadas com baixa escolaridade, elevado consumo de alimentos marinhos e alta frequência de atividades na água (recreação, pesca e surf). Os sinais e sintomas predominantes relatados foram: psicológicos, mal-estar generalizado, cutâneos e gastrointestinais. Os resultados deste trabalho mostram que houve a presença de elementos potencialmente tóxicos em altas concentrações na água (Al, Fe e Mn), alimentos marinhos (As) e folhas (Fe, Mn, Al e Ba) consumidos nas comunidades nos municípios de Linhares e São Mateus. A avaliação de risco mostrou que deve haver preocupação sobre possíveis danos à saúde relacionados a presença de selênio e arsênio em alimentos, mas não especificamente carcinogênicos. As altas concentrações de As no sangue (5,8 a 269 $\mu\text{g L}^{-1}$), na urina (0,229 a 3733 $\mu\text{g g}^{-1}$ creatinina), níquel no sangue (0,08 a 21,0 $\mu\text{g L}^{-1}$) e na urina (0,513 a 300 $\mu\text{g g}^{-1}$ creatinina), Ba na urina (0,10 - 56,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ creatinina), Pb em sangue (3,4 - 129 $\mu\text{g L}^{-1}$) e urina (<LQ - 48,7 $\mu\text{g g}^{-1}$ creatinina), Hg em sangue (0,05 - 103 $\mu\text{g L}^{-1}$) e urina (<LQ - 18,8 $\mu\text{g g}^{-1}$ creatinina) e Mn em urina (46,7 $\mu\text{g g}^{-1}$ creatinina) refletem a exposição mais acentuada dos participantes, provavelmente pelo consumo de água e alimentos contaminados. A análise de 10 segmentos (2 cm cada) de cabelo possibilitou uma avaliação de exposição ao longo do tempo, evidenciando que na época do rompimento da barragem houve uma maior exposição ao As, Hg, Al, Ni, Pb, Mn e Cr. Esse perfil observado retrata uma maior contaminação no momento do desastre. Além disso, observamos que As, Cd, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb e Se em urina possuem relação com tipo de água consumida (principalmente água de torneira e poço), consumo de alimentos marinhos e características socioeconômicas. Assim, futuros estudos epidemiológicos devem ser estimulados para avaliar as possíveis consequências à saúde decorrentes da exposição aos elementos químicos tóxicos.

Palavras-chave: Biomonitoramento Humano. Avaliação da exposição. Elementos químicos. Rio Doce. Barragem “Fundão”. Rompimento de barragem.

ABSTRACT

PAULELLI, A. C. C. **Evaluation of metal exposure in residents living in areas affected by the rupture of the iron ore tailings dam in Mariana (MG).** 2019. 151p. Thesis (Doctoral). School of Pharmaceutical Sciences of Ribeirão Preto. - University of São Paulo, Ribeirão Preto, 2019.

On November 5th, 2015, the mining tailings dam, called “Fundão”, broke out, causing one of the largest environmental disasters in Brazil. The tailings mud, containing a high amount of toxic chemical elements, spread through the Doce River, reaching the Atlantic Ocean. As a result, several resident riverine communities in the Doce River were reached. Thus, the objective of this study was to evaluate the exposure to Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Se and Zn in residents of Regência, Povoação and Campo Grande, in the state of Espírito Santo, which use water from rivers and wells affected by the mud of the dam. A total of 315 individuals were included in this cross-sectional study. Determination of chemical elements in blood, urine, hair, drinking water and food samples was done by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The study group were characterized by low education, high consumption of marine food and high frequency of water activities (recreation, fishing and surfing). The predominant signs and symptoms reported were: psychological, generalized malaise, skin and gastrointestinal impairments. The results of this work show that there was the presence of potentially toxic elements in high concentrations in water (Al, Fe and Mn), marine foods (As) and leaves (Fe, Mn, Al and Ba) consumed by the communities of Linhares and São Mateus. The risk assessment showed that there should be concern about possible health damage related to the presence of selenium and arsenic in food, but not specifically carcinogenic. High levels of As in blood (5.8 to $269\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$), urine (0.229 to $3733\text{ }\mu\text{g g}^{-1}$ creatinine), nickel in blood (0.08 to $210\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$) and urine (0.513 to $300\text{ }\mu\text{g g}^{-1}$ creatinine), Ba in urine (0.10 - $56.5\text{ }\mu\text{g g}^{-1}$ creatinine), Pb in blood (3.4 - $129\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$) and urine ($<\text{LQ}$ - $48.7\text{ }\mu\text{g g}^{-1}$ creatinine), Hg in blood (0.05 - $103\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$) and urine ($<\text{LQ}$ - $18.8\text{ }\mu\text{g g}^{-1}$ creatinine) and Mn in urine ($46.7\text{ }\mu\text{g g}^{-1}$ creatinine) denote the most intense exposure of the participants, probably due to the consumption of contaminated water and foods. The analysis of 10 segments (2 cm each) of hair allowed an evaluation of exposure along the time, showing that at the time of dam rupture there was a higher exposure to As, Hg, Al, Ni, Pb, Mn and Cr. Furthermore, we observed that As, Cd, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb and Se in urine are related to the type of water consumed (mainly tap and well water), marine food consumption and socioeconomic characteristics. Further epidemiological studies must be stimulated to evaluate potential toxic effects due to the exposure to toxic elements.

Keywords: Human Biomonitoring. Exposure assessment. Metals. Doce River. “Fundão” Dam. Dam rupture.

1. INTRODUÇÃO

1.1. MINERAÇÃO NO BRASIL E ROMPIMENTO DE BARRAGENS DE REJEITOS

A mineração no Brasil é uma atividade antiga e com grande importância econômica que se iniciou no século XXIII (FELIPPE et al., 2016). Uma das principais atividades de mineração no Brasil é a extração de minério de ferro, em termos de produção e exportação, alcançando 559,5 milhões de toneladas de minério extraídos em 2016, com teor médio de 54,9% de metal, um dos mais ricos do mundo (IBGE, 2018). Minas Gerais (principalmente na região do quadrilátero ferrífero) e Pará são os maiores produtores de ferro (IBGE, 2018). Outros elementos químicos também altamente extraídos no Brasil são ouro, cobre, alumínio e níquel.

A Vale S.A. é a mineradora de ferro mais importante no Brasil, ocupando o primeiro lugar na exploração mundial de minério de ferro (348,8 mi de toneladas métricas), pelotas de ferro (46,2 m de toneladas métricas) e níquel (311 mi de toneladas métricas de níquel produzidas) (VALE, 2019).

A Samarco é outra importante empresa brasileira de mineração, de capital fechado, fundada em 1977 que tem como principal produto pelotas de minério de ferro, produzidas a partir da transformação de minerais de baixo teor em um produto nobre de alto valor agregado, e comercializado para a indústria siderúrgica mundial (SAMARCO, 2019). A empresa possui duas unidades operacionais, 1) Germano: em Mariana (Minas Gerais) que faz a extração e o beneficiamento do minério e 2) Ubu em Anchieta (Espírito Santo) que recebe o minério através de minerodutos e realiza a pelletização (SAMARCO, 2019). Sendo assim, a estrutura da empresa consiste em mina, mineroduto, pelletizadora e o terminal marítimo em Anchieta (Espírito Santo) que abastece o mercado global, principalmente para a China (maior produtora de minério de ferro de aço no mundo) que agregam valores ao minério transformando em produtos para o dia-a-dia (construção civil, bens de capital, setor automotivo, utilidades domésticas e comerciais, embalagens e recipientes, outros setores) (IBGE, 2018; LEBEAU; MONTGOMERY; BREWER, 2011; SAMARCO, 2019). Os rejeitos (ou resíduos) argiloso e arenoso de todos esses processos eram armazenados em grandes represas como Germano (barragem de rejeitos), “Fundão” (barragem de rejeitos) e Santarém (barragem de água), que também recebiam uma parcela (28%) de rejeitos da mineradora Vale (MILANEZ; LOSEKANN, 2016; SAMARCO, 2019).

O rejeito de mineração da Samarco é composto por óxidos de quartzo e ferro (hematita, goetita e magnetita), pequenos filossilicatos (caulinita e mica) e óxidos metálicos

(principalmente SiO_2 e Fe_2O_3 e também Al_2O_3 , SO_3 , K_2O , MnO , CaO , P_2O_5 , CuO , ZnO , NiO) que são comuns em solos com alto grau de intemperismo (ALMEIDA et al., 2018; SILVA et al., 2016; VALERIANO et al., 2019). A grande desvantagem em armazenamento de rejeitos de minérios são os desastres envolvendo rompimento de barragens por serem as maiores estruturas feitas pelo homem na Terra, que podem liberar os rejeitos e cobrir solos, sedimentos de rios, planícies de inundação, margens de rios, prejudicando a qualidade da água e matando biota (HATJE et al., 2017; ROCHE; THYGESEN; BAKER, 2017). Além disso, fortes tempestades, correntes marítimas, chuvas, ressuspensão induzida pelo vento e a condição oxidante dos rios de Minas Gerais pode resultar em uma mobilização dos elementos químicos (As, Fe, Cr, Cu, Hg, Pb, and Zn), que já estavam presentes antes do rompimento, para o sistema hidrológico contaminando cronicamente os corpos d'água (HATJE et al., 2017; PIMENTEL; DE LENA; NALINI, 2003; SANTOLIN et al., 2015).

As falhas em barragem de rejeitos estão relacionadas a: i) galgamento (barragens de rejeitos são feitos de material erodível, e galgamento causará erosão), ii) instabilidade de inclinação (carga constante que causa deformação, até o ponto em que uma barragem falha parcialmente ou completamente), iii) terremoto (barragens são projetadas para resistir a terremotos, mas se o terremoto for maior do que o previsto, a estrutura pode ser destruída pelo tremor), iv) infiltração e erosão interna (erosão do material da barragem devido à passagem de água pelas áreas da barragem projetadas para permanecerem secas), v) estrutural (falha nos decantadores que drenam a água dos represamentos são uma causa comum), vi) fundação (falha na construção da barragem em uma superfície que não fornece suporte suficiente para o peso da barragem, como uma camada de argila sob uma barragem), vii) erosão (erosão simples de uma face de barragem, normalmente devido ao escoamento de precipitação que não é reparado) e viii) subsidência de minas (se a barragem for construída acima de uma mina subterrânea, o colapso do funcionamento da mina subterrânea pode levar à liberação dos rejeitos retidos) (ROCHE; THYGESEN; BAKER, 2017).

