



**ESTUDO DE AVALIAÇÃO DE RISCO À
SAÚDE HUMANA EM LOCALIDADES
ATINGIDAS PELO ROMPIMENTO DA
BARRAGEM DO FUNDÃO – MG**

RELATÓRIO FINAL

São Paulo, 21 de março de 2019

ETAPA I

Município de Mariana – MG; Barra Longa – MG

Coordenação Geral:

Dr. Alexandre Pessoa da Silva – Ambios Engenharia e Processos

Equipe:

- ✓ Dra. Carmen Ildes Fróes Asmus – Universidade Federal do Rio de Janeiro
- ✓ Dra. Jackeline Leite Pareira Pavin – Ambios Engenharia e Processos
- ✓ Júlio Cesar Verneque Lacerda - Ambios Engenharia e Processos
- ✓ MsC. Luiz Belino Ferreira Sales - Ambios Engenharia e Processos
- ✓ MsC. Milene Tramansoli Resende – Ambios Engenharia e Processos
- ✓ MsC. Renan Duarte dos Santos Saraiva – Ambios Engenharia e Processos
- ✓ MsC. Thenille Faria Machado do Carmo - Ambios Engenharia e Processos

SUMÁRIO

ANTECEDENTES	8
Considerações iniciais.....	13
Condicionantes para a realização dos estudos de ARSH no caso do rompimento da barragem de Fundão.....	23
Contextualização	28
A mineração de ferro no Brasil	29
Barragens de rejeitos em Minas Gerais.....	30
Metais pesados em rejeitos da mineração	33
Os rejeitos da produção de minério da Samarco	34
Considerações Sobre a inércia ambiental da lama de rejeitos	35
Capítulo I: Avaliação dos dados existentes.....	40
DADOS LEVANTADOS PELA EQUIPE DE ARSH DA AMBIOS.....	41
EMPREENDIMENTO DA SAMARCO NO MUNICÍPIO DE MARIANA.....	41
CARACTERIZAÇÃO DO DESASTRE DE ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO	47
CARACTERIZAÇÃO SÓCIO DEMOGRÁFICA	56
MARIANA	56
Barra Longa – MG.....	80
Avaliação dos dados existentes disponibilizados pela Fundação Renova	85
Campanhas de cadastramento	85
Relevância desses dados e informações para os estudos de ARSH	88
DADOS DE SAÚDE	97
DADOS AMBIENTAIS	108
Dados de monitoramento do Rio Doce	121
Metais em organismos aquáticos.....	129
Estudos realizados pelo ICMBio.....	147
Estudos realizado pela Econservation	148
Capítulo II: Preocupações da Comunidade com sua Saúde.....	165
Etapas de Levantamento das preocupações da população com a sua saúde em Mariana e Barra Longa	166
<i>Preocupações da população com a sua saúde em Mariana</i>	<i>167</i>
<i>Preocupações da população com a sua saúde em Barra Longa</i>	<i>176</i>
Capítulo III: Contaminantes de Interesse	190
Contextualização.....	191
Localidades avaliadas durante os estudos de ARSH	204
Localidades no município de Mariana	204
Localidades no município de Barra Longa	204
DETERMINAÇÃO DOS CONTAMINANTES DE INTERESSE	206
Mariana.....	206

Barra Longa	216
Considerações sobre os contaminantes de interesse encontrados nas localidades de Mariana e Barra Longa	226
Conclusão sobre os contaminantes de interesse nas localidades de Mariana e Barra Longa	229
Capítulo IV: Mecanismos de Transporte	230
Mecanismos de Transporte dos contaminantes de interesse	231
Capítulo V: Rotas de Exposição	259
Contextualização	260
ROTAS DE EXPOSIÇÃO EM MARIANA E BARRA LONGA	282
Capítulo VI: Implicações para a Saúde Pública	295
Introdução	296
Avaliação Toxicológica	298
Considerações preliminares	298
Cálculo da Dose de Exposição aos contaminantes de interesse definidos	305
Perfis toxicológicos - Efeitos tóxicos dos contaminantes de interesse	307
Estabelecimento das Implicações sobre a saúde das populações expostas das localidades de Mariana e Barra Longa	317
Considerações Iniciais	317
Implicações sobre a saúde das populações expostas aos contaminantes de interesse identificados.	319
Resposta às preocupações da comunidade sobre a saúde	322
Capítulo VII: Conclusões e Recomendações	327
Contextualização	328
CLASSIFICAÇÃO DA CATEGORIA DE PERIGO PARA A SAÚDE HUMANA NOS MUNICÍPIOS DE MARIANA E BARRA LONGA	332
Nota Introdutória	332
Categoria de perigo para a saúde humana nos Municípios de Mariana e Barra Longa	334
Critérios de categorização:	334
Classificação da Categoria de perigo para a saúde humana nos Municípios de Mariana e Barra Longa	336
RECOMENDAÇÕES DE AÇÕES DE SAÚDE	336
RECOMENDAÇÕES DE AÇÕES AMBIENTAIS	340
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	343

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Complexo de Germano</i>	<i>42</i>
<i>Figura 2: Mapa de áreas de influência do Meio Físico e do Meio Biótico</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3: Apresentação esquemática das estruturas e infraestruturas do Complexo do Germano, desde a mina até o porto.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 4: Distribuição dos distritos de Mariana.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 5: Representação gráfica de alguns mecanismos de transporte.....</i>	<i>266</i>
<i>Figura 6: Casos de Febre Amarela Notificados em Marina no período de 2015 a 2017.....</i>	<i>325</i>

LISTA DE QUADROS

<i>Quadro 1: Produtos e prazos da contratação.....</i>	<i>12</i>
<i>Quadro 2: Objetivos da amostragem ambiental com metodologias de avaliação de risco utilizadas pelos órgãos de controle ambiental e nos estudos de avaliação de risco à saúde humana (ARSH).....</i>	<i>15</i>
<i>Quadro 3: Cobertura dos atendimentos em saúde antes do desastre</i>	<i>72</i>
<i>Quadro 4: Cobertura dos atendimentos em saúde depois do Desastre</i>	<i>72</i>
<i>Quadro 5: Perfil Epidemiológico de Mariana em 2015 (frequência de casos mensais).....</i>	<i>75</i>
<i>Quadro 6: Perfil Epidemiológico de Mariana em 2016 (frequência de casos mensais).....</i>	<i>76</i>
<i>Quadro 7: Perfil Epidemiológico de Mariana em 2017 (frequência de casos mensais).....</i>	<i>77</i>
<i>Quadro 8: Perfil de Mortalidade segundo grupos de causa em Barra Longa/MG no Período de 2015 a 2017.....</i>	<i>83</i>
<i>Quadro 9: Perfil de Internação segundo grupos de causas em Barra Longa no Período de 2015 a 2017. .</i>	<i>84</i>
<i>Quadro 10: RESUMO ROTAS DE EXPOSIÇÃO DOS COMPARTIMENTOS AVALIADOS</i>	<i>294</i>
<i>Quadro 11: Casos notificados de dengue (prováveis) no município de Mariana no período de 2015 a 2017.....</i>	<i>323</i>
<i>Quadro 12: Critérios e recomendações para as categorias de risco para a saúde pública.</i>	<i>330</i>

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 1: Concentrações máximas registradas de metais pesados no trecho mineiro do Rio Doce</i>	49
<i>Tabela 2: Resultados analíticos das amostras de frutas coletadas nos distritos de Mariana-MG.</i>	207
<i>Tabela 3: Resultados analíticos das amostras de tubérculos coletadas nos distritos de Mariana-MG....</i>	208
<i>Tabela 4: Resultados analíticos das amostras de leite de vaca coletadas nos distritos de Mariana-MG</i>	209
<i>Tabela 5: Resultados analíticos das amostras de ovo de galinha coletadas nos distritos de Mariana-MG</i>	210
<i>Tabela 6: Resultados analíticos das amostras de solo coletadas nos distritos de MARIANA-MG</i>	213
<i>Tabela 7: Resultados analíticos das amostras de sedimentos coletadas nos distritos de MARIANA-MG</i>	214
<i>Tabela 8: resultados analíticos das amostras de poeira domiciliar coletadas nos distritos de MARIANA-MG</i>	215
<i>Tabela 9: Resultados analíticos das amostras de frutas coletadas nas localidades de BARRA LONGA-MG</i>	217
<i>Tabela 10: Resultados analíticos das amostras de tubérculos coletadas nas localidades de Barra Longa-MG</i>	218
<i>Tabela 11: Resultados analíticos das amostras de leite de vaca coletadas nas localidades de Barra Longa-MG</i>	219
<i>Tabela 12: Resultados analíticos das amostras de ovo de galinha coletadas nas localidades de BARRA LONGA-MG</i>	220
<i>Tabela 13: RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA COLETADAS NAS LOCALIDADES DE BARRA LONGA-MG:</i>	222
<i>Tabela 14: RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DE SOLO COLETADAS NAS LOCALIDADES DE BARRA LONGA-MG 15:</i>	223
<i>Tabela 16: RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO COLETADAS NAS LOCALIDADES DE BARRA LONGA-MG:</i>	224
<i>Tabela 17: RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DE POEIRA COLETADAS NAS LOCALIDADES DE BARRA LONGA-MG:</i>	225
<i>Tabela 18: Mecanismos de transporte</i>	265
<i>Tabela 19: Rotas de exposição específicas de cada meio ambiental</i>	273
<i>Tabela 20: ROTAS DE EXPOSIÇÃO: ALIMENTOS</i>	285
<i>Tabela 21: ROTAS DE EXPOSIÇÃO POTENCIAL FUTURA</i>	286
<i>Tabela 22: ROTAS DE EXPOSIÇÃO COMPLETA: SOLO SUPERFICIAL</i>	289
<i>Tabela 23: ROTAS DE EXPOSIÇÃO POTENCIAL FUTURA: SOLO SUPERFICIAL</i>	289
<i>Tabela 24: SEDIMENTOS. ROTAS DE EXPOSIÇÃO COMPLETA FUTURA</i>	291
<i>Tabela 25: POEIRA DOMICILIAR. ROTA DE EXPOSIÇÃO COMPLETA</i>	293
<i>Tabela 26: EPA classificação dos carcinógenos</i>	300
<i>Tabela 27: Iarc, classificação dos carcinógenos</i>	300
<i>Tabela 28: Estimativa de dose de exposição crônica ao cádmio por via oral (mg/kg _ dia)</i>	306
<i>Tabela 29: Classificação segundo carcinogenicidade dos contaminantes de interesse, Mariana e Barra Longa _ Minas Gerais, 2019.</i>	307

ANTECEDENTES

Caso Samarco – Rompimento da Barragem de Fundão

Em função do desastre ocorrido em 05 de novembro de 2015, que será detalhado ao longo desse relatório, foi assinado um Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta - TTAC, em 02 de março de 2016, entre os COMPROMITENTES: União, Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio, Agência Nacional de Águas - ANA, Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, Fundação Nacional do Índio - FUNAI, Estado de Minas Gerais, Instituto Estadual de Florestas - IEF, Instituto Mineiro de Gestão de Águas - IGAM, Fundação Estadual de Meio Ambiente - FEAM, Estado do Espírito Santo, Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - IEMA, Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo - IDAF, Agência Estadual de Recursos Hídricos - AGERH; e ACIONISTAS: SAMARCO MINERAÇÃO S.A., VALE, BHP Billiton Brasil Ltda (TTAC, 2016).

O TTAC apresenta, dentre os seus considerandos, que o “rompimento causou impactos à população, incluindo mortes, desaparecimentos, danos físicos; à saúde e ao patrimônio público e privado” e “trouxo consequências ambientais e sociais, em um EVENTO que atingiu 680 km de corpos d’água nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, além de impactos a regiões estuarinas do Rio Doce e regiões costeiras e marinha”. A área de abrangência socioeconômica, onde se inserem as ações de saúde, são: “localidades e comunidades adjacentes à Calha do Rio Doce, Rio do Carmo, Rio Gualaxo do Norte e Córrego Santarém e a áreas estuarinas, costeira e marinha impactadas” (TTAC, 2016).

Para a operacionalização das ações contidas no TTAC, foi criada a Fundação Renova que é responsável pela implantação de 42 programas (RENOVA, 2019b) reunidos em duas principais frentes de trabalho, uma socioeconômica e outra socioambiental.

Dentre esses Programas está o de Saúde (“Programa de Apoio à Saúde Física e Mental da População Impactada”) estabelecido na Seção IV: SAÚDE, Subseção IV.1, cláusulas 106 a 112. Em maio de 2017 houve o desmembramento da CT de Saúde, Educação, Cultura e Lazer, instituída pelo artigo 2º, inciso VII, da Deliberação do CIF nº 07, de 11 de julho de 2017, com o estabelecimento da Câmara Técnica de Saúde (CT-

Saúde) considerando a demanda de ações de saúde na população impactada e a alta especificidade das ações de saúde a serem adotadas junto a essa população.

A CT-Saúde é a instância do CIF – Comitê Interfederativo que estabelece as ações necessárias para o monitoramento da saúde da população atingida pelo desastre. O Comitê Interfederativo (CIF) foi criado em resposta ao desastre e sua função é orientar e validar os atos da Fundação Renova, instituída pela Samarco e suas acionistas, Vale e BHP Billiton, para gerir e executar as medidas de recuperação dos danos resultantes da tragédia. O CIF é presidido pelo Ibama e composto por representantes da União, dos governos de Minas Gerais e do Espírito Santo, dos municípios impactados e do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (IBAMA, 2019).

De acordo com a deliberação nº 106 do CIF foi indicada a necessidade de realização de um estudo de avaliação de risco à saúde humana, tendo como orientadoras Diretrizes do Ministério da Saúde (BRASIL, 2010), e o documento de “Bases Mínimas” da CT-Saúde (IBAMA, 2019).

Tendo esses documentos como norteadores, em julho de 2018 foi celebrado o contrato entre a empresa Ambios Engenharia Ltda. e a Fundação Renova, com o objetivo de atendimento às “Bases Mínimas” para estudo de avaliação de risco à saúde humana, segundo a metodologia do Ministério da Saúde, que servirá de base para o atendimento aos demais estudos elencados no TTAC, em especial o estudo epidemiológico e o estudo toxicológico. Para fins desse estudo, denominaremos Avaliação de Risco à Saúde Humana, como ARSH.

Avaliação de risco à saúde humana

O documento “Diretrizes para elaboração de estudo de avaliação de risco à saúde humana por exposição a contaminantes químicos” (BRASIL, 2010), elaborado pelo Ministério da Saúde, estabelece a metodologia do Sistema Único de Saúde para a elaboração de estudos de avaliação de risco à saúde humana, com o objetivo de orientar o setor saúde na adoção de ações e medidas de prevenção e promoção da saúde em áreas com populações expostas ou potencialmente expostas a contaminantes químicos.

Essa metodologia, **específica para o setor saúde**, conta com três grandes áreas de saber: Ambiente, Social e Saúde. O que diferencia essa metodologia, com a metodologia de avaliação de riscos ambientais, são a organização e a forma de avaliação dos dados. Complementarmente, o objetivo central de uma avaliação de risco ambiental é de definir estratégias de remediação de uma área contaminada e consequentes medidas ambientais.

A metodologia de avaliação de risco à saúde humana/MS estabelece, a partir de dados ambientais, sociais e de saúde, as prioridades de atuação do setor saúde, indicando possíveis implicações para a saúde pública advindas de uma dada contaminação ambiental a substâncias químicas. Assim, a referida metodologia estabelece etapas, conforme listadas abaixo, que devem ser seguidas de modo a adquirir os dados e informações necessárias para avaliar os riscos à saúde da população:

- a. Levantamento e Avaliação da Informação do Local
- b. Levantamento das Preocupações da Comunidade
- c. Seleção dos Contaminantes de Interesse
- d. Mecanismos de Transporte
- e. Identificação e Avaliação de Rotas de Exposição
- f. Determinação de Implicações para a Saúde Pública
- g. Determinação de Conclusões e Recomendações

A diretriz do Ministério da Saúde especifica e orienta como cada uma dessas etapas deve ser desenvolvida.

Divisão de áreas de estudos de ARSH

Tomando como base inicial características geológicas da bacia do Rio Doce e, principalmente, os impactos ambientais com potenciais efeitos à saúde, notadamente os que resultam em existência de potenciais rotas de exposição humana, a proposta foi a divisão da área total dos estudos de ARSH em 3 fases, sendo cada uma denominada com o nome do município mais populoso, assim classificadas:

FASE I - Mariana – Nesta fase do estudo de ARSH foram avaliadas as localidades mais impactadas pelo rompimento da Barragem, sendo os municípios de Mariana e Barra Longa no Estado de Minas Gerais, e, adicionalmente, o município de Linhares no Estado do Espírito Santo, último município atingido na foz do Rio Doce.

FASE II - Rio Casca – Nesta fase dos estudos de ARSH serão avaliados os três municípios mais impactados da subárea, além de Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado.

FASE III - Governador Valadares - Nesta fase dos estudos de ARSH, além do município de Governador Valadares, serão avaliadas as localidades de Conselheiro Pena e Aimorés.

Cabe destacar que os municípios aqui apresentados para a Fase II e III podem sofrer alterações em função da dinâmica de reconhecimento de maior impacto em cada uma das sub-bacias.

De acordo com o contrato, na FASE I, a ARSH referente às localidades de Mariana e Barra Longa foi realizado em 8 (oito) meses, a contar da data de contratação dos serviços. Já o prazo para a entrega do Relatório Final de Avaliação de Risco referente à localidade de Linhares poderá ser ampliado em até 60 dias.

Sob bases contratuais, juntamente com a proposta para a realização da ARSH, para cada Fase, foram elaboradas as propostas correspondentes à realização da amostragem ambiental considerada pertinente segundo os critérios da metodologia de ARSH (Quadro 01).

Quadro 1: Produtos e prazos da contratação

Produto	Conteúdo	Prazo	Status
1º. Relatório Parcial	- Relatório inicial registrando atividades de reconhecimento das áreas a serem avaliadas; validação dos dados existentes; planejamento da amostragem ambiental e métodos de amostragem ambiental segundo a metodologia de ARSH.	Até 60 dias após início do contrato	Entregue em 15/09/2018
2º. Relatório Parcial	- Relatório assinalando contaminantes de interesse, seus mecanismos de transporte e as rotas de exposição; - Relatório contendo preocupações da comunidade com sua saúde;	Até 150 dias após início do contrato	Entregue em 15/12/2018
3º. Relatório Parcial	- Relatório assinalando as Implicações à Saúde Humana e - Perfil Toxicológico dos contaminantes de interesse.	Até 210 dias após início do contrato	Entregue em 15/02/2019
Relatório final	Relatório final de avaliação de risco à saúde humana contendo as informações, conclusões e recomendações contidas nos relatórios parciais, com recomendações para cada área avaliada.	Até 240 dias após início do contrato	Presente documento entregue em 22/03/2019

Considerações iniciais

Antes de tecer considerações sobre aspectos específicos da ARSH por resíduos perigosos em decorrência do rompimento da barragem da empresa de mineração Samarco em Mariana/MG, deve-se ressaltar que a ARSH é uma ferramenta do Setor Saúde para o Setor Saúde. Como tal, todo o processo de realização dos estudos de ARSH deve ser público e transparente, e sempre que possível, com participação ativa de representantes do Setor Saúde e, impreterivelmente, seus resultados devem ser públicos, sem confidencialidade, à exceção dos aspectos relativos à ética médica, ou quando não explicitamente consentido pela população avaliada.

Deve-se ressaltar também que a metodologia de ARSH se constitui em instrumento fundamental para nortear as ações de saúde para o acompanhamento das populações expostas a contaminantes químicos, assim sendo, os estudos de ARSH não se propõem a estabelecer o nexo causal, e sim, buscam estabelecer os fatores de risco adicional que contribuem para a causalidade. Nesse contexto, devem também considerar outros fatores que influenciam a vulnerabilidade e suscetibilidade das populações expostas aos contaminantes. Muitos desses outros fatores já haviam sido levantados pela própria Fundação Renova (adiante avaliados neste Relatório), e comprovados com os levantamentos realizados na etapa de Preocupações da Comunidade com sua saúde – capítulo II.

Ainda, cabe ressaltar que na análise dos dados repassados pela Fundação Renova à equipe da AMBIOS, estudos geoquímicos previamente realizados mostraram que diversos contaminantes metálicos superaram, em diversos momentos, e segmentos da bacia do Rio Doce (principalmente T1, M1; T2, M2 e T3, M3), os valores de referência e os dados históricos para a bacia do Rio Doce, e, nesse contexto a conclusão de relação fica comprovada.

Com estas premissas básicas, para uma melhor compreensão desta ferramenta do Setor Saúde, serão abordadas ao longo do relatório, as questões específicas dos estudos do rompimento da barragem do Fundão nos municípios de Mariana/MG e Barra Longa.

Condicionantes para a realização dos estudos de ARSH

A definição de uma estratégia para a realização dos estudos dependerá de especificidades de cada caso. Para cada caso específico, serão considerados como condicionantes para a realização da ARSH, os seguintes fatores:

- Qualidade e adequação dos dados ambientais existentes;
- Prazo (urgência);
- Recursos para realização dos estudos de ARSH; e
- Condicionantes ambientais.

A seguir, serão abordados cada um desses condicionantes e suas implicações práticas na elaboração da ARSH seguindo os critérios da metodologia do Ministério da Saúde.

Qualidade e adequação dos dados ambientais existentes à metodologia ARSH

A primeira atividade de uma equipe de ARSH é a coleta, organização, avaliação e validação de toda a informação da localidade disponível. Sempre que possível, essas informações deverão abarcar todos os aspectos (histórico do local, histórico das emissões, dados demográficos, dados da população, entre outros), bem como os dados ambientais existentes.

Na avaliação e validação dos dados ambientais existentes, além de critérios por vezes subjetivos quanto à credibilidade da fonte dos dados, são observados critérios técnicos sobre a qualidade e suficiência dos dados sob a ótica da metodologia de ARSH. Infelizmente, na quase totalidade dos estudos já realizados pela equipe de ARSH da Ambios, os dados ambientais existentes foram produzidos por órgãos de controle ambiental, pelo próprio emissor ou oriundos de estudos acadêmicos, na maioria das vezes com objetivos ambientais que não contemplavam todos os possíveis contaminantes de interesse.

O Quadro 02 assinala os principais objetivos das amostragens ambientais realizadas por órgãos de controle ambiental e aqueles voltados para ARSH.

Quadro 2: Objetivos da amostragem ambiental com metodologias de avaliação de risco utilizadas pelos órgãos de controle ambiental e nos estudos de avaliação de risco à saúde humana (ARSH).

Metodologia de Avaliação de Riscos dos órgãos ambientais	Metodologia de Avaliação de Riscos à Saúde Humana (ARSH saúde)
Determinar níveis de descontaminação Dependendo do uso do solo: industrial; residencial, agrícola	Identificar comunidades expostas aos riscos
Determinar níveis de emissão autorizados Por tipo de atividade da emissão, ecossistemas, presença humana	Identificar e classificar as rotas de exposição humana e seus componentes
Determinar limites para armazenagem e transporte Pelos níveis de risco (explosões, incêndios), densidade populacional, segurança pública	Determinar a temporalidade das exposições
Determinar padrões de V.M.P para emissões por atividade Padrões de efluentes, emissões atmosféricas, etc.	Determinar implicações à saúde humana
	Elaborar conclusões e recomendações que permitam a elaboração de protocolos de saúde

Em função dos objetivos específicos, os conceitos e critérios utilizados pelas duas metodologias acima assinaladas também são distintos. Desta forma, objetivos diferentes determinam critérios e conceitos que diferem entre as metodologias de avaliação de risco realizadas pelos órgãos de controle ambiental e setor Saúde. Assim, na metodologia de avaliação de risco à saúde humana, essas diferenças abrangem questões diversas na produção de dados ambientais que determinarão os “contaminantes de interesse”, como por exemplo:

- **Conceitual: “solo superficial”**

Na metodologia de avaliação de risco utilizada pelos órgãos de controle ambiental, a profundidade na amostragem do “solo superficial” é variável entre 20 cm a até 1,0 m. Na metodologia de avaliação de risco à saúde, as amostras de “solo superficial” têm que ser coletadas à profundidade não superior a 8 cm. Isto por que o solo mais superficial, até 8 (oito) cm, é o que apresenta maior possibilidade de exposição por contato direto, bem como é desta camada de solo que ocorre a mobilização de material particulado suspenso de granulometria mais fina que, por inalação, se alojará nos pulmões por longos períodos, resultando em uma maior absorção dos contaminantes. A exposição direta ao solo superficial contaminado é especialmente mais intensa quando avaliamos as crianças, principalmente aquelas na fase de engatinhar e com o hábito de levar as mãos à boca. Por esta razão a camada mais superficial de até 8 cm de profundidade é a de maior importância (ATSDR, 1992) nos estudos de avaliação de risco à saúde humana.

- **Desenho Amostral (com vies, e não estatístico)**

Nos estudos de ARSH, a localização dos pontos de amostragem nos locais de risco será definida com vieses, buscando a proximidade de populações expostas e onde a possibilidade de geração de rotas de exposição aos humanos por focos de contaminação primário ou secundários sejam mais prováveis.

- **Avaliação dos Dados Ambientais (“pior cenário”)**

Para efeito de comparação com os valores de referência definidos pela ARSH, será considerada sempre a maior concentração de cada contaminante em cada compartimento ambiental.

Este critério na metodologia de ARSH se explica por vários motivos:

- A imprecisão, mesmo considerando a melhor hipótese de amostragem, pode resultar em conclusão equivocada quanto aos riscos. Adotando-se o princípio da precaução, tão importante nas questões de saúde, este é um critério fundamental na ARSH;

- Uma maior concentração encontrada de um determinado contaminante num determinado compartimento ambiental indica que tal ocorrência é factível e possível de acontecer em outros momentos ou em outros pontos da área de risco;

- A ocorrência de uma maior concentração encontrada de um determinado contaminante num determinado compartimento ambiental indica a possibilidade de contaminação – via mecanismos de transporte – de outros compartimentos ambientais gerando novas rotas potenciais de exposição.

- **Não admitir dados de “modelagem” na avaliação de dados ambientais**

Devido à possibilidade de viés e equívocos, como já verificado em outros estudos observados pela equipe AMBIO5 na realização de ARSH, os dados de modelagem não são admitidos pela metodologia de ARSH do Ministério da Saúde. Caso venham a ser usados, tais dados somente o servirão como um indicativo em avaliações preliminares no planejamento de amostragens ou para reforçar conclusões obtidas pelos dados ambientais considerados adequados aos critérios da ARSH.

- **Temporalidade da exposição**

Nas metodologias de avaliação de risco utilizadas pelos órgãos de controle ambiental não é comum o levantamento de dados ambientais que caracterizem a temporalidade da contaminação.

Na ARSH, sempre que possível, o levantamento desses dados é muito importante para a formulação do planejamento de ações de saúde visando as populações que foram, que estão ou que poderão estar expostas aos contaminantes.

- **Preocupações da comunidade com sua saúde**

Nos estudos de ARSH, já na etapa de planejamento das campanhas de amostragem, é importante o levantamento das preocupações da comunidade com sua saúde. Isto se deve aos objetivos dos estudos:

- Identificar e responder às preocupações da comunidade sobre questões relativas aos contaminantes ambientais como, por exemplo:

Existem riscos no local onde resido? Posso consumir e dar para meus filhos a água e os alimentos da localidade? A poeira pode nos causar doenças? Quais? Os impactos emocionais que fomos vítimas poderão nos debilitar frente aos contaminantes?

- Identificar e avaliar as informações da comunidade que orientem a equipe de ARSH na amostragem e na avaliação dos dados ambientais sobre aspectos ainda não

relacionados nos dados existentes avaliados como, por exemplo, observações da comunidade do tipo:

“As frutas e legumes plantados no solo formado pela deposição da lama de rejeitos são enormes e crescem muito mais rápido”; “Está aparecendo umas manchas brancas nas árvores, solo e mesmo nas construções em vários pontos por onde passou a lama de rejeitos. O que é isso? Pode nos fazer mal?”

Pelas razões acima listadas, dificilmente os dados produzidos por metodologias utilizadas pelos órgãos de controle ambiental, ou de outros estudos visando objetivos distintos, podem ser considerados adequados para os estudos de ARSH. No caso de utilização de dados ambientais existentes produzidos por terceiros, os dados da amostragem bem como as técnicas utilizadas e procedimentos laboratoriais analíticos devem ser avaliados para sua validação. Somente os dados ambientais existentes validados devem ser utilizados na definição dos “contaminantes de interesse”.

Prazo

Apesar de buscar sempre os mesmos objetivos, ou seja, produzir os dados necessários para a elaboração de protocolos de saúde para o acompanhamento das populações expostas, as situações de “urgência” quanto aos resultados podem se apresentar de forma variada. Assim, por exemplo, estudos como os realizados na “Cidade do Meninos” ou em “Santo Amaro da Purificação” tinham como cenários contaminações decorrentes de passivos ambientais com histórico de décadas. O acúmulo de numerosos dados ambientais produzidos por diversas instituições públicas idôneas, sem, no entanto, atender aos requisitos de qualidade e suficiência da metodologia de ARSH, exigiu uma avaliação cuidadosa (e demorada) desses dados.

Em “Cidade dos Meninos”, adicionalmente, o próprio Ministério da Saúde, contratante da ARSH, foi o responsável pela contaminação ambiental decorrente dos resíduos de sua fábrica de pesticidas. O histórico da contaminação já contabilizava várias décadas, desde o encerramento das atividades da fábrica no final da década de 50 do século passado. Os estudos de ARSH somente tiveram início no ano de 2000, com duração de 12 meses. Já em Santo Amaro da Purificação, a ocorrência foi similar. Após o encerramento das atividades da empresa metalúrgica COBRAC no final da década de

70, apresentou-se vasta contaminação com metais pesados em diversos compartimentos ambientais. Essa contaminação deu-se durante as atividades da empresa nas áreas urbanas daquela cidade, e nos ambientes aquáticos do rio Subaé. Somente em 2004, a equipe de ARSH da Ambios foi contratada para a realização dos estudos de ARSH, cuja duração foi de 11 meses.

Por essas razões, as estratégias de realização da ARSH nessas localidades, com prazo suficiente e adequado, puderam utilizar todas as ferramentas de coleta e avaliação de dados da metodologia de ARSH que incluem:

- **Contaminação dentro e fora do local de risco** - Apesar de todos os contaminantes serem considerados como potenciais contaminantes de interesse, a equipe de ARSH os seleciona, tendo como base a composição dos contaminantes na provável fonte de emissão, as exposições através dos diversos meios ambientais, os efeitos recíprocos e as preocupações da comunidade com sua saúde.

Por questões de prazos e custos, deverão ser selecionados os locais e os compartimentos ambientais que indiquem a possibilidade de geração de rotas de exposição humana aos contaminantes. Sempre que possível, esses critérios serão utilizados também na avaliação dos dados ambientais existentes. Caso se adote esta estratégia (contaminação dentro e fora do local de risco), os compartimentos ambientais selecionados dentro do local de risco deverão ser também avaliados fora do local de risco.

Caso se adote uma estratégia de realização dos estudos de **piores cenário**, buscando uma resposta rápida sobre os riscos à saúde das populações mais expostas, a avaliação é realizada somente nos locais considerados de maior risco.

- **Temporalidade da exposição humana** - A equipe de ARSH utiliza sempre que possível, os dados da amostragem de análise temporal e espacial para identificar os contaminantes de interesse no passado, presente e futuro, e a probabilidade de transferência entre os compartimentos ambientais. Numa estratégia de realização dos estudos de pior cenário, principalmente em casos de desastre, como no do rompimento da barragem da Samarco, buscar-se-á identificar as rotas de exposição recentes (de preferência desde o evento emissor dos contaminantes), bem como as possíveis rotas de exposição futuras.

• **Níveis de concentração basal** - Uma revisão dos níveis basais de contaminação nos compartimentos ambientais locais pode ajudar na identificação da fonte de contaminação. No entanto, tais dados são a expressão de valores médios das litologias dominantes em cada área, e, sob a ótica da ARSH, somente servem para orientar a presença de contaminantes dominantes. No entanto, na maioria dos casos, não nos dará informação adequada sobre a presença de contaminantes em concentrações “traços” que, quando trazidos à superfície por processos naturais (erosão, alteração, etc) ou por ação antrópica (beneficiamento mineral, deposição de rejeitos, etc) sofrerão processos de concentração e biodisponibilização pelos mecanismos de transporte específicos de cada lugar.

Caso tais dados não atendam aos requisitos da metodologia de ARSH (suficiência e adequação aos critérios de ARSH), devem ser utilizados somente como referência de tendências, na avaliação dos contaminantes de potencial interesse ou como fortalecimento de outros dados na definição de “rotas de exposição”.

- **Definição dos valores de referência** - A seleção dos valores de referência pela equipe de ARSH é feita preferencialmente entre os padrões nacionais existentes podendo, entretanto, após fundamentação, escolher valores de referência mais conservadores dependendo de outras avaliações de saúde como, por exemplo, a vulnerabilidade socioeconômica das populações potencialmente expostas. Em qualquer estratégia adotada para a realização da ARSH, na definição dos contaminantes de interesse, a maior concentração encontrada de cada contaminante em cada compartimento ambiental será a utilizada na comparação com os valores de referência.
- **As preocupações da comunidade por sua saúde** - A equipe de ARSH deve assinalar cada preocupação da comunidade por sua saúde sobre um contaminante em particular, independentemente de sua presença ou concentração no local. Sob qualquer estratégia de realização da ARSH, as preocupações da comunidade com sua saúde devem ser consideradas tanto como fonte de informação sobre o local de risco, como na formulação de respostas às suas preocupações de saúde. A equipe de ARSH deve também registrar as informações de outros fatores decorrentes dos impactos ambientais

que resultem no aumento de vulnerabilidade e suscetibilidade aos efeitos da contaminação (qualidade de vida, impactos emocionais, dentre outros). Além de servir de base para respostas às preocupações da comunidade com sua saúde, essas informações também devem ser utilizadas no planejamento da amostragem ambiental, nas definições de “rotas de exposição” e nas “conclusões e recomendações” do “Relatório Final de ARSH”.

- **Perfis toxicológicos** - Estes documentos proporcionam muitas informações importantes para a ARSH, tais como: informe de saúde pública, informação sobre efeitos na saúde, propriedades físicas e químicas dos contaminantes, utilidade da informação nos estudos, dados sobre exposição, métodos analíticos, regulamentações e referências.

Como alternativa, além dos dados fornecidos pela ATSDR/EUA especificamente elaborados para os estudos de ARSH, a equipe pode utilizar informação toxicológica dos bancos de dados específicos, tais como: *IRIS*, *HSD* e outros.

Recursos para realização da ARSH

Dependendo dos condicionantes anteriormente analisados e dos recursos disponibilizados para a realização dos estudos, caso sejam inadequados para a realização dos objetivos da ARSH, ou seja, fundamentar as ações de saúde para o acompanhamento de populações potencialmente expostas a contaminantes químicos, o relatório final de ARSH poderá ser inconclusivo.