A responsabilidade de fiscalizar as barragens de contenção de rejeitos minerais no Brasil é da Agência Nacional de Mineração (ANM), vinculada ao Ministério de Minas e Energia e em Minas Gerais existe também a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) (ANA, 2018). Desde 2002 a FEAM vem desenvolvendo o Programa de Gestão de Barragens de Rejeitos e Resíduos para reduzir o risco de danos ambientais relacionado aos desastres nessas estruturas, seguindo as diretrizes das Deliberações Normativas COPAM nº 62/2002, 87/2005 e 124/2008 (FEAM, 2017). As barragens são cadastradas no Banco de Declarações Ambientais (BDA) e passam por auditoria periódica de segurança que são inseridas no BDA. À partir das

informações do BDA, a FEAM elabora uma programação anual de fiscalizações, priorizando as estruturas que apresentam condição de estabilidade não garantida (FEAM, 2017).

O rompimento de barragens tem causado sérios danos econômicos, ambientais e sociais em diversas partes do planeta (ROCHE; THYGESEN; BAKER, 2017). As partes afetadas incluem a própria companhia (prejuízo, perda temporária ou permanente de trabalho, rendimento, perda do valor de ações, danos a reputação, perda de investimentos, responsabilidade civil ou criminal, impacto na família, habitação e subsistência de funcionários, acionistas, investidores e financiadores), o governo (local e nacional), as comunidades locais (prejuízo, perda temporária ou permanente de trabalho, rendimento, impacto na família, habitação e subsistência), comunidades nacionais (dano a economia), consumidores e o meio ambiente (alteração nas características físicas e químicas da biota, erosão e contaminação das terras, mudança nas características da água e contaminação de águas subterrâneas, alterações na composição e comportamento das espécies) (ROCHE; THYGESEN; BAKER, 2017).

No Brasil desastres com barragens de mineração em Minas Gerais ocorreram nos anos de: 1986 (Grupo Itaminas em Itabirito, com morte de 7 pessoas), 2001 (Mineração Rio Verde em Nova Lima, morte de 5 pessoas), 2006 (Mineradora Rio Pomba Cataguases em Miraí), 2007 (Mineradora Rio Pomba Cataguases em Miraí), 2008 (Mina Casa de Pedra operada pela Companhia Siderúrgica Nacional em Congonhas e outra em uma mina de ouro em Itabira), 2014 (Herculano Mineração, em Itabirito, matando 3 pessoas) (MILANEZ; LOSEKANN, 2016), 2015 (Samarco Mineração em Mariana, matando 19 pessoas) e 2019 (Vale S.A. em Brumadinho, matando 248 pessoas e 22 desaparecidos).

O rompimento da barragem “Fundão” (2015) e da barragem de Brumadinho (2019) eram classe III (alto potencial de dano ambiental devido à altura da barragem, volume do reservatório, ocupação humana a jusante, interesse ambiental a jusante e instalações na área de jusante) classificadas de acordo com o Conselho Estadual de Política Ambiental n.º 87/2005, e tiveram sua estabilidade garantida pelo auditor um ano antes do rompimento (FEAM, 2014, 2017). Esses grandes desastres envolvendo barragens evidenciam as falhas no licenciamento, manutenção e fiscalização das barragens do Brasil por parte das mineradoras e também pelo governo estadual e federal (MILANEZ; LOSEKANN, 2016).

1.2. ROMPIMENTO DA BARRAGEM “FUNDÃO” EM MARIANA (MG) – O MAIOR DESASTRE AMBIENTAL DO BRASIL

No dia 5 de novembro de 2015, por volta das 15:00 horas, ocorreu o maior desastre ambiental do Brasil e o maior desastre mundial do setor de mineração devido a quantidade de rejeitos despejados e dimensão das áreas afetadas (BRASIL, 2017). Um dique da barragem “Fundão”, situada no Complexo Industrial de Germano no município de Mariana (Minas Gerais, Brasil) que retinha os rejeitos da mineradora Samarco Mineração S.A, se rompeu liberando em torno de 60 milhões m³ de rejeitos de lama contendo minério de ferro e sílica (IBAMA, 2015), ocasionado morte de 19 pessoas por asfixia, soterramento, afogamento e/ou politraumatismo (BRASIL, 2015a).

Além das pessoas que vieram a óbito pelo rompimento da barragem, várias populações tiveram danos sociais, psicológicos e de saúde ao longo do percurso da lama, como moradores que tiveram suas casas soterradas pela lama em Minas Gerais (Bento Rodrigues, Gesteira e Paracatu de Baixo), e também as que tiveram suas principais fontes de sustento e sobrevivência afetadas (solos férteis, nascentes, áreas de pastagens e águas do Rio Doce para abastecimento de água e pesca) como os pescadores, indígenas, quilombolas, populações rurais e urbanas, produtores agrícolas e pecuários, agentes de turismo (MILANEZ; LOSEKANN, 2016).

Os danos ambientais observados após o desastre do rompimento da barragem “Fundão” foram: geofísico (massa geológica e lama tóxica), hidrológico (rio, enxurrada com invasão de domicílios), climatológico (secura e pó) e meteorológico (pela magnitude e força) (VORMITTAG; OLIVEIRA; GLERIANO, 2018). Consequências hidrológicas cumulativas ao longo do tempo do colapso da barragem exportaram muitos sedimentos para o Oceano Atlântico (180 x acima da media mensal de exportação de sedimentos), provavelmente afetando os principais ecossistemas sensíveis, incluindo áreas marinhas protegidas como o Banco dos Abrolhos que se enquadra na zona de influência das plumas de rejeitos (MAGRIS et al., 2018).

A causa do rompimento da Barragem de “Fundão” foi a liquefação que ocorreu inicialmente junto aos rejeitos arenosos que suportavam os alteamentos (POLÍCIA CIVIL DE MINAS GERAIS, 2016). Sendo assim, o rompimento da barragem “Fundão” foi de causa humana, devido a problemas que já haviam sido constatados quatro meses antes do desastre (BRASIL, 2015a). Os responsáveis diretos pelo rompimento da Barragem são a Samarco e sua acionista a Vale, os responsáveis indiretos e decorrentes de desconsideração da personalidade jurídica são a vale e BHP como acionistas e a responsabilidade indireta são dos entes federativos e das entidades da administração (BRASIL, 2015b).

A liquefação dos alteamentos da barragem “Fundão” ocorreu devido a sete fatores: 1) elevada saturação dos rejeitos arenosos depositados na Barragem de “Fundão” devido ao fluxo subterrâneo de água e de nascentes no entorno, 2) falhas no monitoramento contínuo do nível

de água e das poropressões junto aos rejeitos arenosos depositados no interior da barragem e junto aos rejeitos constituintes dos diques de alteamento realizados, 3) equipamentos de monitoramento com defeito (piezômetros e medidores de nível de água), 4) monitoramento deficiente em virtude do número reduzido de equipamentos, 5) elevada taxa de alteamento anual da barragem (20m de altura / ano), 2x maior do que o recomendado, 6) assoreamento do dique 02 e infiltração de água de forma generalizada para a área abrangida pelos rejeitos arenosos, e 7) deficiência do sistema de drenagem interno da barragem (POLÍCIA CIVIL DE MINAS GERAIS, 2016). Os problemas de drenagem resultaram em grandes volumes de areia saturada adjacente à parede da barragem. Imediatamente antes do colapso, três pequenos terremotos exacerbaram a fraqueza estrutural da areia, iniciando o deslizamento do fluxo (AGURTO-DETZEL et al., 2016; MORGENSTERN et al., 2016).

Os danos socioambientais e socioeconômicos causados pelo rompimento da barragem “Fundão” foram:

- 1- Danos socioambientais: a-) patrimônio natural: recursos hídricos (córregos, rios, regiões estuarinas, costeira e marinha), fauna e flora e b-) patrimônio histórico-cultural, paisagístico e arqueológico (BRASIL, 2015b).
- 2- Danos socioeconômicos: a-) microrregião do impacto: economia regional, infraestrutura e danos humanos e b-) macrorregião do impacto: povos indígenas e comunidades tradicionais (povos indígenas Krenak, Tupiniquim, Guarani, pescadores artesanais, Quilombolas, ribeirinhos e outras comunidades tradicionais) (BRASIL, 2015b).

1.3. O CAMINHO DA LAMA E A CONTAMINAÇÃO DO MEIO AMBIENTE COM ELEMENTOS QUÍMICOS

O caminho da lama se iniciou como uma onda de grandes proporções atingindo a barragem de Santarém (que não se rompeu), Bento Rodrigues (um sub-distrito de Mariana que foi soterrado pela lama, dizimando vidas e desalojando pessoas), passou pelo rio Gualaxo do Norte (~55 km) até desaguar no rio do Carmo (atingindo Paracatu de Baixo, Camargos, Águas Claras, Pedras, Ponte do Gama, Gesteira, Barra Longa, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado e a Usina Hidrelétrica Risoleta Neves também conhecida como UHE Candonga). Neste, os rejeitos percorreram 22 km até seu encontro com o Rio Doce, aonde ocorreu aumento do volume, principalmente no trecho médio da calha do Rio Doce (desde a confluência do rio Matipó até a divisa MG/ES) acumulando sedimentos contando rejeitos de minério principalmente nas áreas

mais planas da margem. A passagem da lama pela calha do Rio Doce gerou danos hídricos, mortande de animais e interrupção do abastecimento e distribuição de água em vários municípios ao longo do Rio Doce (IBAMA, 2015).

A pluma de rejeitos passou por Povoação (Linhares, ES) e em 21 de novembro de 2015 chegou na foz do Oceano Atlântico a partir de Regência, município de Linhares – ES, e prosseguiu no ambiente marinho se dispersando por um extensão superior a 10 km em diferentes localidades do litoral do Espírito Santo até o Rio de Janeiro influenciada por marés, chuvas, ventos e correntes marítimas chegando até Campo Grande (São Mateus, ES) (HATJE et al., 2017; MARTA-ALMEIDA et al., 2016; RUDORFF et al., 2018). A lama depositada ao longo dos rios permaneceu como uma fonte de ressuspensão de sedimentos, com a intensificação dos processos de ressuspensão costeira durante o inverno (RUDORFF et al., 2018). O caminho percorrido pela lama de aproximadamente 660 km está esquematizado na Figura 1.