Neste caso, no relatório final, além das possíveis estratégias de realização dos estudos com suas respectivas limitações, serão listadas as lacunas de informação para cada estratégia proposta. Adicionalmente, quando se conclua pela imperiosidade da realização dos estudos pela equipe de ARSH, esse relatório final, além de apresentar as lacunas de informação e fundamentar a necessidade de seu preenchimento para cada estratégia de realização dos estudos, poderá elaborar uma listagem dos potenciais custos envolvidos para tal realização e apresentará projeções de prazo de realização.

Condicionantes ambientais

As áreas para a realização dos estudos de ARSH podem apresentar cenários ambientais totalmente distintos. Assim, entre os locais de risco já avaliados pela equipe de ARSH da Ambios, houveram casos com área relativamente bem delimitada (por exemplo, casos Barão de Mauá/SP; SUCAM-Porto Nacional/TO; Caso Shell-Paulínia/SP), ou em áreas dispersas e de grandes dimensões (por exemplo, nos casos Cidade dos Meninos-Duque de Caxias/RJ e Rhodia na Baixada Santista – São Vicente e Itanhaém/SP). Esses condicionantes ambientais podem ser agravados por fatores climáticos, relevo e hidrologia (Caso Cobrac em Santo Amaro, Bahia).

Todos esses condicionantes ambientais exigem estratégias diferentes na elaboração dos estudos com repercussão em todos os demais fatores componentes da ARSH (etapas, custos, prazos, etc).

CONDICIONANTES PARA A REALIZAÇÃO DOS ESTUDOS DE ARSH NO CASO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO

Os dados obtidos pela realização da amostragem ambiental nas localidades de Mariana e Barra Longa permitem à equipe de ARSH da Ambios a avaliação sobre as diferenças marcantes entre as localidades dos dois municípios mineiros, tanto nas características ambientais como nos impactos gerados pela lama de rejeitos com potencial geração de rotas de exposição humana aos possíveis contaminantes. As diferenças são acentuadas mesmo em localidades do mesmo município, impondo uma avaliação de risco diferenciada para cada localidade. As condicionantes locais específicas encontradas, em realidade, são como se impusessem a realização de vários estudos de ARSH.

Na realização da ARSH, no caso específico, nas localidades em Mariana e Barra Longa, e posteriormente na localidade de Linhares; foram considerados os seguintes aspectos:

Qualidade e adequação dos dados ambientais existentes

A atividade inicial da equipe de ARSH foi organizar e avaliar as informações e dados de todos os estudos disponibilizados pela Fundação Renova de produção própria ou produzidos pela Samarco, Vale ou por terceiros contratados por essas instituições. Além disso, foram revistos os informes disponíveis do Setor Saúde, estudos e relatos de outras fontes (ONGs, mídia e academia), bem como os relatos sobre casos semelhantes envolvendo a emissão de contaminantes metálicos pelas atividades de mineração.

Cabe ressaltar, que esta avaliação inicial cobriu os dados de todos os estudos sobre os ambientes atingidos, desde o local do rompimento da barragem de rejeitos em Bento Rodrigues, Mariana/MG, até a foz do rio Doce em Linhares/ES e áreas da costa naquele Estado. Pela estratégia de estudo selecionada, a seguir apresentada e justificada, não foram considerados os dados dos estudos produzidos no ambiente marinho da costa capixaba.

Inicialmente, no processo de determinação dos contaminantes de interesse, a equipe de ARSH, ao avaliar os dados ambientais existentes disponibilizados pela

Fundação Renova, constatou que haviam lacunas nos dados disponibilizados, como dados sobre a contaminação dos alimentos (leite de vaca, ovo de galinha, frutas e legumes, principalmente tubérculos), onde haviam a possibilidade de representarem potenciais rotas de exposição humana aos contaminantes metálicos da lama de rejeitos.

Complementarmente, apesar da existência de dados sobre a qualidade da água para consumo humano, haviam questionamentos sobre a credibilidade dos dados da Fundação Renova de vários setores (comunidades dos atingidos, Setor Saúde, ONGs, mídia, academia). Sem entrar no mérito desta questão, a equipe decidiu produzir dados de alimentos, bem como dados de água de consumo humano.

Já os dados ambientais existentes de outros compartimentos ambientais (solo, água superficial, sedimentos), não atendiam aos requisitos da metodologia de ARSH empregada (localização, procedimentos de coleta, etc).

Assim, todos os dados ambientais utilizados na definição de contaminantes de interesse nas localidades de Mariana/MG, Barra Longa/MG e Linhares/ES foram produzidos pela equipe de ARSH da Ambios.

Em relação aos dados socioeconômicos disponibilizados pela fundação, quando validados pela metodologia, foram considerados na ARSH.

Prazo (urgência)

Grande parte das ARSH realizadas pela AMBIOS tratavam-se de “passivos ambientais”, com histórico de décadas e farta documentação sobre muitos aspectos. Conforme já mencionado, esses estudos tiveram o prazo de cerca de 12 meses para sua realização, além de serem “menos urgentes” quanto aos resultados no que concerne às ações de acompanhamento de saúde das populações potencialmente expostas.

No caso dos impactos gerados pelo rompimento da barragem da Samarco em Mariana, cuja lama de rejeitos percorreu mais de 500 km, atingindo localidades em 42 municípios e com influências sobre centenas de comunidades de características diversas, a ARSH somente foi iniciada, quando decorridos quase 3 anos do evento emissor, e com grande urgência quanto aos resultados para a realização de acompanhamento de saúde dessas comunidades. Observando todas as possibilidades

para a realização da ARSH, desde de que preservados seus objetivos centrais de fundamentar as ações de saúde para acompanhamento das populações potencialmente expostas aos contaminantes, a equipe da Ambios elaborou uma estratégia para a realização dos estudos em 3 fases, com duração de 8 meses para cada fase. Essa estratégia, proposta para a realização dos estudos, enfatizou as populações mais diretamente atingidas pela lama de rejeitos e seus contaminantes metálicos.

Há de se ressaltar, que cada fase da ARSH proposta pela equipe da Ambios é composta por 3 municípios, com diversas localidades (de 5 a 8 distritos, subdistritos e/ou áreas) com características diversas em quase todos os seus aspectos (ambientais e de saúde). Assim, o condicionante prazo de realização dos estudos tornou-se a questão fundamental a ser considerada na estratégia para a realização dos estudos.

Desta forma, procurando alcançar resultados no menor espaço de tempo possível, a equipe propôs a realização dos estudos numa estratégia de **piores cenário**, aceita pelo contratante (Fundação Renova) com aval da CT-Saúde (Câmara Técnica de Saúde) e da CIF (Comitê Interfederativo), formados para acompanhar a resposta e recuperação do desastre. A realização da ARSH numa estratégia de **piores cenário** afeta também o processo de definição dos “contaminantes de interesse” como será relatado adiante.

Recursos para realização dos estudos de ARSH

Os recursos previstos, contratualmente acertados entre a Ambios Engenharia e a Fundação Renova, são suficientes para a realização da ARSH, sob a perspectiva de pior cenário.

Condicionantes ambientais

A preocupação central da amostragem ambiental nos estudos de ARSH recai sobre os compartimentos ambientais que possam representar rotas de exposição humana. Além dos impactos diretos sobre o curso natural dos componentes da bacia do Rio Doce, a inundação das margens e áreas de várzea desses corpos hídricos resultou na

deposição de grandes quantidades de resíduos nas margens e nas áreas de várzea, alterando totalmente o ambiente físico desses espaços.

A gradação granulométrica do material mais leve depositado além do leito natural desses rios, após secagem, gerou uma importante fonte secundária de emissão de particulado fino (poeira), iniciando possivelmente um processo de contaminação de outros compartimentos ambientais. Assim, por exemplo, deve-se considerar a alteração do solo superficial pela deposição desse particulado fino, originando dúvidas sobre a inocuidade de áreas de produção de alimentos.

Nas áreas urbanas e pequenas localidades, principalmente nas proximidades de zonas com maior mobilização de poeira, seja pela emissão dos resíduos ressecados, ou seja pelo transporte dos resíduos para outras disposições finais, é provável a ocorrência de novas fontes secundárias de emissão. Nelas se incluem, por exemplo, a água de abastecimento público, que dependendo das condições de armazenamento residencial, pode ter sofrido contaminação atmosférica; ou a contaminação pode ter ocorrido pelo fato de sua tubulação se encontrar soterrada pela lama de rejeito. Deve ser considerada também, a possibilidade da percolação das áreas de deposição dos resíduos pelas águas das chuvas, gerando, a depender do perfil litológico dos solos, a contaminação dos aquíferos, cuja captação se destina ao consumo humano, irrigação ou consumo dos animais.

No que concerne a coleta de organismos aquáticos, apesar de inicialmente programada pela equipe de ARSH, esta foi descartada nos dois municípios mineiros. Em Mariana, as informações indicam que após o desastre houve uma eliminação total momentânea da piscosidade nesses corpos hídricos. Além disso, em um levantamento preliminar dos hábitos alimentares da população de Mariana, não há relatos de consumo rotineiro de pescados oriundos dos rios da região após a passagem da lama de rejeitos.

Dados ambientais disponibilizados pela Fundação Renova

Em referência aos dados produzidos pela Fundação Renova, pela Vale e pela Samarco ou por elas contratados, a equipe de ARSH da Ambios realizou uma cuidadosa

avaliação dos dados disponibilizados. A grande maioria, conforme mencionado anteriormente, não apresentou a adequação aos estudos de ARSH. O processo de avaliação e validação dos dados e informações disponibilizadas (independente da fonte) ou existentes, procedeu-se em três etapas:

- 1) Validação: comprova-se a origem e idoneidade da fonte;
- 2) Avaliação: é considerada a importância e adequação dos dados para utilização na ARSH;
- 3) Utilização (ou não) desse dado nos relatórios de ARSH: a simples validação do dado não implica necessariamente que será utilizado como base para o relatório final, pelas justificativas já expostas.

Área de abrangência da ARSH

A equipe de ARSH da Ambios, tendo em vista a estratégia de pior cenário, determinou que a área dos estudos abrangeria desde a localidade de Bento Rodrigues, no município de Mariana/MG, até a área estuarina do Rio Doce na localidade de Regência, no município de Linhares/ES.

Os impactos provocados pela lama de rejeitos da Samarco no ambiente marinho, nas proximidades da foz do rio Doce no Estado do Espírito Santo, além das questões de balneabilidade e suas implicações à saúde humana, tem como provável rota de exposição humana os contaminantes químicos (no caso os metais, objeto da metodologia de ARSH), e o consumo da biota comestível contaminada, principalmente dos peixes.

No entanto, a contaminação dos peixes, em função de numerosos e complexos aspectos ictiológicos, exige a realização de estudos mais complexos e demorados, impossível de serem realizados sob os critérios de pior cenário (estratégia essa escolhida pelo fator tempo nesta ARSH). Mesmo não considerando a zona costeira como objeto da ARSH, a equipe julga relevante a extensão da contaminação no ambiente marinho, e recomenda a realização de um estudo específico de ARSH para esta área.

Contextualização

Histórico

A MINERAÇÃO DE FERRO NO BRASIL

Segundo o Serviço geológico dos Estados Unidos - USGS (2018), a produção de minério de ferro no Brasil em 2016, foi estimada em 440 milhões de toneladas, equivalente a 18,3% do total global. Este número coloca o Brasil entre os maiores produtores de ferro do mundo, comparado somente à China e à Austrália. No que diz respeito às reservas de minério de ferro, o Brasil, possui reservas estimadas em 23 bilhões de toneladas, ficando atrás somente da Austrália, com 50 bilhões de toneladas.

Os minérios de ferro predominantemente explorados no Brasil, são a hematita (Fe_2O_3) e o itabirito - formações ferríferas compostas de hematita e quartzo (sílica) (IBRAM, 2012). A hematita é extraída principalmente no estado do Pará, e apresenta teor médio de ferro em torno de 60%. Já o itabirito é extraído principalmente na região do Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, com teor de ferro em torno de 50%. Dados da Alore Mineração, citados por Andrade (2014), indicam que já estão sendo extraídos itabiritos com teores mais baixos de ferro chegando a estar entre 25 e 30%.

Além destes, a magnetita (Fe_3O_4), a goethita $\text{FeO}(\text{OH})$ e a siderita (FeCO_3) são minerais que apresentam consideráveis concentrações de ferro em suas composições. O minério de ferro, entretanto, é composto, tanto destes minerais de ferro, que apresentam valor econômico agregado, quanto de outros minerais, que não apresentam valor econômico para a mineração de ferro. Neste sentido, os minerais de ferro, quando processados com objetivo de aumentar o teor de ferro contido no produto final, podem gerar rejeitos que contêm diferentes minerais em sua composição. Normalmente, os minerais associados aos rejeitos da mineração de ferro são caulinita, gibbsita, goethita, hematita, magnetita e quartzo (WOLFF, 2009).

Em função da grande demanda de minério de ferro pela sociedade moderna, rochas com teores cada vez mais baixos de ferro passaram a ter sua lavra viabilizada, o que implica em aumento na quantidade de rejeitos gerada, requerendo barragens de rejeito com tamanhos cada vez maiores para sua disposição. Neste contexto, grandes empresas mineradoras, tais como VALE, Ferrous, MMX e Samarco têm investido na

extração de minérios de baixo teor que chegam a apresentar quantidades de ferro inferiores a 40% (ANDRADE, 2014).

A extração ou lavra consiste na retirada, normalmente a céu aberto, do mineral que contém um teor economicamente viável de ferro. Posteriormente, o material extraído é encaminhado para o beneficiamento, no qual o minério de ferro é tratado e transformado em produtos comercializáveis, de acordo com sua granulometria e características químicas. Na maioria das vezes, para aumentar a qualidade e o teor de ferro do produto final, é necessário realizar o beneficiamento do minério. Entende-se por beneficiamento, o tratamento dado aos minérios, visando separar por granulometria, concentrar ou purificar minérios por métodos físicos ou químicos sem alterar a constituição química dos minerais. Em decorrência desta etapa, grandes volumes e massas de resíduos misturados à água são gerados, material a que se dá o nome de rejeito (DNPM, 2012).

Um dos principais aspectos ambientais relacionados à extração do ferro é o grande volume de resíduo gerado no processo de beneficiamento, tratamento dado ao minério para o máximo aproveitamento do material de interesse. Alguns métodos de beneficiamento de minérios exigem a moagem dos materiais e adição de água e produtos químicos na planta de tratamento, produzindo nesse processo um grande volume de resíduo em forma de polpa, chamado de rejeito, que é armazenado em barragens. Os rejeitos dispostos em barragens, entretanto, podem conter grandes quantidades de ferro, que podem retornar ao processo produtivo, e de materiais passíveis de serem utilizados na construção civil.

Depois de gerado, o rejeito obtido do processo de beneficiamento, de forma geral, é disposto em minas subterrâneas, em cavas exauridas de minas, em pilhas, por empilhamento a seco ou em barragens de rejeitos. Entretanto, segundo FEAM (2012), as barragens caracterizam a principal forma de disposição de rejeitos minerários no estado de Minas Gerais, armazenando em torno de 85 % dos rejeitos da mineração.

BARRAGENS DE REJEITOS EM MINAS GERAIS

Em Minas Gerais essas barragens são compostas, praticamente, por rejeitos advindos do beneficiamento do itabirito e hematita, principais minérios de ferro do

Quadrilátero Ferrífero. Estes minérios apresentam teor de ferro em torno de 50% e 60%, respectivamente, e originam rejeitos compostos, em sua maioria, por sílica (SiO_2) e óxidos de ferro remanescentes (ANDRADE, 2014).

De acordo com o Caderno Técnico Gestão de Barragens de Rejeitos e Resíduos em Minas Gerais, publicado em 2008 pela FEAM, no Estado de Minas Gerais houve registro de cinco grandes acidentes envolvendo barragens de rejeitos e resíduos. No histórico de acidentes reportados pela Comissão Internacional de Grandes Barragens (ICOLD), as principais causas de rompimento de barragens são problemas de fundação, capacidade inadequada dos vertedouros, instabilidade dos taludes, falta de controle de erosão, deficiências no controle e inspeção pós-operação e falta de procedimentos de segurança ao longo da vida útil da estrutura.

Em 20 de setembro de 2010 foi sancionada a Lei Federal nº 12.334 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais; e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens.

Essa lei é destinada a barragens que apresentem altura do maciço, medida do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m; capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³; reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis e categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

Com vistas a elaborar um cadastro único no país, foi criado o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), com registro informatizado das condições de segurança de barragens em todo o território nacional.

Segundo dados da FEAM (2012), extraídos do Banco de Declarações Ambientais (BDA), das 497 barragens de mineração existentes no Estado de Minas Gerais, 161 pertenciam a Classe III, com alto potencial de dano ambiental. Esta classificação é definida quando a soma dos fatores de risco avaliados da barragem (volume do reservatório, ocupação humana a jusante, interesse ambiental a jusante e instalações na área a jusante), de valoração arbitrária.

Anterior às recentes ocorrências de rompimento com barragens em Minas Gerais, Mariana e Brumadinho, já havia ocorrido o rompimento da barragem de rejeitos da

mineração Herculano, localizada no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais, que resultou em mortos e feridos, além de causar graves impactos ambientais em córregos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas que abastece a região metropolitana de Belo Horizonte.

Em seu Guia de Fechamento de Mina, o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), afirma que as barragens de rejeito apresentam riscos significativos no que diz respeito à estabilidade e ruptura, interferência nas águas subterrâneas, restrições para uso futuro e falha no sistema de cobertura e drenagem (IBRAM, 2013). As barragens de rejeitos são empreendimentos que apresentam significativos impactos ambientais associados, tais como: desmatamento na fase de construção; poluição da água superficial e subterrânea durante a operação e após o fechamento da mina; geração de poeira gerada na praia de rejeito; e impacto visual em todas as fases da vida útil da barragem.

As águas direcionadas para as barragens de rejeito, de um modo geral, são reutilizadas no processamento de minérios. Os sólidos, entretanto, irão compor a barragem de rejeito indefinidamente, se nenhum outro uso for dado a ele. Desta forma, as barragens de rejeito que são, normalmente, obras de engenharia de grande porte, dão origem a impactos ambientais desde a sua construção, que poderão persistir até mesmo após a sua desativação.

Além dos impactos ambientais, as barragens de rejeito apresentam aspectos relacionados à segurança que são de grande relevância. Por serem, muitas vezes, estruturas de grande porte, as barragens de rejeito podem apresentar expressivos danos potenciais em decorrência de seu rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento (ANDRADE, 2014).

Estudos indicam que falhas na estrutura das barragens, tais como galgamento, erosão, piping e liquefação, podem afetar diretamente a qualidade ambiental de seu entorno. Em longo prazo, a presença da barragem pode, ainda, resultar na contaminação da água superficial e subterrânea, emissão de materiais particulados e em distúrbios aos habitats e comunidade local. Ocupando áreas de grandes proporções, as barragens de rejeito podem originar impactos ambientais expressivos. O gerenciamento adequado destes locais de disposição de rejeito é, portanto, de extrema

importância e deve ser realizado em toda a sua vida útil, passando pela escolha da área, projeto, construção, operação e desativação (OZKAN & IPEKOGLU, 2002).

De acordo com Gomes (2009), que promoveram a caracterização dos finos de uma barragem de rejeito da mineração de ferro, foram encontrados teores médios de 48,08% de Fe_2O_3 , 20,58% de SiO_2 e 3,16% de Al_2O_3 nestes rejeitos, sendo praticamente todo ferro proveniente da hematita. Supõe-se que esta seja uma realidade em muitas barragens de rejeito da mineração de ferro já encerradas no Brasil, principalmente no Quadrilátero Ferrífero, onde grande quantidade de minérios com altos teores de ferro já foram extraídos e beneficiados por processos pouco eficazes.

METAIS PESADOS EM REJEITOS DA MINERAÇÃO

Os metais pesados estão presentes naturalmente no meio ambiente, mesmo que não haja ação antrópica. O aumento em sua concentração pode ocorrer tanto por processos naturais, quanto por atividades humanas. O intemperismo e a lixiviação do solo são exemplos de processos naturais que geram o aparecimento de metais pesados na água e no solo, todavia a extração e o beneficiamento de metais, rejeitos industriais, efluentes domésticos, insumos agrícolas, descarte de produtos comerciais, queima de combustíveis fósseis e descarte de lodo de esgoto são atividades antrópicas associadas à contaminação do meio ambiente por tais metais (NRIAGU & PACYNA, 1988; ALLEONI, BORBA & CAMARGO, 2005; GUILHERME *et al.*, 2005). O aumento nas concentrações desses rejeitos no solo e nos efluentes próximos a zonas de mineração pode estar relacionado com processos químicos e biológicos que controlam a solubilidade, a disponibilidade biológica e a mobilidade desses metais (GUILHERME *et al.*, 2005).

Entre outros impactos causados pela exploração e pelo beneficiamento do minério de ferro, ensaios têm demonstrado que o resíduo acumulado tem capacidade de retenção de cromo (Cr) e que os sedimentos acumulados funcionam, num primeiro momento, na retenção de metais pesados diminuindo a dispersão de poluentes (PIRES *et al.*, 2003). Entretanto, mecanismos de transporte diversos atuam, paulatinamente, na sua remobilização e biodisponibilização.

Embora seja o solo uma barreira natural de proteção dos aquíferos, os fatores que governam sua capacidade em reter metais pesados são extremamente complexos, o que dificulta o seu entendimento e as possibilidades de previsão acerca do comportamento desses elementos, principalmente a longo prazo. Sabe-se que a maior ou a menor mobilidade dos metais pesados é determinada pela caracterização do solo e pelos teores de matéria orgânica e inorgânica que influenciarão as reações de precipitação, dissolução, adsorção, dessorção, complexação e oxirredução (OLIVEIRA & MATTIAZZO, 2001). Os graus de mobilidade, atividade e biodisponibilidade dos metais pesados também dependem de fatores, como: pH, temperatura, potencial redox, CTC (capacidade de troca catiônica), competição com outros metais, ligação com ânions e composição, além da força iônica da solução do solo. Em suma, a disponibilidade dos metais pesados depende da presença do elemento na solução do solo, a qual é governada pela composição e pela reação dos sistemas, pelas condições de oxirredução e pela cinética das reações, que dependem de características do solo e da tendência em formar compostos precipitados insolúveis e coprecipitados com outros minerais, formar complexos com matéria orgânica e adsorver outros minerais (OLIVEIRA & COSTA, 2004).

OS REJEITOS DA PRODUÇÃO DE MINÉRIO DA SAMARCO

A Samarco operava a Unidade Industrial de Germano, uma mina de minério de ferro localizada no Município de Mariana/MG. O processamento do minério na mina gerava tanto rejeitos de granulometria mais grosseira, como aqueles com granulometria mais finas, designados respectivamente como “rejeitos arenosos” e “rejeitos finos”. Os rejeitos eram depositados em barragens de rejeitos convencionais (isto é, depósito de rejeitos em um vale de rio com uma barragem construída à jusante do depósito). A produção anual de rejeitos arenosos e finos é estimada pela Samarco em aproximadamente 17 milhões e 5 milhões de toneladas, respectivamente (GOLDER, 2015).

Estudos contratados pela Fundação Renova (GOLDER, 2015) assinalam que o rejeito da Mineração Samarco em Mariana é inerte.

Como se comprovará mais adiante, com resultados de estudos posteriores contratados pela Fundação Renova e realizados pela própria empresa Golder, essa previsão de “inércia” dos rejeitos quanto a liberação de substâncias tóxicas, como os metais pesados, estava equivocada.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A INÉRCIA AMBIENTAL DA LAMA DE REJEITOS

Os diversos mecanismos de transporte que atuam através de fatores físicos, químicos e biológicos (estes últimos sequer foram considerados nos estudos contratados pela Fundação Renova, apesar de sua grande importância, especialmente em ambientes estuarinos) em momentos, locais e intensidades distintas, vão promovendo – qual um grande processo de “beneficiamento mineral da natureza” – lentamente, porém com eficiência, situações de enriquecimento e biodisponibilização dos contaminantes metálicos antes considerados “inertes”.

Antes da questão sobre a “inércia” dos contaminantes trazidos pela lama de rejeitos ser aprofundada neste documento, deve-se lembrar que os contaminantes metálicos após serem emitidos para o ambiente, ao contrário da maioria dos contaminantes orgânicos, não desaparecem. Sua transformação, resultando em compostos orgânicos ou sais, geralmente, aumentam sua biodisponibilização e toxicidade. Sua deposição no solo superficial ou sedimentos não indica que estarão impedidos de novas remobilizações e biodisponibilidade. Além dos agentes bióticos, principalmente os microbianos, agentes físicos naturais como as chuvas e os ventos, bem como os fluxos tormentosos durante as cheias, serão agentes constantes para a remobilização e biodisponibilização dos contaminantes a partir dos solos e sedimentos contaminados.

Em geral, os teores de metais pesados nos sedimentos fluviais diminuem com o aumento da distância da fonte, com vários mecanismos atuando simultânea e parcialmente em sentidos opostos. No entanto, em casos da emissão dos contaminantes pelo rompimento da barragem de rejeitos, essa relação pode ser diferente. No geral, os processos mais importantes da distribuição espacial de metais pesados em sedimentos fluviais são (BRADLEY, 1995):

- Triagem hidráulica devido a diferentes densidades;
- Solução ou acumulação química e / ou biológica;
- Diluição por sedimentos "limpos";
- Deposição ou mobilização por acumulação ou erosão de áreas contaminadas;
- Processos morfológicos fluviais variáveis no tempo.

Dependendo do tipo da fonte e das condições geoquímicas e hidrológicas nas águas, os metais pesados são deslocados em forma dissolvida, coloidal ou particulada. Além do conteúdo absoluto de metais pesados, a composição mineralógica (HUDSON-EDWARDS et al., 1996) e as propriedades geoquímicas dos sedimentos (LEENAERS, 1989; MACKLIN & DOWSETT 1989, ONGLEY, 1982) mudam ao longo do percurso do rio. Devido às diferentes variantes geoquímicas, existem elementos específicos de mobilidade, de modo que, por exemplo, o conteúdo de chumbo no decorrer do fluxo diminui mais rapidamente do que o conteúdo de cádmio (MACKLIN, HUDSON-EDWARDS & DAWSON, 1997, LEWIN & MACKLIN, 1989).

Via de regra, em solos e sedimentos contaminados, os metais pesados são enriquecidos em frações de grãos mais finos e são mais móveis do que nas frações grossas, de modo que, nos estudos de sedimentos, as frações de grãos "geoquimicamente ativas" são levadas em consideração (ONGLEY, 1982) e também deve ser feita uma distinção entre as frações de metais pesados geoquimicamente "reativas" e "inativas" (SALOMONS, 1995).

Conforme já assinalado, o processo de sedimentação e de arraste de sedimentos inclui a deposição de frações de minerais pesados e de maior granulometria ou seu arraste mecânico pela lama ao longo da calha do rio, bem como o arraste, pela água, do particulado fino, argiloso e da fração de minério de ferro de fina granulometria. Este material mais fino vai se depositar em áreas de menor velocidade de fluxo do rio e, após a enxurrada, nas cheias, se espalhar além das margens e várzeas do rio, formando, respectivamente, o "novo solo" nas margens e o "novo sedimento" nesses pontos do rio. Este material mais fino com forte participação de oxi-hidróxidos de ferro e manganês hidratados forma também um forte hospedeiro de metais traços, muitos deles metais pesados de alta toxicidade.

A presença de metais pesados tóxicos, como o cádmio, e seu enriquecimento nessas frações mais finas dos sedimentos já tem sido relatada em estudos realizados e disponibilizados pela Fundação Renova. Divergindo das previsões sobre a “inércia” dos componentes da lama de rejeitos oriunda do rompimento da barragem da Samarco, estudos posteriores realizados pela Golder apresentam resultados apontando para outras conclusões (GOLDER, 2017c). Buscando organizar de forma espacial e cronológica os resultados até então obtidos, esse relatório técnico da Golder assinala os resultados como S1 a S4 (segmentos da área estudada) e T1 a T4 (diferentes períodos dos resultados).

Dados desses estudos sobre os sedimentos indicam que após a avalanche da lama de rejeitos, o contaminante cádmio, por exemplo, apresentou picos de alteração de maior magnitude onde as concentrações chegam a atingir valores até cerca de uma ordem de grandeza mais elevados que os máximos históricos e/ou o nível regulatório. Desta forma, o cádmio nos sedimentos coletados estaria incluído entre os parâmetros que apresentaram picos de concentração após a chegada da pluma de rejeitos (T1) e/ou durante o pulso de precipitação da estação chuvosa de 2015/2016. Assim, em março de 2017 foi registrada uma concentração máxima de cádmio de 1,199 mg/kg. O mesmo padrão foi observado para os parâmetros arsênio, cromo, chumbo, níquel, zinco, ferro e manganês total sendo que o cromo alcançou uma concentração máxima de 78,5 mg/kg em novembro de 2015.

A gradação granulométrica do material mais leve, depositado além do leito natural desses rios, irá se constituir no “novo solo superficial” nessas áreas. Após secagem, gerou uma importante fonte secundária de emissão de particulado fino (poeira) iniciando um processo de contaminação de outros compartimentos ambientais. Em algumas localidades, como na sede do município de Barra Longa, a geração de poeira foi significativamente aumentada durante e após os procedimentos de remediação e limpeza da lama de rejeitos.

Assim, por exemplo, numa perspectiva de médio e longo prazo, deve-se considerar a alteração do solo superficial pela deposição desse particulado fino, originando dúvidas sobre a inocuidade de áreas de produção de alimentos.

O enriquecimento de metais traços nas frações mais finas dos rejeitos da mineração de ferro, pode ser comprovado por vários estudos realizados nas áreas de

domínio do quadrilátero ferrífero mineiros. Além da caracterização mineralógica, a granulometria associada à composição química e mineralógica é uma informação de grande importância para reconhecimento dos mecanismos de transporte, de deposição ou enriquecimento de contaminantes de interesse em determinados compartimentos ambientais, e, na dinâmica desses processos, a geração de rotas de exposição humana aos contaminantes.

Complementarmente, é sabido que os metais pesados se ligam de forma predominante ao material particulado em suspensão e se acumulam finalmente nos sedimentos (FÖRSTNER E MÜLLER, 1974; HÄKANSON, 1974; FÖRSTNER & PATCHINEELAM, 1976; FÖRSTNER & WITTMAN, 1983).

Já em ambiente aquático, a dissolução redutora de minerais contendo ferro poderia resultar na liberação de ferro ferroso ou divalente e, por consequência, liberar os metais pesados neles adsorvidos.

Em estudo realizado com rejeitos da Mina do Pico - VALE, considerando diferentes frações separadas por sedimentação, constatou-se que frações finas do rejeito, $D_{50}=11,9\ \mu\text{m}$, apresentaram elevadas proporções de óxido de ferro. Além disso, observou-se que as frações coloidais, $D_{50}=1\ \mu\text{m}$, indicaram maiores proporções de óxidos de ferro hidratados e alumino silicatos (SANTOS, 2010).

Vieira (2008), em análise de rejeitos da flotação mecânica da Samarco Mineração, concluiu que quanto maiores os tamanhos de partículas, maior o percentual de óxido de silício encontrado em análises químicas e mineralógicas; e quanto menores os tamanhos de partículas, maior o teor de óxido de ferro.

Corroborando com Vieira (2008), Praes, Albuquerque e Luz. (2013), em caracterização de rejeitos de colunas de flotação do tratamento do minério de ferro, concluíram que o óxido de ferro está, normalmente, associado à granulometria mais fina dos rejeitos, mais precisamente, para o caso avaliado, abaixo de $37\ \mu\text{m}$.

Wolff (2009) determinou o percentual de ferro de diferentes faixas granulométricas, separadas por peneiramento, em rejeitos de nove minas da VALE. Os resultados encontrados demonstram que os maiores teores de ferro estão relacionados às partículas de diâmetro entre 10 a $15\ \mu\text{m}$. Entretanto, altos valores de ferro também foram encontrados para as partículas com diâmetro superiores a $15\ \mu\text{m}$. Neste estudo,

os menores percentuais de ferro obtidos foram associados às partículas inferiores a 10 μm .

Dessa forma, é possível perceber que os rejeitos da mineração de ferro são compostos basicamente por óxidos de ferro, sílica e alumínio, apresentando maior percentual de ferro em suas menores frações e maiores teores de sílica em suas maiores frações.

Capítulo I: Avaliação dos dados existentes

DADOS LEVANTADOS PELA EQUIPE DE ARSH DA AMBIOS

EMPREENDIMENTO DA SAMARCO NO MUNICÍPIO DE MARIANA

As informações sobre as operações do empreendimento que serão apresentadas abaixo foram baseadas no Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA Integrado do Complexo Germano, elaborado em 2017 pela empresa Amplo Engenharia e Gestão de Projetos Ltda (AMPLO, 2017).

O empreendimento da Samarco, denominado “Complexo Germano”, está localizado nos municípios de Mariana e Ouro Preto, no estado de Minas Gerais, e está interligado ao Complexo Ubu por três minerodutos. A **Figura 1** apresenta a localização do complexo no mapa do estado de Minas Gerias.

As atividades da Samarco iniciaram em 1971, quando a Samitri e a Marcona Corporation começaram as negociações para explorarem juntas o minério itabirítico, rocha com baixo teor de ferro, que, até então, não era explorado no Brasil.

A construção da unidade de Germano iniciou em 1975 e o tratamento do minério da mina de Germano em 1977. Em 1984, as reservas lavráveis da mina de Germano foram se exaurindo e, para conferir longevidade às suas atividades, no início dos anos noventa a Samarco iniciou as operações de lavra na Mina de Alegria, também em Mariana/MG e Ouro Preto/MG.

O projeto da SAMARCO foi concebido para transportar o concentrado de minério de ferro através de mineroduto para a usina de pelotização localizada em Ponta Ubu, no município de Anchieta - ES.

Atualmente a composição acionária da SAMARCO está distribuída igualmente entre a VALE S/A e a BHP Billiton LTDA.

Entre 2011 e 2015, o total dos investimentos da Samarco no Brasil foi de R\$ 9,1 bilhões, e até o ano de 2015 cerca de 3 mil empregados diretos e aproximadamente 3 mil contratados.

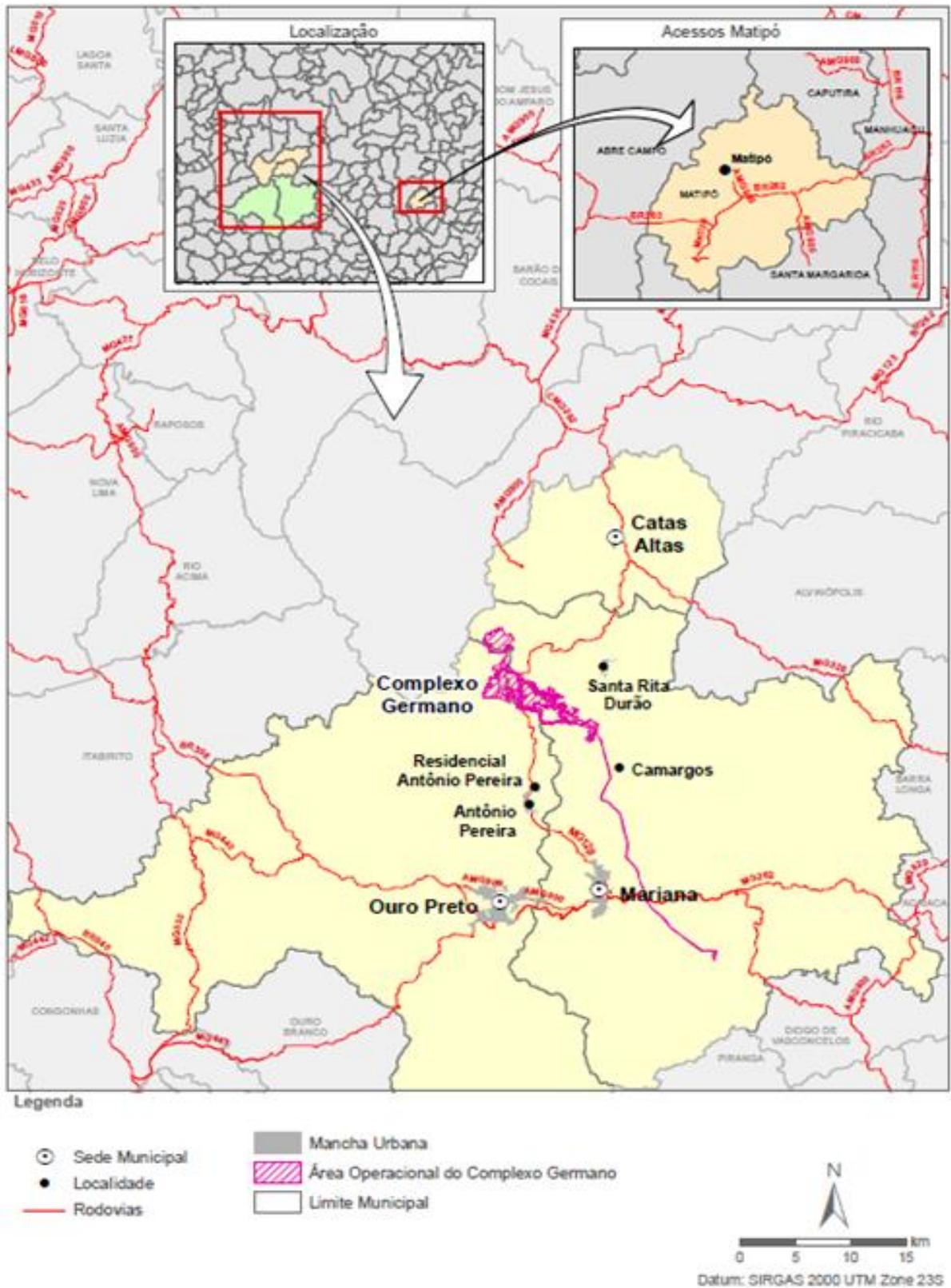


Figura 1: Complexo de Germano

Fonte: AMPLO, 2017

As operações do Complexo de Germano foram embargadas após o rompimento da Barragem de Fundão, em 05 de novembro de 2015, bem como suspensas as licenças ambientais, sendo exigido licenciamento ambiental corretivo. Para tanto foi elaborado pela Amplo (2017) o Relatório de Impacto ambiental, que distribuiu as áreas em 3 categorias apresentadas a seguir (**Figura 2**):

ADA – Área Diretamente Afetada

Corresponde ao conjunto e todo o espaço onde encontram-se implantadas as estruturas operacionais do Complexo Germano, como cavas, pilhas de estéril, barragens e diques para diferentes fins, unidades de processamento mineral, pátios, oficinas, áreas administrativas, de circulação, acessos, refeitórios, áreas de instalação de linhas de transmissão, entre outras estruturas, além das áreas onde se localizam as obras emergenciais.

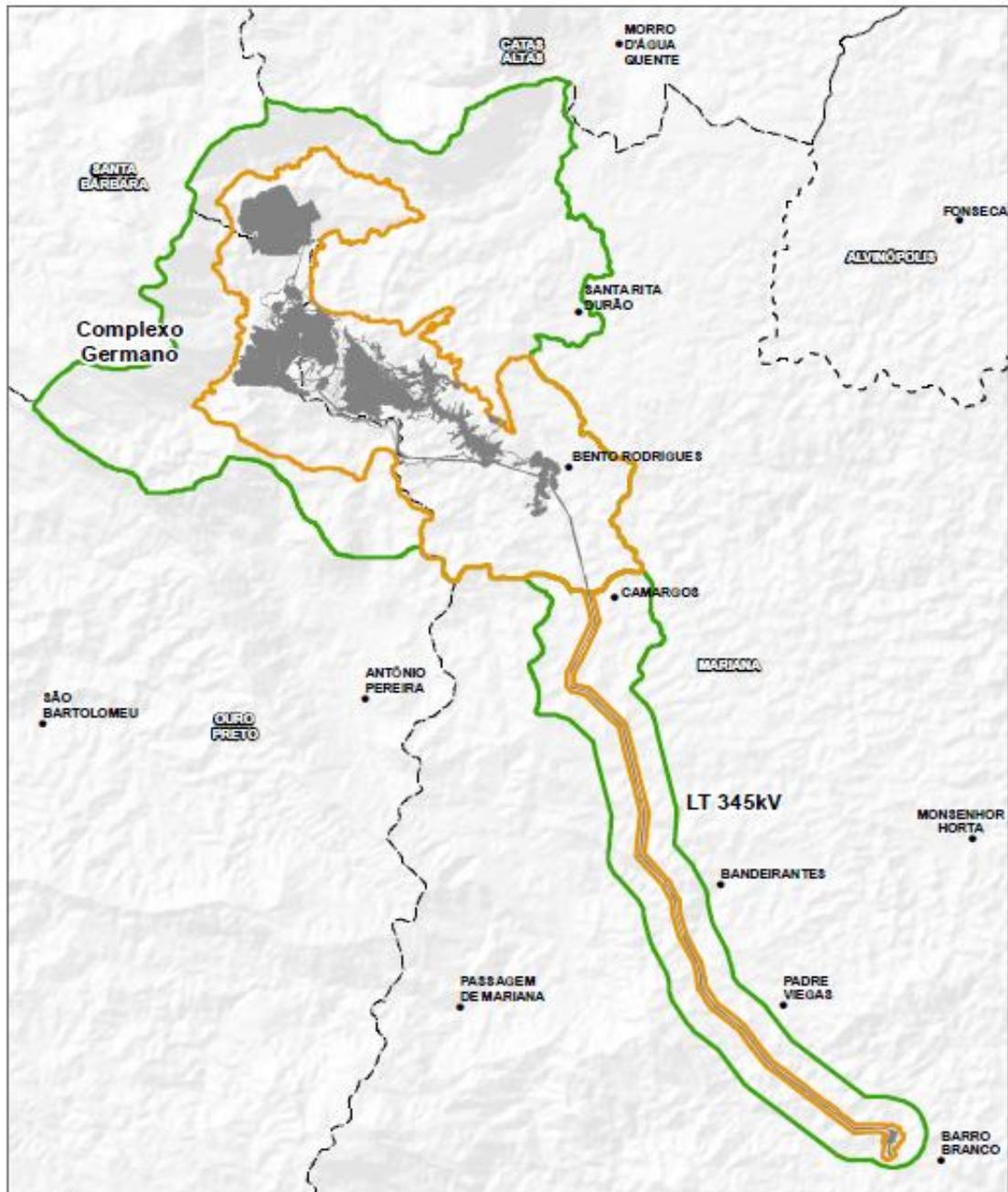
AID – Área de Influência Direta

Delimitou-se como Área de Influência Direta – AID, os domínios geográficos onde os efeitos decorrentes das operações das estruturas que compõem o Complexo Germano podem gerar alterações positivas ou negativas aos diferentes atributos do meio natural ou antrópico.

AII – Área de Influência Indireta

Definiu-se como Área de Influência Indireta o domínio geográfico sujeito às alterações dos atributos ambientais decorrentes das operações do Complexo Germano sem que ocorram alterações importantes. A AII envolve a AID, podendo ser, em alguns casos, coincidente com esta.

Mapa de Áreas de Influência do Meio Físico e do Meio Biótico



Legenda

- Localidade
- Área Diretamente Afetada - ADA (Complexo Germano)
- Área de Influência Direta - AID
- Área de Influência Indireta - AII
- - - Limite municipal



Figura 2: Mapa de áreas de influência do Meio Físico e do Meio Biótico

Fonte: AMPLO, 2017

Estruturas do Complexo Germano

Abaixo estão apresentadas esquematicamente as estruturas e infraestruturas do Complexo do Germano, desde a mina até o porto (Figura 3).



Figura 3: Apresentação esquemática das estruturas e infraestruturas do Complexo do Germano, desde a mina até o porto.

Fonte: AMPLO, 2017

O RIMA destaca a existência de duas estações de monitoramento da qualidade do ar localizadas no distrito de Santa Rita Durão (município de Mariana/MG) e no Distrito de Antônio Pereira (município de Ouro Preto/MG), monitorando as Partículas Totais em Suspensão e Partículas Inaláveis. Porém, apresenta apenas os resultados dos dois parâmetros para a estação de Antônio Pereira, estando as partículas monitoradas em conformidade com a legislação Conama. Para a outra estação, há apenas dados de Partículas Totais em Suspensão, também dentro dos parâmetros.

Os itabiritos são as rochas que contêm o minério de ferro explorado pela Samarco. Essas rochas estão localizadas, principalmente, onde se desenvolveram as Minas do Complexo Germano (Germano, Alegria Norte e Alegria Sul).

O relatório de impacto cita a existência de sistemas de tratamento de esgotos, de tratamento de óleos, destinação de resíduos sólidos e destinação dos rejeitos do empreendimento, definidos como estéreis e lama, porém não quantifica nem qualifica esses rejeitos.

O RIMA apresenta o monitoramento de 16 pontos de água superficial, porém apenas um ponto encontra-se à jusante da barragem de Fundão, sendo os demais dentro do complexo do Germano. O relatório cita apenas que “as alterações nos parâmetros foram pontuais e 93% dos resultados registrados ao longo dos anos de monitoramento estavam dentro dos limites fixados pela legislação estadual de Minas Gerais”, porém não apresenta quais os parâmetros foram analisados, nem os resultados das análises.

Quanto às águas subterrâneas, a avaliação ocorreu em água em poços de bombeamento profundo e nascentes localizadas dentro do empreendimento, com 94% de conformidade. Mais uma vez não foram apresentados os resultados nem os parâmetros analisados.

Quanto a fauna da área de abrangência do RIMA, o relatório apresentou fotos de animais em período anterior ao rompimento, não havendo nenhum registro (escrito ou fotográfico) após o rompimento, nem comparação entre esses dois momentos (antes e depois). Os pesquisadores encontraram 14 espécies de peixes nos rios, lagos e lagoas da área de estudo do Complexo Germano. Uma espécie de peixe encontra-se ameaçada de extinção (cascudinho) e três espécies são endêmicas da bacia do rio Doce: dois tipos de cascudinhos e um tipo de acará. Porém o estudo não apresenta a ictiofauna predominante.

Diferentemente de outros estudos de EIA e RIMA o presente estudo não apresentou os dados, informações e resultados das análises químicas realizadas, tão pouco descreveu a composição da matéria bruta, rejeito e lama gerados pelo empreendimento. Essas informações são essenciais para a compreensão do processo industrial utilizado pela Samarco.

CARACTERIZAÇÃO DO DESASTRE DE ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO

Segundo o Glossário da Defesa Civil Nacional o termo “desastre” significa o “Resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem, sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais. Os desastres são quantificados, em função dos danos e prejuízos, em termos de intensidade, enquanto que os eventos adversos são quantificados em termos de magnitude. A intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento adverso e o grau de vulnerabilidade do sistema receptor afetado. Normalmente o fator preponderante para a intensificação de um desastre é o grau de vulnerabilidade do sistema receptor. Os desastres classificam-se quanto à Intensidade, Evolução e Origem” (BRASIL, 1998).

Situações de desastres, também denominadas como situação de “crise”, são fenômenos que, tanto de forma individual quanto coletiva, excedem a capacidade que temos de compreender e elaborar a situação exigindo para isso tempo e distância. (NOAL, et al.). Os desastres interrompem de forma grave o funcionamento do cotidiano de uma comunidade gerando perdas humanas, materiais, econômicas, culturais, ambientais, excedendo a capacidade da sociedade afetada de responder à situação por meio de seus próprios recursos já conhecidos e disponíveis (NOAL, et al.).

Desastres não produzem apenas mortes, enfermidades físicas e perdas materiais e econômicas, eles produzem também, uma série de afetações em saúde mental da população, decorrentes da mudança do cotidiano e de suas perdas. Produzem uma deterioração da vida das pessoas, desintegração das famílias e da comunidade, impacta as condições de vida das pessoas e deteriora o ambiente físico e social. O impacto psicossocial de um desastre resulta de vários fatores que necessitam ser considerados, dentre eles: a causa e a característica do evento, os tipos de perdas, as características individuais e o envolvimento da pessoa com a situação. Assim, para entender os impactos na população é necessário um acompanhamento da população de curto médio e longo prazo (OPAS, 2002).

O rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, gerenciada pela Samarco Mineração S.A., joint venture das empresas Vale S.A. (50%) brasileira e BHP Billiton

(50%) anglo-australiana, ocorreu por volta das 16 horas do dia 05 de novembro de 2015 no distrito de Bento Rodrigues – Mariana – MG.

O desastre, foi considerado o maior desastre socioambiental da história do Brasil, e o maior do mundo relacionado a barragens de rejeitos de mineração. Foi classificado pela defesa civil, segundo consta no relatório do Ibama, como sendo de Nível IV - “desastre de muito grande porte”. São assim classificados os desastres em que os danos causados são muito importantes e os prejuízos muito vultosos e consideráveis. Em situações como essa, os desastres não são superáveis e suportáveis pelas comunidades, mesmo quando bem informadas, preparadas, participativas e facilmente mobilizáveis, a menos que recebam ajuda de fora da área afetada. Nessas condições, a localidade necessita da mobilização e da ação coordenada dos três níveis do Sistema Nacional de Defesa Civil — SINDEC e, em alguns casos, de ajuda internacional para o restabelecimento da situação de normalidade (BRASIL, 1998).

Segundo consta no Laudo técnico Preliminar do IBAMA de 2015, a barragem continha 50 milhões de m³ de rejeitos de mineração de ferro, sendo que desse montante, trinta e quatro milhões de m³ foram lançados no meio ambiente, e o restante, à época continuava a ser lançado lentamente.

O material do rejeito segundo informação do site da Samarco é composto por minério de ferro, areia e água. O resíduo foi classificado como não perigoso e não inerte para ferro e manganês, pois afirmavam estar em conformidade com a NBR 10.004. (IBAMA, 2015). No entanto, segundo monitoramento emergencial realizado pelo IGAM e o IEMA, foram encontrados após o desastre, concentrações acima do limite preconizado pela Resolução CONAMA nº 357/2005, de metais como arsênio, cádmio, chumbo, cobre dissolvido, cromo, mercúrio e níquel.

A Tabela 1, a seguir, faz um comparativo entre as concentrações máxima analisadas após o rompimento e os picos históricos registrados nas estações de monitoramento.

Tabela 1: Concentrações máximas registradas de metais pesados no trecho mineiro do Rio Doce

Parâmetro	Estação	Antes do Evento		Após o evento		Limite Classe 2 (mg/L)
		Valor máximo (mg/L)	Data	Valor máximo (mg/L)	Data	
Arsênio total	RD033	0,01	11/03/1998	0,108	08/11/2015	<0,01
Cádmio total	RD059	0,0012	20/08/2001	0,0346	18/11/2015	<0,001
Chumbo total	RD035	0,023	17/02/2000	1,65	08/11/2015	<0,01
Cobre dissolvido	RD019	0,411	08/07/2009	0,675	07/11/2015	<0,009
Cromo total	RD033	0,07	28/03/1999	2,863	08/11/2015	<0,05
Merúrio total	RD072	0,2	14/04/2010	0,293	18/11/2015	<0,0002
Níquel total	RD023	0,014	28/03/1999	2,28	07/11/2015	<0,025

Fonte: Elaborado a partir de dados do IGAM

Todo esse material tem potencial de causar danos à saúde humana, deteriorar a qualidade da água de mananciais, destruir manguezais, vegetações ciliares e outros habitats naturais, asfixiar espécies aquáticas, eliminar micro-organismos, soterrar seres vivos e assorear excessivamente as adjacências dos rios (JOHAS, 2017).

A lama de rejeitos resultante do rompimento da barragem avançou pela planície arrastando a vegetação e substrato que agravaram ainda mais os danos provocados nas comunidades, nos moradores, na fauna e flora do entorno de Mariana. Além dos inúmeros bens materiais, construções, instalações e vidas destruídas diretamente pela lama, gerou-se também um passivo socioeconômico e ambiental à população que viviam às margens do rio Doce. E diversos são os setores afetados: indústria, pesca, comércio, serviços, agricultura, pecuária e turismo (JOHAS, 2017).

De acordo com estimativas do laudo do IBAMA, a lama destruiu cerca 1.469 hectares ao longo de 77 km de cursos de água, incluindo áreas de preservação permanente causando graves danos socioeconômicos e ambientais. As áreas mais impactadas fazem parte de microrregião que abrange os municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce, e Santa Cruz do Escalvado. Dois subdistritos de Mariana e uma comunidade de Barra Longa foram soterrados: Bento Rodrigues, Paracatu de Baixo (Mariana) e Gesteira (Barra Longa) (IBAMA, 2015).

Inicialmente a lama alcançou a barragem de Santarém causando seu galgamento e forçando a passagem de uma onda de lama que percorreu 55km no rio Gualaxo do Norte até desaguar no rio do Carmo. No rio do Carmo a lama percorreu mais 22 km até

encontrar o rio Doce. Por meio desse curso os rejeitos foram carregados até a foz no Oceano Atlântico, chegando no município de Linhares, no estado do Espírito Santo, 16 dias posteriores ao rompimento, no dia 21 de novembro de 2015, totalizando 663,2 km de corpos hídricos diretamente impactados (IBAMA 2015).

Para a recuperação e reparo dos danos causados pelo desastre, foi criada em 2016, uma entidade independente e sem fins lucrativos chamada de Fundação Renova, estabelecida por meio de um Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC), assinado entre Samarco, Vale e BHP, os governos federal e dos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, além de uma série de autarquias, fundações, e institutos como Ibama, Instituto Chico Mendes, Agência Nacional de Águas, Instituto Estadual de Florestas, Funai, Secretarias de Meio Ambiente, Ministério da Saúde, dentre outros.

A fundação tem como objetivo implementar e gerir programas de reparação e reconstrução das áreas afetadas pelo desastre. O seu controle é realizado por representantes de governos, órgãos ambientais e sociedade civil e possui 3 agendas prioritárias: retirada da lama do rio; restauração das áreas devastadas pelo desastre e lidar com os desafios da governança pública (JOHAS, 2017).

Descrição dos danos causados pelo desastre

O rompimento da barragem de Fundão atingiu 680 km de corpos d'água nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo gerando impactos ambientais e sociais a regiões estuarinas do Rio Doce e regiões costeiras e marinha (TTAC, 2016).

O desastre causado pelo rompimento da barragem do Fundão, Mariana/MG, produziu severos impactos no território da bacia do rio Doce, localizada nos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo, até sua foz no Oceano Atlântico (ANA, 2016). Os impactos observados são de diversas ordens tais como: econômicos, ambientais, sociais, culturais, perdas físicas, mortes de pessoas, de animais, danos à circulação/mobilidade das cidades, danos na distribuição de água, deterioração do modo de vida das pessoas, incluindo trabalho, devastação de localidades e a consequente desagregação dos vínculos sociais das comunidades gerando importante impacto nos aspectos psicossociais das populações atingidas. De acordo com o Laudo Técnico Preliminar sobre os impactos ambientais decorrentes do desastre realizado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama, os danos causados pelo

rompimento da barragem envolvem áreas de preservação permanente, impactos à icitiofauna, à fauna, impactos socioeconômicos e à qualidade da água.

Ao todo, quarenta municípios foram afetados direta ou indiretamente, seja por terem sido parcial ou completamente destruídos pela passagem dos rejeitos, pelo comprometimento do abastecimento de água ou por prejuízos às suas atividades econômicas como pesca, pecuária agricultura, dentre outros (JOHAS, 2017). Além disso, foram contabilizadas 19 vítimas fatais em decorrência ao acidente sendo, catorze trabalhadores e cinco moradores do distrito de Bento Rodrigues, (BRASIL & SEGUR, 2016).

Um dos impactos, no trajeto percorrido nos trechos de cabeceira, situados à montante do reservatório da UHE Risoleta Neves (Candongá), foi a supressão da vegetação marginal devido a erosão ocorrida pela onda de inundação. Quantidades expressivas de rejeito foram depositadas na calha do rio, principalmente na área de transição com o reservatório (ANA, 2016).

Outros impactos referem-se ao desalojamento de populações, à destruição de estruturas públicas e privadas (edificações, pontes, ruas etc.), à destruição de áreas agrícolas e pastos, com perdas de receitas econômicas, à interrupção da geração de energia elétrica pelas hidrelétricas atingidas (Candongá, Aimorés e Mascarenhas), à destruição de áreas de preservação permanente e vegetação nativa de Mata Atlântica, à mortandade de biodiversidade aquática e fauna terrestre, ao assoreamento de cursos d'água, à interrupção da pesca por tempo indeterminado, à interrupção do turismo, à perda e fragmentação de habitats, à restrição ou enfraquecimento dos serviços ambientais dos ecossistemas e à alteração dos padrões de qualidade da água doce, salobra e salgada (IBAMA, 2015).

Impactos Ambientais

Impactos à vegetação natural

Dados do laudo produzido pelo IBAMA apontam para a devastação de matas ciliares remanescentes (fragmentos/mosaicos), soterramento de vegetação de menor porte do sub-bosque e supressão de vegetação arbórea. Com a derrubada das árvores pela força da onda provocada pelo rompimento da barragem e a sedimentação sobre a

serapilheira e seus bancos de sementes, as matas de galeria atingidas pelo desastre tiveram sua resiliência e processos de sucessão comprometidos (IBAMA, 2015).

Impactos à Biota

O laudo do IBAMA apontou que definitivamente houve impactos sobre as espécies nativas da fauna. Tal impacto se deu principalmente na capacidade de locomoção e de adaptação dos animais a ambientes adjacentes. Aponta impactos sobre as populações locais da herpetofauna. Quanto as populações locais de avifauna, o impacto pode ser menor em decorrência da capacidade de deslocamento ágil. Em relação aos mamíferos, é provável que as populações de animais fossoriais e de porte reduzido tenham sido dizimadas nos locais onde as margens foram tomadas pela lama (IBAMA, 2015).

O impacto na ictiofauna foi severo, por diversos motivos citados a seguir:

- fragmentação e destruição de habitats;
- contaminação da água com lama de rejeitos;
- assoreamento do leito dos rios;
- soterramento das lagoas e nascentes adjacentes ao leito dos rios;
- destruição da vegetação ripária e aquática;
- interrupção da conexão com tributários e lagoas marginais;
- alteração do fluxo hídrico;
- impacto sobre estuários e manguezais na foz do Rio Doce;
- destruição de áreas de reprodução de peixes;
- destruição das áreas “berçários” de reposição da ictiofauna (áreas de alimentação de larvas e juvenis);
- alteração e empobrecimento da cadeia trófica em toda a extensão do dano;
- interrupção do fluxo gênico de espécies entre corpos d’água;
- perda de espécies com especificidade de habitat (corredeiras, locas, poços, remansos, etc.);
- mortalidade de espécimes em toda a cadeia trófica;
- piora no estado de conservação de espécies já listadas como ameaçadas e ingresso de novas espécies no rol de ameaçadas;
- comprometimento da estrutura e função dos ecossistemas; e
- comprometimento do estoque pesqueiro.

Os efeitos sobre a biodiversidade aquática podem variar conforme o nível trófico e fisiologia dos organismos. O aumento da turbidez impede a entrada de luz solar na água, o que inviabiliza a fotossíntese afetando os organismos aquáticos produtores, à saber: fitoplâncton, perifíton, e macrófitas aquáticas submersas (IBAMA, 2015). As consequências à comunidade aquática podem se agravar ou não dependendo da permanência dos sedimentos no ambiente, da resiliência dos produtores primários afetados e da importância dessa produção endógena na cadeia trófica aquática como um todo. Em relação aos organismos aquáticos consumidores, a quantidade de sólidos em suspensão no corpo d'água provoca o colapamento das brânquias, levando-os à morte por asfixia. É necessário considerar também que muitos organismos foram simplesmente soterrados, em virtude da força que a lama atingiu os rios e da densidade do rejeito.

Por fim, é possível concluir que o nível de impacto foi profundo ao longo de diversos estratos ecológicos, que é impossível estimar um prazo de ressurgimento da fauna local visando o reequilíbrio das espécies na bacia do rio Doce (IBAMA, 2015).

Impactos a recursos hídricos e Impactos à qualidade da água

O principal impacto nos recursos hídricos, devido a passagem da pluma de rejeitos, foi o aumento do nível de turbidez da água em todo o rio Doce. A passagem do pico da pluma de sedimentos durou aproximadamente 5 dias, mas o tempo, durante o qual os níveis de turbidez ficaram acima de 1.000 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) em cada trecho do rio Doce, foi superior a 30 dias.

Diante disso, ocorreu a interrupção total ou parcial do abastecimento de água de 12 cidades que captam água diretamente no rio Doce, entre elas: Alpercata, Governador Valadares, Tumiritinga, Galiléia, Resplendor, Itueta e distrito de Aimorés, em Minas Gerais e; Baixo Guandu, Colatina e distrito de Linhares, no Espírito Santo. Estimativa realizada pelo IBAMA é de que essa interrupção afetou cerca de 424.000 pessoas.

O reabastecimento público aconteceu de forma gradativa após as adaptações nas estações de tratamento de água. Além disso, 143 captações de água outorgadas pela ANA podem ter sido impactadas, sendo 88 para fins industriais, 46 para fins de irrigação, 3 para criação de animais, e 6 para outros usos (ANA, 2016).

Além dos impactos na qualidade da água, o rompimento da Barragem de Fundão provocou:

- prejuízos à agricultura (irrigação);
- impactos na pesca;
- impactos na irrigação e pecuária;
- impactos na balneabilidade;
- prejuízos à indústria e demais atividades econômicas que dependem da qualidade da água dos corpos hídricos atingidos;
- prejuízos à produção de energia nas hidrelétricas;
- comprometimento da pesca em toda a extensão do rio e na transição com o ambiente marinho;
- comprometimento do turismo, sobretudo na região do estuário do Rio Doce;
- destruição de áreas de preservação permanente nos trechos de cabeceira
- assoreamento dos corpos hídricos;
- alterações morfológicas dos corpos hídricos atingidos;
- mortalidade de peixes e de outros organismos aquáticos;
- perturbações do equilíbrio dos ecossistemas aquáticos; e
- impactos na Atividade Industrial.

Possíveis Impactos de Médio e Longo Prazo

Os impactos ambientais causados pelos rejeitos remanescentes na Bacia do Rio Doce não se restringem aos danos avaliados nos dias ou meses subsequentes ao evento.

Os rejeitos de mineração, por se tratarem de material inerte, sem matéria orgânica, podem afetar o solo à longo prazo, causando desestruturação química e afetando seu pH. Essa alteração poderá dificultar a recuperação e o desenvolvimento gradativo de espécies que ali viviam, podendo alterar, a vegetação local, com o estabelecimento de ecossistemas diferentes dos originais. A recuperação dos ecossistemas de cada trecho atingido, irá depender de sua capacidade de resiliência (capacidade que um ecossistema perturbado/degradado possui de retornar,

naturalmente, às suas características originais, ou o mais próximo possível, sem intervenção humana) (IBAMA, 2015).

Em relação à qualidade da água, é importante ressaltar que, apesar da tendência de retorno às condições anteriores dos parâmetros analisados, as perturbações impostas aos ecossistemas aquáticos afetados deixaram um passivo significativo no Rio Doce. Segundo o Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce Rompimento da Barragem em Mariana/MG, grande parte do material vazado com o rompimento da barragem ainda se encontra depositado nos corpos hídricos, podendo comprometer de maneira real ou potencial diversos usos da água (ANA, 2016).

Conforme mencionado anteriormente, o grande volume de rejeitos acumulados nos corpos hídricos atingidos, afeta o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, comprometendo fauna, flora e serviços ecológicos como, por exemplo, o processo de autodepuração. Toda a matéria remanescente, tende a se deslocar rio abaixo, acompanhando os eventos hidrológicos (cheias), ou a partir de intervenções destinadas à remoção e contenção dos rejeitos, impactando na qualidade da água ao longo do tempo. Isto explicaria as alterações no aspecto do rio Doce, principalmente em termos de coloração, turbidez e deposição de sedimentos, ainda visíveis em avaliações realizadas meses após o rompimento da barragem.

É difícil prever com precisão e detalhamento os impactos do desastre sobre a qualidade da água do rio Doce em médio e longo prazos. Assim, a coleta de dados a partir do monitoramento de parâmetros específicos e o desenvolvimento de novos estudos, incluindo biomonitoramento e ensaios ecotoxicológicos, são fundamentais para determinar possíveis impactos adicionais do desastre sobre a qualidade da água (ANA, 2016).

Danos à Infraestrutura física

Conforme mencionado anteriormente, seis localidades no município de Mariana apresentaram danos em edificações e elementos de infraestrutura, são elas: Bento Rodrigues, Camargos, Bicas, Gama, Paracatu de Baixo e Pedras. Bento Rodrigues, subdistrito do distrito de Santa Rita Durão, foi soterrado pela avalanche de água, lama e detritos produzida com o rompimento da barragem (ANA, 2016).

CARACTERIZAÇÃO SÓCIO DEMOGRÁFICA

MARIANA

História e localização

O município de Mariana situa-se na vertente sul da Serra do Espinhaço, na Zona Metalúrgica de Minas Gerais, conhecida como Quadrilátero Ferrífero, a 697 metros de altitude. Faz limite com os municípios de Ouro Preto, Barra Longa, Diogo de Vasconcelos, Acaiaca, Piranga, Catas Altas e Alvinópolis. Dista cerca de 12 km de Ouro Preto e 110 km de Belo Horizonte. Situa-se na Bacia do Rio Doce (Figura 4), banhada pelo Rio do Carmo, que possui dois afluentes: Gualaxo do Norte e Gualaxo do Sul. A altitude máxima chega a 1.772 m no Pico do Itacolomi.

Mariana, primitivamente Ribeirão do Carmo, foi a primeira entre as cidades surgidas por efeito das expedições de bandeirantes paulistas, que a partir da última década do século XVII, rumaram à Minas Gerais em busca de ouro. A fundação de Mariana data do final do século 17 em 16 de julho de 1696. Atualmente possui área total de 1.194,208 km². A Figura 4 mostra uma vista geral do município.

Em 1945, o presidente Getúlio Vargas concedeu ao município o título de Monumento Nacional, por seu “significativo patrimônio histórico, religioso e cultural” e pela ativa participação na vida cívica e política do País. Além de ser um dos municípios mais importantes do Circuito do Ouro, parte integrante da Trilha dos Inconfidentes e da Estrada Real, Mariana tem a economia fundamentada na extração de minérios (ouro e ferro) e um pouco no turismo (UNICAMP, 2018).

Além de guardar relíquias e casarios coloniais que contam parte da história do país, em Mariana nasceram personagens representativos da cultura brasileira. Entre eles estão o poeta e inconfidente Cláudio Manuel da Costa, o pintor sacro Manuel da Costa Ataíde e Frei Santa Rita Durão, autor do poema “Caramuru”.

A cidade lidera o ranking da preservação do patrimônio histórico e cultural em meio a 788 municípios com 66,28 pontos, divulgado pelo ICMS Cultural de 2018, do Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico (Iepha-MG), vinculado à Secretaria da Cultura do Governo do Estado.

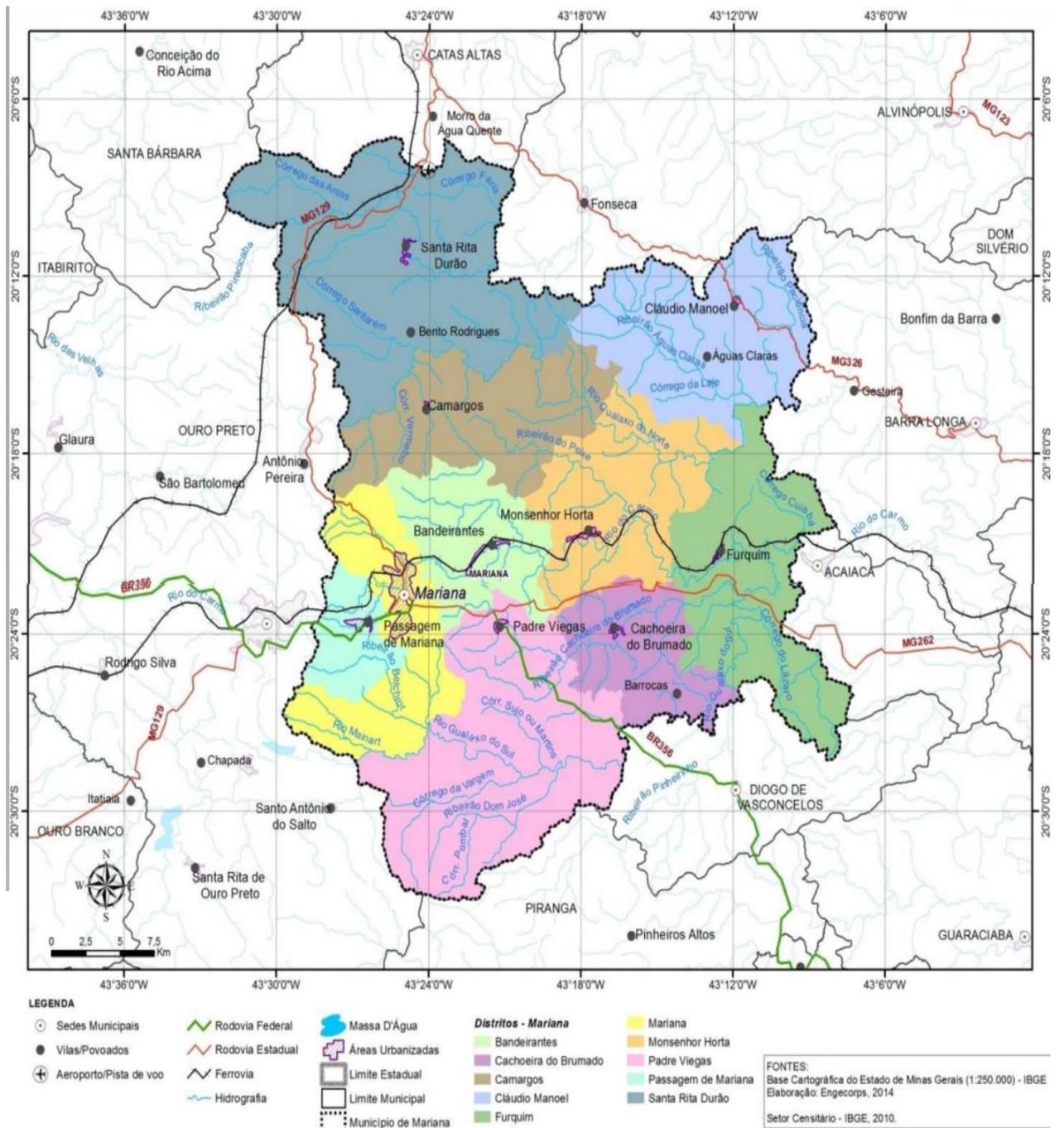


Figura 4: Distribuição dos distritos de Mariana

Fonte: Bases Cartográficas do Estado de Minas Gerais (IBGE);
 Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2010). Elaboração ENGECORPS, 2014.