Figura 1. Caminho percorrido pela lama (~660 km) desde a barragem “Fundão” em Minas Gerais, passando pela Barragem Santarém que não se rompeu, Bento Rodrigues e desaguando no Rio Gualaxo do Norte, percorrendo pelo Rio do Carmo e Rio Doce, desaguando na foz

Fonte: Google Earth

Antes do rompimento da barragem o Rio Doce vinha perdendo condições de saúde hídrica há pelo menos 150 anos, devido ao desmatamento, urbanização, agropecuária (reflorestamento, lavouras tradicionais, cultura de café, cana-de-açúcar, criação de gado leiteiro e de corte e na suinocultura), agroindústria (sucroalcooleira), mineração (ferro, ouro, bauxita, manganês, pedras preciosas e outros), indústria (celulose, siderurgia e laticínios), comércio e serviços de apoio aos complexos industriais e a geração de energia elétrica (FELIPPE et al., 2016; PIRH DOCE, 2010). Apesar disso, o Rio Doce ainda era muito utilizado para o abastecimento da população e atividades produtivas (FELIPPE et al., 2016).

Além das características físicas ocasionados pelo desastre, a lama de rejeitos espalhou diversas substâncias químicas por onde passou, originárias do processo de beneficiamento do minério de ferro (floculantes, coagulantes, hidróxido de sódio) e os minerais que estão naturalmente presentes nas rochas utilizadas para exploração do minério (DO CARMO et al., 2017; SILVA et al., 2016).

Anterior ao rompimento da barragem, estudos observaram elevadas concentrações de elementos químicos em alguns rios pertencentes à Bacia do Rio Doce, concentrações essas que ultrapassaram o limite preconizado pela CONAMA 357 (2005) para águas utilizadas para consumo e irrigação. Um dos elementos químicos com concentrações mais elevadas foi o As (BORBA; FIGUEIREDO; MATSCHULLAT, 2003; PIMENTEL; DE LENA; NALINI, 2003; VAREJÃO et al., 2011) no rio do Carmo no município de Mariana – MG. O arsênio presente no Rio do Carmo em Mariana (MG) pode estar associado a mineração e a fábrica de óxido de arsênio que funcionou por décadas (utilizado como subproduto de minério) estocando-o às margens de riachos ou lançados diretamente nas drenagens contaminando solo e água da região (IGAM, 2013). Além de As, outros estudos encontraram concentrações elevadas de Mn (6 mg L^{-1}) no rio do Carmo e Fe ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$) no Rio Gualaxo do Norte (BORBA; FIGUEIREDO; MATSCHULLAT, 2003; PEREIRA et al., 2008).

Os danos imediatos e tardios após o rompimento da barragem são incalculáveis, e há muitos estudos que relatam elevação das concentrações já registrados de elementos químicos em água, ar e alimentos. Após o rompimento da barragem “Fundão”, alterações em toda extensão do Rio Doce, com elevada turbidez na água (137 NTU e 53 NTU, respectivamente) no 1º e 2º ano após o rompimento quando comparado com o pré-rompimento (14,6 NTU) (Laudo Preliminar do IBAMA, p. 06) e altos concentrações de elementos químicos, principalmente Fe, Al, Mn (IBAMA,

2015; QUADRA et al., 2019). Amostras de água coletadas antes e pós desastre no Rio do Carmo (Minas Gerais) observaram aumento na concentração de elementos químicos (Cd, Cu, Ni, Co, Cr, Pb, Zn, As) e o As esteve acima do permitido em todas amostras coletadas (SILVA et al., 2018). O Grupo Independente para Avaliação do Impacto Ambiental (GIAIA, 2016) também observou concentrações de manganês ($5,3 \text{ mg L}^{-1}$), arsênio ($0,11 \text{ mg L}^{-1}$) e chumbo ($0,029 \text{ mg L}^{-1}$) acima do permitido pela resolução 357 do CONAMA (CONAMA, 2005). Outros estudos também mostraram elevadas concentrações de elementos químicos em rios atingidos pela lama de rejeitos da Samarco (ANA, 2016; CPRM, 2015; IGAM, 2015; SAAE, 2015).

Os problemas de saúde observados em populações atingidas pela lama de rejeitos levanta a suspeita que há uma associação com a exposição aos elementos químicos vindos da lama de rejeitos e problemas em saúde (MILANEZ; LOSEKANN, 2016; VORMITTAG; OLIVEIRA; GLERIANO, 2018).

A contaminação dos rios atingidos pode ocasionar em acometimentos em saúde principalmente em populações ribeirinhas. Em relação aos impactos na saúde da população ribeirinha de Colatina (Espírito Santo, Brasil) houve aumento significativo na incidência de diarreia, febre e doenças de pele associados principalmente aos impactos no meio ambiente, interrupção do abastecimento de água, contaminação da água, aspectos psicológicos, sociais, biológicos e econômicos (ROCHA et al., 2016a). Em Barra Longa (Minas Gerais) também foi observado diversos sintomas gastrointestinais (diarreias, falta de apetite), dermatológicos (alergias, coceiras), respiratórios (alergia, tosse, falta de ar, rinite), osteoarticulares (dor nas pernas e câimbras) e neurológicos (dor de cabeça, insônia e ansiedade) (VORMITTAG; OLIVEIRA; GLERIANO, 2018).

Regência, Povoação e Campo Grande, ~660 km de distância do rompimento da barragem, são regiões no estado do Espírito que tiveram suas principais atividades afetadas pelo desastre da barragem “Fundão”. Regência (distrito de Linhares) situada na margem sul da foz do Rio Doce, é uma vila de pescadores artesanais formada por caboclos e que também vive do turismo (prejudicado pela falta de fornecimento de água e a destruição da diversidade de parte da fauna e da flora), prática do surfe, agricultura e comércio (MILANEZ; LOSEKANN, 2016; REGÊNCIA, 2019). Povoação localizada na margem norte do Rio Doce, a 5 km da foz, é outro distrito de Linhares aonde encontramos pesca, turismo e surf (POVOAÇÃO, 2019). A aproximadamente 80

km da foz do Rio Doce encontramos Campo Grande, no município de São Mateus (estado do Espírito Santo), outro local de comunidade pesqueira que foi atingido pela lama.

Diante do cenário do maior desastre socioambiental do Brasil, e da possível exposição aos elementos químicos tóxicos pelas comunidades afetadas, é importante que seja feito um monitoramento da população. A avaliação da exposição tem como objetivo identificar indivíduos expostos e não expostos (AHRENS; PIGEOT, 2005). Quando verdadeiros fatores de risco a exposição são confirmados, medidas de proteção e monitoramento da exposição podem ser implementadas (AHRENS; PIGEOT, 2005).

1.4. AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO E BIOMONITORAMENTO HUMANO

Na avaliação da exposição de uma população, pode ser feito a medição do agente de interesse em fontes externas e internas (AHRENS; PIGEOT, 2005).

A medição de um agente externo deve levar em consideração as fontes de exposição (por exemplo, atmosfera, água, alimentos e superfícies) os locais em que o indivíduo percorre (por exemplo, em casa, no trabalho e no lazer), o tempo gasto em cada (isto é, padrões de atividade) e a suscetibilidade individual a este agente (por exemplo, devido a exercício físico, dieta, características fisiológicas e genéticas). Essas variáveis afetam a dose interna medida no tecido ou fluido humano e representam apenas uma fonte de exposição em um ponto no tempo. Medições ambientais externas são não-invasivas, menos dispendiosas, o número de agentes para os quais existem métodos analíticos é maior e a variabilidade da concentração de um agente no ambiente externo geralmente é menor do que a variabilidade intraindividual no corpo (AHRENS; PIGEOT, 2005).

Os dados de exposição interna podem ser considerados de dois tipos: dados de medição direta (medições de químicos em matrizes biológicas, concentrações de estresse, pressão arterial, peso) e indireta (por exemplo, informações de questionários) (AHRENS; PIGEOT, 2005).

As medições de químicos em matrizes biológicas (por exemplo, sangue, urina e cabelo) ou também conhecido como biomonitoramento humano, do inglês *Human Biomonitoring* é um meio eficaz de avaliar a exposição humana a poluentes (ANGERER; EWERS; WILHELM, 2007). O biomonitoramento de populações aos elementos químicos é importante uma vez que a toxicidade

de qualquer elemento químico depende de sua concentração, período e nível de exposição e das espécies químicas do elemento presentes no indivíduo (PARSONS; BARBOSA, 2007).

No entanto, devido ao número de medições pequeno e a variabilidade da concentração de um agente no corpo ser frequentemente maior do que a observada no ambiente externo, uma ou algumas medidas podem não refletir a exposição a longo prazo devido ao metabolismo e eliminação ao longo do tempo. Apesar dessas limitações, as medições biológicas podem fornecer informações importantes sobre os mecanismos toxicológicos do agente e podem ser úteis para estimar as concentrações de exposição recentes ou crônicas que têm baixa variabilidade ao longo do tempo e representam concentrações recebidas de todas as fontes de exposição, de modo que a quantidade total de exposição recebida é melhor estimada (AHRENS; PIGEOT, 2005).

O sangue é uma matriz importante na determinação de mudanças na concentração dos químicos no organismo e no ambiente (BARR et al., 2005). A determinação de substâncias químicas no sangue reflete a concentração que está em contato direto com vários tecidos e órgãos do organismo (GUYTON; HALL, 2005). Além disso, essas mudanças podem ser prontamente avaliadas no sangue, pois o volume sanguíneo médio dos adultos (7% do peso corporal ou cerca de 5 litros) permanece relativamente constante para um indivíduo saudável que mantém um determinado peso corporal (GUYTON; HALL, 2005). Já as crianças possuem volumes de sangue menores do que os adultos, então alcançariam maiores concentrações sanguíneas de um químico após a exposição e absorção da mesma quantidade (BARR et al., 2005).