O município de Mariana possui nove distritos que desenvolvem atividades econômicas e manifestações culturais: Santa Rita Durão, Monsenhor Horta, Camargos, Bandeirantes (Ribeirão do Carmo), Padre Viegas (Sumidouro), Claudio Manoel, Furquim, Passagem da Mariana e Cachoeira do Brumado (UNICAMP, 2018). Suas principais características sócio-culturais são apresentadas abaixo.

Santa Rita Durão

Possui 2 subdistritos: Alegria e Bento Rodrigues. Este distrito possui como atrativos naturais e culturais a Matriz de Nossa senhora de Nazaré (Tombamento: Processo nº356 – T, Inscrição nº 240, Livro Histórico, Folhas 40, e Inscrição nº 306, Livro Belas Artes, folhas 64. Data: 05/07/1945) (IPHAN, 2018).

Também sob o processo de tombamento nº 357 – 1, Inscrição nº 307, Livro de Belas-Artes, Fis, 64, e inscrição nº 241, Livro Histórico, Fis, 40. Data: 05/11/1945, tem-se a Igreja de Nossa Senhora do Rosário.

Também patrimônio tombado, a Casa com Rótulas, na Rua do Rosário, em Santa Rita Durão foi presumivelmente construída em fins do século XVIII ou início do XIX, constituindo-se em um dos raros exemplares remanescentes de casa urbana. O imóvel foi doado pelos seus proprietários à União, por escritura datada de 14 de maio de 1947. Trata-se de um imóvel residencial, tendo como divisas o córrego Catavela de um lado, uma propriedade particular do outro e, aos fundos, o rio Piracicaba. É uma construção de madeira e taipa, com cobertura em telha canal quatro águas, beiral em cachorros. A fachada é simples, com porta de entrada e três janelas com rótulas. Tombamento: Processo nº 348-T, Inscrição nº 438, Livro Belas-Artes, Fls, 76. Data: 02/12/1950.

Bento Rodrigues, subdistrito que foi importante centro de mineração do século XVIII foi completamente destruído no rompimento da barragem, em 2015. Seu nome foi dado em homenagem ao bandeirante português que esteve na região por volta de 1798 e que deu origem ao povoado. Havia uma população de 600 pessoas que habitavam aproximadamente 200 casas.

Um dos principais pontos turísticos da região era a Cachoeira do Ouro Fino – uma queda d’água de 15 metros, com lago de 5m x 3m e profundidade máxima de 1,5m –, no

Rio Gualaxo do Norte. Tinha ainda duas igrejinhas: Nossa Senhora das Mercês e São Bento, construídas no século 18, e que abrigavam importante acervo de arte sacra.

A população de Bento Rodrigues costumava festejar sempre no último final de semana de julho, a Festa de São Bento, padroeiro do subdistrito, além da Festa de Nossa Senhora das Mercês. Havia ainda o Coral do Bento, que se apresentava nas festividades locais e regionais (UNICAMP, 2018).

Até 2015, a mineração era responsável por movimentar sua economia, além da agricultura familiar e de subsistência realizada às margens de seu principal rio, o Gualaxo do Norte – com destaque para a produção da geleia de pimenta biquinho, que se tornou um símbolo da região após a abertura de uma cooperativa empreendida por um grupo de mulheres locais (RENOVA, 2019a).

Em maio de 2016, representantes das 226 famílias do subdistrito desabrigadas escolheram, por unanimidade, o terreno na localidade Lavoura para a reconstrução de Bento Rodrigues. A área que vai abrigar o novo subdistrito de Bento Rodrigues tem 350 hectares e está localizada na rota da Estrada Real, a cerca de 8 quilômetros de Mariana e a 9 quilômetros do antigo distrito de Bento Rodrigues.

Monsenhor Horta

Um dos tesouros do distrito é a igreja matriz de São Caetano, construção do século XVIII (1742). Com estilo colonial, é ricamente decorada. Seu primeiro vigário foi o padre Caetano Lopes Pereira. Ao então distrito de São Caetano, em 31 de dezembro de 1943, foi dado o nome de Monsenhor Horta, em homenagem ao Monsenhor José Silvério Horta. A igreja foi tombada em 1953 e, em seu interior, está sepultado o bandeirante Salvador Fernandes Furtado de Mendonça, fundador da cidade de Mariana (PREFEITURA, 2015).

Dados do IBGE mostraram que sua população no ano de 2010 era de 1.740 habitantes, sendo 851 homens e 889 mulheres, possuindo um total de 615 domicílios particulares. Foi criado pela lei provincial nº 50, de 8 de abril de 1836, então com o nome de São Caetano. Pelo Decreto-lei estadual nº 1058, de 31 de dezembro de 1943, passou a ter sua denominação atual Subdistritos: Paracatu de Baixo, Paracatu de Cima e Ponte do Gama.

Atrativos culturais e naturais, listados na página web de Mariana – MG: (PREFEITURA, 2018a)

- Igreja Matriz de São Caetano (século XVIII);
- Capela de Nosso Senhor dos Passos;
- Estação Ferroviária; e
- Casario colonial.

Ensaios da Sociedade Musical São Caetano eram realizados todos os sábados à tarde em sua sede, Rua Raimundo Assis Ventura. No carnaval, era costume encontrar pelas ruas do local um ‘Borreiro’, tradição local na qual o folião faz uma rústica máscara de papel e, irreconhecível, sai pelas ruas para assustar os moradores.

Ponte das Crioulas: distante 7 km de Monsenhor Horta, na estrada que liga ao subdistrito de Ponte do Gama. Muito frequentada no verão para atividades recreativas (nadar e pescar).

No subdistrito de Paracatu de Baixo, a casa da Folia de Reis do Menino Jesus foi identificada como uma das mais atuantes do município, pela recepção de todos os que os procuram com manifestações de fé. Anualmente, em datas móveis, se reuniam em um grande almoço de confraternização, em que a comunidade era mobilizada a receber os visitantes.

Manifestações culturais realizadas em Monsenhor Horta (PREFEITURA, 2018a):

- Festa do Padroeiro;
- Semana Santa;
- Festa do Divino;
- Festa de São Vicente;
- Festa de São Francisco;
- Festa de Nossa Senhora Aparecida;
- Festa de Nossa Senhora da Conceição; e
- Ensaio da Orquestra Mirim de Flautas.

Após o desastre ocorrido em 2015, houve a destruição parcial dos subdistritos de Monsenhor Horta. Em Paracatu de Baixo apenas dez casas, localizadas no alto do distrito, resistiram à tragédia. Segundo o Ministério Público Estadual (MPE), cerca de 90 pessoas continuam nas comunidades afetadas pela lama da barragem rompida. As famílias já foram notificadas pelo órgão e assinaram um termo sobre o risco que correm.

Com 65% dos votos válidos, os representantes de 103 famílias de Paracatu de Baixo (distrito de Mariana) elegeram, em setembro de 2016, o terreno “Lucila” para a reconstrução do distrito impactado pelo rompimento da barragem de Fundão (SAMARCO, 2018).

Camargos

Em 1711, os irmãos Tomáz Lopes de Camargos, João Lopes de Camargos e Fernando Lopes de Camargos encontraram um ribeirão aurífero, onde se estabeleceram originando-se assim o povoado de Camargos. O distrito está situado ao norte, perto da Serra do Caraça e a 19 km de sua sede, Mariana. Possui como subdistritos Bicas, distante a 15 km; e também Fundão, a 14 km.

De acordo com o Censo de 2010, sua população era de 83 habitantes, sendo 39 homens e 44 mulheres, possuindo um total de 76 domicílios particulares. Como atrativos culturais e naturais, são listados:

- Igreja de Nossa Senhora da Conceição: sua construção é datada da primeira metade do século XVIII, Tombamento: Processo nº 410 - T, Inscrição nº34 1, Livro Belas-Artes, folhas 70 - data: 06/12/1949. Cruzeiro e Casas de estilo Colonial.
- Cachoeira de Camargos: queda de 3 metros e pequenos lagos propícios a banhos, com profundidade máxima de 1,5 metro. Localiza-se a cerca de 1km do centro de Camargos, seguindo sempre pelo acesso principal, em direção a Bento Rodrigues.

Como manifestações culturais, seu povoado realiza a Festa da Padroeira Nossa Senhora da Conceição e a Festa de Santa Cruz. O rompimento da barragem do fundão arrastou uma ponte sobre o Rio Gualaxo do Norte que fazia a ligação da comunidade de Camargos com Bento Rodrigues. Esta ponte era parte da Estrada Real e percurso tradicional de ciclistas, motociclistas, jipeiros e turistas, que tiveram de mudar de rota.

Bandeirantes

De acordo com o IBGE, sua população no ano de 2010 era de 764 habitantes, sendo 390 homens e 374 mulheres, possuindo um total de 418 domicílios particulares. Como atrativos culturais e turísticos, são listados:

- Igreja de São Sebastião (século XVIII);
- Capela de Santa Teresa de Ávila (século XVIII);
- Centro Presidente Pedro Aleixo; Prédio da Estação Ferroviária;
- Estufas da Horta Orgânica Comunitária;
- Cachoeira dos Rolas: queda d'água de 15 metros; e
- Casa da Tia Marta: pesque e pague e venda de licor artesanal.

Manifestações culturais:

- Festa do Padroeiro São Sebastião em 20 de janeiro;
- Festa de Santa Teresa de Ávila em 15 de outubro; e
- Cavalgada de Bandeirantes: no mês de outubro.

Padre Viégas

Distrito criado pelo Decreto-lei estadual nº 148, de 17 de dezembro de 1938, então com o nome de Mainart. Pela lei estadual nº 336, de 27 de dezembro de 1948, passou a ter sua denominação atual. Sua população no ano de 2010 era de 2.002 habitantes, sendo 1.009 homens e 993 mulheres, possuindo um total de 751 domicílios particulares.

Possui como subdistritos: Vargem, Engenho, Serra do Lico, Serra do Carmo, Mainart e Barro Branco.

Atrativos Culturais e Naturais:

- Igreja Nossa Senhora do Rosário (século XVIII);
- Capela de Nossa Senhora do Rosário dos Pretos (século XVIII);
- Alambique Duas Gotas: localizado no Sítio Terra Nostra, a 2 km de Padre Viegas;
- Cachoeira das Gaivotas: distante 17 km de Passagem de Mariana. Cercada por mata nativa tem queda de 4,5 metros; e
- Castelinho: conjunto de rochas de hematita que dão a impressão de um castelo.

Os paredões de pedras medem de 5 a 55 metros de altura.

Manifestações Culturais

- Festa da Padroeira Nossa Senhora do Rosário, no mês de outubro; e
- Festa da Corporação Musical Sagrado Coração de Jesus, no mês de julho ou agosto, com novena, missas, procissão da bandeira do Sagrado Coração, repiques de sinos, fogos, bingos, show popular e barraquinhas de comidas e

bebidas, retreta com a corporação aniversariante e outras bandas convidadas. Há ainda eleição da Rainha da Banda e o desfile do Bandão (formado por todas as bandas presentes) pelas ruas da comunidade e almoço festivo para mais de 300 pessoas. (PREFEITURA, 2018b)

Claudio Manoel

Sua população no ano de 2010 era de 1.161 habitantes, sendo 591 homens e 570 mulheres, possuindo um total de 612 domicílios particulares. Sub-distritos: Águas Claras; Campinas; Padre Ribas e Caldereiro.

Atrativos Culturais e Naturais:

- Igreja Matriz de São Sebastião
- Igreja Nossa Senhora das Neves;
- Casa Paroquial;
- Casario colonial;
- Grutas de Furnas - localizadas dentro da propriedade do Sr. Nilo Ferreira, a primeira gruta tem 120 metros de extensão e estalactites em processo de formação, a segunda é um complemento da primeira, com dois salões unidos por um pequeno túnel de cerca de 1 metro de diâmetro. É muito escura - a visita só é possível com lanternas especiais;
- Complexo de Cachoeiras do Dico Saninha;
- Cachoeira do O: localizada no subdistrito de Águas Claras, tem queda d'água de 6 metros e a maior praia da região com 50 metros de comprimento e 20 metros de largura; e
- Serra do Côco: belo mirante utilizado para piqueniques com atividades variadas, sob orientação do grupo de jovens local.

Manifestações Culturais:

- Festa do padroeiro São Sebastião;
- Festa de São José;
- Semana Santa;
- Mês de Maria;
- Festa do Santo Cruzeiro;
- Festa do Divino;

- Sagrado Coração de Jesus;
 - Santo Antônio de Catigerá;
 - Festa de Nossa Senhora das Neves;
 - São Vicente de Paulo;
 - Festa de Nossa Senhora do Rosário;
 - Festa de Nossa Senhora da Conceição;
 - Natal, e data de fundação do Distrito; e
 - Festas Populares: Carnaval, Festa Junina;
- (PREFEITURA, 2018b)

Furquim

Sua população, de acordo com o último censo populacional no ano de 2010 era de 1.656 habitantes, sendo 833 homens e 823 mulheres, possuindo um total de 729 domicílios particulares. Foi criado pela Lei-provisão de 16 de fevereiro de 1718. O distrito se localiza à 23km do centro de Mariana e é conhecido pela arte de pedra sabão.

Possui como subdistritos: Cuiabá, Pedras, Margarida-Viana, Paraíso, Constantino, Goiabeiras, Crasto (PREFEITURA, 2018b).

Atrativos culturais e naturais:

- Igreja Matriz de Bom Jesus do Monte (século XVIII);
- Capela de Nossa Senhora do Carmo (século XVIII);
- Cruzeiro de pedra datado de 1755, em frente à Igreja Matriz;
- Casario colonial;
- Estação Ferroviária;
- Encontro das águas dos rios Ribeirão do Carmo e Gualaxo do Sul;
- Fonte da Gameleira;
- Pedra do Urubu;
- Cachoeira de Rosa, queda de 27 metros localizada no subdistrito de Pedras, a 6 km de Furquim, na estrada de terra batida que liga Cuiabá a Pedras; e
- Cachoeira do Jadir e Cachoeira do Pedro, ambas localizadas no subdistrito de Cuiabá.

Manifestações culturais:

- Festa de 1º de janeiro, reúne três comemorações: Dia do Padroeiro, festa do furquinhense ausente e a tradicional festa de virada de ano. Há uma programação religiosa com novena, missa solene e uma programação popular com shows, barraquinhas de comidas e bebidas, espetáculos pirotécnicos e leilão;

- Festa do Divino: ritual em que o provedor da festa é o imperador e desfila coroado pelas ruas, cercado de pajens e acompanhado pela banda de música e pelos moradores; e

- Festa da Virgem do Carmelo, em 16 de julho, quando as famílias vão até a capela de Nossa Senhora do Carmo e recebem um pó brilhante em suas roupas e as levam para casa, como se fosse uma chuva de graças e bênçãos (PREFEITURA, 2018b).

Passagem de Mariana

Distrito mais próximo à Mariana – 5km. Sua população no ano de 2010 era de 3.627 habitantes, sendo 1.768 homens e 1.859 mulheres, possuindo um total de 1 186 domicílios particulares (IBGE,2010). Foi criado pelo decreto estadual nº 155, de 26 de julho de 1890, então com o nome de Passagem. A partir do Decreto-lei estadual nº 148, de 17 de dezembro de 1938, passou a ter sua denominação atual (PREFEITURA, 2018).

Atrativos Culturais e Naturais:

- Igreja de Nossa Senhora da Glória;
- Capela de Santa Gertrudes (construída com pedras retiradas das minas de ouro);
- Passos da Crucificação;
- Mina da Passagem: maior mina de ouro aberta à visitação no mundo. A descida para as galerias subterrâneas é feita através de um trolley. A área da mina possui restaurante, loja de artesanato, arborismo e museu com peças do ciclo do ouro;
- Cachoeira da Serrinha: área dentro do parque estadual do Itacolomi com várias lagoas rasas, médias e profundas;

- Cachoeira do Matadouro: pela Rua da Praia atinge-se esta cachoeira que tem três quedas d'água;
- Complexo de Cachoeiras do Pocinho: quatro cachoeiras com quedas de tamanhos variados; e
- Complexo de Cachoeiras do Véu de Noiva: três cachoeiras cujo acesso passa por uma ponte metálica, sem corrimão, de 80 metros de comprimento.

Manifestações culturais:

- Festa da Padroeira Nossa Senhora da Glória, no dia 15 de agosto; e
- Festa de São Sebastião, no mês de janeiro.

(PREFEITURA, 2018b)

Cachoeira do Brumado

Sua população no ano de 2010 era de 2.261 habitantes, sendo 1.110 homens e 1.151 mulheres, possuindo um total de 824 domicílios particulares (IBGE,2010).

Subdistritos: Barroca, Borges, Engenho Queimado, Mundinho.

Atrativos culturais e naturais:

- Igreja de Nossa Senhora da Conceição;
- Casas em estilo colonial;
- Capela; e
- Cachoeira de 14 metros de altura.

Manifestações culturais

- Festa da Padroeira;
- Semana Santa;
- Festa de Corpus Christi;
- Festa da Panela de Pedra;
- Sagrado Coração de Jesus; e
- Nossa Senhora da Conceição;

Dados Sócio Demográficos

Caracterização da População

De acordo com o último censo populacional, a estimativa da população de Mariana no ano de 2010 era de 54.219 habitantes, com densidade demográfica de 45,4 habitantes por km². No ano de 2018, a população foi estimada para 60.142 pessoas, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2018). Importante ressaltar que as estimativas do IBGE não levaram em consideração a migração de moradores de outros distritos afetados pelo desastre em 2015 para Mariana até que seja concluída a reconstrução de suas localidades, uma vez que após o referido desastre, o município de Mariana acolheu a população do subdistrito de Bento Rodrigues, que foi destruído pela lama. Até o momento não se sabe de nenhum estudo ou censo que demonstre o aumento do número de moradores após o desastre.

Bases salariais

No que concerne a bases salariais, no ano de 2016, o salário médio mensal era de 2.5 salários mínimos. A proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 24.0%. Comparando-se com os outros municípios do estado, Mariana ocupava as posições 37 de 853 e 94 de 853, respectivamente (INESC, 2017).

Já em relação a cidades do país todo, ficava na posição 502 de 5570 e 864 de 5570, respectivamente. Considerando domicílios com rendimentos mensais de até meio salário mínimo por pessoa, tinha 36.7% da população nessas condições, o que o colocava na posição 448 de 853 dentre as cidades do estado e na posição 3230 de 5570 dentre as cidades do Brasil (INESC, 2017).

Economia

As receitas dos municípios onde estão instalados os projetos minerais têm como principal fonte a arrecadação a atividade das mineradoras. A principal fonte de recursos para o Município de Mariana – MG, por exemplo, é efetivamente a Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). No ano de 2015, Mariana foi o Município que mais recebeu repasses da CFEM em Minas Gerais, 106 milhões de reais, correspondentes à arrecadação proveniente de todas as empresas mineradoras com atividades de extração do município. O valor representou, no entanto 3,7% do lucro líquido da Samarco em 2014 de R\$ 2,8 bilhões (MILANEZ & LOZEKAN, 2016).

A extração do minério de ferro é a principal atividade industrial do município, forte geradora de empregos e receita pública. Mariana é uma das cidades que integram o Quadrilátero Ferrífero, região responsável por 60% de toda a produção nacional de minério de ferro. Dados de arrecadação de royalties, de pesquisa realizada pelo DNPM em 2013, mostraram que dos 7 municípios de Minas Gerais, que concentravam o total de 78,39% no ano de 2012 e 78,27% para 2013 de recursos arrecadados, Mariana foi responsável por 15% dessa arrecadação em 2013 (INESC, 2014). Dados mais recentes encontrados mostram que a arrecadação de CFEM de Mariana, em 2016, caiu para 9%, apesar de ainda permanecer entre os 10 maiores municípios arrecadadores da CFEM (INESC, 2017).

Os distritos de Mariana desenvolvem atividades agropecuárias e apresentam artesanato variado, expressando a diversidade cultural de Minas Gerais. O PIB per capita de Mariana no ano de 2015 foi de R\$ 52.705,53, enquanto o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) era de 0.742, para o ano de 2010.

Estudo produzido pelo Núcleo de Estudos em Modelagem Econômica e Ambiental Aplicada (Nemea) da UFMG, em 2017, concluiu que após o desastre do rompimento da barragem em 2015, para cada R\$ 1 de queda na produção de minério de ferro em Mariana, o PIB total do município cai R\$ 1,37, e o do estado de Minas Gerais, R\$ 1,44 (SIMONATO, 2017).

Segundo Freitas, Silva e Menezes (2016) dados da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana sobre o desastre aponta que diversos serviços essenciais foram impactados economicamente mediante a ocorrência do evento. Como exemplo, tem-se a geração e distribuição de energia (40% dos prejuízos econômicos totais), e serviços de tratamento de esgotos, saúde pública, limpeza urbana e destinação dos resíduos, transporte e educação, entre outros. Impactos e prejuízos econômicos no setor privado também foram listados, na ordem de R\$253 milhões, concentrados principalmente nas atividades industriais (84%) e no município de Mariana (88%).

De acordo com um *webjornal* local (EM, 2018), após o desastre e mediante a paralisação das atividades da companhia responsável pela catástrofe, a arrecadação da prefeitura despencou, o desemprego disparou, o turismo diminuiu, a economia está em baixa em um efeito cascata e as relações sociais daqueles que perderam suas casas e

tiveram de se mudar para a cidade continuam abaladas. Ainda nesta reportagem observa-se que:

“De acordo com estimativa do Sistema Nacional de Emprego (Sine), cerca de 9 mil pessoas (70%) perderam o sustento devido à baixa na mineração, gerando um efeito dominó em todo o setor produtivo”.

Bortolon (2018) coloca em seu estudo, que o desemprego aumentou em virtude da inatividade da mineradora. Em junho de 2016, iniciou-se então um Programa de Demissão Voluntária (PDV). Este programa foi implementado após a realização de um estudo que demonstrou que a Samarco, quando retornar as atividades, terá sua capacidade total reduzida para 60%.

Como mencionado anteriormente, a mineração é a principal atividade produtiva, sendo responsável por 95% das atividades econômicas de Mariana. Devido a interrupção na produção de minério, houve um importante impacto socioeconômico, agravando-se em detrimento de um sistema econômico pouco diversificado (MINAS GERAIS, 2016). Neste sentido, o desemprego, que nunca havia ultrapassado 6%, passou para 23,5% da população (EXAME, 2017). Por exemplo, no período de 2015 a 2016 em Bento Rodrigues e Paracatu, subdistritos afetados pelo desastre, o número de pessoas desempregadas passou de 183 para 210, o de autônomos caiu de 34 para 22 e o trabalho informal caiu de 51 para 29 (SMS, 2018).

Escolaridade

Dados do Atlas de desenvolvimento Urbano de Mariana (PNUD, 2018), publicado em 2013, mostram que as proporções de crianças e jovens frequentando ou tendo completado determinados ciclos indica a situação da educação entre a população em idade escolar do estado e compõe o IDHM Educação.

No município, a proporção de crianças de 5 a 6 anos na escola é de 97,28%, em 2010. No mesmo ano, a proporção de crianças de 11 a 13 anos frequentando os anos finais do ensino fundamental é de 87,76%; a proporção de jovens de 15 a 17 anos com ensino fundamental completo é de 57,32%; e a proporção de jovens de 18 a 20 anos com ensino médio completo é de 38,41%. Entre 1991 e 2010, essas proporções aumentaram, respectivamente, em 40,01 pontos percentuais, 51,56 pontos percentuais, 43,40 pontos percentuais e 30,12 pontos percentuais.

Em 2010, 80,68% da população de 6 a 17 anos do município estavam cursando o ensino básico regular com até dois anos de defasagem idade-série. Em 2000 eram 77,37% e, em 1991, 71,96%. Dos jovens adultos de 18 a 24 anos, 13,59% estavam cursando o ensino superior em 2010. Em 2000 eram 3,64% e, em 1991, 0,87% (PNUD, 2018).

Expectativa de Anos de Estudo

O indicador Expectativa de Anos de Estudo também sintetiza a frequência escolar da população em idade escolar. Mais precisamente, indica o número de anos de estudo que uma criança que inicia a vida escolar no ano de referência deverá completar ao atingir a idade de 18 anos. Entre 2000 e 2010, ela passou de 9,22 anos para 9,74 anos, no município, enquanto na UF passou de 9,16 anos para 9,38 anos. Em 1991, a expectativa de anos de estudo era de 8,03 anos, no município, e de 8,36 anos, na UF.

Também compõe o IDHM Educação um indicador de escolaridade da população adulta, o percentual da população de 18 anos ou mais com o ensino fundamental completo. Esse indicador carrega uma grande inércia, em função do peso das gerações mais antigas, de menor escolaridade. Entre 2000 e 2010, esse percentual passou de 37,46% para 59,47% no município, e de 39,76% para 54,92%, na UF. Em 1991, os percentuais eram de 25,85%, no município, e 30,09%, na UF. Em 2010, considerando-se a população municipal de 25 anos ou mais de idade, 8,32% eram analfabetos, 54,69% tinham o ensino fundamental completo, 38,83% possuíam o ensino médio completo e 11,82%, o superior completo. No Brasil, esses percentuais são, respectivamente, 11,82%, 50,75%, 35,83% e 11,27%.

Não foram encontrados dados atualizados nas fontes oficiais de informação sobre as taxas de escolaridade após o período de 2010, mas apenas dados de número de matrículas no ano de 2017. Dados escolares contidos no IBGE do ano de 2017 mostram que nas 37 escolas de ensino fundamental do município foram realizadas 8.162 matrículas. Para o ensino médio, nas 10 escolas, foram contabilizadas 2.415 matrículas.

Dados de saúde da população de Mariana, de acordo com a Secretaria Municipal de Saúde, em 2018.

Devido ao derramamento de 34 milhões de m³ de lama de rejeito, muitas famílias foram vitimadas no município de Mariana e em suas adjacências, a saber os distritos de

Bento Rodrigues, Paracatu, Águas Claras e Cláudio Manoel e os subdistritos de Pedras, Camargos, Ponte do Gama, Bicas e Campinas. Ficaram desabrigadas mais de 1200 pessoas e foram registrados 18 óbitos e 1 desaparecimento (considerado óbito). Destes, 13 eram trabalhadores terceirizados e apenas uma vítima era funcionária da Samarco; quanto aos demais, dois eram crianças com idade de 5 e 7 anos e três eram adultos entre 60 e 73 anos de idade (MINAS GERAIS, 2016; LACAZ et al., 2018).

Após o desastre, a Secretaria Municipal de Saúde de Mariana (SMS) elaborou o Plano Norteador de Planejamento e Ações em Saúde (SMS, 2015). Este Plano foi preparado pelo setor saúde envolvendo os níveis nacional, estadual e municipal. As principais áreas foram: Vigilância em Saúde (Ambiental, Epidemiológica, Saúde do Trabalhador, Sanitária, Promoção a Saúde), Atenção Primária, Atenção Secundária, Atenção em Saúde Mental, Assistência Farmacêutica e Assistência Laboratorial (SMS, 2015).

É importante destacar também que as Unidades Básicas de Saúde (UBS) de Bento Rodrigues e Paracatu foram totalmente destruídas junto com prontuários e histórico das condições de saúde. O suporte de urgência/emergência ficou a cargo da UPA e do Hospital Monsenhor Horta, e alguns casos foram encaminhados para Belo Horizonte (Hospital João XXIII) e Santa Bárbara. Diante disto, houve o deslocamento de equipe para avaliação de saúde, realização de cadastro, reconstrução de histórico clínico e distribuição de medicamentos, além da demanda de construção da UBS Bento Rodrigues/Paracatu (SMS, 2018a).

Após a construção, a UBS de Bento/Paracatu atende 220 famílias/770 pessoas que corresponde a três microáreas: microárea 01 (65 famílias e 234 pessoas), microárea 02 (71 famílias e 285 pessoas) e microárea 03 (84 famílias e 251 pessoas). Em 2018, foram registrados pelo PSF Bento/Paracatu 21 usuários com demanda de atenção domiciliar, e através da busca ativa realizada em 2016 verificou-se que 26 pessoas tiveram contato com a lama, sendo que uma delas foi a óbito por outras causas (SMS, 2018a).

Ressalta-se também que as famílias deslocadas e/ou que continuam residindo em áreas rurais, são acompanhadas por equipes de saúde da família de outros distritos.

Os quadros abaixo apresentam a cobertura dos atendimentos em saúde antes (**Quadro 3**) e depois (**Quadro 4**) do desastre em Mariana.

Quadro 3: Cobertura dos atendimentos em saúde antes do desastre

Unidade Sede	Subdistritos Atingidos
Santa Rita Durão	Bento Rodrigues, Camargos
Águas Claras	Paracatu de Cima, Paracatu de Baixo, Pedras, Borba e Campinas
Monsenhor Horta	Ponte do Gama

Fonte: Secretaria Municipal de Saúde 2018

Quadro 4: Cobertura dos atendimentos em saúde depois do Desastre

Unidade Sede	Subdistritos Atingidos
Santa Rita Durão	Camargos
Águas Claras	Paracatu de Cima, Paracatu de Baixo, Pedras, Borba e Campinas
Monsenhor Horta	Ponte do Gama
UBS Bento/Paracatu (temporária)	Famílias deslocadas que estão residindo em área urbana

Fonte: Secretaria Municipal de Saúde 2018a

De modo geral, as estratégias e ações realizadas pela Secretaria Municipal de Saúde de Mariana, após o Rompimento da Barragem de Fundão foram (SMS, 2015):

- Instituir um Comitê Operativo de Desastres;
- Elaborar plano de contingência e protocolos;
- Preencher, enviar e alimentar os Formulários do SUS inerentes a desastres;
- Garantir a continuidade dos programas assistenciais e assistência à população geral;
- Mobilizar e direcionar suas equipes de acordo com as necessidades e demandas;
- Organizar e garantir assistência à população afetada pelo desastre;
- Adotar medidas de Vigilância em Saúde para acompanhamento das populações desabrigadas/desalojadas (item 6 da Portaria 104 do MS);
- Solicitar e monitorar a análise físico-química e microbiológica das amostras de água coletadas; e
- Garantir água potável em quantidade suficiente para ingestão.
-

Do ponto de vista da vigilância em saúde, as ações realizadas pelo município foram (SMS, 2018):

- Inspeção, orientações e monitoramento pela vigilância sanitária nos estabelecimentos em que as famílias foram abrigadas;
- Inspeção para avaliar e orientar sobre o possível aparecimento de animais peçonhentos e arboviroses;
- Monitoramento larvário para identificação da presença de vetor no local do desastre;
- Acolhimento temporário dos animais no Centro de Recolhimento de Animais;
- Identificação de trabalhadores formais e informais em situação de trabalho no momento do rompimento da Barragem; e
- Monitoramento e controle de surtos de doenças e agravos.

As principais questões de saúde identificadas na incursão em Mariana, bem como em reuniões com a SMS, são relacionadas à saúde mental e a arboviroses como dengue e febre amarela.

Saúde Mental

As ações desenvolvidas pela Secretaria Municipal de Mariana em relação a saúde mental (SMS, 2018a) são:

- CONVIVER: Dispositivo atento às demandas em saúde mental apresentadas pela população atingida, a fim de reduzir os impactos dos determinantes sociais dos processos de saúde e doença aos quais estão submetidos nesse novo contexto;
- Atendimento ambulatorial das famílias atingidas;
- Criação e condução de grupos terapêuticos e oficinas em espaços intersetoriais;
- Acompanhamento domiciliar para pacientes e/ou familiares com essa demanda;
- Acompanhamento Terapêutico;
- Suporte às equipes dos dispositivos de referência da RAPS;
- Apoio matricial às equipes de saúde da família; e
- Intervenções e suporte psicossocial no contexto escolar.

Perfil Geral dos agravos em Saúde notificados em Mariana no período de 2015 a 2017

A Secretaria Municipal de Saúde de Mariana disponibilizou os dados do perfil epidemiológico para os anos de 2015 a 2017. Diante da avaliação desses dados, verificou-se que em 2015 os cinco agravos mais frequentes em Mariana foram,

diarreia/gastroenterite (n=1542); atendimento antirrábico (n=227); violência interpessoal/autoprovocada (n=127); conjuntivite (n= 139); e acidentes por animais peçonhentos (n= 103). Para o ano de 2016 foram: diarreia/gastroenterite (n=2084); dengue (n=468); violência interpessoal/autoprovocada (n=259); atendimento antirrábico (n=228) e acidentes por animais peçonhentos (n= 132). Por fim em 2017 os mais frequentes são diarreia/gastroenterite (n=2557); violência interpessoal/autoprovocada (n=232); conjuntivite (n=222); atendimento antirrábico (n=220) e doença sexualmente transmissível (n= 203). Vale ressaltar que em 2018 foram notificados 49 casos de febre amarela, sendo destes 38 confirmados. Os demais agravos notificados pelo município constam nos Quadros 5, 6 e 7, que apresentam a frequência de casos mensais de agravos, com predominância para as diarreias e gastroenterites nos três anos de referência. É visível também no Quadro 6, referente ao ano de 2016, o aumento no número de casos de dengue no primeiro semestre do ano (SMS, 2018a).

Quadro 5: Perfil Epidemiológico de Mariana em 2015 (frequência de casos mensais).

AGRAVOS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
Diarreia e gastroenterites	26	191	293	173	121	7	156	77	61	84	175	103	1547
Aids	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	6
Acidentes por animais peçonhentos	8	11	9	10	8	5	4	6	10	9	12	11	103
Varicela	2	3	0	0	2	3	3	1	7	4	1	1	27
Atendimento Antirrábico	15	11	13	22	14	26	23	26	27	26	20	44	267
Hanseníase	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Doença Sexualmente transmissível	15	4	8	7	9	7	6	9	5	4	9	14	97
Violência Interpessoal/Autoprovocada	5	6	7	12	10	13	19	12	13	14	8	8	127
Sífilis em gestante	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2	4
Gestante HIV	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Dengue*		0	2	5	9	3	2	0	2	0	1	0	24
Tuberculose	0	1	2	1	0	0	1	0	1	2	0	0	8
Acidente de trabalho grave	0	4	0	0	2	1	1	2	0	4	10	8	32
istossomose										65	4	7	76
Sífilis Congênita	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2
Sífilis não especificada	0	1	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	7
Intoxicação exógena	10	6	15	3	4	0	13	4	9	11	13	7	95
Acidente de trabalho com material biológico	0	2	2	1	1	1	1	1	2	2	4	1	18
Leishmaniose Tegumentar Americana	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	3
Toxoplasmose							3	1	2	1	0	0	3
Doença exantemática	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Hepatites Virais	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	3
Síndrome do corrimento uretral em homem	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	4
Pneumonia não especificada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Meningite	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Transtorno mental relacionado ao trabalho											3	0	3
Conjuntivite		9	17	7	2	0	21	14	14	17	22	16	139
Surto de diarreia											1	1	2
Eventos adversos pós vacinação	1	0	0	1	0	0	1		0	0	0	0	3
Caxumba (Parotidite Epidêmica)	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	3
Doença causada por protozoário na gravidez	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Toxoplasmose Congênita	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
TOTAL	82	251	369	246	185	151	259	158	157	243	258	25	2607

Fonte: Secretaria Municipal de Saúde de Mariana, 2018a.

Quadro 6: Perfil Epidemiológico de Mariana em 2016 (frequência de casos mensais).

PERFIL EPIDEMIOLÓGICO MARIANA/MG 2016													
AGRAVOS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
Diarreia e gastroenterites	106	121	148	64	198	220	106	190	326	249	162	194	2084
Dengue	19	24	66	181	158	20	0	0	0	0	0	0	468
Violência Interpessoal/Autoprovocada	17	19	26	17	16	14	20	28	21	35	24	22	259
Atendimento Antirrábico	14	21	23	35	25	17	16	20	14	22	9	12	228
Acidentes por animais peçonhentos	11	13	13	16	13	3	3	7	21	13	9	10	132
Doença sexualmente transmissível	10	13	13	16	12	4	3	7	21	13	8	11	131
Intoxicação exógena	14	10	11	9	10	12	11	7	9	12	14	10	129
Conjuntivite	13	10	11	9	8	12	11	7	8	12	11	9	121
Esquistossomose - Casos não graves	9	12	17	16	10	6	5	5	6	9	3	3	101
Varicela	2	1	1	0	2	2	2	4	1	5	2	1	23
Aids	0	1	0	2	0	1	1	4	1	3	1	2	16
Corrimento uretral em homem	0	1	0	2	0	1	1	4	1	3	2	0	15
Sífilis não especificada	0	0	0	0	0	3	2	1	2	2	3	2	15
Acidente de trabalho com material biológico	0	1	0	2	0	0	1	1	4	1	3	1	14
Síndrome Respiratória Aguda Grave	0	0	0	4	5	1	0	0	0	0	0	0	10
Acidente de trabalho grave	0	1	5	3	7	5	6	8	0	1	0	1	37
Tuberculose	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	6
Meningite	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	3
Hepatites Virais	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	3
Caxumba (Parotidite Epidêmica)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	3
Toxoplasmose	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3
Gestante HIV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Sífilis em gestante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Sífilis Congênita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Doença exantemática	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Eventos adversos pós vacinação	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
TOTAL	215	250	336	377	466	322	190	296	435	384	254	281	3806

Fonte: Secretaria Municipal de Saúde de Mariana, 2018a.

Quadro 7: Perfil Epidemiológico de Mariana em 2017 (frequência de casos mensais).

PERFIL EPIDEMIOLÓGICO MARIANA/MG 2017													
AGRAVOS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
Diarreia e gastroenterites	240	165	326	236	257	158	159	152	336	262	190	76	2557
Violência Interpessoal/Autoprovoçada	23	16	8	30	20	15	18	19	35	20	16	12	232
Conjuntivite	20	1	7	3	16	21	29	27	28	32	26	12	222
Atendimento Antirrábico	21	8	16	23	24	21	28	21	16	9	14	19	220
Doença Sexualmente transmissível	15	28	10	13	20	18	21	32	14	12	16	4	203
Intoxicação exógena	2	5	7	9	11	3	6	7	13	7	10	6	86
Acidentes por animais peçonhentos	9	9	11	9	8	4	5	5	3	9	6	4	82
Sífilis não especificada	3	2	9	14	6	5	4	8	5	4	0	8	68
Varicela	1	0	0	0	0	3	2	5	15	16	8	1	51
Esquistossomose - Casos não graves	5	2	1	1	1	4	2	1	2	1	2	3	25
Acidente de trabalho com material biológico	1	0	3	1	5	1	0	0	0	2	1	1	15
Acidente de trabalho grave	1	4	0	0	1	2	2	0	3	1	0	0	14
Aids	2	1	1	0	2	1	4	0	0	2	0	1	14
Tuberculose	0	1	0	3	0	3	0	1	0	1	2	0	11
Sífilis em gestante	0	0	0	3	0	1	3	0	0	1	1	2	11
Caxumba	0	0	0	0	0	0	0	4	4	1	1	0	10
Corrimento uretral em homem	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	5
Coqueluche	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5
Dengue	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	5
Leishmaniose Tegumentar Americana	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
Hepatites Virais	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Surto de Doença por alimento (DTA)	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
Sífilis Congênita	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	3
Gestante HIV	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Hanseníase	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
Toxoplasmose	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	2
Diarreia e gastroenterites de origem infecciosa	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Surto de Varicela	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Meningite	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Evento adverso após vacinação	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Criança exposta ao HIV	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
TOTAL	347	246	406	348	372	262	285	284	476	383	295	156	3859

Fonte: Secretaria Municipal de Mariana

Dados ambientais de Mariana e Barra Longa

Os rios do Carmo e Gualaxo do Norte pertencem à sub-bacia Hidrográfica do rio Doce DO1, drenando uma área de 2.277,97 km², com padrões de drenagem em treliça e ocasionalmente dendrítico. O rio Gualaxo do Norte desagua no rio do Carmo no Município de Barra Longa. O rio do Carmo segue seu curso até sua confluência com o rio Piranga formando assim o rio Doce (ECOPLAN – LUME, 2010)

Geologia

Conforme revisto por Costa (2001), a Bacia do rio do Carmo, ao longo de sua extensão, percorre várias unidades geológicas típicas do quadrilátero ferrífero. Enquanto as cabeceiras dos seus principais tributários estão situadas no domínio de rochas supracrustais, principalmente quartzitos, itabiritos e filitos do Supergrupo Minas. O rio Gualaxo do Norte e rio do Carmo afloram os Complexos Metamórficos Santa Bárbara, Acaiaca e Mantiqueira, além de xistos e quartzitos do Supergrupo Rio das Velhas (RODRIGUES, 2012b; COSTA, 2001; CPRM, 1993).

Clima

O clima da região é regionalmente caracterizado como uma área típica de Cwa e Cwb. O Clima Cwa (subtropical de inverno seco) tem temperaturas inferiores a 18°C durante o inverno e verão quente com temperaturas superiores a 22°C, com maior expressão geográfica. Já o Cwb (subtropical de altitude) com inverno seco e verão ameno. A temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C, sendo mais expressivo nas áreas de maior altitude (EMBRAPA, 2018; COSTA, 2001; CPRM, 1993).

Geomorfologia

Localiza-se entre duas formações geomorfológicas bem definidas (RODRIGUES, 2012a), o Quadrilátero Ferrífero (QF) e os Planaltos Dessecados do Centro Sul de Minas (PD) (CPRM, 1993). O setor da bacia é influenciado pela geomorfologia do QF ao seu alto curso, com altitudes médias entre 1400m-1600m, tendo a Serra do Caraça como marco fisiográfico, de topografia de encosta escarpada “hogback” fortemente ravinado e vales encaixados e influenciadas pelo PD. Sua fisiografia é de pontões e morros isolados, em colinas e agrupamentos, com presença de pequenas planícies fluviais encaixadas em vales. O Relevo é marcadamente ondulado alto nos tributários e ondulado e médio-ondulado no curso principal do rio do Carmo, características que potencializam os processos erosivos e

de ravinamento quando ausência de cobertura vegetal. (RODRIGUES, 2012b; COSTA, 2001; CPRM, 1993).

Pedologia

Os solos predominantes são os latossolo - vermelho-amarelo e distrófico; argilosos - profundos a pouco profundos; solos litólicos bem definidos; e cambissolos rasos com texturas arenosas e áreas de afloramento de rochas são, fraturadas e intemperizadas. (RODRIGUES, 2012a; COSTA, 2001; CPRM, 1993).

Vegetação

A área de drenagem da Bacia do rio do Carmo é marcadamente antropizada com forte presença de pastos, pastos sujos, agricultura e cultura de eucaliptos. A cobertura vegetal não antropizada é marcadamente estacional semidecídua: de mata atlântica; transição mata atlântica e cerrado (área ecotonal); cerrado, nas áreas de várzea e planície fluvial encontra-se vegetação ciliar típica de rios de planalto e vales encaixados (GONÇALVES, 2009; CAMARGOS, 2004).

Barra Longa – MG

Caracterização sociodemográfica

Barra Longa é um município do estado de Minas Gerais, *situado* na região da Zona da Mata, distante 175 km de Belo Horizonte. Está localizado na microrregião de Ponte Nova e seu território faz divisa com os municípios de Dom Silvério, Alvinópolis, Mariana, Acaiaca, Ponte Nova e Rio Doce. Vale ressaltar que Barra Longa foi o único município do estado que teve a área urbana atingida pelo rompimento da Barragem de Fundão em 2015. Pode-se atribuir à essa questão o fato de que o centro da cidade é próximo às margens do Rio Gualaxo do Norte, afluente do Rio Doce. Em termos percentuais, 62,4% da população reside na área urbana e 37,6% reside em áreas rurais (IBGE, 2018; INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE, 2017).

Sua população no último censo demográfico, realizado em 2010, era de 6.143 pessoas e em 2018 passou para 5.250 pessoas, com área territorial de 383,628 km². Em relação à razão de sexo, verificou-se que a população é composta predominantemente por mulheres (50,8%), quando comparada aos homens, que representam 49,2%. A densidade demográfica é de 16,01 habitantes por km² e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal de 0,624 (considerado médio), com índice de Gini de 0,48. Por sua vez, o PIB *per capita* em 2015 foi de R\$ 8.957,54 (IBGE 2018).

Em relação à educação, em 2017 foram contabilizadas no município 12 escolas de nível fundamental e 1 de nível médio, e, com base no último censo, a taxa de alfabetização das pessoas com 10 anos ou mais de idade foi de 85,4% (IBGE, 2018).

Quanto à infra-estrutura de saúde, Barra Longa mantém no Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES) 4 estabelecimentos de saúde em funcionamento (2 Centros de Saúde / Unidades Básicas de Saúde; 1 Farmácia e 1 Secretaria de Saúde) (CNES, 2018).

Dados de saúde da população de Barra Longa, de acordo com a Secretaria Municipal de Saúde, em 2018.

Descrição da estrutura de saúde do município de Barra Longa

PSF 001 ZONA URBANA

- 01 Enfermeiro
- 01 Técnico em enfermagem
- 05 Agentes comunitários de saúde
- 01 Dentista
- 01 Auxiliar de saúde bucal
- 01 Técnico em saúde bucal
- Este PSF atende toda a área Central e Volta da Capela

PSF 002 ZONA RURAL BONSUCESSO

- 01 Enfermeiro
 - 01 Técnico em enfermagem
 - 05 Agentes comunitários de saúde
 - 01 Dentista
 - 01 Auxiliar de saúde bucal
- Este PSF atende a zona rural São Gonçalo.

PSF 003 ZONA RURAL GESTEIRA

- 01 Enfermeiro
- 01 Técnico em enfermagem
- 05 Agentes Comunitários de Saúde
- 01 Dentista
- 01 Auxiliar de Saúde Bucal
- Este PSF atende a zona rural Barreto, Mandioca, Gesteira e Tanque.

Fonte: (SMS, 2018b).

Ações de Saúde que foram realizadas em Barra Longa desde a ocorrência do desastre do rompimento da barragem de rejeito de Fundão.

- Dia da Cidadania, ano 2017;
- Pré-Conferência de Saúde nas comunidades, ano 2017;
- Conferência Municipal de Saúde, ano 2017;
- Campanha de Vacinação com 100% de cobertura até o primeiro quadrimestre, ano 2018;
- Grupos operativos com NASF (Núcleo de Apoio às Equipes de Saúde) e ESF (Equipe de Saúde da Família);
- Atividade física com o NASF e população em geral, principalmente em idosos;
- Saúde na Escola (Medidas Antropométricas e Saúde Ocular; Palestra com Dentista, com Agentes de Endemias e com o NASF);
- Grupos de gestantes com enfermeiros e NASF;

- Administração de vitamina A nas crianças menores de 5 anos em todas as comunidades;
- Orientações sobre câncer de mama/Outubro rosa;
- Grupos operativos em todas as ESF com determinadas patologias;
- Grupo operativo, atendimento individualizado com o internato rural;
- Grupo de apoio com participação do NASF e ESF;
- Realização de prevenções pela equipe de endemias no controle da Dengue e da Febre Amarela com palestras em escolas, desentulhos de Terrenos Baldios e visitas domiciliares para o tratamento focal;
- O município recebeu no período de 02 a 11 de maio de 2018, o caminhão Mamógrafo do Programa Estadual de controle do câncer de mama, parceria entre o Departamento Municipal de Saúde e Secretaria Estadual de Saúde de Minas Gerais. Foram realizados 313 exames;
- Equipe da vigilância e ESF intensificam as ações no combate à Febre Amarela com busca ativa casa a casa e aplicação de Bomba Costal em alguns locais;
- Departamento Municipal de Saúde, realizou em abril de 2018, evento voltado à saúde dos Barralenguenses com o tema "Promovendo Saúde e Bem-estar", foram ofertados teste de glicemia, aferição de pressão arterial, medidas antropométricas, palestras, entregas de repelentes e panfletos entre outros;
- Grupos de Hipertensão;
- Realização do Dia da Cidadania em 2018; e
- Realização de exames de ultrassonografia na Sede do município.

Fonte: (SMS, 2018b).

Cobertura da Estratégia de Saúde da Família

Em Barra Longa, há 100% de cobertura da ESF (SMS, 2018b).

Percentual de uso do SUS e planos privados (estimado)

Em Barra Longa, 80% da população é atendida exclusivamente pelo Sistema Único de Saúde – SUS, e 20% faz uso de planos privados (SMS, 2018b).

Principais agravos e doenças do município relatados pelos profissionais de saúde e população atingida

- Agravos relacionados à saúde mental;
- Agravos dermatológicos;
- Agravos respiratórios;
- Aumento no número de casos de dengue;
- Ocorrência de 2 óbitos por febre amarela; e
- Aumento nos casos de DDA.

Fonte: (SMS, 2018b).

Em Barra Longa, no período de 2015 a 2017, as três principais causas de morte foram por doenças do aparelho circulatório (n=48); neoplasias (n=23) e doenças do aparelho respiratório (n=20) (Quadro 8).

Quadro 8: Perfil de Mortalidade segundo grupos de causa em Barra Longa/MG no Período de 2015 a 2017.

Grupos de Causas	2015	2016	2017	Total
IX. Doenças do aparelho circulatório	13	22	13	48
II. Neoplasias (tumores)	6	10	7	23
X. Doenças do aparelho respiratório	6	9	5	20
XI. Doenças do aparelho digestivo	3	0	5	8
XVIII. Sint sinais e achad anorm ex clín e laborat	4	2	2	8
XX. Causas externas de morbidade e mortalidade	4	1	3	8
V. Transtornos mentais e comportamentais	3	2	2	7
VI. Doenças do sistema nervoso	0	2	5	7
XIV. Doenças do aparelho geniturinário	2	3	2	7
IV. Doenças endócrinas nutricionais e metabólicas	1	4	1	6
I. Algumas doenças infecciosas e parasitárias	0	2	1	3
XII. Doenças da pele e do tecido subcutâneo	0	0	1	1
XVI. Algumas afec originadas no período perinatal	0	0	1	1
III. Doenças sangue órgãos hemat e transt imunitár	0	0	0	0
VII. Doenças do olho e anexos	0	0	0	0
VIII. Doenças do ouvido e da apófise mastóide	0	0	0	0
XIII. Doenças sist osteomuscular e tec conjuntivo	0	0	0	0
XV. Gravidez parto e puerpério	0	0	0	0
XVII. Malf cong deformid e anomalias cromossômicas	0	0	0	0
XIX. Lesões enven e alg out conseq causas externas	0	0	0	0
XXI. Contatos com serviços de saúde	0	0	0	0
XXII. Códigos para propósitos especiais	0	0	0	0
Campo da causa básica em branco	0	0	0	0
Total	42	57	48	147

Fonte: SIM, 2018.

Em relação às internações, verificou-se que em Barra Longa, no período de 2015 a 2017, as causas com maiores frequências de internação foram: gravidez parto e puerpério (n=123); lesões, envenenamento e algumas outras consequências de causas externas (n=107); doenças do aparelho circulatório (n=97) e doenças do aparelho respiratório (n=95) (Quadro 9).

Quadro 9: Perfil de Internação segundo grupos de causas em Barra Longa no Período de 2015 a 2017.

Grupos de Causas	2015	2016	2017	Total
XV. Gravidez parto e puerpério	36	38	49	123
XIX. Lesões enven e alg out conseq causas externas	32	38	37	107
IX. Doenças do aparelho circulatório	28	38	31	97
X. Doenças do aparelho respiratório	35	35	25	95
II. Neoplasias (tumores)	28	27	28	83
XI. Doenças do aparelho digestivo	22	21	29	72
XVIII.Sint sinais e achad anorm ex clín e laborat	24	12	22	58
XIV. Doenças do aparelho geniturinário	17	18	17	52
I. Algumas doenças infecciosas e parasitárias	19	12	8	39
IV. Doenças endócrinas nutricionais e metabólicas	8	8	7	23
VI. Doenças do sistema nervoso	7	7	4	18
XIII.Doenças sist osteomuscular e tec conjuntivo	5	4	7	16
III. Doenças sangue órgãos hemat e transt imunitár	10	0	5	15
XVI. Algumas afec originadas no período perinatal	3	1	7	11
XII. Doenças da pele e do tecido subcutâneo	3	3	3	9
V. Transtornos mentais e comportamentais	2	0	6	8
XXI. Contatos com serviços de saúde	1	1	5	7
XVII. Malf cong deformid e anomalias cromossômicas	2	3	1	6
VII. Doenças do olho e anexos	2	2	0	4
VIII.Doenças do ouvido e da apófise mastóide	0	0	1	1
Total	284	268	292	844

Fonte: SIH/SUS, 2018.

Avaliação dos dados existentes disponibilizados pela Fundação Renova

CAMPANHAS DE CADASTRAMENTO

A primeira campanha de cadastramento foi realizada entre setembro de 2016 e fevereiro de 2017 e compreende um universo de 13.908 cadastros e 44.180 pessoas distribuídas em 62 municípios, dentre os quais figuram 38 municípios dos 40 considerados pelo Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC).

Os municípios de Mariana e Barra Longa não compõem essa análise devido à configuração particular dos impactos nessas localidades; eles serão objeto de outras análises. A segunda campanha de cadastramento teve início em maio de 2017 e encontra-se em andamento. Abaixo serão realizadas análises dos dados fornecidos pela Fundação Renova, sob a ótica da ARSH.

Relatório executivo da 1ª

Campanha do Cadastro Integrado Socioeconômico – Agricultura e Pecuária (RENOVA, 2017b)

Segundo esse Relatório, os cadastros que declararam perdas nas atividades de agricultura e pecuária representam 14,3% do total da campanha de cadastramento. Dos 1.988 cadastros considerados, 1.201 são de famílias residentes. O Cadastro Integrado teve como base o formulário elaborado para levantar informações relevantes para reparação das perdas e danos dos impactados. A partir desses formulários, observou-se que 4.060 pessoas declararam perdas relacionadas.

A fim de averiguar a coerência da informação repassada pelo cadastrado e de forma a assegurar a legitimidade do próprio cadastro, que, além de subsidiar a elaboração das políticas de atendimento, objetiva também definir o universo de famílias impactadas pelo evento, buscou-se, sempre que possível, comparar a análise dos dados levantados pelo Cadastro Integrado, campanha 1, com dados de fontes secundárias.

O Documento assinala que na distribuição territorial desses cadastros em 45 municípios, Tumiritinga (MG) e Linhares (ES) são os que concentram a maior parte dos

cadastros com impacto na agricultura e pecuária. Em Tumiritinga, dos 397 cadastros integrantes do segmento aqui analisado, 184 exerciam apenas agricultura, enquanto 144 exerciam agricultura e pecuária. No caso de Linhares, 194 exerciam apenas agricultura, dentre os 280 que integram o segmento. O único cadastro referente a agroindústria está localizado no município de Aimorés (MG).

A análise dos dados de produção agrícola e destinação da produção, desse Documento, mostra a importância da atividade para o consumo local, seja para autossustentação seja para fins comerciais como o abastecimento do mercado local: feiras, bares e restaurantes, mercearias, quitandas e mercados.

Quanto à pecuária, segundo levantado nesse Documento, as criações mais expressivas eram as de aves e bovinos de leite, seguidas de suínos e bovinos de corte. A categoria “outros animais” inclui, principalmente, equinos (cavalos, éguas, potros, mulas, jegues e burros). O Documento também assinala a variação do tamanho dos rebanhos de grande, médio e pequeno porte.

Em relação aos aspectos demográficos, o Documento apresenta dados sobre a composição de sexo e idade dos grupos de famílias que sofreram impactos na agricultura e pecuária.

Além disso, de grande importância para a ARSH, o Documento assinala, quanto ao acesso e uso da água. Na data do evento, 427 propriedades possuíam sistema de irrigação, dos quais 87% foram comprometidos. O Rio Doce era a principal fonte de captação de água, sendo utilizado por 94% das propriedades que captavam água de rio para irrigação. A água de rio também era utilizada para dessedentação animal. O Rio Doce representava 96% da fonte de captação e também era utilizado para abastecimento de tanques, representando 85% da fonte de água para esse fim.

Além do Rio Doce, também existe a percepção de impacto em outros corpos d'água, como o Rio Corrente e Monsarás, que também são tidos como fontes importantes de captação de água para a agricultura e pecuária.

O Documento também levantou e apresenta dados sobre serviços públicos (água, eletricidade, coleta de lixo) e acesso à internet.

Como principais conclusões, o Documento assinala:

- A atividade agropecuária exercida no território impactado é, predominantemente, de agricultura familiar – tanto pelo tamanho da propriedade (até 4 módulos fiscais) quanto do envolvimento de familiares no trabalho;
- A maior parte da produção e criação de animais é destinada ao consumo próprio e comercialização no mercado local;
- Há baixa formalização das atividades, o que impacta diretamente o acesso a financiamento, crédito rural, assistência técnica e insumos. Os cadastros ligados à atividade pecuária apresentam maior formalização em função das particularidades da atividade (ex. vacinação contra febre aftosa);
- O conjunto das famílias envolvidas na atividade agropecuária apresenta uma população concentrada nas faixas de até 20 e com mais de 45 anos de idade. Homens representam 52% dessa população;
- A renda familiar *per capita* mostra uma população de baixa renda, inferior a 1 salário mínimo. No mês da entrevista, 55% das famílias que declararam renda estavam abaixo da linha da pobreza (até meio salário mínimo); e
- A relação predominante de vínculo com a área produtiva é de produção própria.

Relevância desses dados e informações para os estudos de ARSH

Desde o ponto de vista dos estudos de ARSH, este relatório foi importante para a etapa “Preocupações da comunidade com sua saúde” pois, além de indicar as principais comunidades com atividades agrícolas e de pecuária, indicou também a composição social quanto à renda e benefícios, as composições de sexo e idade e forneceu dados sobre a produção de alimentos na área. As informações do Documento serviram também de auxílio na avaliação dos resultados da campanha de amostragem, bem como de base para o planejamento da amostragem nas próximas localidades a serem avaliadas nos estudos de ARSH. Há de se ressaltar, que o documento não aborda o percentil de famílias que viviam das atividades pesqueiras, uma vez que na etapa de preocupações da comunidade, foram identificados pescadores que não podem exercer sua profissão devido a uma suposta proibição de utilização dos rios para pesca em Linhares-ES. Essas questões serão melhor detalhadas na apresentação do relatório final de Linhares –ES.

Relatório Executivo da 1ª. Campanha do Cadastro Integrado Socioeconômico – Comércio e Serviços. Edição 1 – Setembro 2017 (RENOVA, 2017c)

O Relatório apresenta uma visão geral do setor e da contribuição das atividades de comércio e serviços para a dinâmica econômica da região, além da contextualização da análise das perdas declaradas. O capítulo 1 apresenta uma caracterização dos 472 cadastros com impactos no setor e suas particularidades, incluindo a atividade de turismo, cuja importância para a economia regional é significativa. A caracterização traz informações sobre tipologia, formalização, número de empregados, entre outros dados relevantes ao entendimento do universo analisado.

Relevância desses dados e informações para os estudos de ARSH

Desde o ponto de vista dos estudos de ARSH, esta fonte foi considerada para a etapa “Preocupações da comunidade com sua saúde”, principalmente quando aborda os aspectos das atividades de turismo.

Relatório Executivo da 1ª. Campanha do Cadastro Integrado Socioeconômico – Extrativismo - Edição 1 – Setembro 2017 (RENOVA, 2017d)

O Documento assinala as principais atividades de extração mineral nas áreas atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão. Assim, são apresentados dados sobre atividades como garimpeiros e fiscadores e extração de areia em povoados próximos a corpos hídricos.

A definição para os grupos dos extrativistas minerais foi feita correlacionando informações sobre o enquadramento jurídico (CNPJ) dos empreendimentos envolvidos com o extrativismo com o tipo de minério extraído. Os 6 cadastros relativos a extrativismo vegetal foram agrupados num grupo específico, devido à baixa representatividade dentro do universo analisado.

No Documento, além de uma visão geral da atividade extrativista mineral e suas particularidades, se apresenta uma caracterização de 268 cadastros. Quanto ao perfil socioeconômico das famílias envolvidas, o Documento apresenta dados sobre demografia, renda e condições de moradia das 788 pessoas relacionadas à atividade.

Apresenta também uma análise de vulnerabilidades a partir do cálculo do Índice de Desenvolvimento Familiar (IDF) das famílias, além de levantamento e apresentação

de dados sobre serviços públicos (água, eletricidade, coleta de lixo) e acesso à internet. Como principais resultados dos levantamentos cadastrais, assinala:

- O principal produto extraído é areia (78%) , seguido do ouro (18%) e pedras preciosas ou semipreciosas (4%), sendo que a comercialização é realizada principalmente para consumidores finais (72,9%);

- A maioria dos extrativistas minerais é composta por pessoas físicas (77,2%) com baixa regularização profissional, visto que apenas 33,6% possuem algum tipo de licença e 21,6% possuem registro de venda do produto;

- A atividade de extração mineral ocorre, em sua maioria, ao longo de todo o ano, variando temporalmente dependendo do tipo de minério extraído;

- Observa-se a predominância do sexo masculino;

- Onze famílias (4%) se autodeclararam quilombolas; e

- Quanto aos programas de transferência de renda, o número de beneficiários é baixo, não passando de 8%.

O documento apresenta que os extrativistas minerais declararam impactos derivados da interrupção da atividade. A análise dos cadastros demonstrou que 84% das famílias não realizam mais a atividade extrativista no território; 15,3% das famílias indicaram que houve diminuição da quantidade de minério extraído, e apenas 0,4% das famílias abrangidas nesse cadastro foram direcionadas a outras áreas produtivas não impactadas ou não tiveram a atividade extrativista interrompida.

Em mais de 50% dos cadastrados houve quem declarasse ter tido comprometimento de até 100% das áreas de extração devido ao rompimento da barragem de Fundão, sendo que as áreas mais comprometidas são aquelas direcionadas à extração de areia e ouro, 87,3% e 94,6%, respectivamente. Em 92% dos cadastros há a indicação de que os extrativistas minerais, até o dia da entrevista, não tiveram qualquer tipo de mitigação do dano sofrido.

O referido documento chama a atenção para o fato que a análise realizada não trata dos danos imateriais. Impactos nas atividades econômicas representam, além das perdas materiais, alterações nos modos de vida que, no caso de pequenas comunidades, impõem uma série de desafios com desdobramentos complexos, que exigem outras abordagens.

Relevância desses dados e informações para os estudos de ARSH

Desde o ponto de vista dos estudos de ARSH, esta fonte foi considerada para a etapa “Preocupações da comunidade com sua saúde”, principalmente aos aspectos demográficos e sociais das populações envolvidas que possam influir na sua vulnerabilidade ante às implicações de saúde que venham a ser determinadas por rotas de exposição aos contaminantes químicos.

Relatório Executivo da 1ª. Campanha do Cadastro Integrado Socioeconômico – Pescadores - Edição 1 – Setembro 2017 (RENOVA, 2017e)

O Documento assinala que do total de cadastros aplicados (13.908), em 10.284 foram declaradas perdas relacionadas a atividade de pesca, cadastros estes que envolvem 13.736 pessoas que afirmaram exercer tal atividade na época em que ocorreu o rompimento da barragem. Vale ressaltar que a segunda campanha foi iniciada em maio/2017 e segue em curso no momento de conclusão desse relatório.

Os municípios que apresentaram maior número de cadastros de famílias que declararam impacto na atividade pesqueira estão distribuídos em 07 municípios sendo eles Linhares (17,3%), Aimorés (14,5%), Baixo Guandu (11,1%), Aracruz (8,7%), Belo Oriente (6,78%), Colatina (5,3%) e Periquito (5,2%).

Para a definição de pessoas a serem incluídas na atividade “pescadores” os relatores desse Documento correlacionaram os dados coletados no CI, tais como: nível de formalização da atividade, ofícios praticados na cadeia de produção da pesca, produção de pescados, renda mensal das famílias envolvidas e outros que permitiram o estabelecimento de grupos de pescadores com características similares e garantiram uma visão sobre a situação da população que exercem esta atividade nos territórios impactados, visando estratégias de atendimento.

O território no qual estão inseridos os cadastrados avaliados nesse Documento abrange uma extensão de 670 km e se estende desde o alto curso da Bacia do Rio Doce até a região marinha na área compreendida entre os municípios de Aracruz e Linhares, considerando-se os 20 (vinte) metros de profundidade dos corpos hídricos.

O curso principal da Bacia do Rio Doce possui uma extensão de 879 km, contendo uma área de drenagem de aproximadamente 86.715 km², dos quais 86% pertencem ao

Estado de Minas Gerais e o restante ao Espírito Santo, envolvendo um total de 230 municípios.

Considerando sua ampla dimensão, existem dois rios de domínio federal na Bacia: o rio Doce e o rio José Pedro, afluente do rio Manhuaçu. Esta Bacia encontra-se subdividida em três seções: alto, médio e baixo curso.

As áreas pertencentes ao alto curso vão da cabeceira até a foz do rio Matipó, abrangendo os rios Piranga, Carmo, Gualaxo do Sul, Gualaxo do Norte, Casca, Matipó e rio Doce. As áreas pertencentes ao médio curso vão da confluência do rio Matipó até a divisa dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo onde correm os rios Piracicaba, Santa Bárbara, Santo Antônio, Corrente Grande, Manhuaçu e a Calha do Rio Doce. E as áreas pertencentes ao baixo curso, vão da divisa dos dois Estados até a foz, estando inclusos os rios Pancas, São José, Guandu, Santa Júlia e a Lagoa Juparanã.

O Documento assinala a predominância da pesca artesanal e de pequena escala na região impactada. Consta-se que a pesca desembarcada é a que mais se destaca, com 51,2% das respostas. Também conhecida como pescaria de barranco, a pesca desembarcada é muito tradicional na região e ocorre ao longo da calha do Rio Doce e seus afluentes, praticada nas beiras dos rios, lagos ou barragens. A pesca embarcada também alcançou um percentual expressivo (48,8%), porém, metade dessas embarcações não possui motor, indicador de baixa autonomia.

A pesca embarcada predomina em Aimorés, Bom Jesus do Galho, Itueta, Rio Doce, Dionísio, Itaguaçu, São Domingos do Prata, Coronel Fabriciano, Engenheiro Caldas, Ibirapu e Joanésia. A pesca desembarcada predomina em Linhares, Sooretama, Marilândia, Alpercata, Serra, São Matheus, Fundão, Conceição da Barra, Jaguaré, João Monlevade, São Geral da Piedade, São Pedro dos Ferros, Vila Pavão e Vila Velha.

O Documento assinala os peixes mais pescados em ordem de captura nas áreas avaliadas como: tilápia, traíra, curimatá, dourado, pacamã, tucunaré, piau, robalo, lambari, bagre, cascudo, tainha, mandiaçu, pescada, bagre africano. Entre os outros pescados capturados nessas áreas, também por ordem de captura, se assinala: carapeba, cará, camarão, corvina, piranha, manjuba, mandi, baiacu, roncadour, tambaqui, lagosta, carpa, cação, pintado, peroá e sarda.

Dos municípios mais citados como locais de captura de peixes, acima de 25% de citação, são assinalados: Sobrália, Fernandes Tourinho, Dionísio, Timóteo São Pedro dos Ferros.

A produção mensal pesqueira declarada variou entre 1 e 351 kg, o que sugere uma diversidade das modalidades de pesca exercidas dentro do território. Entretanto, mais de 50% das citações demonstram que a produção do pescado, por mês, não ultrapassava 100 kg, caracterizando uma pesca de pequena escala, coerente com as fontes secundárias levantadas.

Apenas 27,2% dos municípios afetados pelo rompimento da barragem de Fundão apresentaram produções medianas mensais maiores do que 200 kg, entre os quais Linhares e Aracruz.

Segundo o Documento, verifica-se em todo território afetado pelo evento que a maior parte da comercialização do pescado ocorre de forma direta, ou seja, entre os pescadores e o consumidor final, sobretudo das seguintes formas: nas ruas; utilizando carrinhos de mão e isopor; de porta em porta na própria comunidade ou na sede dos municípios; junto aos restaurantes existentes nas localidades turísticas; diretamente aos turistas e amigos; para atender encomendas, e nas feiras e mercados públicos.

A proibição da pesca em decorrência do evento, todavia, desarticulou esse sistema, afetando grupos mais amplos do que os que capturam os recursos pesqueiros apenas. Portanto, é importante considerar que aqueles que compõem a rede de profissionais que se beneficiam e atrelam sua renda à atividade pesqueira também podem ser indiretamente impactados pelo evento.

A participação dos pescadores em entidades representativas da pesca mostrou-se muito baixa – apenas 20,4% dos cadastrados que se declararam pescadores afirmaram participar de alguma forma de entidade da categoria. Tal informação mostra a baixa representatividade das organizações existentes na região afetada.

Considerando o universo de cadastros com impactos na pesca (10.284), 4,5% das famílias de pescadores se declararam quilombolas. No que tange ao universo de pescadores (13.736), 16,2% se declaram indígena.

O Documento também apresenta um grande número de dados sobre a caracterização socioeconômica das comunidades de pescadores avaliadas.

Relevância desses dados e informações para os estudos de ARSH

Desde o ponto de vista dos estudos de ARSH, esta fonte foi utilizada para a etapa “Preocupações da comunidade com sua saúde”, principalmente quanto aos aspectos demográficos e sociais das populações envolvidas que possam influir na sua vulnerabilidade ante às implicações de saúde que venham a ser determinadas por rotas de exposição aos contaminantes químicos. Os dados aqui apresentados também são de relevância para a avaliação de viabilidade e planejamento de amostragem de organismos marinhos comestíveis nas 3 Fases dos Estudos de ARSH.