A urina, assim como o sangue, é também muito utilizada em biomonitoramento e com maior facilidade de coleta, permitindo a coleta de maiores volumes (ANGERER; EWERS; WILHELM, 2007). É indicada especialmente para análise de produtos químicos não persistentes (substâncias químicas que possuem meias-vidas biológicas curtas), como alguns pesticidas, elementos químicos e drogas de uso atual (BARR et al., 2005). Além de refletir a exposição recente ao elemento químico, o sangue e a urina possuem valores de referência para os elementos químicos já previamente estabelecidos (WHO, 2015).

O cabelo é outra matriz utilizada para se avaliar a exposição, de coleta fácil, não invasiva, de baixo custo, fácil transporte e armazenamento, o que o torna um atrativo para o biomonitoramento humano no que diz respeito à concentração de elementos químicos em populações expostas (BARBOSA et al., 2005). O cabelo nos dá a informação da avaliação temporal da exposição (de meses ou anos antes da data da coleta) a partir do princípio de que o cada eixo de

cabelo está continuamente em contato com a corrente sanguínea através da raiz de cabelo, podendo incorporar os químicos que circulam no sangue. Além disso, o cabelo possui afinidade com vários elementos químicos devido a sua composição rica em queratina, uma proteína que contém grupamentos sulfidrílicos (tióis) (LEBEAU; MONTGOMERY; BREWER, 2011). A capacidade de determinar a exposição temporal (ou passada) é baseada em dados que mostram que o cabelo cresce a uma taxa média 1 cm/mês (LEBEAU; MONTGOMERY; BREWER, 2011). Sendo assim, o primeiro cm de cabelo, perto do couro cabeludo faz referência à exposição do mês anterior da coleta (LEBEAU; MONTGOMERY; BREWER, 2011).

No biomonitoramento da população em geral, os valores utilizados para comparação podem ser tanto os valores limites toleráveis como os valores de referência (VR) (KUMMROW et al., 2008). O VR é um valor derivado de estudos populacionais que determina a concentração do analito de interesse em fluidos biológicos a partir da análise estatística dos valores medidos. É usado para identificar indivíduos com nível de exposição ambiental aumentada (EWERS et al., 1999; SCHULZ et al., 2007a). Grandes programas de biomonitoramento são os da Alemanha (German Environmental Survey - GerES) e dos Estados Unidos (National Health and Nutrition Examination Survey - NHANES) (KUMMROW et al., 2008).

Na Alemanha o *German Environmental Surveys* (GerESs) são estudos de população que tem sido feito desde meados da década de 1980 (SCHULZ et al., 2007b). Os sujeitos são selecionados de forma representativa a partir de escritórios de registros regional em relação à idade, gênero e tamanho da comunidade (SCHULZ et al., 2007b). Três principais instrumentos de investigação são incluídos na GerES: biomonitoramento humano (HBM), monitoramento do ambiente doméstico e coleta de informações sobre vias de exposição e condições de vida através de questionários (SCHULZ et al., 2007b). Entre os componentes laboratoriais avaliados pelo GerES estão os elementos químicos. A média geométrica de alguns elementos químicos em sangue e urina são: As em urina= 3,9 mg L⁻¹; Cd no sangue= 0,4 mg L⁻¹; Cd na urina= 0,2 mg L⁻¹; Pb no sangue= 31,6 mg L⁻¹; Hg no sangue = 0,6 mg L⁻¹ e Hg na urina= 0,4 mg L⁻¹ (SCHULZ et al., 2007b).

A Pesquisa Nacional de Exame de Saúde e Nutrição (NHANES ou National Health and Nutrition Examination Survey) é outro programa importante de biomonitoramento, pertencente ao Centro Nacional de Estatística da Saúde (NCHS) que faz parte dos Centros de Controle e Prevenção de Doenças (Centers for Disease Control and Prevention ou CDC) (CDC, 2019). Esse programa

avalia a saúde e estado nutricional de indivíduos a partir de informações colhidas através de questionários, exames físicos e laboratoriais de mais de 120 componentes, entre eles os elementos químicos (CDC, 2019). A média geométrica dos elementos químicos em 2017 para indivíduos ≥ 20 anos foi As= 7,58; Cd= 0,182; Co= 0,428; Pb= 0,346; Mn= 0,137; Hg= 0,318 e U= 0,006 mg Kg⁻¹ de creatinina na urina e em sangue foi Cd= 0,297 µg L⁻¹; Pb= 0,967 µg dL⁻¹; Mn= 9,27 µg L⁻¹; Hg= 0,814 µg L⁻¹ e Se= 196 µg L⁻¹ (NHANES, 2017).

No Brasil não existem programas de biomonitoramento e sim pesquisas científicas que avaliam a exposição aos elementos químicos através de estudos transversais, obtendo as concentrações de elementos químicos apenas uma vez na vida do indivíduo. Alguns estados do Brasil aonde podemos encontrar estudos de avaliação da exposição aos elementos químicos são: São Paulo (KUMMROW et al., 2008; KUNO et al., 2013; MONTENEGRO et al., 2006; NUNES et al., 2010; TAKEDA et al., 2017), Minas Gerais (NUNES et al., 2010), Rio Grande do Sul (NUNES et al., 2010; SANTOS et al., 2018a), Paraná (ROCHA et al., 2016b), Goiás (NUNES et al., 2010), Pará (NUNES et al., 2010; RODRIGUES et al., 2009; VALENTINI et al., 2016), Acre (FREIRE et al., 2014, 2015) e Espírito Santo (este estudo) (Figura 2).

Figura 2. Avaliação da exposição aos elementos químicos em diversos estados do Brasil

Fonte: Próprio autor

As concentrações de Cu, Mn, Se, Zn, As, Cd e Pb em sangue no Brasil obtidas em pesquisas científicas variaram de 495-1578; 6,9-18,4; 68-245; 3518-12294; 0,1-3,2; 0,08-1,7 e 1,3-163 µg L⁻¹

¹, respectivamente (FREIRE et al., 2015; KUNO et al., 2013; NUNES et al., 2010; RODRIGUES et al., 2009).

Estudos que avaliam a exposição aos elementos químicos após rompimento de barragens de rejeitos minerários são escassos na literatura. Ao invés disso, há os estudos em populações que vivem próximas a áreas de mineração, como por exemplo na região da aldeia Zlata Idka, na Eslováquia com teores de As e Sb (16,3 e 3,8 $\mu\text{g L}^{-1}$ no sangue; 15,8 e 18,8 $\mu\text{g L}^{-1}$ na urina e 379 e 357 $\mu\text{g L}^{-1}$ no cabelo de As e Sb, respectivamente) comparativamente muito maiores que a média da população, e com risco carcinogênico muito alto para a ingestão de partículas de solo, água e vegetais (RAPANT; DIETZOVÁ; CICHMANOVÁ, 2006). Um estudo feito no México também avaliou a exposição de elementos químicos em crianças que vivem em locais contaminados por mineração e observou concentração de arsênio urinário (136 mg Kg^{-1} creatinina) e chumbo no sangue (11,6 $\mu\text{g dL}^{-1}$) significativamente superiores aos encontrados em crianças que vivem em regiões distantes da área de mineração (34 mg Kg^{-1} creatinina e 8,3 $\mu\text{g dL}^{-1}$ na urina e sangue, respectivamente) (YÁÑEZ et al., 2003). Além disso, nesse mesmo estudo foi observado aumento do dano ao DNA através do ensaio cometa, nas crianças expostas a arsênio e chumbo em locais de mineração (YÁÑEZ et al., 2003).

Este primeiro estudo da avaliação da exposição de moradores Regência e Povoação (Linhares, Espírito Santo) e Campo Grande (São Mateus, Espírito Santo) banhados pelo Rio Doce justifica-se por poder prover dados em relação à exposição externa e interna a elementos químicos. Por fim, nosso estudo dará suporte a possíveis avaliações de risco e ações de secretarias de saúde locais para a redução da exposição da população.

2. OBJETIVO

Avaliar exposição aos elementos químicos em moradores Regência e Povoação (Linhares, Espírito Santo) e Campo Grande (São Mateus, Espírito Santo) abastecidas pela água da Bacia do Rio Doce, por meio da análise de sangue, urina e cabelo.

Objetivos específicos:

CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE E DA POPULAÇÃO ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

i) Variável quantitativa

Medida da pressão arterial, peso, altura e índice de massa corporal (IMC)

ii) Variável nominal

- Nível de escolaridade,
- Consumo de líquidos, alimentos marinhos, suplementos, vitaminas, medicamentos, cigarro e álcool,
- Atividades na água (nadar, pescar, surfar),
- Proximidade de indústria ou fábrica do local em que reside,
- Se possui amálgamas dentários, tintura, luzes, reflexo, alisamento, doenças crônicas,
- Sinais, sintomas e doenças após o desastre,
- Informações sobre ciclo menstrual, quantidade de filhos, filhos com má-formação, abortos para mulheres
- Perguntas abertas: 1- A que tipo de contaminação o Senhor (a) acha que está exposto? 2- Tem algo importante que você gostaria de relatar e que não foi abordado neste questionário?

AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO

i) Biomonitoramento da exposição recente

Determinação de elementos químicos essenciais (Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Se, Zn) e tóxicos (Al, As, Ba, Cd, Hg, Ni e Pb) através da análise de sangue e urina,

ii) Biomonitoramento da exposição passada

Determinação de elementos químicos essenciais (Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mg, Se e Zn,) e tóxicos (Al, As, Cd, Hg, Ni e Pb) através da análise de cabelo,

iii) Determinação de elementos químicos em água e alimentos

Determinação de Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu e Zn em água e Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Se, Zn, Mg, As, Pb, Cd, Hg, Ba, Ni e Al em alimentos,

iv) Ingestão diária de elementos essenciais e avaliação de risco de elementos potencialmente tóxicos

5. CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho mostram que houve a presença de elementos químicos tóxicos em altas concentrações na água e nos alimentos consumidos nas comunidades de Regência, Povoação e Campo Grande nos municípios de Linhares e São Mateus. A avaliação de risco mostrou que deve haver preocupação sobre possíveis danos na saúde relacionados a presença de selênio e arsênio em alimentos, mas não especificamente carcinogênicos. Sugere-se análise dessas amostras periodicamente para avaliar a possível continuidade da exposição dos moradores aos elementos químicos (arsênio, cádmio, manganês, ferro, alumínio e níquel). Além disso, estudos de remediação para redução da concentração dos elementos químicos, devem ser estimulados na área.