1ª. Campanha do Cadastro Integrado Socioeconômico – Relatório Temático Saúde e Assistência Social, Emprego e Renda, Educação. Edição 1 - Agosto/2017 (RENOVA, 2017f)

O Documento constata que no universo de famílias analisadas na primeira campanha (13.908 cadastros), o IDF médio é de 0,65, isso revela que as dimensões acesso ao trabalho (0,19) e disponibilidade de recursos (0,55) concentram as maiores necessidades básicas insatisfeitas.

A base de dados extraída do CI permitiu organizar três formas de leitura analítica: a Visão Global do conjunto das famílias e indivíduos cadastrados, a Visão Regionalizada, que respeita os recortes territoriais definidos pela gestão pública, e a Visão Local/Municipal, que apresenta as avaliações no nível municipal, demonstrando que é possível chegar à unidade mínima de análise que é a família e seus componentes.

As informações colhidas no CI são referentes às declarações fornecidas pelas famílias e indivíduos, para questões específicas de saúde e de proteção social, com o objetivo de traçar um perfil populacional capaz de indicar possíveis situações agravadas ou instaladas em decorrência do rompimento da barragem.

Esse tipo de levantamento, denominado Inquérito Populacional, é importante para suprir lacunas no conhecimento de determinada realidade, na identificação das iniquidades sociais que impactam diferentemente as populações, na orientação, priorização e integração das ações, e no estabelecimento de uma linha de base para realização de acompanhamentos e monitoramentos da população focada.

Segundo esse Documento, integrar a análise da Saúde à Assistência Social apresenta as seguintes possibilidades:

- Disponibilizar informações sobre o perfil da saúde e da proteção social para a totalidade da população cadastrada nos recortes de interesse (regional e local);
- Indicar as famílias em situação de maior risco e vulnerabilidade utilizando as variáveis do Índice de Desenvolvimento Familiar - IDF, pobreza e extrema pobreza, como essenciais para a priorização das ações sociais da saúde e da assistência social;
- Analisar o perfil de saúde auto referido para as doenças crônicas utilizando a prevalência e a comparação com os inquéritos realizados pelo Ministério da Saúde e os das doenças de interesse epidemiológico;
- Identificar deficiência na oferta dos Benefícios Sociais;
- Identificar fragilidades para o acesso ao trabalho da população economicamente ativa; e
- Analisar a situação de cobertura da atenção básica da saúde e da assistência social nos municípios para o atendimento às demandas e necessidades da população impactada.

O Documento afirma que a incidência de desastres agrava as situações de vulnerabilidade e risco das comunidades, amplia as dificuldades já enfrentadas pelas famílias e comunidades, perpetua situações de pobreza e amplifica desigualdades.

Para além das condições materiais concretas, essas populações são afetadas emocionalmente pelas inseguranças, perda de confiança nos gestores e nas instituições responsáveis pela segurança coletiva.

Vivenciam situações extremas de insegurança sem recursos suficientes para agir nas emergências e posteriormente retornar à vida normal, ficando assim, em maior situação de dependência de terceiros.

Tais situações transbordam a capacidade de enfrentamento das pessoas e comunidades em especial das famílias em situação de pobreza. Segundo Valêncio (2009), em casos de desastres, “há cicatrizes emocionais que impedem que pessoas ou grupos inteiros tornem a desempenhar seus papéis sociais de forma plena o que depõe, portanto, contra a sua autoestima, identidade, sobrevivência e modo de vida”.

Os dados do IDF familiar e municipal com base no CI permitem a realização de uma leitura semelhante aos padrões da literatura, pois, do total de 13.908 cadastros, 4.331 (31%) apresentaram IDF menor que a média do município em que se inserem.

Entretanto, ao se isolar os dois componentes que avaliam a pobreza dessas mesmas famílias encontramos 9.956 (72%) em situação de pobreza e extrema pobreza, sendo que esta última condição afeta 6.742 cadastrados. Ao se aplicar a média de componentes por família (3,2 pessoas) chega-se a um universo de quase 32 mil indivíduos com insuficiência de renda mínima. Esse padrão se mantém tanto em Minas Gerais quanto no Espírito Santo.

As famílias que apresentam o IDF menor que o do município merecem um recorte para averiguação de quais variáveis têm impacto para que estejam nessas condições, permitindo que sejam evidenciados em que pontos as ações podem se concentrar para que tenham maior efetividade e tenham parâmetro de monitoramento em séries históricas. Ao se proceder tal recorte, constata-se, por exemplo, que o número de pessoas que se encontram em extrema pobreza é maior se comparado ao das famílias com IDF menor ou mesmo com as famílias que possuem uma renda mensal entre R\$ 85,01 e R\$170,00.

Esse dado indica uma complexidade maior e, em caso de necessidade de priorização de atendimento, as famílias em situação de extrema pobreza podem representar alta prioridade de atenção por parte dos projetos e programas não só da área de proteção social, mas de todas as áreas.

O impacto de um desastre na questão de sobrevivência é muito forte para essas famílias, pois atinge seus arranjos de subsistência, os quais se encontram na comunidade, nos recursos naturais e nas redes e interações que mantém, tendo em vista a impossibilidade de uma pessoa satisfazer as necessidades básicas com pouco mais de R\$ 2,00 ao dia.

Na averiguação com dados secundários do Ministério do Desenvolvimento Social (MDS), os números de extrema pobreza, famílias com renda per capita entre R\$ 0,00 a R\$ 85,00 reais, é maior do que o de famílias com renda de R\$ 85,00 a R\$ 170,00 reais (perfil Programa Bolsa Família), o que confirma a realidade das famílias de grande parte dos municípios aqui tratados.

O Documento apresenta uma detalhada caracterização da população atingida em aspectos como distribuição por faixa etária, comunidade tradicional (indígenas e quilombolas), presença de deficiências físicas, distribuição das gestantes em faixas etárias e gravidez na adolescência, desenvolvimento familiar e situação de pobreza e extrema pobreza, cadastro e benefícios sociais, bem como dados sobre a proteção básica e essencial.

Enfatiza também, avaliando aspectos de saúde das comunidades atingidas que, além da ruptura de redes comunitárias de sobrevivência, eventos como o rompimento da barragem de Fundão podem ainda resultar em outras sequelas, tais como “distúrbios de estresse pós-traumáticos, depressão, risco de suicídio, adição, HIV/AIDS e violência familiar e comunitária.

O acompanhamento comunitário se faz necessário não só pelos recursos concretos de sobrevivência, mas pelo monitoramento de situações de aumento de violência doméstica, uso e abuso de substâncias químicas como álcool e outras drogas, bem como os cuidados com pessoas, grupos e comunidades que podem ter seus laços territoriais afetados.

Na sua avaliação sobre os impactos à saúde humana, o Documento assinala as diversas ocorrências adversas que podem ser registradas em diferentes períodos após o desastre. Assinala também as enfermidades crônicas auto referidas pelas comunidades inqueridas no levantamento.

As projeções de impactos à saúde assinaladas no Documento, entretanto, não levam em conta outras enfermidades como aquelas associadas a rotas de exposição e a contaminantes químicos que somente são identificadas e classificadas com a realização de estudos de ARSH.

Relevância desses dados e informações para os estudos de ARSH

Desde o ponto de vista dos estudos de ARSH, esta fonte foi considerada para a etapa “Preocupações da comunidade com sua saúde”, principalmente no tocante aos aspectos demográficos e sociais das populações envolvidas que possam influir na sua vulnerabilidade ante às implicações de saúde que venham a ser determinadas por rotas de exposição aos contaminantes químicos.

DADOS DE SAÚDE**Relatório Final “Estudo sobre o Perfil Epidemiológico da População de Barra Longa – MG, Pós-Desastre, 2016”. Secretaria de Vigilância em Saúde/MS. (EPISUS, 2016)**

Trata-se de um estudo com delineamento descritivo e seccional, cujo objetivo foi estimar a prevalência de atendimentos ambulatoriais por demanda espontânea da população de Barra Longa, no período de janeiro de 2014 a junho de 2016. Neste período, foram registradas 7.511 fichas de atendimento, sendo em 2014 n=2.583; em 2015 n=2.983 e em 2016 n=1.945 (EPISUS, 2016).

Dentre os resultados deste estudo, verificou-se que dos diagnósticos ou manifestações clínicas registrados nas fichas de atendimento, as infecções de vias aéreas superiores (IVAS) (n= 766) apresentaram a maior prevalência em relação aos demais atendimentos, sendo de 18,4% em 2014 (n= 92) 15,3% em 2015 (n=331) e 24,3% em 2016 (n=343) (EPISUS, 2016). O período de atendimento referente à 2016 é de 6 meses (janeiro a junho). Mesmo levando-se em consideração uma possível subnotificação ocorrida nos anos anteriores e o elevado percentual de fichas sem diagnóstico ou ilegível como referido no Relatório, é digno de nota que o percentual de atendimentos por IVAS registrado em 6 meses de 2016 é 60% superior ao registrado em todo o ano de 2015. O período destes atendimentos corresponde ao processo de remoção da lama depositada nas ruas e residências de Barra Longa, o que gerou uma grande quantidade de poeira decorrente do trajeto dos caminhões pela cidade. Informações colhidas junto a representantes da comunidade e do município referem que a poeira se espalhou por toda a cidade e que a atividade de remoção da lama foi realizada por mais de 1 ano.

A poluição do ar é caracterizada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como um fator de risco para diversas doenças e agravos, como infecções respiratórias agudas, doenças pulmonares obstrutivas crônicas, asma e infecções respiratórias das vias aéreas superiores (PHILIPPI *et al.*, 2004). O estudo realizado pelo EPISUS (2016) aponta que esses atendimentos podem ter aumentado devido à presença de poeira proveniente da lama de rejeito da barragem que secou, influenciando no aumento da poluição atmosférica, e conseqüente risco para doenças respiratórias.

Esta equipe responsável pelo estudo de avaliação de risco concorda com as considerações feitas no Relatório do EPISUS de 2016, e considera que, embora ao longo dos anos seja provável que tenha havido uma diminuição na quantidade de poeira decorrente da lama depositada à qual a população

está exposta, ainda existe rota de exposição completa no presente à poeira, conforme estabelecido no relatório de contaminantes de interesse e rotas de exposição, o que será discutido de forma mais detalhada no subitem 3 - Estabelecimento das Implicações sobre a saúde, deste relatório.

No inquérito populacional realizado no estudo do EPISUS (2016), a maioria da população de estudo sorteada, segundo amostragem probabilística aleatória simples, residia na zona rural, 59,4%, e 40,6% na zona urbana. Esta população foi dividida em residente em área afetada e em área não afetada, segundo critérios definidos pelo estudo. A exposição da população classificada como residente em área afetada foi 2 e 3 vezes maior, através do contato com a lama e com a água contaminada, respectivamente, do que a exposição da população residente em área não afetada (Tabela 9, Relatório EPISUS, 2016). No entanto, é importante assinalar que, embora a exposição à poeira também seja maior nos residentes da área afetada (50%) em comparação aos residentes da área não afetada, a magnitude desta diferença é menor, o que pode ser devido à capacidade de dispersão aérea deste meio ambiental que pode contaminar residências não diretamente atingidas pela lama, ou que não foram consideradas como localizadas em áreas próximas das áreas afetadas pela lama e rejeitos.

A observação acima pode levar à consideração de que, pelo menos em relação à rota de exposição à poeira domiciliar, um maior número de pessoas pode ter sido (e estar sendo) exposta, para além de residirem em áreas consideradas afetadas pelo estudo do EPISUS (2016). São dignos de nota os resultados observados na Tabela 15 do mesmo estudo. Observa-se uma razão de prevalência com significância estatística de sintomas associados com estresse emocional (insônia, irritabilidade) nos residentes da área afetada. No entanto, em relação aos sintomas e sinais geralmente associados com uma exposição por via respiratória ou ocular, como coriza, irritação nos olhos, tosse, embora encontre-se uma razão de prevalência maior nos residentes da área afetada, esta não apresenta significância estatística em relação aos residentes da área não afetada (coriza _ RP: 1,26, IC: 0,89 – 1,78, $p=0,20$; irritação nos olhos _ RP: 1,37, IC: 0,83 – 2,25, $p=0,23$; tosse _ RP: 1,17, IC: 0,88 – 1,55, $p=0,29$).

Outra observação interessante na Tabela 15 pode ser feita em relação ao sintoma coceira, o qual pode estar associado não só ao contato direto com a lama e resíduos, mas, também, com a poeira contaminada. Também se observa razão de prevalência superior (1,48) nos residentes na área afetada, porém, sem significância estatística (IC: 0,98 – 2,23; $p=0,09$).

Estes resultados parecem indicar que, em relação à exposição através da inalação ou contato com a poeira contaminada, não é possível classificar a população como residente em área afetada e

não afetada. Para fins de ações de atenção à saúde, toda a população de Barra Longa deve ser considerada exposta.

Relatório Final “Dois anos pós-desastre da barragem do Fundão: perfil epidemiológico e toxicológico da população de Barra Longa, MG, 2018”. Secretaria de Vigilância em Saúde/MS. (EPISUS, 2018)

Este relatório abordou os resultados de dois estudos realizados pela equipe do EPISUS no período de maio a julho de 2018: i) estudo descritivo dos atendimentos ambulatoriais e ii) inquérito populacional.

O período do estudo descritivo foi relativo aos atendimentos ocorridos nas unidades de saúde do município de Barra Longa no período de julho de 2016 a maio de 2018. Este estudo identificou um aumento de 23% nos atendimentos no período de 2016 para 2017. O maior número de registros foi por Infecções de vias aéreas superiores (IVAS), 1.060 (14,2%). Registrou-se um aumento superior a 1000% nos atendimentos referentes à parasitose, hipertensão, dermatite, diabetes, depressão, transtorno mental e asma. A manifestação clínica mais registrada nas fichas de atendimento ao longo do período foi tosse, 609 (8,1%), seguida de dor de garganta 359 (4,8%), febre 316 (4,2%) e cefaleia 300 (4%).

O inquérito populacional foi realizado no período de maio a julho de 2018 tendo como população de estudo residentes do município há pelo menos um ano antes do rompimento da Barragem do Fundão ou filhos desses residentes nascidos após o desastre, selecionados através de amostragem probabilística do tipo aleatória simples, estratificada por zona de residência. Foram realizadas 356 entrevistas.

Embora o estudo tenha sido realizado 2 anos e 7 meses após o rompimento da barragem, a maioria dos entrevistados 317 (89%) informou ter contato com poeira, 185 (52%) com a lama e 104 (29,2%) com água contaminada com a lama. Houve um aumento na frequência dos diagnósticos médicos de infecção de vias aéreas superiores de 30,5% e de alergia de 24,4%, após o desastre. A piora dessas doenças esteve associada, estatisticamente, à exposição aos produtos do rejeito da barragem.

O estudo realizou uma abordagem sindrômica para intoxicação por metais pesados cuja caracterização clínica (agrupamento de sinais e sintomas) é inespecífica na avaliação desta equipe de

avaliação de risco não sendo possível estabelecer qualquer inferência. Os resultados referentes às análises laboratoriais de metais pesados não estavam disponíveis.

Avaliação dos riscos à saúde da população de Barra longa / MG afetada pelo desastre – Março 2017

- Instituto Saúde e Sustentabilidade e Greenpeace.

Pesquisa Avaliação de Saúde da População de Barra Longa afetada pelo Desastre de Mariana, Brasil. (INSTITUTO SAUDE E SUSTENTABILIDADE, 2017)

Esta pesquisa, realizada pelo Instituto Saúde e Sustentabilidade em parceria com a Organização Não-Governamental Greenpeace, teve como objetivo identificar as percepções dos entrevistados quanto aos efeitos à saúde, e ao atendimento às suas necessidades que lhes garantissem saúde e bem-estar. Esta pesquisa foi realizada no período de outubro de 2016 a janeiro de 2017, através de questionários de auto avaliação em saúde aplicados a 223 famílias, em um total de 507 indivíduos moradores na área urbana da cidade e nas comunidades rurais de Gesteira e Barretos. Os três principais grupos de problemas de saúde relatados espontaneamente pelos entrevistados como tendo ocorrido após o desastre são de origem respiratória (40%), afecções de pele (15,8%) e transtornos mentais e comportamentais (11%).

Os resultados observados no Estudo acima descrito se coadunam com os resultados encontrados no Estudo do EPISUS (2016) em relação aos principais agravos à saúde observados na população a partir do desastre ocorrido em novembro de 2015.

Relatório Instituto Saúde e Sustentabilidade. Município de Barra Longa. Resultados de Exames Toxicológicos. Proposta de Novos Estudos. Contextualização sobre os Metais encontrados., (Vormittag, E).

Este estudo é nominado pelos autores como “segunda pesquisa”. Ele é decorrente da “primeira pesquisa” discutida acima e tem como escopo a realização de análise laboratorial em amostras biológicas de sangue e cabelo colhidos de 11 moradores de Barra Longa que haviam referido alguma queixa de saúde durante a realização da “primeira pesquisa”. Foram pesquisados 13 metais: Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmiio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Ferro, Manganês, Níquel, Selênio, Urânio e Zinco. Os

resultados nas amostras de cabelo não estavam disponíveis até o momento da elaboração deste relatório. Os resultados das análises de sangue foram: 11 participantes apresentaram aumento dos níveis de níquel no sangue; 10 participantes apresentaram diminuição dos níveis de zinco; 3 participantes apresentaram aumento dos níveis de arsênio no sangue e 5 participantes apresentaram níveis no limite superior da normalidade. Os autores não informaram as concentrações encontradas para cada metal, os valores mínimos, médios e máximos, e nem os limites de segurança utilizados, assim como a metodologia de realização do mesmo.

Não é possível qualquer tipo de conclusão em relação ao significado destes resultados para o estabelecimento das implicações sobre a saúde da população exposta decorrentes do desastre de Mariana. É importante observar, no entanto, a presença de níquel no sangue de todos os participantes, embora em níveis não relatados. Da mesma forma, o relato de níveis diminuídos de zinco em uma população referida pelos autores como tendo uma ingestão dietética adequada, pode estar associado a mecanismos de interação entre os metais no processo de absorção intestinal.

Em relação aos resultados encontrados para arsênio, a mensuração dos níveis sanguíneos não são em geral considerados indicadores confiáveis para monitoramento humano da exposição crônica a baixos níveis de arsênio (ATSDR, 2007). A mensuração das concentrações urinárias é considerada o indicador mais confiável para exposição recente. Como o arsênio tende a se acumular no cabelo e unhas, a mensuração dos seus níveis nestes tecidos pode ser um indicador útil de exposição passada. Como não foram realizadas análises em urina e os resultados em cabelo não estão disponíveis não é possível fazer considerações sobre os achados deste Estudo. Assinalamos, no entanto, que as análises das amostras ambientais realizadas no Estudo de Avaliação de risco não encontraram concentrações de arsênio acima, ou limítrofe, aos valores de segurança utilizados, em nenhum meio ambiental pesquisado.

Doenças transmitidas por vetores - Relatório Final. TETRA TECH – 2018. (TETRA TECH, 2018)

O documento apresenta como objetivo fornecer dados epidemiológicos secundários sobre as chamadas “doenças vectoriais”: arboviroses, malária, doença de Chagas, leishmanioses (tegumentar americana e visceral) e peste.

Foi realizada revisão bibliográfica para analisar em que medida o aparecimento e a disseminação das doenças vetoriais no território estão associadas ao rompimento da Barragem. Foi realizado levantamento de dados secundários relacionados às doenças causadas por vírus (arboviroses), bactérias (peste bubônica), protozoários (malária, leishmanioses e doença de Chagas) e helmintos (filariose linfática e oncocercose). As bases utilizadas para a realização desse levantamento de dados foram DATASUS, boletins epidemiológicos do Ministério da Saúde, publicações indexadas em bases de dados e análise de mídia.

Esses agravos são doenças de notificação compulsória definidas conforme Portaria Nº 24 do Ministério da Saúde no ano de 2016, a fonte dos dados é o Sistema de Informações de Agravos de Notificação(SINAN - net).

Relevância dos dados e informações para os estudos de ARSH

Metodologia válida para levantamento de dados epidemiológicos secundários sobre as “doenças vetoriais” bem como para a revisão bibliográfica. Entretanto, a consulta realizada no DATASUS para os dados do Sinan abrangeu apenas o período de 2007 a 2014. Outro aspecto é que embora a revisão bibliográfica tenha sido realizada para analisar em que medida o aparecimento e a disseminação das doenças vetoriais no território estejam associadas ao rompimento da Barragem, o estudo de ARSH não estabelece nexos de causalidade.

Perfil de morbimortalidade dos agravos e doenças, dos últimos 10 anos, antes da ocorrência do rompimento da barragem de fundão. Fundação Renova, 2017. (RENOVA, 2017a).

O documento apresenta como objetivo a descrição do perfil de morbimortalidade dos agravos e doenças, considerando os últimos 10 anos, antes da ocorrência do rompimento da Barragem, ou seja, do ano de 2005 a 2015.

O documento apresenta a análise descritiva de dados disponibilizados pelo DATASUS, realizada para 35 municípios do estado de Minas Gerais e 05 municípios do estado de Espírito Santo. Para a pirâmide etária dos municípios, utilizaram-se os dados do Censo de 2010 por apresentar maior fidedignidade em relação à distribuição populacional entre as faixas etárias.

Relevância dos dados e informações para os estudos de ARSH

Metodologia válida para caracterização de perfil de morbimortalidade dos agravos e doenças, e também atende aos critérios previstos na metodologia do estudo de Avaliação de Risco à Saúde

Humana - ARSH. Entretanto, os dados relacionados aos óbitos, embora extraídos de fontes oficiais, foram agrupados por capítulos de mortalidade, o que dificulta um maior detalhamento e descrição das informações relacionadas aos óbitos.

Perfil dos serviços de saúde nos municípios da área impactada pelo rompimento da barragem de fundão. Fundação Renova, 2017 (RENOVA, 2017g)

O documento apresenta como objetivo a caracterização da estrutura e os serviços de saúde existentes nos municípios da área impactada pelo rompimento da barragem de Fundão.

Apresenta análise descritiva de dados consultados em sistemas de informação em saúde, principalmente o Cadastro de Estabelecimentos de Saúde (CNES), além de dados socioeconômicos e informações disponíveis no IBGE. Caracterização realizada para 35 municípios do estado de Minas Gerais e 05 municípios do estado de Espírito Santo.

Relevância dos dados e informações para os estudos de ARSH

Metodologia válida para descrição dos serviços de saúde no tocante a estrutura física, equipamentos e recursos humanos. Os dados foram extraídos de fontes oficiais. Deste modo, este estudo atende aos critérios previstos na metodologia do estudo de Avaliação de Risco à Saúde Humana - ARSH.

Estudo bibliográfico e dos dados do DATASUS sobre a saúde mental nos municípios afetados pelo rompimento da barragem de fundão em Mariana, Minas Gerais. (INSTITUTO SAUDE E SUSTENTABILIDADE, 2018)

Objetivos do estudo A:

1. Revisar bibliografia existente sobre os efeitos em saúde mental em situações de desastres em geral, tecnológicos e naturais;
2. Desenvolver revisão sistemática sobre artigos científicos selecionados sobre o tema Desastres e efeitos à saúde mental; e
3. Elaborar uma narrativa desenvolvida como “Introdução”, a partir de revisões de narrativas, revisões sistemáticas e metanálises que tratam do tema Desastres e efeitos à saúde mental;

Objetivos estudo B:

1. Identificar e levantar os indicadores da situação de saúde mental, disponibilizados pelo DataSUS para os 40 municípios envolvidos no estudo; e

2. Analisar os dados e elaborar conclusões para cada um dos quarenta municípios afetados.

Metodologia do estudo A: revisão sistemática. Para relatar os achados dessa revisão será empregado o PRISMA.

Metodologia estudo B: analisados três tipos de informações para cada um dos municípios incluídos no estudo – 1) dados de produção para os procedimentos e indicadores relacionados à Saúde Mental, no período de 2005 a 2017, ou seja, a caracterização da produção da rede assistencial em saúde mental; 2) o número de ocorrências relacionadas a tentativas de suicídio e; 3) dados de consumo de medicamentos psicotrópicos.

O estudo utiliza linguagem e perspectivas ideológicas distintas nas diferentes partes da pesquisa. No eixo A, a linguagem e o recorte estão voltados para uma perspectiva organicista, medicalocêntrica e centrado na patologização dos sintomas. Já o recorte B, aponta para sintomas que indicam sofrimento, e não patologia, focando nos aspectos da rede de atenção psicossocial como potencial de cuidado. A análise das informações não permite concluir sobre o impacto do rompimento da barragem na saúde mental da população atingida, conforme aponta o próprio estudo, mas as discussões levantadas sobre a rede e os atendimentos podem servir de subsídio para melhoria da oferta de cuidado em saúde mental dos municípios analisados.

A revisão bibliográfica não inclui documentos importantes de instituições como a OPAS, OMS e IASC. As pesquisas analisadas têm um viés quantitativo, e ignoraram a importância dos estudos qualitativos para entendimento dos aspectos psicossociais relacionados aos desastres, com foco apenas em transtornos mentais, e não para as causas.

O olhar qualificado para as causas e peculiaridades do sofrimento gerado pelas situações de crise poderia trazer informações mais relevantes para pensar o cuidado a essas pessoas.

A literatura nacional sobre o tema foi pouco considerada. Há diversos documentos importantes de conselhos regionais de psicologias publicados, e trabalhos com pesquisadores nacionais atuantes em situação de desastre publicados no Brasil, que não foram citados. Cabe ainda ressaltar que existe uma Portaria Interministerial que trata de ações de atenção psicossocial a grupos vulneráveis em situações de desastres, que também poderia ser inserida. Os trabalhos nacionais são muito

importantes por estarem em maior consonância com os preceitos do SUS e da RAPS do que apenas a literatura internacional.

Relevância dos dados e informações para os estudos de ARSH

Metodologia não válida para a utilização na ARSH.

PRISMMA - Pesquisa sobre a Saúde Mental das Famílias Atingidas pelo Rompimento da Barragem do Fundão em Mariana (PRISMMA, 2018)

O objetivo primário desta pesquisa foi avaliar a situação atual de saúde dos indivíduos diretamente afetados pelo desastre do rompimento da barragem de Fundão em Mariana, com ênfase em saúde mental. Os objetivos secundários foram:

1. Descrever as características sociodemográficas da população de pessoas atingidas;
2. Identificar, mapear e analisar o território onde vive atualmente a população de atingidos;
3. Quantificar a prevalência declarada de doenças clínicas;
4. Quantificar a prevalência dos diagnósticos de transtornos mentais relacionados ao estresse (transtorno depressivo maior, transtorno de estresse pós-traumático, transtorno de ansiedade generalizada, risco de suicídio);
5. Avaliar os fatores relacionados ao desastre que podem estar associados ao aumento do risco de transtornos mentais associados a estresse;
6. Verificar o acesso e o uso dos serviços de assistência social, jurídica e de saúde, disponíveis para a população de atingidos; e
7. Mensurar a prevalência de sintomas cardiovasculares na população diretamente atingida e a possível exacerbação de tais sintomas pelo desastre.

Sua metodologia propõe um estudo epidemiológico de base domiciliar, com delineamento transversal. Por meio de entrevistas estruturadas, foi avaliada a saúde dos indivíduos atingidos pelo rompimento da barragem de Fundão em Mariana, com ênfase em saúde mental.

Relevância dos dados e informações para os estudos de ARSH

No que concerne à sua utilização para este estudo de ARSH, o referido estudo está validado para parte de avaliação sociodemográfica - Parte: 3. Descrição da amostra, demografia e saúde geral.

No entanto, o aspecto de saúde mental não se aplica à metodologia de ARSH. Isto porque a metodologia utilizada apenas diagnosticou, por meio de rastreamento com testes validados, os casos de transtornos mentais relacionados ao estresse (transtorno depressivo maior, transtorno de estresse pós-traumático, transtorno de ansiedade generalizada e risco de suicídio). Sua metodologia não se baseou em um levantamento para quantificar os diagnósticos, e sabe-se que o uso de testes de rastreio em saúde mental, de forma rápida, generalizada pode implicar em aumento da taxa de falsos positivos, para alterações psíquicas.

Embora os instrumentos utilizados para rastreamento de transtornos mentais fossem validados, os questionários para diagnosticar os transtornos mentais foram aplicados junto com uma série de outras perguntas por pessoas que não conheciam aquela população entrevistada, o que indica condições pouco favoráveis para um diagnóstico qualificado em Saúde Mental. Diagnósticos realizados de forma rápida, sem levar em consideração fatores como vínculo entre profissional e paciente, histórico de outras consultas, aplicação de um questionário longo, com diversas perguntas não relacionadas ao diagnóstico, entre outros podem causar prejuízos como estigmas e aumento da medicalização da população.

Os resultados obtidos podem, inclusive, ser contraproducentes em relação ao objetivo inicial de “Avaliar os fatores relacionados ao desastre que podem estar associados ao aumento do risco de transtornos mentais associados a estresse”. O que foi avaliado não foram os fatores “relacionados ao desastre”, mas sim as pessoas. Assim, as questões de ordem social, política, cultural ficaram como pano de fundo, sobrepostas pelos diagnósticos de “distúrbios”, “transtornos”, atribuindo ao indivíduo uma série de dificuldades que o inserem no campo das patologias e dos rótulos, das classificações psiquiátricas

Ao codificar os sofrimentos em patologias, as orientações, recomendações e intervenções que podem se desdobrar a partir dessa informação estão no campo da área médica, organicista, escondendo as informações importantes sobre as causas que levam ao sofrimento.

Antes fosse mais leve a carga: uma avaliação dos aspectos econômicos, institucionais e sociais do desastre da Vale/BHP/Samarco em Mariana (MG) (ZONTA, M.; TROCATE, 2016)

A pesquisa tem como principal objetivo subsidiar os movimentos sociais e as organizações não governamentais que reivindicam a garantia dos direitos humanos das pessoas atingidas pelo rompimento da barragem, bem como a remediação dos impactos socioambientais

O relatório foi motivado pela necessidade de uma sistematização das informações que vinham sendo produzidas sobre o rompimento da barragem do Fundão. Esse esforço foi associado ao levantamento de informações complementares, que pudessem ampliar o entendimento sobre a empresa, o contexto operacional/institucional no qual ela atua e algumas das possíveis consequências do rompimento da barragem. Dentro desse contexto, o relatório analisado se propôs, por meio da sistematização e divulgação da informação, a contribuir para o aprimoramento do debate sobre a atividade mineral no país.

Os autores acreditam que o acesso à informação por parte dos movimentos e organizações envolvidos com questões de proteção aos direitos humanos e de preservação ambiental poderá aprimorar sua capacidade de atuação. Dessa forma, espera-se que o reconhecimento do Brasil como um país minerador, bem como dos riscos e impactos gerados por essas atividades para a sociedade e para o meio ambiente, aumente a pressão social sobre agentes do Estado e sobre as empresas e, dessa forma, colabore para a construção de novos sistemas, democráticos e participativos, de controle sobre a forma como se exploram os bens minerais do país.

No que concerne à sua utilização para a ARSH, o estudo está validado. O conteúdo está bem articulado com objetivo, atinge o objetivo, e utilizou-se de grande quantidade de referências bibliográficas de origens distintas. O texto aponta para falta de disponibilização de dados sobre o conteúdo do rejeito pela Samarco. Cita estudos que mostram quantidades elevadas de metais e outros químicos, e fala sobre a necessidade de realização de novos estudos. O texto levanta a discussão sobre o racismo ambiental que deve ser levado em consideração na ARSH.

DADOS AMBIENTAIS

Estudos na zona costeira e no meio marinho

Qualidade da Água e do Sedimento na Zona Costeira Próxima à Foz do Rio Doce e na APA Costa das Algas - Atualização de Maio/2017, Relatório técnico. (GOLDER, 2017a).

Esse Relatório apresenta uma atualização dos resultados em fevereiro de 2017 (Golder, 2017), contemplando, além dos dados de qualidade da água e sedimentos já abordados num relatório anterior, aqueles disponibilizados pela Fundação Renova para o período entre dezembro de 2016 e fevereiro de 2017.

Vale ressaltar que para a coleta das amostras de água, foram utilizadas diferentes profundidades. No período de 26 a 27 de fevereiro de 2016 as amostras foram coletadas em 2 profundidades distintas, depois passaram a adotar 4 profundidades diferentes para coleta de água, metodologia que se estendeu até o fim do Relatório. Quanto à amostragem de sedimentos, desde 17 de novembro de 2015, a Samarco coletou amostras de sedimentos num ponto (Seção IV) próximo à foz do rio Doce, e, desde 27 de fevereiro de 2016, iniciou as coletas semanais de sedimento nos mesmos pontos de amostragem de água.

O documento assinala que a dispersão da pluma CDs (“contínua densa”), possivelmente forte fator para a deposição dos rejeitos provenientes do rompimento da barragem da Samarco de Fundão, se desloca preferencialmente para sul, em função dos ventos prevalecentes de nordeste. Ao seguir para o sul, a pluma se afasta da costa. Nos períodos de atuação dos ventos de quadrante sul, a pluma se desloca para norte e permanece mais próxima à costa. A intensidade dos ventos não parece ter uma relevância tão grande para o deslocamento da pluma quanto a direção.

O Relatório assinala que a pluma CDg (contínua degradê) é mais confinada à costa, não apresentando grande alcance em direção ao oceano aberto. Apesar disso, sua extensão ao longo da costa é comumente muito maior que a pluma CDs. Em função das características da pluma CDg, há maior incerteza quanto ao teor de rejeitos do que para a pluma CDs.

Análise Integrada dos Contornos do Deslocamento das Plumas de Turbidez no Meio Marinho. Relatório Técnico – RT ECV 138/17 – Revisão 00 – Junho/17 (ECONSERVATION, 2017).

Neste Relatório Técnico, que assinala o histórico da evolução das plumas de turbidez no meio marinho, destaca-se as adaptações das metodologias de avaliação utilizadas em três fases: de 25/11/2015 a 07/03/2016, entre 09/03/2016 e 29/07/2016, e a partir do dia 02/08/2016 até o período final de abrangência do Relatório.

O importante, como registro e de relevância para os estudos de ARSH, é a parte das conclusões onde se constata a “maior influência da pluma num raio de 15 Km a partir da Foz”. Isto indica a área a ser avaliada como maior influência das águas marinhas/estuarinas sobre os sedimentos gerados e possibilidade de mobilização dos contaminantes para os meios bióticos e possíveis formação de rotas de exposição humana.

Relevância desses estudos para ARSH

Em função das contribuições dessas plumas na formação dos sedimentos na zona costeira, as características de composição das plumas quanto aos rejeitos e suas mobilidades são de relevância para se avaliar a possibilidade de mobilização dos contaminantes para os meios bióticos e possíveis formação de rotas de exposição humana, principalmente nos pontos mais próximos à costa. Essas informações são relevantes para estudos específicos futuros de ARSH.

No entanto, levando em consideração a área de abrangência deste Estudo de ARSH sob a estratégia de realização do estudo de pior cenário, limitando a avaliação de dados ambientais na área entre a localidade de Bento Rodrigues, em Mariana/MG, até a zona estuarina do Rio Doce em Regência, localidade de Linhares/ES, esses dados não serão considerados no presente Estudo.