Os achados relacionados à presença mais elevada de elementos químicos tóxicos, como arsênio e níquel no sangue e urina, denotam a exposição mais acentuada dos participantes, provavelmente pelo consumo de água e alimentos contaminados e que foram aqui estudados na ocasião da coleta. Sugere-se que se promova confirmação atual do diagnóstico e a assistência em saúde dos participantes para investigação clínica e eventual necessidade de tratamento.

Os resultados das amostras analisadas de cabelo mostram que houve aumento na concentração dos elementos químicos arsênio, manganês, níquel, mercúrio, alumínio, chumbo e cromo no segmento do cabelo referente a novembro e dezembro de 2015 (momento do rompimento da barragem “Fundão”). Os valores estão acima daqueles encontrados para os segmentos correspondentes aos períodos anterior e posterior ao rompimento da barragem. Esse perfil observado retrata uma maior contaminação no momento do desastre. Ressalta-se novamente que na região em estudo o consumo de água e alimentos marinhos devem ter influência na carga corporal de elementos químicos tóxicos.

Sugerimos que os participantes do estudo possam ser assistidos em relação a sua saúde, realizando novos exames para confirmar a possibilidade de contaminação atual e a necessidade de tratamento. Os resultados do presente estudo referem-se ao período das coletas em 2017. Isso quer dizer que atualmente os participantes do estudo podem ter maiores ou menores concentrações de elementos químicos no organismo. Estudos epidemiológicos poderão elucidar possíveis efeitos tóxicos decorrentes da exposição aos elementos químicos tóxicos e devem ser estimulados.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA – RDC Nº 42, DE 29 DE AGOSTO DE 2013. **Ministério da Saúde**, p. 6–8, 2013.
- AGURTO-DETZEL, H. et al. The tailings dam failure of 5 November 2015 in SE Brazil and its preceding seismic sequence. **Geophysical Research Letters**, v. 43, n. 10, p. 4929–4936, 2016.
- AHRENS, W.; PIGEOT, I. **Handbook of Epidemiology**. Bremen: Springer Berlin Heidelberg New York, 2005.
- ALMEIDA, C. A. et al. Characterization and evaluation of sorption potential of the iron mine waste after Samarco dam disaster in Doce River basin – Brazil. **Chemosphere**, v. 209, p. 411–420, 2018.
- ANA. Análise Preliminar Sobre a Qualidade d'Água e Seus Reflexos Sobre os Usos da Água. Próton doc nº 139/2016. 2016.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Relatório de segurança de barragens. Brasília, DF. **Agência Nacional de Águas**, p. 81, 2018.
- ANDERSON, R. A. Essentiality of chromium in humans. **Science of the Total Environment, The**, v. 86, n. 1–2, p. 75–81, 1989.
- ANGERER, J.; EWERS, U.; WILHELM, M. Human biomonitoring: State of the art. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 210, n. 3–4, p. 201–228, 2007.
- ARCEGA-CABRERA, F.; FARGHER, L. F. Education, fish consumption, well water, chicken coops, and cooking fires: Using biogeochemistry and ethnography to study exposure of children from Yucatan, Mexico to metals and arsenic. **Science of the Total Environment**, v. 568, p. 75–82, 2016.
- ARYA, R.; ANTONISAMY, B.; KUMAR, S. Sample size estimation in prevalence studies. **Indian Journal of Pediatrics**, v. 79, n. 11, p. 1482–1488, 2012.
- ASCHNER, M.; ASCHNER, J. L. Manganese neurotoxicity: Cellular effects and blood-brain barrier transport. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, v. 15, n. 3, p. 333–340, 1991.
- ATSDR. **Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Substance Priority List**. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/SPL/>>. Acesso em: 14 set. 2019.
- BARANWAL, A.; SINGHI, S. Acute Iron Poisoning: Management Guidelines. **Indian Pediatrics**, v. 40, p. 534–540, 2003.
- BARBOSA, F. et al. A critical review of biomarkers used for monitoring human exposure to lead: Advantages, limitations, and future needs. **Environmental Health Perspectives**, v. 113, n. 12, p. 1669–1674, 2005.
- BARR, D. B. et al. Urinary creatinine concentrations in the U.S. population: Implications for

urinary biologic monitoring measurements. **Environmental Health Perspectives**, v. 113, n. 2, p. 192–200, 2005.

BATISTA, B. L. et al. Exploiting dynamic reaction cell inductively coupled plasma mass spectrometry (DRC-ICP-MS) for sequential determination of trace elements in blood using a dilute-and-shoot procedure. **Analytica Chimica Acta**, v. 639, n. 1–2, p. 13–18, 2009a.

BATISTA, B. L. et al. Reference Concentrations for Trace Elements in Urine for the Brazilian Population based on q-ICP-MS with a Simple Dilute-and-Shoot Procedure. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, n. 8, p. 1406–1413, 2009b.

BATISTA, B. L. et al. Speciation of arsenic in rice and estimation of daily intake of different arsenic species by Brazilians through rice consumption. **Journal of Hazardous Materials**, v. 191, n. 1–3, p. 342–348, 2011.

BIANCHINI, A. Avaliação do impacto da lama/pluma Samarco sobre os ambientes costeiros e marinhos (ES e BA) com ênfase nas Unidades de Conservação: 1a Expedição do Navio de Pesquisa Soloncy Moura do CEPISUL/ICMBio BRASÍLIA. p. 1–62, 2016.

BOHRER, D. et al. Distribution of aluminum in hair of Brazilian infants and correlation to aluminum-adjuvanted vaccine exposure. **Clinica Chimica Acta**, v. 428, p. 9–13, 2014.

BORBA, R. P.; FIGUEIREDO, B. R.; MATSCHULLAT, J. Geochemical distribution of arsenic in waters, sediments and weathered gold mineralized rocks from Iron Quadrangle, Brazil. **Environmental Geology**, v. 1, n. 1, p. 1–1, 2003.

BRAGA, M. et al. Post-catastrophe Analysis of the Fundão Tailings Dam Failure in the Doce River System, Southeast Brazil: Potentially Toxic Elements in Affected Soils. 2017.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Consulta Pública nº 80, de 13 de dezembro de 2004. D. O. U de 17/12/2004. p. 4, 2004.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução - RDC No- 42, DE 29 DE AGOSTO DE 2013. Dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos. p. 1–3, 2013.

BRASIL. Ministério público federal. Procuradoria da república nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo - força tarefa Rio Doce. Brasil.IPL n.º 1843/2015 SRPF/MG; Autos n.º 38.65.2016.4.01.3822; Autos n.º 3078-89.2015.4.01.3822; IPL Polícia Civil - MG 1271-34-2016.4.01.3822; IPL Polícia Civil - MG 1250-24.2016.4.01.3822; Procedimento Investigatório Criminal (PIC) - MPF n.º 1.22.000.003490, 2015a. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/mg/sala-de-imprensa/docs/denuncia-samarco>>

BRASIL. Ministério público federal. Procuradoria da república nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo - força tarefa Rio Doce. Belo Horizonte, Brasil. Ação civil pública, Autos n.º 60017-58.2015.4.01.3800 e 69758.61-2015.4.01.3400, 2015b. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/mg/sala-de-imprensa/docs/acp-samarco>>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Recomendação CNZU n. 8 de 12 de janeiro de 2017. Impactos ambientais da barragem de Fundao (Mariana-MG)**, 2017. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80049/Biodiversidade Aquatica/CNZU/Recomendacao CNZU n 8 impactos ambientais da barragem de Fundao - Mariana-MG.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80049/Biodiversidade_Aquatica/CNZU/Recomendacao_CNZU_n_8_impactos_ambientais_da_barragem_de_Fundao_-_Mariana-MG.pdf)>

CAMASCHELLA, C. Iron-Deficiency Anemia. **The New England Journal of Medicine**, v. 372, p. 1832–43, 2015.

CARNEIRO, M. T. W. D. et al. Intervalos de referência para elementos menores e traço em cabelo humano para a população da Cidade do Rio de Janeiro - Brasil. **Quimica Nova**, v. 25, n. 1, p. 37–45, 2002.

CARVALHO, G. O. DE et al. Metals and Arsenic in Water Supply for Riverine Communities Affected by the Largest Environmental Disaster in Brazil: The Dam Collapse on Doce River. **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, v. 10, n. 4, 2018.

CARVALHO, M. S. DE et al. Concentração de metais no rio Doce em Mariana, Minas Gerais , Brasil Concentration of metals in the Doce river in Mariana , Minas Gerais , Brazil. **Acta Brasiliensis**, v. 1, n. 3, p. 37–41, 2017.

CASTILHOS, Z. et al. Human exposure and risk assessment associated with mercury contamination in artisanal gold mining areas in the Brazilian Amazon. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 15, p. 11255–11264, 2015.

CDC. **About the National Health and Nutrition Examination Survey**. Disponível em: <<https://www.cdc.gov/nchs/nhanes>>. Acesso em: 27 maio. 2019.

CHANG, C. Y. et al. Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta, South China. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 186, n. 3, p. 1547–1560, 2014.

CHEN, C.; KUO, T.; WU, M. Arsenic and cancers. **The Lancet**, p. 414–415, 1986.

CHEN, P.; BORNHORST, J.; ASCHNER, M. Manganese metabolism in humans. **Frontiers in Bioscience - Landmark**, v. 23, n. 9, p. 1655–1679, 2018.

COMINETTI, C. et al. Brazilian nut consumption improves selenium status and glutathione peroxidase activity and reduces atherogenic risk in obese women. **Nutrition Research**, v. 32, n. 6, p. 403–407, 2012.

CONAMA. RESOLUÇÃO N. 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005. **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE**, 2005.

COPPO, G. C. et al. Genotoxic, biochemical and bioconcentration effects of manganese on *Oreochromis niloticus* (Cichlidae). **Ecotoxicology**, v. 27, n. 8, p. 1150–1160, 2018.

CORDEIRO, M. C. et al. Science of the Total Environment Insights on the freshwater microbiomes metabolic changes associated with the world' s largest mining disaster. **Science of the Total**

Environment, v. 654, p. 1209–1217, 2019.

CPRM. Monitoramento Especial Da Bacia Do Rio Doce. p. 37, 2015.

CZERWONKA, M.; SZTERK, A. The effect of meat cuts and thermal processing on selected mineral concentration in beef from Holstein-Friesian bulls. **Meat Science**, v. 105, p. 75–80, 2015.

D.HEWITT, C.; SAVORY, J.; R.WILLS, M. Aspects of aluminum Toxicity. **Clinics in Laboratory Medicine**, v. 10, p. 403–422, 1990.

DA PENHA RHODES, V. et al. Speciation and quantification of Hg in sediments contaminated by artisanal gold mining in the Gualaxo do Norte River, Minas Gerais, SE, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, n. 1, 2018.

DA SILVEIRA FLECK, A. et al. Monitoring an outdoor smoking area by means of PM2.5 measurement and vegetal biomonitoring. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 21, p. 21187–21194, 2016.

DANI, S. U. Osteoresorptive arsenic intoxication. **Bone**, v. 53, n. 2, p. 541–545, 2013.

DARU, B. H. et al. A Global Trend towards the Loss of Evolutionarily Unique Species in Mangrove Ecosystems. **PLoS ONE**, v. 8, n. 6, 2013.

DO CARMO, F. F. et al. Fundão tailings dam failures : the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 15, n. 3, p. 145–151, 2017.

DO NASCIMENTO, S. N. et al. Evaluation of toxic metals and essential elements in children with learning disabilities from a rural area of southern Brazil. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 11, n. 10, p. 10806–10823, 2014.

DOREA, J. G. Fish are central in the diet of Amazonian riparians: Should we worry about their mercury concentrations? **Environmental Research**, v. 92, n. 3, p. 232–244, 2003.

DOS REIS, D. A. et al. Influence of environmental and anthropogenic factors at the bottom sediments in a Doce River tributary in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 8, p. 7456–7467, 2017.

DOS REIS, D. A. et al. The Relationship Between Human Adenovirus and Metals and Semimetals in the Waters of the Rio Doce, Brazil. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 77, n. 1, p. 144–153, 2019.

DUDA-CHODAK, A.; BŁASZCZYK, U. The impact of nickel on human health. **Journal of Elementology**, v. 13, n. 4, p. 685–696, 2008.

EASTMAN, R. R. et al. Hair as a biomarker of environmental manganese exposure. **Environmental Science and Technology**, v. 47, n. 3, p. 1629–1637, 2013.

ERDEMIR, U. S. Contribution of tea (*Camellia sinensis* L.) to recommended daily intake of Mg,

Mn, and Fe: An in vitro bioaccessibility assessment. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 69, n. March 2017, p. 71–77, 2018.

EWERS, U. et al. Reference values and human biological monitoring values for environmental toxins. Report on the work and recommendations of the Commission on Human Biological Monitoring of the German Federal Environmental Agency. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, v. 72, n. 4, p. 255–260, 1999.

EXLEY, C. The coordination chemistry of aluminium in neurodegenerative disease. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 256, n. 19–20, p. 2142–2146, 2012.

EXLEY, C. The toxicity of aluminium in humans. **Morphologie**, v. 100, n. 329, p. 51–55, 2016.

FANG, F. et al. Distribution characteristics and influencing factors of heavy metals in scalp hair of Huainan urban residents. 2019.

FASSLER, C. A. et al. Magnesium Toxicity as a Cause of Hypotension and Hypoventilation: Occurrence in Patients With Normal Renal Function. **Archives of Internal Medicine**, v. 145, n. 9, p. 1604–1606, 1985.

FEAM. Inventário Estadual de Barragens do Estado de Minas Gerais - 2014. **Fundação Estadual do Meio Ambiente**, p. 44, 2014.

FEAM. Inventário Estadual de Barragens do Estado de Minas Gerais - 2017. **Fundação Estadual do Meio Ambiente**, p. 40, 2017.

FELIPPE, M. et al. Acabou-se o que era Doce Notas geográficas sobre a construção de um desastre. **Desastre no Vale do Rio Doce: antecedentes, impactos e ações sobre a destruição**, n. June 2017, 2016.

FITZGERALD, W. F.; LAMBORG, C. H. Geochemistry of Mercury in the Environment. **Sherwood-Lollar, B. (Ed.), Holland, H. D. & Turekian. K. K. (Executive Eds.), Treatise on Geochemistry**, v. 9, p. 107–148, 2005.

FONGARO, G. et al. Mineral Waste Containing High Levels of Iron from an Environmental Disaster (Bento Rodrigues, Mariana, Brazil) is Associated with Higher Titers of Enteric Viruses. **Food and Environmental Virology**, v. 11, n. 2, p. 178–183, 2019.

FREIRE, C. et al. Reference values of lead in blood and related factors among blood donors in the Western Amazon, Brazil. **Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues**, v. 77, n. 8, p. 426–440, 2014.

FREIRE, C. et al. Reference values of cadmium, arsenic and manganese in blood and factors associated with exposure levels among adult population of Rio Branco, Acre, Brazil. **Chemosphere**, v. 128, p. 70–78, 2015.

GELLEIN, K. et al. Trace element profiles in single strands of human hair determined by HR-ICP-MS. **Biological Trace Element Research**, v. 123, n. 1–3, p. 250–260, 2008.

GIAIA. Relatório-Técnico Determinação De Metais Na Bacia Do Rio Doce (Período: Dezembro-2015 a Abril-2016). p. 1–71, 2016.

GIRI, S.; SINGH, A. K. Human health risk assessment via drinking water pathway due to metal contamination in the groundwater of Subarnarekha River Basin, India. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 3, 2015.

GODEBO, T. R. et al. Biomonitoring of metals and trace elements in urine of central Ethiopian populations. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 222, n. 3, p. 410–418, 2019.

GOMES, L. C. et al. Genotoxicity effects on *Geophagus brasiliensis* fish exposed to Doce River water after the environmental disaster in the city of Mariana, MG, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 79, n. 4, p. 659–664, 2019.

GOMES, L. E. DE O. et al. The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 120, n. 1–2, p. 28–36, 2017.

GRANDJEAN, P. et al. Cognitive Deficit in 7-Year-Old Children with Prenatal Exposure to Methylmercury Environmental pollution Food contamination Methylmercury compounds Neuropsychological tests Prenatal exposure delayed effects Preschool child. **Neurotoxicology and Teratology**, v. 19, n. 6, p. 417–428, 1997.

GROTTO, D. et al. Evaluation by ICP-MS of Essential, Nonessential and Toxic Elements in Brazilian Fish and Seafood Samples. **Food and Nutrition Sciences**, v. 03, n. 09, p. 1252–1260, 2012.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Textbook of Medical Physiology**. Philadelphia, Pennsylvania: Elsevier Health Sciences, 2005.

HARRIS, R. R.; SANTOS, M. C. F. Heavy metal contamination and physiological variability in the Brazilian mangrove crabs *Ucides cordatus* and *Callinectes danae* (Crustacea: Decapoda). **Marine Biology**, v. 137, n. 4, p. 691–703, 2000.

HATJE, V. et al. The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–13, 2017.

IARC, I. A. FOR R. ON C. **A review of human carcinogens. Part C: Arsenic, metals, fibres, and dusts**. Lyon, France: v. 100c, 2012.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Laudo Técnico Preliminar. Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. p. 38, 2015.

IBGE. **Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) : análise do consumo alimentar pessoal no Brasil**, 2011.

IBGE. Missão yanomami compreendendo culturas, aperfeiçoando pesquisas. **Revista Retratos**.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, v. n. 14, p. 28, 2018.

IGAM. Qualidade das águas superficiais. **Instituto Mineiro de Gestão das Águas**, p. 69, 2013.

IGAM. Acompanhamento da qualidade das águas do Rio Doce após o rompimento da barragem da Samarco no distrito de Bento Rodrigues - Mariana/MG. **RELATÓRIO TÉCNICO Acompanhamento da Qualidade das Águas do Rio Doce Após o Rompimento da Barragem da Samarco no distrit.** p. 66, 2015.

IOM. **Dietary Reference Intakes for Calcium, Phosphorus, Magnesium, Vitamin D, and Fluoride**, 1997.

IOM. **Dietary Reference intakes for thiamin, riboflavin, niacin, vitamin B6, folate, vitamin B12, pantothenic acid, biotin and choline: a report of the Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes and its Panel on Folate, Other B.** Washington, DC: Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. National Academies Press. Subcommittee on Upper Reference Levels of Nutrients, 1998.

IOM. **Dietary reference intakes for vitamin C, vitamin E, selenium, and carotenoids: a report of the Panel on Dietary Antioxidants and Related Compounds.** Washington, DC: Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. National Academies Press. Subcommittees on Upper Reference Levels of Nutrients and Interpretation and Uses of Dietary Reference Intakes, and the Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Re, 2000.

IOM. **Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc: a report of the Panel on Micronutrients.** Washington, DC: Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. National Academies Press. Subcommittees on Upper Reference Levels of Nutrients and of Interpretation and Uses of Dietary Reference Intakes, and the Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary, 2001.

JECFA. Safety evaluation of certain food additives and contaminants. Lead. **World Health Organization**, p. 381–497, 2011.

JECFA. Safety evaluation of certain food additives and contaminants. Aluminum. **World Health Organization**, 2012.

JOHRI, N.; JACQUILLET, G.; UNWIN, R. Heavy metal poisoning: The effects of cadmium on the kidney. **BioMetals**, v. 23, n. 5, p. 783–792, 2010.

JURSA, T.; STEIN, C.; SMITH, D. Determinants of Hair Manganese, Lead, Cadmium and Arsenic Levels in Environmentally Exposed Children. **Toxics**, v. 6, n. 2, p. 19, 2018.

KARWOWSKI, M. P. et al. Blood and Hair Aluminum Levels, Vaccine History, and Early Infant Development: A Cross-Sectional Study. **Academic Pediatrics**, v. 18, n. 2, p. 161–165, 2018.

KHLIFI, R. et al. Biomonitoring of cadmium, chromium, nickel and arsenic in general population living near mining and active industrial areas in Southern Tunisia. **Environmental Monitoring**

and Assessment, v. 186, n. 2, p. 761–779, 2014.