Estudos sobre os rejeitos

Rompimento da barragem de rejeitos de fundão: Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos. Outubro, 2017-Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. (GOLDER, 2017b)

Este relatório consiste em uma revisão do conteúdo da Seção 4 (Avaliação dos Resultados de Investigação Geoquímica e Aspectos Biogeoquímicos) do relatório RT-023_159-515-2282_00-J (Avaliação dos Impactos do Meio Físico Resultantes do Rompimento da Barragem de Fundão), emitido em Julho de 2016.

Foram coletadas 311 amostras para testes geoquímicos com o intuito de servir como subsídio para a tomada de decisões relativas ao manejo dos rejeitos liberados. A coleta de amostras ocorreu durante as investigações de campo, entre 23 de janeiro e 12 de abril de 2016. Adicionalmente, duas amostras de solo não afetado foram coletadas no Espírito Santo entre 11 e 12 de abril de 2017, em função de uma solicitação do Instituto Estadual do Meio Ambiente do Espírito Santo (IEMA-ES).

Foram amostrados rejeitos (4 amostras compostas), detritos coletados nas pilhas erguidas em Barra Longa (2 amostras), solo de áreas não afetadas (35 amostras), sedimento de áreas não afetadas (18 amostras) e sedimentos e solos de áreas afetadas (252 amostras). Os pontos de coleta de amostras incluíram a Barragem de Rejeitos de Germano (para representar o material fonte, uma vez que questões de segurança impediam a coleta de amostras na Barragem de Rejeitos de Fundão) e as áreas afetadas a jusante da barragem de Fundão. A deposição de rejeitos se estendeu desde a barragem de Fundão até o litoral do ES. Listados em ordem de localização a partir da barragem de Fundão, os principais pontos de amostragem compreenderam o reservatório de Santarém, Córrego Santarém, Rio Gualaxo do Norte, Rio do Carmo e Rio Doce, Reservatório de Candonga (usina hidroelétrica Risoleta Neves), Reservatório de Baguari e a foz do Rio Doce no Oceânico Atlântico. Além disto, foram coletadas amostras de vários tributários.

O programa de testes geoquímicos foi executado em duas fases. Os objetivos das análises realizadas na Fase I do Programa de Caracterização Geoquímica foram: 1) caracterizar os rejeitos-fonte; 2) determinar a composição química das misturas de solo e sedimentos depositadas nas redes de drenagem a jusante da barragem de Fundão; e 3) avaliar os rejeitos, solos e sedimentos com relação as normas regulatórias aplicáveis a solos e sedimentos. O programa de análises da Fase I incluiu a análise de todas as amostras quanto a composição química, distribuição granulométrica, e contagem ácido-base, para determinar as características químicas e físicas dos materiais coletados.

O programa analítico desenvolvido na Fase II visou determinar a estabilidade química (isto é, o potencial de mobilização de metais a partir da fase sólida para a fase aquosa) dos rejeitos, dos solos e sedimentos afetados. Os resultados do programa Fase II foram utilizados para avaliar o potencial de mobilização de metais que resultassem em excedentes quanto aos padrões brasileiros de qualidade de água aplicáveis, no curto prazo (meses a anos) e no longo prazo (anos a décadas). Foram realizados testes geoquímicos em um subconjunto de 50 amostras, selecionadas com base nas características composicionais e espaciais, verificadas a partir dos resultados das análises da Fase I. O programa de

análise compreendeu vários testes de lixiviação de curto prazo, incluindo testes relevantes em termos regulatórios (ABNT NBR 10.005/2004)

Lixiviação e ABNT NBR 10.006/2004 – (Solubilização), testes para avaliar o potencial de mobilização de metais na água do rio e água do mar (elutriação), e testes para avaliar o potencial de mobilização de metais sob diferentes condições de pH (pH dependente). Análises mineralógicas foram executadas para identificar os hospedeiros mineralógicos de metais em cada amostra, sendo os resultados de teste de extração sequencial usados para confirmar a associação de metais com frações mineralógicas definidas operacionalmente, e o potencial de mobilização de metais a partir destas frações. Por fim, foram realizados testes cinéticos (teste de coluna e teste de célula úmida) como parte do programa Fase II visando determinar o potencial de mobilização de metais no longo prazo, sob condições inundadas e atmosféricas, respectivamente.

O Programa de Caracterização Geoquímica consistiu dos seguintes componentes:

- Investigação de Campo: amostras representativas da ampla gama de materiais e ambientes deposicionais resultantes da liberação dos rejeitos devido ao rompimento da barragem de Fundão foram coletadas para análise geoquímica;
- Investigação Laboratorial: as seguintes análises geoquímicas para determinar a composição química e a reatividade foram realizadas - composição química, distribuição granulométrica, contagem ácido-base (ABA), testes de lixiviação de curto e longo prazo e análise mineralógica. Foi realizada uma investigação laboratorial escalonada em que os resultados da Fase I foram considerados para a seleção de amostras para ensaios adicionais realizados na Fase II;
- Relatório: Os resultados foram comparados aos critérios regulatórios (diretrizes nacionais e/ou estaduais para solo, sedimento, classificação de resíduos e qualidade da água, conforme aplicável), dados históricos (dados históricos de solo, sedimento e qualidade da água, quando disponíveis), diretrizes internacionais (predição de potencial de drenagem ácida de rocha -ARD) e dados de monitoramento atuais fornecidos pela Fundação Renova. Os resultados dos testes de lixiviação foram usados para avaliar a estabilidade química de curto e longo prazo dos rejeitos, solos e sedimentos, bem como a mobilidade de constituintes liberados por estes materiais. Os resultados de extração sequencial e mineralogia foram usados para confirmar as

fontes potenciais de metais-traço e avaliar em mais detalhes a mobilidade dos elementos constituintes.

Valores de referência

Os valores de referência utilizados nesse Documento foram os seguintes:

Solo

- Deliberação Normativa COPAM nº 166/2011 (COPAM 2011): este regulamento estadual se aplica a solos no estado de Minas Gerais, estabelece valores de referência de qualidade (VRQ) específicos para Minas Gerais (29 de junho de 2011);

- Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 02/2010 (COPAM/CERH 2010): este regulamento estadual institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, o qual estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gestão ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas (08 de setembro de 2010);

- Resolução CONAMA nº 420/2009 (CONAMA 2009): este regulamento federal define critérios para qualidade do solo e estabelece diretrizes para a gestão ambiental de áreas contaminadas por substâncias resultantes de atividades antropogênicas (28 de dezembro de 2009);

O regulamento federal sobre solos (Res. CONAMA 420/2009) define dois tipos de valores orientadores: "Valor de Prevenção" e "Valor de Investigação". Os "Valores de Prevenção" são inferiores aos "Valores de Investigação". Os "Valores de Investigação" são definidos para três tipos de uso do solo: agrícola, residencial e industrial. Para todos os parâmetros, observa-se a seguinte tendência nos valores: agrícola < residencial < industrial. A única diferença entre a norma federal (isto é, Res. CONAMA 420/2009) e a norma do estado de Minas Gerais (isto é, D.N. COPAM/CERH 02/2010) é que esta última não estabelece valores para vanádio (V).

- O regulamento estadual sobre solos (D.N. COPAM nº 166/2011) estabelece valores de referência de qualidade (VRQ) para o solo em Minas Gerais. Além disso, os resultados de composição química das amostras de solo foram comparados com os valores de referência estabelecidos especificamente para o Quadrilátero Ferrífero pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM 2015). Esta comparação não tem significância regulatória, mas representa uma referência relevante para comparação dos resultados das amostras de solo; e

- A Res. CONAMA 420/2009 especifica que as concentrações de metais (com exceção do mercúrio) sejam determinadas por meio do Método 3050B da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) ou Método 3051A USEPA. As concentrações de metais devem ser determinadas na fração abaixo de 2 milímetros (mm).

Sedimento

Os resultados de composição química das amostras de sedimentos da Fase I foram comparados com os padrões estabelecidos para sedimentos na Resolução CONAMA 454/2012.

A Resolução CONAMA nº 454/2012 estabelece diretrizes gerais e procedimentos de referência para a gestão de material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional (11 de novembro de 2012). Não existem regulamentos específicos relativos à qualidade de sedimentos no Brasil. No entanto, a Res. CONAMA 454/2012 apresenta limites aplicáveis a sedimentos dragados em água doce e água marinha. De um modo geral, estes limites foram estabelecidos a partir de diretrizes internacionais sobre qualidade de sedimentos. Esta Resolução inclui duas classes de sedimento:

- Classe 1: se os sedimentos dragados forem dispostos em cursos d'água, então os resultados devem ser comparados com os níveis aplicáveis (isto é, Nível 1 e Nível 2) indicados na Res. CONAMA 454/2012; e
- Classe 2: se os sedimentos dragados forem dispostos em terra, então os resultados devem ser comparados com o regulamento de solos Resolução CONAMA 420/2009.

Os níveis 1 e 2 são descritos como se segue:

Nível 1: limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota;

Nível 2: limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota.

A Res. CONAMA 454/2012 especifica que as concentrações de metais (com exceção do mercúrio) sejam determinadas por meio do Método 3050B ou Método 3051A da USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos). As concentrações de metais devem ser determinadas na fração abaixo de 2 mm.

Água

Os resultados de teste de lixiviação (isto é, elutriação usando água do rio e do mar, teste de pH dependente, teste de coluna e de célula úmida) obtidos na Fase II foram comparados com os critérios brasileiros de qualidade da água dispostos em dois documentos:

- Deliberação Normativa Conjunta COPAM CERH/MG nº 01/2008 (COPAM/CERH 2008): este regulamento estadual estabelece regras sobre a classificação de corpos d'água, fornece diretrizes para as várias classes, e estabelece condições e padrões para lançamento de efluentes no Estado de Minas Gerais (05 de maio de 2008); e
- Resolução CONAMA nº 357/2005 (CONAMA 2005): este regulamento federal dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências (17 de março de 2005).

Os regulamentos relativos às águas superficiais estabelecem classes para as águas de acordo com os possíveis usos. Os resultados de testes de lixiviação foram comparados com limites aplicáveis para água doce "Classe 2" ou água salinas "Classe 1". A única diferença entre a Res. CONAMA 357/2005 e a DN COPAM CERH 01/2008 é que a última estabelece limite para mais um parâmetro (i.e., sólidos suspensos). Os limites definidos nessas normas são para metais totais, exceto para alumínio (Al), cobre (Cu), e ferro (Fe), para os quais se aplicam limites de metais dissolvidos. A comparação dos resultados de metais dissolvidos com limites para parâmetros totais constitui uma abordagem conservadora, de acordo com a qual o excesso de concentrações dissolvidas implica também em excesso das concentrações totais.

A comparação dos resultados de teste de lixiviação com os critérios de qualidade da água é de natureza qualitativa, uma vez que os resultados do teste de lixiviação não visam uma comparação direta aos critérios regulatórios. Portanto, esta comparação não tem significância regulatória, objetivando apenas identificar os parâmetros de potencial interesse ambiental.

Observações gerais

Segundo esse Documento, os resultados da avaliação estatística confirmaram que o conjunto de dados representa a gama de composições dos solos e sedimentos afetados. Portanto, segundo os redatores desse Documento, o conjunto de dados geoquímicos é apropriado para subsidiar o processo de tomada de decisão quanto às medidas de remediação.

As amostras de rejeito coletadas na Barragem de Rejeitos de Germano consistiam, principalmente, do silicato mineral quartzo, com menores quantidades dos (hidr)óxidos de ferro hematita e goethita. Os rejeitos não continham minerais sulfetados e, por conseguinte, foram classificados como não geradores de ácido.

Os principais elementos detectados nas amostras de rejeito foram sílica e óxido de ferro. No conjunto de dados geoquímicos, os rejeitos apresentaram as menores concentrações para muitos metais-traço (arsênio, bário, cobalto, cobre, chumbo, níquel, prata, vanádio e zinco). Os resultados da análise de fase sólida não excederam os padrões de prevenção ou de investigação estabelecidos na Resolução CONAMA 420/2009.

Além disto, a composição de fase sólida das amostras de rejeito estava dentro dos Valores de Referência de Qualidade de solo de Minas Gerais, e das concentrações de referência determinadas para o Quadrilátero Ferrífero. Das quatro amostras de rejeito submetidas a testes de classificação de resíduos (ABNT NBR 10.004/2004), duas foram classificadas como não inertes) devido às elevadas concentrações de ferro obtidas nos testes de solubilização (ABNT NBR 10.006/2004). Além disto, o ferro lixiviado apresentou concentrações acima do limite estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005 (Classe II) para água doce em testes de lixiviação usando água do rio (elutriação); o alumínio e o fósforo também ocorreram em concentrações elevadas em uma amostra de lixiviado.

Os resultados do teste de extração sequencial confirmaram que os principais hospedeiros mineralógicos de ferro nos rejeitos são a hematita e a goethita. Estes minerais cristalinos de ferro são estáveis e sofrem intemperismo lento em condições não ácidas. Portanto, os rejeitos têm um baixo potencial de mobilização de metais, inclusive ferro, nas condições de pH circum-neutrais existentes nos rios a jusante da barragem do Fundão (como discutido abaixo).

A composição mineralógica das amostras de solo não afetado era mais complexa do que a das amostras de rejeitos. A maioria das amostras de solo não afetado era constituída de solos ferruginosos típicos de terrenos de formação de ferro bandada (BIF) do Quadrilátero Ferrífero. Os minerais presentes nos solos incluíram quartzo, hematita, goethita e gibbsita. A presença de gibbsita (10% a 12%) é a principal diferença mineralógica em relação aos rejeitos de Germano. Os solos não afetados também foram classificados como não geradores de ácido, uma vez que não foram identificados minerais sulfetados nas amostras submetidas aos testes mineralógicos e de contagem ácido-base.

Diferentemente das amostras de rejeitos, os solos não afetados continham elevadas concentrações de vários metais referentes aos valores de prevenção (arsênio, bário, antimônio, cromo, cobalto, níquel e cobre) e valores de investigação para agricultura (arsênio, cobalto, bário e cromo) estabelecidos na Resolução CONAMA 420/2009. Além disto, vários metais foram detectados em concentração elevada em relação aos Valores de Referência de Qualidade de solo Minas Gerais

(antimônio, arsênio, bário, chumbo, cobalto, cobre, cromo, níquel, vanádio e zinco), e às concentrações de referência para o Quadrilátero Ferrífero (chumbo, cobalto, bário, vanádio, arsênio, cobre, zinco, cromo e níquel). Assim, segundo os dados desse Estudo, as amostras de solo não afetado apresentaram as maiores concentrações de vários parâmetros no conjunto de dados geoquímicos, incluindo cobalto, cobre, cromo, chumbo, manganês, níquel, titânio, vanádio e zinco.

Todas as seis amostras de solo não afetado submetidas aos testes de classificação de resíduos foram classificadas como não inertes por excederem os limites de solubilização para manganês. Uma amostra excedeu os limites para alumínio e ferro. Amostras de solos não afetados lixiviaram alumínio, ferro e manganês sob todas as condições de teste de lixiviação de curto prazo. Entretanto, os resultados do teste de extração sequencial confirmaram que alumínio e ferro estão significativamente contidos na fração mineral insolúvel (isto é, minerais cristalinos de alumínio e ferro, detectados por análise mineralógica).

Em contraste com as amostras de rejeitos, até 10% do ferro extraível em amostras de solo não afetado encontravam-se associados à fração Fe/Mn redutível, que são Fe-Mn amorfos (hidróxidos). O manganês também ocorre na fração de óxido Fe/Mn redutível. Estes minerais amorfos representam um reservatório mineralógico que efetivamente retém metais-traço, e restringe sua liberação no ambiente aquoso, não obstante eles sejam tipicamente mais solúveis do que seus equivalentes cristalinos.

Da mesma forma que ocorre com o solo não afetado, as amostras de sedimentos não afetados consistem de quartzo e minerais de ferro, incluindo hematita, goethita e magnetita. Não havia presença de minerais sulfetados e, por conseguinte, as amostras de sedimentos não afetados também foram classificadas como não geradoras de ácido. Amostras de sedimentos não afetados coletadas em ambientes de água doce, isto é, das calhas dos rios e reservatórios, excederam os critérios de sedimento estabelecidos na Resolução CONAMA 454/2012 para arsênio, cromo e níquel, enquanto as amostras de sedimentos coletadas no oceano excederam os critérios para arsênio e níquel.

Amostras de sedimentos não afetados também foram classificadas como materiais não inertes, em função das elevadas concentrações de manganês, ferro e alumínio detectadas nos lixiviados dos testes de solubilização. As amostras de sedimentos não afetados demonstraram um potencial para a lixiviação de alumínio, bário, manganês, ferro e níquel. Os resultados do teste de extração sequencial sugerem que alumínio e ferro estão associados a minerais de ferro e alumínio cristalinos insolúveis,

enquanto bário, manganês e níquel estão associados à fração Fe/Mn redutível. Entretanto, como mencionado anteriormente, a solubilidade destas fases minerais é baixa nas condições encontradas na água do rio e, portanto, o potencial para sua mobilização é também considerado como baixo.

De modo similar ao que ocorre com sedimentos e solos não afetados, os materiais afetados excederam os padrões para solo e sedimento para vários metais (isto é, chumbo, cobalto, bário, vanádio, arsênio, cobre, zinco, cromo e níquel). As concentrações de metais-traço são similares às concentrações de amostras de sedimentos e solos não afetados.

Esse Estudo constata que a composição química de amostras coletadas nos distritos e reservatórios é geralmente menos variável do que a composição química de amostras coletadas nas planícies de inundação e nos canais fluviais. Também propõe como explicação para este achado a maior mistura dos rejeitos com os sedimentos e solos não afetados nas amostras de planícies de inundação e dos canais fluviais, quando comparadas com as amostras coletadas nos distritos e reservatórios. Estas amostras também foram classificadas como materiais não inertes, em função da presença de alumínio, ferro, manganês e fósforo nos lixiviados do teste de solubilização. As concentrações de alumínio, ferro, manganês estavam elevadas na maioria das condições representadas por testes de lixiviação de curto prazo. De forma semelhante aos sedimentos e solos não afetados, as amostras afetadas contêm alumínio e ferro em minerais cristalinos, com uma fração do ferro presente em (hidr) óxidos de Fe/Mn redutíveis.

Ao contrário do proposto pelos autores desse Estudo, a equipe de ARSH considera como possibilidade razoável que esse material possa ser constituído por componentes fracionários e granulométricos mais leves da lama de rejeito como os oxi-hidróxidos amorfos de ferro e manganês, mais finos e reconhecidos captadores de metais traços, inclusive os metais pesados tóxicos.

Com base nos resultados do programa de testes da Fase II, os autores desse Estudo, consideram que todos os materiais, incluindo os rejeitos e sedimentos e solos não afetados e afetados, possuem, em geral, um baixo potencial de mobilização de metais. Para isto, se baseiam nos resultados tanto de inúmeros testes de lixiviação de curto prazo como cinéticos realizados em escala laboratorial, além de dados de monitoramento da qualidade da água dos rios. Segundo esse Estudo, os rejeitos apresentam alguns dos menores potenciais de mobilização de metais observados no estudo, enquanto os sedimentos e solos não afetados podem apresentar um potencial, significativamente, mais elevado de mobilização de metais. Na sua interpretação dos resultados, os autores desse Estudo consideram que

o potencial de mobilização de metais dos sedimentos e solos afetados é regido pelos sedimentos e solos naturais presentes em quaisquer misturas de rejeitos/solo/sedimento.

Adiante, nesse Estudo, os autores confirmam que a baixa mobilidade dos metais é controlada pelos hospedeiros mineralógicos de metais-traço nas amostras. Com base nos seus resultados, afirmam que a maioria dos metais-traço foi sequestrada em minerais de (hidr) óxido de Fe e/ou Al cristalinos insolúveis (por exemplo, hematita, goethita e gibbsita). Adicionalmente, asseguram que a presença de ferrihidrita, fator de imobilização de metais-traço, foi confirmada através dos resultados dos testes.

Os autores desse Estudo reconhecem que a dissolução redutora de minerais contendo ferro poderia resultar na liberação de ferro ferroso ou divalente, no ambiente aquático liberando os metais-traço nele contidos. Mas ressaltam que os resultados do Programa de Caracterização Geoquímica confirmaram que, praticamente, todo o ferro nos rejeitos ocorre na forma de minerais cristalinos de ferro, com os (hidr) óxidos de Fe amorfos representando uma proporção desprezível.

Ressaltam que, em contraste, os sedimentos e solos não afetados contêm mais ferro na forma de minerais de Fe redutíveis, e representam um reservatório muito maior de ferro lábil, e de metais-traço associados. Reafirmam sua convicção na imobilidade dos metais tóxicos ao acrescentar que o pH da água do rio (entre aproximadamente 6,5 e 7,9, com um valor mediano de 7,3) limita a solubilidade de ferrihidrita, que é muito baixa em condições de pH circum-neutral, como confirmado pelos testes de lixiviação de curto prazo e cinéticos.

Concluindo, os autores desse Estudo afirmam que, devido ao baixo teor de ferrihidrita dos rejeitos e à estabilidade da ferrihidrita nas condições de pH do rio, é improvável que a presença de rejeitos no rio resulte em concentrações elevadas de ferro ferroso. Ressaltam que os resultados do monitoramento das águas superficiais confirmam que as concentrações de ferro dissolvido no rio retornaram aos níveis anteriores ao rompimento, não representando um impacto devido aos rejeitos.

Quanto ao manganês, reconhecem ser um metal que ocorre em associação com minerais de Mn redutíveis sensível à oxirredução e que poderia afetar negativamente os organismos aquáticos. Aqui, os autores esqueceram de citar o fato que, como o ferro, sua dissolução liberaria os metais pesados nele contido. Mas salientam que, como no caso do ferro, as concentrações de manganês retornaram aos níveis anteriores ao rompimento. Finalmente, os autores concluem que, com base em todos os dados alcançados nos seus Estudos, a mobilização de ferro e manganês a partir dos rejeitos presentes no sistema fluvial não é considerada como uma preocupação do ponto de vista biogeoquímico.

A equipe de ARSH discorda dessas conclusões, primeiramente pela presença de concentrações traço de metais pesados na lama de rejeito que, como sabido, diferente do que pode ocorrer com contaminantes orgânicos, “não desaparecem” após sua emissão para os compartimentos ambientais.

Em segundo lugar, em função da dinâmica ambiental determinada pelos mecanismos de transporte, que podem se apresentar de forma diversificada nos diversos segmentos ao longo da bacia do Rio Doce e, em decorrência também de fenômenos naturais sazonais com capacidade de remobilização dos componentes da lama de rejeito, podem originar locais e momentos de enriquecimento e biodisponibilização de metais pesados.

Em terceiro lugar, a grande quantidade de material mais leve carregado pela lama de rejeito, com participação expressiva de óxi-hidróxidos de ferro e manganês que se depositaram nas áreas de várzeas e além das margens, se constituirá em fonte quase perene de emissão dos contaminantes metálicos tanto para os ambientes hídricos como para outros compartimentos ambientais.

Em quarto lugar, principalmente quando se pensa em termos de longo prazo, não se pode deixar sem consideração a participação da atividade microbiana nos solos e sedimentos contaminados. A desconsideração do fator representado pela atividade microbiana seria tanto mais incompreensível quando consideramos o amplo ambiente estuarino na região de Linhares/ES.

Além disso, o ambiente estuarino, possível local de deposição final dos componentes da lama de rejeito, principalmente de suas frações mais finas, inclusive a coloidal, reconhecida absorvedora de contaminantes metálicos, apresenta formações momentâneas de situações redutoras quando ocorre as situações de revolvimento do seu fundo, constantes nas cheias e enxurradas.

Resultados específicos desse Estudo

Segundo relatado, quimicamente, os rejeitos arenosos são caracterizados por um teor de sílica (SiO₂) maior do que os rejeitos finos (isto é, aproximadamente 80% e 20% em peso para rejeitos arenosos e finos, respectivamente). O teor de ferro dos rejeitos finos (aproximadamente 50% em peso) é maior do que o teor de ferro dos rejeitos arenosos (aproximadamente 14% em peso).

Determinações em amostras nos rejeitos da Represa de Germano (considerados similares aos de Fundão) constataram que:

- Os rejeitos grossos/arenosos são caracterizados por concentrações mais elevadas de sílica e concentrações mais baixas de ferro, do que os rejeitos finos. É observada a segregação dos tipos de rejeitos arenosos e finos na Barragem de Rejeitos de Germano; e

- Os rejeitos finos têm um teor de ferro mais elevado do que os rejeitos grosseiros/arenosos. Os seguintes metais demonstram uma tendência geral de incremento na concentração em função do aumento do teor de ferro: As, Mn, molibdênio (Mo), Pb e Zn.

Observação da equipe de ARSH da Ambios

Possivelmente buscando tecer avaliações sobre onexo causal do rompimento da barragem de Fundão da Samarco com os impactos sobre a qualidade de água e sedimentos das áreas afetadas, o Documento assinala estudos anteriores relacionados ao evento, publicados antes do rompimento da barragem de Fundão, com ênfase aos trabalhos que abordam as sub bacias dos rios Carmo e Gualaxo do Norte, onde se inserem diversas barragens de rejeitos da mineração ferro. Esses estudos indicam que anomalias naturais dos elementos-traço no solo, águas e sedimentos foram antropicamente incrementadas pela atividade minerária na região, incluindo as sub bacias dos rios Gualaxo do Norte e do Carmo. De um modo geral, contaminações de As, e metais como Hg, Pb, Cd, e Cu foram relacionadas à extração secular e recente do ouro, incluindo a atividade garimpeira neste último caso. Anomalias de Fe, Mn, Na, e Ba, por outro lado, foram geralmente relacionadas à mineração do ferro e do manganês.

DADOS DE MONITORAMENTO DO RIO DOCE**Qualidade da água, qualidade do sedimento, e resultados dos testes de ecotoxicologia no rio Doce, referente aos dados reportados até 2016. Golder Associates Ltda. (GOLDER, 2016a).**

Esse Documento apresenta um resumo dos dados de qualidade de água, qualidade de sedimentos e de ecotoxicologia coletados no rio Doce e em alguns tributários no período que vai de novembro de 2015 a janeiro de 2016. Também inclui um resumo da qualidade da água na zona costeira próximo à foz do rio Doce até dezembro de 2015.

O Documento aponta que a qualidade da água no rio Doce segue alterada no caso de alguns parâmetros específicos: turbidez, sólidos em suspensão totais, cor, fósforo total, ferro dissolvido e manganês total. E, indica que as elevadas concentrações observadas nestes parâmetros parecem estar relacionadas aos sólidos em suspensão. Portanto, o controle da liberação de sólidos em suspensão na área da barragem e de áreas perturbadas inicialmente com o rompimento da barragem é uma medida de mitigação fundamental que deverá levar a uma melhora na qualidade da água no rio Doce. Em termos do monitoramento em execução, o desenvolvimento de testes alternativos para medição de metais dissolvidos seria útil para evitar a influência por sólidos em suspensão de pequena granulometria.

Relevância desse estudo para ARSH

Além do reconhecimento da influência fundamental do particulado mais fino nas concentrações dos metais dissolvidos, o Documento não apresenta maior relevância para os estudos de ARSH.

Avaliação dos resultados de qualidade de água e sedimento do Rio Doce – Atualização de julho de 1017 (RT-046_159-515-2282_00) (GOLDER, 2017c)

Trata-se de documento muito rico em informações, apresentando e avaliando os resultados de qualidade de água e sedimento obtidos durante o monitoramento realizado nos cursos de água afetados e não afetados pelo rompimento da Barragem de Fundão, no período de 6 de novembro de 2015 a 31 de março de 2017.

Os resultados incluem, além dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, os obtidos nos testes de ecotoxicidade. Nesse Relatório, incluiu-se também nas avaliações, os principais afluentes do Rio Doce e as lagoas localizadas em Linhares (ES). No total foram estabelecidos 181 pontos de amostragem.

As áreas de amostragem foram agrupadas em quatro trechos de acordo com a distância dos pontos de monitoramento para a barragem de Fundão e com a localização das principais usinas hidrelétricas (UHEs) localizadas ao longo do rio Doce. Esse agrupamento é compatível com a abordagem estabelecida para o Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo da Água e dos Sedimentos do Rio Doce, deliberado pelo CIF em 4 de novembro de 2016. São eles:

- Segmento 1 (S1): trechos dos rios Gualaxo do Norte, do Carmo e Doce compreendidos entre a mina da Samarco e UHE Risoleta Neves (barragem de Condonga);
- Segmento 2 (S2): trecho do rio Doce compreendido entre a UHE Risoleta Neves e a UHE Baguari; e
- Segmento 3 (S3): trecho do rio Doce compreendido entre a UHE Baguari e a UHE Mascarenhas e a foz do rio Doce.

Dessa forma, segundo esse Relatório Técnico da Fundação Renova, foram compilados e avaliados os resultados obtidos em pontos de amostragem localizados no rio Gualaxo do Norte, no rio do Carmo e ao longo de toda a extensão do rio Doce, em seus principais afluentes e nas lagoas marginais de Linhares (ES). Os afluentes avaliados foram os seguintes: rio Gualaxo do Norte (à montante da área atingida pelos rejeitos), rio do Carmo (à montante da área atingida pelos rejeitos), rio Ipiranga, rio Guandu, rio Santa Maria do Doce, rio Santa Joana e rio Pancas.

As lagoas situadas no município de Linhares (ES) e incluídas na presente análise consistem em: Lagoa Nova, Lagoa do Areal, Lagoa do Pandolfi e Lagoa do Monsarás, identificadas pelo IEMA como aquelas que foram atingidas pelos rejeitos durante a cheia do rio ocorrida em janeiro de 2016.

Com o objetivo de determinar a temporalidade da intensidade dos impactos ambientais decorrentes do rompimento da barragem, a Fundação Renova nesse Relatório dividiu o período de monitoramento avaliado em quatro períodos de forma a distinguir as principais causas de alteração da qualidade das águas e dos sedimentos:

- Período 1 (T1) de 06/11 a 31/12 2015 (55 dias) correspondendo ao pico de vazão decorrente da passagem da onda de rejeitos e, ao mesmo tempo, a fase inicial da estação chuvosa 2015/2016;
- Período 2 (T2): de 01/01 a 31/03 2016 (90 dias), período que inclui o restante da estação chuvosa de 2015/2016;
- Período 3 (T3): de 01/04 a 30/09 de 2016 (182 dias), período que corresponde a estação seca de 2016; e
- Período 4 (T4): de 01/10 a 31/03 2017 (181 dias), período correspondente a estação chuvosa de 2016/2017.

Objetivando selecionar os “parâmetros de relevância”, desde o ponto de vista da avaliação ambiental, o Relatório usou como critério de relevância os parâmetros que apresentaram alterações atribuíveis ao rompimento da barragem de Fundão em T1 e/ou T2 e que persistiram ou voltaram a se alterar ao longo de T3 e/ou T4. Ressalta-se que, reconhecendo o papel do material de granulometria mais fina como forte concentrador dos contaminantes (metálicos) avaliados, o Relatório considerou também os teores de sedimentos finos (argila e silte).

Usando os critérios acima assinalados, o Relatório avalia como base nos resultados analíticos obtidos que durante o período T1 (6 de novembro de 2015 a 31 de dezembro de 2016), foram observados casos de não conformidade com os padrões aplicáveis para 38 parâmetros. Como regra geral há maior frequência de resultados de não-conformidade com os limites estabelecidos nas áreas mais à jusante na bacia do rio Doce (desde a mina até a área de amostragem de Governador Valadares), fato observado em diversos parâmetros, como cádmio, cromo total, chumbo total e níquel total. No entanto há parâmetros em que as não-conformidades são encontradas com elevada frequência ao longo de todo rio, alumínio dissolvido, ferro dissolvido, sólidos suspensos totais e turbidez. Para urânio total e mercúrio total, por exemplo, dentre os poucos resultados disponíveis, a maioria não foi quantificável, sendo o limite de quantificação do método empregado acima do padrão de qualidade aplicável. Isso também acontece para resultados de sulfeto (H₂S não dissociado) e cloreto residual total.

Segundo o referido documento, durante o período de T2 (01/01 a 31/03 de 2016) foram observados casos de não conformidade com os padrões aplicáveis para 33 parâmetros no total, sendo

11 parâmetros iguais ao período T1 e uma nova ocorrência, de mercúrio total. Parâmetros como arsênio total, chumbo total, vanádio total e zinco total apresentaram resultados em não conformidade principalmente na área mais à montante da bacia do rio Doce. Além disso, os parâmetros alumínio dissolvido, cor verdadeira, ferro dissolvido, coliformes termotolerantes, SST e turbidez apresentaram elevadas frequências de resultados acima dos padrões em todas as áreas de amostragem consideradas.

Durante o período de T3 (de 01/04 a 30/09 de 2016) foram observados casos de inconformidade para 26 parâmetros. Apenas os parâmetros alumínio dissolvido e coliformes termotolerantes apresentaram resultados de não conformidade em todas as áreas amostragem analisadas. De forma geral, as frequências de não conformidade foram menores em T3 quando comparadas a T1 e T2, bem como parâmetros que haviam apresentado resultados não conforme anteriormente não tiveram ou tiveram poucos valores acima dos padrões, como, por exemplo, arsênio total, bário total, chumbo total, cromo total, mercúrio total e vanádio total. Tal redução da frequência de não conformidade para grande parte dos parâmetros durante o período seco sugere influência da redução dos níveis pluviométricos na bacia do rio Doce e das obras de contenção (construção de diques, por exemplo). Entretanto, as maiores frequências de não conformidade em T3 foram para alumínio dissolvido, cor verdadeira, ferro dissolvido, fósforo total, manganês total, oxigênio dissolvido, SST e turbidez. Estes resultados sugerem influência do rompimento da barragem mesmo em T3.

Durante o período T4 (01/10/2016 a 31/03/2017), foram observados casos de não conformidade com os padrões aplicáveis para 21 parâmetros, dentre os quais, cinco apresentaram resultados em não conformidade em todas as áreas de amostragem analisadas, são eles alumínio dissolvido, cádmio total, ferro dissolvido, manganês total e coliformes termotolerantes. Chama a atenção a presença de cádmio total nesta lista uma vez que este parâmetro surge pela primeira vez como não conforme somente em T4. Além disso houve aumento nos percentuais de não conformidade se comparados a T1. Outros fatores com elevadas frequências de não conformidade em T4 são cor verdadeira, fósforo total, SST e turbidez. Menores frequências de não conformidade foram observadas para chumbo total, arsênio total, cobre dissolvido, oxigênio dissolvido, SDT, sulfetos (H₂S não dissociado) e zinco total. De maneira geral as não conformidades no alto da bacia do rio Doce foram mais frequentes, sobretudo para SST, manganês total e turbidez.

Segundo as conclusões do estudo, “O rompimento da barragem de Fundão influenciou a qualidade da água no rio Doce, particularmente no período imediatamente após o rompimento (i.e., em T1 e T2).

Nas suas “Considerações Finais”, o Relatório assinala que o rompimento da Barragem de Fundão pode ter afetado as concentrações de até 59 dos 112 parâmetros de qualidade de água e até 16 dos 39 parâmetros de sedimentos do rio Doce avaliados. Esses parâmetros apresentaram elevação das concentrações coincidente com a chegada da onda de rejeitos liberada pelo rompimento da barragem e, em grande parte, excederam níveis pré-evento e regulatório.