KIRA, C. S. et al. Associated factors for higher lead and cadmium blood levels, and reference values derived from general population of São Paulo, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 543, p. 628–635, 2016.

KNOLLMANN-RITSCHER, B. E. C.; MARKOWITZ, M. Educational Case: Lead Poisoning. **Academic Pathology**, v. 4, p. 1–3, 2017.

KUMAR, S.; TRIVEDI, A. A Review on Role of Nickel in the Biological System. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 5, n. 3, p. 719–727, 2016.

KUMMROW, F. et al. Biomonitoring method for the simultaneous determination of cadmium and lead in whole blood by electrothermal atomic absorption spectrometry for assessment of environmental exposure. **Talanta**, v. 75, n. 1, p. 246–252, 2008.

KUNO, R. et al. Reference values for lead, cadmium and mercury in the blood of adults from the metropolitan area of São Paulo, Brazil. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 216, n. 3, p. 243–249, 2013.

LARESE, F. et al. In vitro percutaneous absorption of metal compounds. **Toxicology Letters**, v. 170, n. 1, p. 49–56, 2007.

LEBEAU, M. A.; MONTGOMERY, M. A.; BREWER, J. D. The role of variations in growth rate and sample collection on interpreting results of segmental analyses of hair §. **Forensic Science International**, v. 210, n. 1–3, p. 110–116, 2011.

LEONARDO, F. A. M. et al. Rompimento da barragem do Fundão (SAMARCO/VALE/BHP BILLITON) e os efeitos do desastre na foz do Rio Doce, distritos de Regência e Povoação, Linhares (ES). p. 114, 2017.

LEVINA, A.; LAY, P. A. Chemical properties and toxicity of chromium(III) nutritional supplements. **Chemical Research in Toxicology**, v. 21, n. 3, p. 563–571, 2008.

LITOV, R. E. et al. Plasma Aluminum Measurements in Term Infants Fed Human Milk or a Soy-Based Infant Formula. **Pediatrics**, v. 84, p. 1105–1107, 1989.

LOH, M. M. et al. Multimedia exposures to arsenic and lead for children near an inactive mine tailings and smelter site. **Environmental Research**, v. 146, p. 331–339, 2016.

MAGRIS, R. A. et al. A modelling approach to assess the impact of land mining on marine biodiversity: Assessment in coastal catchments experiencing catastrophic events (SW Brazil). **Science of The Total Environment**, v. 659, n. January, 2018.

MANN, C. J. Observational research methods. Research design II: cohort, cross sectional, and case-control studies. **Emergency Medicine Journal**, v. 20, n. 1, p. 54–60, 2003.

MARTA-ALMEIDA, M. et al. Fundão Dam collapse: Oceanic dispersion of River Doce after the

greatest Brazilian environmental accident. **Marine Pollution Bulletin**, v. 112, n. 1–2, p. 359–364, 2016.

MASON, L. H.; HARP, J. P.; HAN, D. Y. Pb neurotoxicity: Neuropsychological effects of lead toxicity. **BioMed Research International**, v. 2014, 2014.

MATSCHULLAT, J. et al. Human and environmental contamination in the Iron. **Applied Geochemistry**, v. 15, p. 181–190, 2000.

MIEKELEY, N.; DIAS CARNEIRO, M. T. W.; PORTO DA SILVEIRA, C. L. How reliable are human hair reference intervals for trace elements? **Science of the Total Environment**, v. 218, n. 1, p. 9–17, 1998.

MILANEZ, B.; LOSEKANN, C. Desastre no Vale do Rio Doce: antecedentes, impactos e ações sobre a destruição. **Desastre no Vale do Rio Doce**, p. 222, 2016.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA. Boletim estatístico da pesca e aquicultura. **Formación de la ciudadanía las TICs y los nuevos problemas**, p. 101, 2010.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. v. 2011, 2011.

MOLIN, M. et al. Urinary excretion of arsenicals following daily intake of various seafoods during a two weeks intervention. **Food and Chemical Toxicology**, v. 66, p. 76–88, 2014.

MONTENEGRO, M. F. et al. A polymorphism in the delta-aminolevulinic acid dehydratase gene modifies plasma/whole blood lead ratio. **Archives of Toxicology**, v. 80, n. 7, p. 394–398, 2006.

MORENO, M. E. et al. Biomonitoring of metal in children living in a mine tailings zone in Southern Mexico: A pilot study. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 213, n. 4, p. 252–258, 2010.

MORGENSTERN, N. R. et al. Fundão Tailings Dam Review Panel. p. 88, 2016.

NACANO, L. R.; DE FREITAS, R.; BARBOSA, F. Evaluation of seasonal dietary exposure to arsenic, cadmium and lead in schoolchildren through the analysis of meals served by public schools of Ribeirão Preto, Brazil. **Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues**, v. 77, n. 7, p. 367–374, 2014.

NHANES. Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals Executive Summary. **Centers for Disease Control and Prevention**, n. Janeiro, p. 588, 2017.

NRC. Arsenic in Drinking Water. **National Research Council**, p. 177–186, 1999.

NTP. Technical report on the toxicology and carcinogenesis studies of barium chloride dihydrate (CAS No. 10326-27-9) in F344/N rats and B6C3F1 mice (drinking water studies). **National Toxicological Program**, n. 38, 1994.

NUNES, J. A. et al. A simple method based on ICP-MS for estimation of background levels of arsenic, cadmium, copper, manganese, nickel, lead, and selenium in blood of the Brazilian population. **Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues**, v. 73, n. 13–14, p. 878–887, 2010.

OHMORI, S. Object of investigation Lead-processing workers (A). Workers who are engaged in the manufacture of lead Pretreatment of test sample. v. 84, p. 451–459, 1984.

PAOLIELLO, M. M. B. et al. Valores de referência para plumbemia em uma população urbana do Sul do Brasil. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 9, n. 5, p. 315–319, 2001.

PARSONS, P. J.; BARBOSA, F. Atomic spectrometry and trends in clinical laboratory medicine. **Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy**, v. 62, n. 9, p. 992–1003, 2007.

PAULELLI, A. C. C. et al. Evaluation of uptake, translocation, and accumulation of arsenic species by six different Brazilian rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 169, n. August 2018, p. 376–382, 2019.

PEREIRA, A. A. et al. Effects of iron-ore mining and processing on metal bioavailability in a tropical coastal lagoon. **Journal of Soils and Sediments**, v. 8, n. 4, p. 239–252, 2008.

PEREIRA, M. E. C.; TEIXEIRA, G. H. DE. Atualidades em ciências de alimentos e nutrição para profissionais da saúde. **Varela**, 2014.

PÉREZ, R. et al. Influence of diet in urinary levels of metals in a biomonitoring study of a child population of the Valencian region (Spain). **Science of the Total Environment**, v. 618, p. 1647–1657, 2018.

PIMENTEL, H.; DE LENA, J.; NALINI, H. Studies of water quality in the Ouro Preto region, Minas Gerais, Brazil: the release of arsenic to the hydrological system. **Environmental Geology**, v. 43, n. 6, p. 725–730, 2003.

PIRH DOCE. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce e dos Planos de Ações de Recursos Hídricos para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce**, v. I, p. 472, 2010.

PLUM, L. M.; RINK, L.; HAJO, H. The essential toxin: Impact of zinc on human health. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 7, n. 4, p. 1342–1365, 2010.

POLÍCIA CIVIL DE MINAS GERAIS. **Polícia civil conclui primeiro inquérito do rompimento de barragem**. Disponível em: <<https://www.policiacivil.mg.gov.br/noticia/exibir?id=186954>>. Acesso em: 16 maio. 2019.

POVOAÇÃO. **Conheça a nossa vila**. Disponível em: <<http://www.povoacao.fozdoriodoce.com.br/>>. Acesso em: 23 maio. 2019.

PREFEITURA DE LINHARES. **Hidrografia**. Disponível em: <<https://linhares.es.gov.br>>. Acesso em: 9 jul. 2019.

QUADRA, G. R. et al. Far-reaching cytogenotoxic effects of mine waste from the Fundão dam disaster in Brazil. **Chemosphere**, v. 215, p. 753–757, 2019.

QUANSAH, R. et al. Association of Arsenic with Adverse Pregnancy Outcomes / Infant Mortality: **Enviromental Health Perspectives**, v. 123, n. 5, p. 412–422, 2015.

QUEIROZ, H. M. et al. The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination? **Science of the Total Environment**, v. 637–638, p. 498–506, 2018.

RAAB, A.; FELDMANN, J. Arsenic speciation in hair extracts. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 381, n. 2, p. 332–338, 2005.

RAPANT, S.; DIETZOVÁ, Z.; CICMANOVÁ, S. Environmental and health risk assessment in abandoned mining area, Zlata Idka, Slovakia. **Environmental Geology**, v. 51, n. 3, p. 387–397, 2006.

REGÊNCIA. **HISTÓRIA DE REGÊNCIA**. Disponível em: <<http://www.regencia.fozdoriodoce.com.br/avila.asp>>. Acesso em: 23 maio. 2019.

ROCHA, E. M. et al. The impact of disruption of the barrage in Mariana – MG on the health of the riverside population in the city of Colatina – ES. v. 10, n. 3, p. 31–45, 2016a.

ROCHA, G. H. O. et al. Trace metal levels in serum and urine of a population in southern Brazil. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 35, p. 61–65, 2016b.

ROCHE, C.; THYGESEN, K.; BAKER, E. **Mine Tailings Storage: Safety Is No Accident. UNEP Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme**. v. 31, n. 05, p. 2018, 2017.

RODRIGUES, J. L. et al. A fast method for the determination of 16 elements in hair samples by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) with tetramethylammonium hydroxide solubilization at room temperature. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, v. 23, n. 7, p. 992–996, 2008.

RODRIGUES, J. L. et al. Trace element levels in whole blood of riparian villagers of the Brazilian Amazon. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 13, p. 4168–4173, 2009.

ROOHANI, N. et al. Zinc and its importance for human health: An integrative review. **Journal of Research in Medical Sciences**, v. 18, n. 2, p. 144–157, 2013.

ROSSANDER-HULTEN, L. et al. Competitive inhibition of iron absorption by manganese and zinc in humans. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 54, n. 1, p. 152–156, 1991.

RUDORFF, N. et al. Remote sensing monitoring of the impact of a major mining wastewater disaster on the turbidity of the Doce River plume off the eastern Brazilian coast. **ISPRS Journal**

of **Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 145, p. 349–361, 2018.

SAAE. **SAAE de Baixo Guandu divulga análise da água do rio Doce**. Disponível em: <<http://www.pmbg.es.gov.br/v1/?page=lernoticia¬icia=1356#prettyPhoto.12-11-2015>>.

SAKAMOTO, M. et al. Implications of mercury concentrations in umbilical cord tissue in relation to maternal hair segments as biomarkers for prenatal exposure to methylmercury. **Environmental Research**, v. 149, p. 282–287, 2016.

SALONEN, J. T. et al. Intake of mercury from fish, lipid peroxidation, and the risk of myocardial infarction and coronary, cardiovascular, and any death in eastern Finnish men [3]. **Circulation**, v. 92, n. 8, p. 2355–2356, 1995.

SAMARCO. **O processo de mineração**. Disponível em: <<https://www.samarco.com>>.

SANTOLIN, C. V. A. et al. Distribution and environmental impact evaluation of metals in sediments from the Doce River Basin, Brazil. p. 1235–1248, 2015.

SANTOS, M. DOS et al. Biomonitoring of trace elements in urine samples of children from a coal-mining region. **Chemosphere**, v. 197, p. 622–626, 2018a.

SANTOS, M. S. et al. Risk Assessment of the Drinking Water Samples in the Rural Area from MG, Brazil. **International Journal of Environmental Research**, v. 12, n. 6, p. 965–971, 2018b.

SCHULZ, C. et al. The German Human Biomonitoring Commission. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 210, n. 3–4, p. 373–382, 2007a.

SCHULZ, C. et al. Twenty years of the German Environmental Survey (GerES): Human biomonitoring - Temporal and spatial (West Germany/East Germany) differences in population exposure. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 210, n. 3–4, p. 271–297, 2007b.

SEGURA, F. R. et al. Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil). **Environmental Pollution**, v. 218, p. 813–825, 2016.

SERINI, S. et al. Fish from an artificial lake: n-3 PUFA content and chemical-physical and ecological features of the lake. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, n. 2, p. 133–141, 2010.

SIGEL, A.; SIGEL, H.; SIGEL, R. K. O. **Interrelations between essential metal ions and human diseases**. v. 13, 2013.

SILVA, A. C. et al. Chemical, mineralogical and physical characteristics of a material accumulated on the river margin from mud flowing from the collapse of the iron ore tailings dam in Bento Rodrigues, Minas Gerais, Brazil. **Revista Espinhaço**, v. 5, n. 2, p. 44–53, 2016.

SILVA, D. DE C. et al. Trace elements in river waters and sediments before and after a mining dam breach (Bento Rodrigues, Brazil). **Química Nova**, v. 41, n. 8, p. 857–866, 2018.

- SIMOPOULOS A.P. Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 54, n. 3, p. 438–463, 1991.
- SKRÖDER, H. et al. Major Limitations in Using Element Concentrations in Hair as Biomarkers of Exposure to Toxic and Essential Trace Elements in Children. **Environmental Health Perspectives**, v. 125, n. 6, p. 67021, 2017.
- SOLOMONS, N. W. Competitive interaction of iron and zinc in the diet: Consequences for human nutrition. **Journal of Nutrition**, v. 116, n. 6, p. 927–935, 1986.
- SOPHOCLEOUS, M. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. **Hydrogeology Journal**, v. 10, p. 52–67, 2002.
- STENEHJEM, A. E. et al. Slow recovery from severe inorganic arsenic poisoning despite treatment with DMSA (2,3-dimercaptosuccinic acid). **Clinical Toxicology**, v. 45, n. 4, p. 424–428, 2007.
- STUART, B.; PANICO, L. Early-childhood BMI trajectories: evidence from a prospective, nationally representative British cohort study. **Nutrition and Diabetes**, v. 6, n. 3, p. e198-7, 2016.
- SULIBURSKA, J.; KREJPCIO, Z. Evaluation of the content and bioaccessibility of iron, zinc , calcium and magnesium from groats , rice , leguminous grains and nuts. v. 51, n. March, p. 589–594, 2014.
- TAKEDA, S. H. K. et al. Trace element levels in blood and associated factors in adults living in the metropolitan area of São Paulo, Brazil. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 44, n. March, p. 307–314, 2017.
- TINGGI, U. Essentiality and toxicity of selenium and its status in Australia: A review. **Toxicology Letters**, v. 137, n. 1–2, p. 103–110, 2003.
- TSENG, W. P. et al. Prevalence of skin cancer in an endemic area of chronic arsenicism in taiwan. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 40, n. 3, p. 453–463, 1968.
- TSENG, W. P. Effects and dose response relationships of skin cancer and blackfoot disease with arsenic. **Environmental Health Perspectives**, v. Vol.19, n. August, p. 109–119, 1977.
- U.S. EPA. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes By Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, v. 4, p. 57, 1994.
- USEPA. Cadmium; CASRN 7440-43-9. **United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS)**, p. 1–11, 1987a.
- USEPA. Nickel, soluble salts ; CASRN Various. **United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS)**, p. 1–12, 1987b.
- USEPA. Chemical Assessment Summary: Arsenic (Inorganic). **United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS)**, p. 27, 1988.

- USEPA. Selenium and Compounds; CASRN 7782-49-2. **United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS)**, p. 1–23, 1991.
- USEPA. Guidelines for Exposure Assessment. **United States Environmental Protection Agency**, v. 57, n. May, p. 22888–22938, 1992.
- USEPA. Manganese (CASRN 7439-96-5). **United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS)**, p. 1–46, 1995a.
- USEPA. Methylmercury (CASRN 22967-92-6) | IRIS | US EPA. **United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS)**, p. 1–43, 1995b.
- USEPA. Barium and Compounds; CASRN 7440-39-3. **United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS)**, p. 1–34, 1998a.
- USEPA. Chromium (III), insoluble salts; CASRN 16065-83-1. **United States Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS)**, n. Iii, p. 1–16, 1998b.
- VALE. **Vale**. Disponível em: <<http://www.vale.com>>. Acesso em: 23 maio. 2019.
- VALENTINI, J. et al. Blood antioxidant nutrients in riparian villagers of the Brazilian Amazon: its associations with wet/dry seasons and modulation by sociodemographic determinants. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 24, n. 1, p. 21–31, 2016.
- VALERIANO, C. DE M. et al. Sm–Nd and Sr isotope fingerprinting of iron mining tailing deposits spilled from the failed SAMARCO Fundão dam 2015 accident at Mariana, SE-Brazil. **Applied Geochemistry**, v. 106, n. February, p. 34–44, 2019.
- VALKO, M.; MORRIS, H.; CRONIN, M. Metals, Toxicity and Oxidative Stress. **Current Medicinal Chemistry**, v. 12, n. 10, p. 1161–1208, 2005.
- VAREJÃO, E. V. V. et al. Arsenic and trace metals in river water and sediments from the southeast portion of the Iron Quadrangle, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 172, n. 1–4, p. 631–642, 2011.
- VARRICA, D. et al. Metals and metalloids in hair samples of children living near the abandoned mine sites of Sulcis-Inglesiente (Sardinia, Italy). **Environmental Research**, v. 134, p. 366–374, 2014.
- VIEIRA ROCHA, A. et al. Selenium status and hair mercury levels in riverine children from Rondônia, Amazonia. **Nutrition**, v. 30, n. 11–12, p. 1318–1323, 2014.
- VILHENA, M. S. P.; COSTA, M. L.; BERREDO, J. F. Accumulation and transfer of Hg, As, Se, and other metals in the sediment-vegetation-crab-human food chain in the coastal zone of the northern Brazilian state of Pará (Amazonia). **Environmental Geochemistry and Health**, v. 35, n. 4, p. 477–494, 2013.
- VLADIMÍR, B. Use of human hair as a biomarker in the assessment of exposure to pollutants in

- occupational and environmental settings. **Toxicology**, v. 101, n. 1–2, p. 29–39, 1995.
- VORMITTAG, E. Resultados de exames toxicológicos - Município de Barra Longa - MG. **Instituto Saúde e Sustentabilidade**, p. 1–13, 2018.
- VORMITTAG, E. DA M. P. A. DE A.; OLIVEIRA, M. A. DE; GLERIANO, J. S. Avaliação de Saúde da População de Barra Longa afetada. v. 21, 2018.
- WEI, B. et al. Trace Metals in the Urine and Hair of a Population in an Endemic Arsenism Area. **Biological Trace Element Research**, v. 182, n. 2, p. 209–216, 2018.
- WERNER, A. D.; SIMMONS, C. T. Impact of Sea-Level Rise on Sea Water Intrusion in Coastal Aquifers. v. 47, p. 197–204, 2009.
- WHO. **Biological Monitoring of Chemical Exposure in the Workplace: Guidelines**. Geneva: World Health Organization, 1996. v. 1
- WHO. Human biomonitoring (HBM). **World Health Organization**, p. 104, 2015.
- WHO. **Guidelines for Drinking-water Quality**. 4a. ed. World Health Organization, 2017.
- WYATT, L. et al. Spatial, temporal, and dietary variables associated with elevated mercury exposure in peruvian riverine communities upstream and downstream of artisanal and small-scale gold mining. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 14, n. 12, 2017.
- YÁÑEZ, L. et al. DNA damage in blood cells from children exposed to arsenic and lead in a mining area. **Environmental Research**, v. 93, n. 3, p. 231–240, 2003.
- YANG, L. et al. Endemic selenium intoxication of humans in China. **Journal of trace elements and electrolytes in health and disease**, n. May, p. 872–881, 1983.
- YEMANE, M.; CHANDRAVANSI, B. S.; WONDIMU, T. Levels of essential and non-essential metals in leaves of the tea plant (*Camellia sinensis* L.) and soil of Wushwush farms, Ethiopia. **Food Chemistry**, v. 107, n. 3, p. 1236–1243, 2008.
- ZHUANG, P. et al. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. **Science of the Total Environment**, v. 407, n. 5, p. 1551–1561, 2009.
- ZIMMERMANN, M. B.; HURRELL, R. F. Nutritional iron deficiency. **The Lancet**, v. 370, n. 9586, p. 511–520, 2007.