Dentre os parâmetros de qualidade da água que apresentaram evidências de alteração, 30 foram definidos como de relevância por terem apresentado alterações mais persistentes e/ou recorrentes, com destaque para alumínio dissolvido, arsênio total, cor verdadeira, cromo total, DQO, ferro dissolvido, fósforo total, manganês total, sólidos suspensos totais, turbidez e zinco total.

Dentre os parâmetros de qualidade de sedimentos que apresentaram evidências de alteração, 12 foram definidos como de relevância por terem apresentado as alterações mais persistentes e/ou recorrentes, com destaque para arsênio total, cromo total, ferro total e manganês total.

Perguntas que o documento se propõe a responder.

A seguir, as perguntas com as respectivas respostas e ponderações levantadas no documento:

Pergunta P1: o rompimento da barragem afetou a qualidade de água e sedimentos de maneira mais intensa em áreas mais próximas à barragem de Fundão e no período imediatamente após a chegada da pluma de rejeitos ao mar? Esta pergunta inclui, adicionalmente, a comparação da qualidade de água e sedimentos entre o período chuvoso de 2015-2016 e o de 2016-2017. A qualidade no período chuvoso de 2016-2017 melhorou em comparação com período chuvoso de 2015-2016?

Segundo o Relatório, o rompimento da barragem afetou a qualidade de água de maneira mais intensa em áreas mais próximas à barragem de Fundão e no período imediatamente após a chegada da pluma de rejeitos no mar, respondendo positivamente à Pergunta 1. Na estação chuvosa de 2016-2017 as alterações tenderam a ser menos acentuadas do que em 2015-2016, com excedências menos frequentes aos níveis regulatórios e pré-evento.

Para a qualidade de sedimentos, os resultados não corroboram o padrão de variação espaço-temporal apontado na pergunta P1. Embora o rompimento da barragem tenha resultado em distúrbios

nos sedimentos e na deposição de materiais ao longo do rio Doce, alterações na qualidade de sedimentos não foram tão claras quanto as observadas para a qualidade de água.

Em termos espaciais, há uma tendência a maiores concentrações no curso intermediário do rio Doce, especialmente em Ipatinga e Governador Valadares.

Em termos temporais, três padrões de variação foram verificados após a elevação inicial observada logo após a passagem da onda de rejeitos e o período chuvoso subsequente: (1) manutenção ou elevação dos níveis de concentração nos períodos seguintes; (2) Redução gradativa ao longo do tempo; e (3) redução durante a estação seca de 2016, seguida de nova elevação na estação chuvosa de 2016-2017, quando as concentrações tendem a ser mais baixas ou similares às observadas na estação chuvosa de 2015-2016.

Pergunta (P2): “a qualidade de água no rio Doce é dependente da vazão?”

Tomando como base a Turbidez como parâmetro indicador, a qualidade de água se mostrou dependente da vazão do rio Doce, apresentando tendência de piora em função do aumento da vazão. Em particular, a relação de dependência da qualidade de água na vazão do rio Doce tornou-se menos acentuada no período chuvoso de 2016-2017 em comparação ao período chuvoso de 2015-2016.

Pergunta 3 (P3): “a concentração de metais nos sedimentos é mais elevada em áreas onde a concentração de sedimentos finos é maior?”

Os parâmetros de qualidade de sedimentos apresentaram, de forma geral, correlação positiva com os teores de sedimentos finos (silte e argila), que tendem a se enquadrar nos mesmos padrões de variação temporal descritos acima.

Relevância dos dados e informações para os estudos de ARSH

Para os estudos de ARSH, quando considerados de relevância na realização da etapa “Contaminantes de Interesse”, serão avaliados principalmente os pontos de amostragem próximos às áreas de maior impactação, preferencialmente aqueles correlacionáveis com pontos amostrados pela equipe de ARSH da Ambios.

No entanto, apesar da riqueza de dados e informações, em função dos diferentes procedimentos de amostragem entre a amostragem ambiental dos estudos de ARSH (água superficial em pontos de menor velocidade de fluxo das águas; e dos sedimento em pontos com as mesmas características, ou seja, onde ocorre preferencialmente o material particulado suspenso mais fino, com maior adsorvidade dos contaminantes metálicos) e os empregados por estudos visando a dimensão

do impacto ambiental, os dados e informações contidos nesses Relatórios poderão – à critério da equipe de ARSH – ser usados (ou não) de forma orientativa de tendências qualitativas, desde que ajudem a caracterizar rotas de exposição humana aos contaminantes. A avaliação dessas informações pela equipe de ARSH ocorre sempre sob o conceito de pior cenário levando em consideração as maiores concentrações dos contaminantes encontrados em cada ponto de amostragem.

Com relação aos valores de referência utilizados, no caso dos sedimentos, a equipe de ARSH também utilizará os parâmetros inorgânicos listados na Resolução CONAMA 454/212, apesar de sua limitação de aplicação na avaliação de sedimentos a serem dragados de corpos de água. Por outro lado, em relação aos valores de referência das águas, a equipe de ARSH utilizará sempre o padrão de qualidade de água para consumo humano da Portaria de consolidação nº 05 de 2017 – Ministério da Saúde.

Por outro lado, mesmo levando em consideração que os estudos de ARSH não têm como objetivo a determinação do “nexo causal”, os resultados desse Estudo (RT-046_159-515-2282_00) assinalam claramente o aumento extraordinário nas concentrações de contaminantes metálicos nos compartimentos hídricos após a passagem e deposição no rio, margens e áreas de várzea da lama de rejeito provocada pelo rompimento da barragem da Samarco em Mariana.

Os resultados também demonstram que a afirmativa sobre a inércia na mobilização dos metais pesados contidos na lama de rejeito estava equivocada.

Por outro lado, o que não se assinala nesse Estudo e que a equipe de ARSH obrigatoriamente tem que considerar, principalmente quando avalia possíveis rotas de exposição humana futura aos contaminantes, são os seguintes fatores:

- Os metais pesados tóxicos contidos na lama de rejeito, diferente dos contaminantes orgânicos, “não somem” após sua emissão para o ambiente;

- Não se considerou nesse Estudo (RT-046_159-515-2282_00) a dinâmica ambiental determinada pelos mecanismos de transporte que podem se apresentar de forma diversificada nos diversos segmentos ao longo da bacia do Rio Doce e, em decorrência também de fenômenos naturais sazonais com capacidade de remobilização dos componentes da lama de rejeito, podem originar locais e momentos de enriquecimento e biodisponibilização de metais pesados, originando potenciais rotas;

- Não se considerou nesse Estudo, principalmente se for levado em consideração o médio e longo prazo, fatores como a atividade microbiana, com ênfase na sua ocorrência, como exemplo, no ambiente estuarino; e

- Não se considerou a relevância de mudanças nas condições de oxirredução na liberação dos metais-traço (inclusive os metais pesados, tóxicos), passível de ocorrência em determinadas áreas de acúmulo de matéria orgânica, como em áreas de remanso ao longo da bacia do Rio Doce e, principalmente, na região estuarina quando da ocorrência de forte revolvimento do seu fundo durante cheias e enxurradas.

METAIS EM ORGANISMOS AQUÁTICOS**Quantificação de metais e arsênio nos organismos coletados durante o programa de monitoramento da ictiofauna do Rio Doce nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo – relatório 1/revisão 1, Março/2018. (RENOVA, 2018).**

O Relatório assinala a coleta de 96 peixes durante a 6ª e 7ª campanhas (outubro e novembro de 2017) do Programa de monitoramento da ictiofauna do rio Doce nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. As amostras coletadas foram analisadas para a determinação de arsênio (As), ferro (Fe), alumínio (Al), cádmio (Cd), cromo (Cr), chumbo (Pb), cobre (Cu), manganês (Mn), mercúrio (Hg), níquel (Ni), prata (Ag) e zinco (Zn) em tecido muscular dos peixes. As amostras foram obtidas tanto de peixes coletados em locais afetados pelo rompimento da Barragem de Fundão (calha do rio Doce) quanto de peixes coletados em locais não-afetados (afluentes do rio Doce).

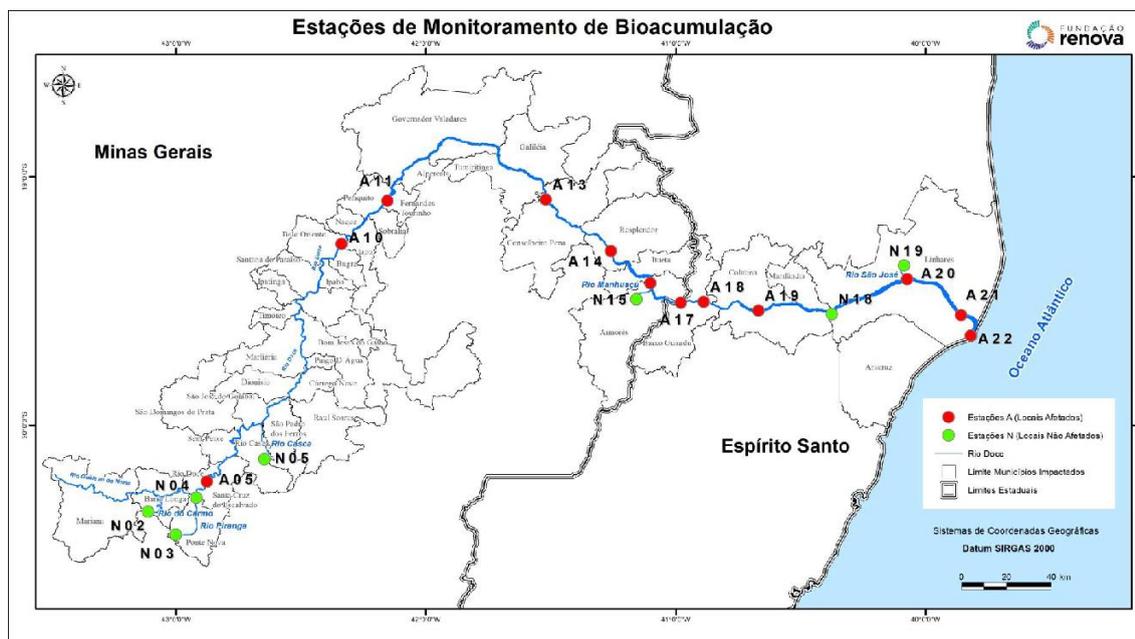
Os elementos As, Cd, Pb, Ag e Cr se apresentavam, abaixo do Limite de Quantificação (LQP) do método aplicado, em todos os pontos, durante as campanhas amostradas. O Ni, o Hg e o Mn foram raros, enquanto o Fe, Al e Cu foram pouco frequentes nas amostras. Somente o Zn foi abundante ao se revelar presente em todas as amostras. Para Zn, Al, Mn e Cu, os maiores valores foram encontrados em amostras oriundas de estações classificadas como “não-afetadas”; para Hg, Ni e Fe, os maiores valores foram de amostras oriundas de estações “afetadas”.

Os 96 indivíduos amostrados pertencem a 26 espécies diferentes. O Relatório assinala a distribuição destas amostras por espécie ao longo das 19 estações de amostragem para as quais foram capturados exemplares em condições de análise (íntegros, de segura identificação taxonômica e de tamanho igual ou superior a 15 cm).

Nenhuma amostra ultrapassou os limites impostos pela Resolução RDC nº 42/2013 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para os elementos As, Cd, Pb e Hg. Assim, o consumo deste pescado, em tese, não ofereceria risco à saúde humana.

Contudo, enfatizam os autores do estudo, “se mostra necessário a ampliação do número amostral de forma a possibilitar análises mais representativas em termos de abrangência geográfica, quantidade por espécie e quantidade por estação de amostragem, além de estender a avaliação de risco para analitos não legislados pela referida Resolução, para dirimir a questão da segurança de consumo do pescado oriundo do rio Doce.”

O mapa abaixo assinala os pontos de amostragem.



Fonte: Fundação Renova

Como maior destaque em relação à concentração de metal encontrada em amostras de peixes, esse Relatório destaca o zinco, encontrado em todas as 96 amostras das 19 estações de amostragem. Os dois maiores valores de concentração de Zn foram encontrados em estações não-afetadas: a N19, com 8,99 mg/kg em um exemplar de *Oreochromis niloticus* (tilápia), o mesmo exemplar que apresentou o maior valor de Cu); e a estação N15, com 8,48 mg/kg em um exemplar de *Leporinus steindachneri* (piauí).

A estação afetada que apresentou maior valor para Zn foi A22, correspondente a um exemplar de *Genidens genidens* (bagre-caçari), com 7,14 mg/kg. Outro exemplar de *G. genidens* foi amostrado em A22 e apresentou concentração de Zn de 5,53 mg/kg.

Maiores valores dos elementos Hg, Ni e Fe foram encontrados em estações classificadas como afetadas. Apesar do encontro de Hg em estação afetada, a concentração quantificada encontra-se abaixo do limite máximo para consumo humano estipulado pela Resolução RDC ANVISA nº 42/2013.

Relevância dos dados e informações para os estudos de ARSH

A avaliação sobre a possibilidade de existência de uma rota de exposição pelo consumo de organismos comestíveis provenientes de ambientes aquáticos com evidências de contaminação por metais tóxicos é de grande importância nos estudos de ARSH.

Em relação aos dados relativos às etapas de Mariana, Barra Longa e Linhares, já tecemos comentários a respeito. Em relação a outras etapas nas fases II e III dos estudos de ARSH, na ocasião devida, avaliaremos a possibilidade de validação dos dados, preferencialmente de amostragens mais recentes considerando a época de nossos estudos. No entanto, esse Relatório apresenta algumas lacunas quando avaliado sob a perspectiva de ARSH. Maiores observações e avaliações sobre os resultados desse Relatório poderão ser revistas durante a Etapa “Contaminantes de Interesse dos estudos de ARSH.

Avaliação de elementos químicos em peixes na área de influência do acidente com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, Mariana, Mg. Trecho do Rio Doce – ES. Fevereiro 2016. (ACQUA, 2016).

Esse Documento assinala que a bioacumulação é influenciada por diversos fatores, sejam eles físicos, químicos e do próprio desenvolvimento e fisiologia dos organismos expostos. Adicionalmente, afirma que a biodisponibilidade do elemento químico no meio é outro fato determinante para que a transferência para os organismos se processe. De forma geral, elementos traço podem expressar toxicidade de forma aguda (imediate) ou crônica (em longo prazo).

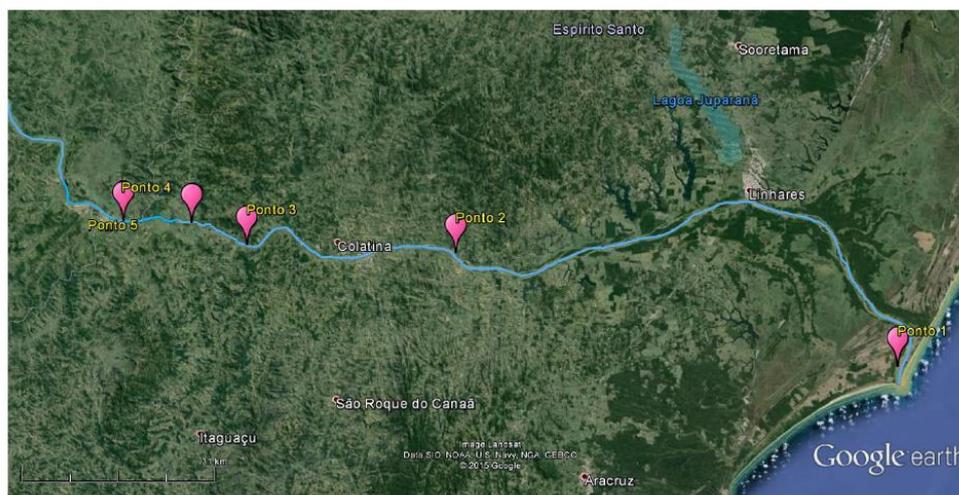
Tendo como base o exposto acima, o programa de avaliação da acumulação de elementos químicos em peixes após o acidente com o rompimento da barragem de rejeitos da Samarco, de Fundão, em Mariana-MG, abrange o trecho do rio Doce no Estado do Espírito Santo. Os exemplares foram obtidos na área diretamente afetada, incluindo os períodos pré e pós-passage da pluma de sedimentos.

Foram avaliadas espécies diversas de diferentes hábitos alimentares (piscívoro, inertívoro, onívoro, detrívoro). Em relação à obtenção de amostras, foram separados filé, fígado e brânquias que mostram excelentes resultados como partes acumuladoras dos mais variados elementos químicos. Os elementos químicos investigados foram cádmio, zinco, chumbo, arsênio, cromo, ferro, níquel, alumínio, manganês, mercúrio e cobre.

Os resultados analíticos obtidos com base na matéria úmida em mg/kg foram avaliados utilizando os valores de referência para alimentos (ANVISA), quando disponíveis, ou para “outros alimentos” como forma de ter um direcionamento e não como limites restritivos para os elementos em questão.

Nesse Estudo, concentrações em partes não empregadas na alimentação humana, como fígado e brânquias, não possuem valores máximos determinados na legislação, sendo considerados somente como valores orientativos.

O mapa abaixo assinala os pontos de coleta distribuídos ao longo da área de avaliação.



Pontos de coleta distribuídos ao longo da área de avaliação

Relevância desse estudo para ARSH:

A avaliação sobre a possibilidade de existência de uma rota de exposição pelo consumo de organismos comestíveis provenientes de ambientes aquáticos com evidências de contaminação por metais tóxicos é de grande importância nos estudos de ARSH.

No entanto, esse Relatório apresenta algumas lacunas quando avaliado sob a perspectiva de ARSH. Maiores observações e avaliações sobre os resultados desse Relatório poderão ser revistas durante a Etapa “Contaminantes de Interesse dos estudos de ARSH na etapa Linhares da Fase I.

Assim, algumas observações preliminares são as seguintes:

Apesar de conhecido o fato de que as concentrações de metais pesados em peixes dependem de forma decisiva, além de seus hábitos alimentares (carnívoros, omnívoros, etc), do peso, indicativo também da idade (e tempo de permanência e de exposição na área) essas informações não estão disponíveis e, portanto, **não permitem** uma avaliação dos resultados desse Relatório nem sua utilização como base para a definição de rotas de exposição por ingestão de pescados.

Análise de bioacumulação de metais em tecido de moluscos - Relatório técnico nº 274/2017 – revisão 00. (APLYSIA, 2017)

A análise de bioacumulação de metais em tecido de moluscos no rio Doce antes da passagem da pluma de turbidez provocada pelos rejeitos do rompimento da barragem de Fundão da Samarco é um importante dado para comparações futuras. Segundo esse Relatório, a amostra formada por cem moluscos bivalves do gênero *Corbicula* foi coletada no dia 8 de novembro de 2015 em Colatina, num ponto de amostragem da Fundação Renova denominado “Colatina Montante”.

O mapa a seguir assinala o local nas proximidades da cidade de Colatina onde foram coletadas as amostras dos moluscos bivalves.



Mapa com localização do ponto de amostragem dos moluscos

Fonte: Fundação Renova

Como assinalado no Relatório, os moluscos bivalves são organismos filtradores que acumulam em seus tecidos compostos presentes no ambiente, filtram grandes volumes de água e apresentam capacidade de bioacumular poluentes a taxas de mil a dez mil vezes a concentração encontrada na água. Contaminantes que entram nos ecossistemas aquáticos e se acumulam em vários organismos podem ser transferidos a um nível trófico mais elevado através da cadeia alimentar podendo alcançar os humanos.

Os resultados obtidos foram comparados aos padrões estabelecidos pela Resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária 42/2013, do Decreto nº55.871/1965 e critérios internacionais

estabelecidos pela Comunidade Europeia por meio da Comissão Regulamentadora nº 1881/2006. Observa-se que somente os parâmetros ferro e manganês não dispõem de valores de referência.

Segundo dados desse Estudo, os parâmetros arsênio (7,13 mg/Kg), cromo (1,9 mg/Kg) e zinco (54 mg/Kg) apresentavam concentrações acima dos valores de referência antes dos impactos provocados pela lama de rejeitos em decorrência do rompimento da barragem de Fundão da Samarco.

Relevância dos dados e informações para os estudos de ARSH

Esses dados serão avaliados para utilização nos estudos de ARSH, como referência na etapa “Contaminantes de Interesse” dos estudos de ARSH na etapa Linhares. Os dados desse Estudo serão melhor avaliados e validados antes de sua inclusão como dado de referência no Relatório final de ARSH referente à Etapa Linhares da Fase I.

Monitoramento Hidrográfico na Plataforma Adjacente à Foz do Rio Doce, nas Proximidades de Regência, ES. (AMBILEV, 2015).

Este relatório apresenta os resultados das campanhas oceanográficas realizadas na plataforma continental ao largo da desembocadura do Rio Doce no período de 22 de dezembro de 2015 até 2 de fevereiro de 2016, tendo como objetivo rastrear a dispersão da pluma de sedimentos do Rio Doce. O relatório apresenta a descrição geral dos resultados e uma análise preliminar entre as características hidrográficas observadas com as variáveis determinantes locais, como marés, vento, correntes e descarga fluvial.

Os principais resultados apresentados neste relatório são:

- 1) A maioria dos levantamentos foi realizada em condições similares de vento e correntes;
- 2) Os 13 primeiros levantamentos foram realizados em condições de baixa descarga fluvial, enquanto que os 3 últimos foram realizados em condições de descarga fluvial elevada;
- 3) A presença da pluma fluvial do Rio Doce ocorre em uma escala espacial muito próxima da desembocadura, e sua evolução ocorre preferencialmente para o sul, afastando-se da costa;
- 4) A contribuição fluvial do Rio Doce na área de estudo representa cerca de 2% de todo o volume amostral; e

5) As massas de água dominantes, em proporções equivalentes, são a Água Tropical e a Água Central do Atlântico Sul.

Dados hidrográficos (salinidade, temperatura, turbidez, clorofila e oxigênio dissolvido) foram registrados em perfis verticais na coluna de água em estações amostrais ordenadas em três seções orientadas aproximadamente ortogonais à linha de costa, no período de 22 de dezembro de 2015 até 2 de fevereiro de 2016. As seções são denominadas de seção norte (SN), seção central (SC) e seção sul (SS). Na SN foram planejadas 14 estações amostrais, 19 estações na SC e 25 estações na SS. Próximo da costa, a distância entre as estações foi de 500 m, e afastando da costa aumenta a distância entre estações para 1 e 2 km.

Foram realizadas 16 campanhas, sendo campanhas diárias no período de 22 até 29 de dezembro de 2015, e a partir desta data até o dia 11 de janeiro de 2016 as campanhas foram realizadas com intervalos de dois dias (faltando a do dia 5 de janeiro devido ao mau tempo). Houve uma interrupção das campanhas entre os dias 11 e 29 de janeiro, retornando o padrão até o dia 2 de fevereiro de 2016. Destas, 11 campanhas concluíram as três seções. A campanha realizada no dia 23 de dezembro foi realizada seguindo um programa diferente, repetindo a SC quatro vezes durante o dia para verificar a possível variabilidade da maré sobre a hidrografia.

“Levantamento ambiental expedito em Regência/ES” -Relatório de levantamento Hidroceanográfico - Marinha do Brasil - Navio de pesquisa hidroceanográfico “Vital de Oliveira”. Relatório finalLH-035/15. (MARINHA DO BRASIL, 2015).

Em cumprimento à Instrução Especial Simplificada LH 035/15, o navio iniciou o Levantamento Ambiental Expedito (LAE) em Regência, no Estado do Espírito Santo, na condição de navio escoteiro, no período de 26/11 a 05/12/2015, na região litorânea do Estado do Espírito Santo, próximo à foz do Rio Doce, na localidade de Regência.

A missão do navio era efetuar um levantamento das condições hidrobiológicas na região litorânea adjacente à foz do Rio Doce, por meio de coleta diária de dados hidroceanográficos e geológicos, a fim de realizar a caracterização preliminar dos danos causados na área.

As medições realizadas pelo navio, no período entre 26/11 e 05/12/2015, apresentaram grande quantidade de sedimentos de cor laranja em suspensão em toda a coluna d'água e depositando-se no fundo nas áreas próximas da foz, num raio de até 15Km para o norte e para o sul, até a isobatimétrica

de 25 metros. Ressalta-se que não foram feitas medições nas áreas de praia, com profundidades inferiores a 10 metros, onde pode ocorrer a presença de lama além do limite aqui especificado. Observou-se também, lama em suspensão próxima ao fundo, um pouco além do limite citado acima. Por fim, foi observada “lama flutuante” na superfície da água que se estende por vários quilômetros, onde a água por baixo da “lama flutuante” estava normal, com coloração branca, indicando baixa quantidade de sedimentos.

O navio coletou, em várias posições estratégicas, distribuídas em torno da foz do rio, diversas amostras de água em diferentes profundidades e também amostras de sedimentos. Todas as amostras foram encaminhadas aos laboratórios do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) e da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), para realização de análises sofisticadas, destacando-se à referente a presença de metais.

Relevância desse estudo para ARSH:

Os dados apresentados nesse Estudo podem ser relevantes quanto aos aspectos ambientais com influência ou não na formação de rotas de exposição humana aos contaminantes carreados para a zona costeira.

No entanto, conforme já assinalado, os dados apresentados nesse Estudo, tanto na sua natureza como na sua localização, estão fora da abrangência delimitada para os estudos de ARSH.

Processamento, Interpretação e Consolidação de Dados da área Estuarina e Marinha na Foz do Rio Doce-ES. Primeiro Relatório dos Estudos realizados pela UFES contratados pela Samarco. Fevereiro 2016. (UFES, 2016)

Esse Documento tem por finalidade apresentar o relatório com a análise integrada de dados coletados entre os dias 03 e 05 de fevereiro de 2016 como parte do monitoramento da foz do Rio Doce, bem como da região marinha adjacente. O monitoramento foi realizado em resposta à notificação nº16388/série-E, feita pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA em decorrência da chegada da pluma rejeitos de mineração à região da foz do Rio doce, oriundos do desastre ocorrido em Mariana/MG em novembro de 2015. Na notificação, dirigida à Empresa SAMARCO MINERAÇÃO S\A, o IBAMA requer a caracterização sedimentológica, química, física

e biológica dos diferentes níveis da pluma de rejeitos que aporta o ambiente marinho na foz do Rio Doce.

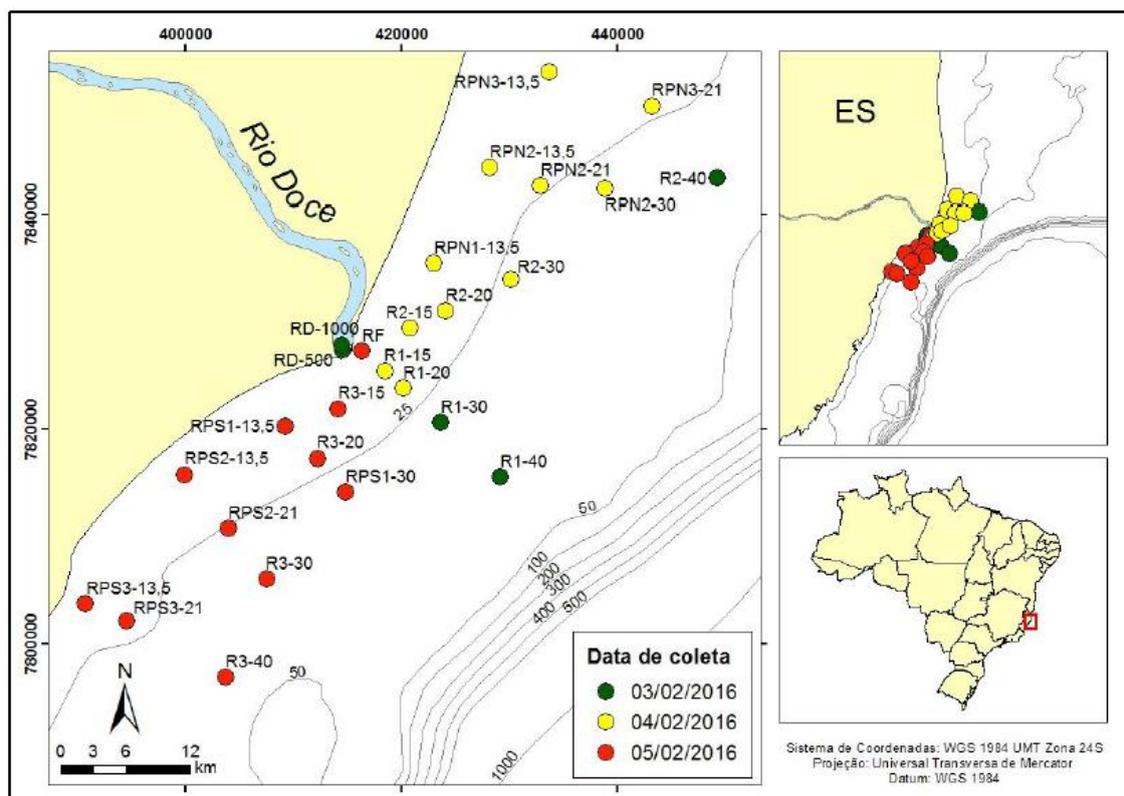
Destaca-se que nesse relatório foi feito um diagnóstico integrado a partir das análises das amostras das estações: RF- Foz do Rio Doce, RD_500 - à 500 metros da foz para o interior do Rio Doce, RD_1000 - à 1000 metros da foz para o interior do Rio Doce, R1 - 15, R1 - 20, R1 - 30, R1 - 40. Foram mostradas quais estações serão abordadas em cada um dos três relatórios mensais. O terceiro relatório apresentará uma análise completa de todas as estações coletadas nesta notificação.

Dados sedimentológicos, físicos, químicos e de comunidade biológica (fitoplâncton, zooplâncton e ictioplâncton) foram coletados ao longo de três dias dentro do canal do Rio Doce e em pontos amostrais que compõem uma radial transversal a desembocadura do rio (03 a 05 de fevereiro de 2016 - Figura 1). Os parâmetros analisados neste relatório e nos subsequentes são

- **Sedimentos** - granulometria, densidade, mineralogia e composição química de metais; e
- **Coluna de água:** material particulado em suspensão, granulometria e Mineralogia, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura, salinidade, pH, nutrientes, metais, concentração de clorofila e feofitina, além de análises qualitativa e quantitativa de Fitoplâncton, Zooplâncton e Ictioplâncton.

O Documento ressalta que não houve tempo hábil para processar os dados geoquímicos de água e sedimento. Estes resultados serão incorporados no segundo relatório.

O mapa com todas as estações de coletas dos dados analisados neste relatório e nos subsequentes é apresentado na Figura abaixo:



Localização das estações de coletas dos dados analisados neste relatório e nos relatórios subsequentes.

Principais resultados e avaliações

A análise integrada dos dados de nutrientes, material particulado em suspensão (MPS) e das comunidades biológicas mostrou uma forte influência dos nutrientes na comunidade biológica, e esta por sua vez contribuindo fortemente na distribuição de MPS.

Observou-se que dentre as estações analisadas neste relatório, as maiores concentrações de nutrientes foram encontradas nas duas estações localizadas no interior do Rio Doce (RD_500 e RD_1000), com os maiores valores sendo de ortofosfato, nitrato e silício. Para ortofosfato e silício as amostras junto ao fundo apresentaram maiores concentrações que as amostras em sub superfície, e para nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrito, as amostras junto ao fundo apresentaram menores concentrações que as amostras em sub superfície.

A elevada concentração de nutriente junto ao fundo na estação RD_500 foi acompanhada pelo pico de fitoplâncton (2145 organismos•mL⁻¹) junto ao fundo nesta estação, que por sua vez também contribuiu para a elevada concentração de MPS junto ao fundo.

Além do aporte de nutrientes, a maior densidade numérica de fitoplâncton junto ao fundo pode também ter sido devido à maior mistura entre as camadas de água e à baixa profundidade que permitiu que a luz alcançasse o fundo. Nesta estação, também é observado um elevado valor de MPS em superfície, o qual tem sido atribuído majoritariamente ao sedimento, visto que baixos valores de densidade numérica de fitoplâncton e de abundância de zooplâncton foram encontrados.

As altas concentrações de nutrientes e a consequente resposta biológica dentro do estuário devem estar associadas ao aumento de vazão do Rio Doce que antecedeu o período de coleta. A maior vazão do rio propiciou o carreamento de uma carga maior de nutrientes provenientes das porções a montante da foz do rio, além de ter favorecido o aumento da ressuspensão de nutrientes que estavam no leito do rio. Os parâmetros analisados neste relatório e nos subsequentes são:

- Sedimentos: granulometria, densidade e mineralogia, composição química de metais; e
- Coluna de água: material particulado em suspensão, granulometria e mineralogia, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura, salinidade, pH, nutrientes, metais, concentração de clorofila a e feofitina, e análises qualitativa e quantitativa de Fitoplâncton, Zooplâncton e Ictioplâncton.

Relevância desses estudos para ARSH:

Apesar de ser um estudo de caracterização eco-ambiental, o estudo apresenta alguns dados sobre água e sedimentos na foz do rio Doce que poderão ser considerados durante a etapa “Contaminantes de Interesse” dos estudos de ARSH em Linhares na Fase I.

Há de se salientar, entretanto, a confirmação sobre eventos de ressuspensão ocasional do material de fundo na zona estuarina.

Concentrações de arsênio, zinco e selênio na costa próximas à foz do rio Doce. Golder Associates Ltda, Maio 2016. (GOLDER, 2016b)

Qualidade de água e do sedimento na zona costeira próxima à foz do rio Doce e na APA Costa das Algas. Relatório Técnico, Golder Associates Ltda. (GOLDER, 2016a)

Esse Documento assinala como objetivo principal avaliar os possíveis impactos do rompimento da barragem de Fundão na qualidade de águas e sedimentos na zona costeira na região próxima à foz

do rio Doce, incluindo dentro dos limites da APA Costa das Algas, com base em dados do programa de monitoramento realizado pela Samarco. Esse Documento apresenta ainda os seguintes objetivos específicos:

- Identificar e avaliara as variações temporais e espaciais dos parâmetros de qualidade que mais excederam os limites definidos na Resolução CONAMA 454/2012; e
- Identificar e avaliara as variações temporais e espaciais dos parâmetros de qualidade que mais excederam os limites definidos na Resolução CONAMA e daqueles que poderão ser utilizados como indicadores de movimentação da pluma de sedimentos contendo rejeitos.

Resumo sobre qualidade da água e sedimentos relativos aos limites das Resoluções CONAMA na zona costeira após rompimento da barragem de rejeitos de Fundão. Relatório Técnico. Golder Associates Ltda. Julho 2016. (GOLDER, 2016c)

Relevância desses estudos para ARSH:

Esses Documentos não apresentam maior relevância para os estudos de ARSH. Há de se salientar, como já comentado para Estudos similares sobre a caracterização ambiental, principalmente quanto à avaliação da qualidade de água e sedimento, que os preceitos usados na amostragem desses compartimentos ambientais diferem daqueles utilizados nos estudos de ARSH e, desta forma, não são de utilização naqueles estudos.

Atualização da qualidade da água e sedimento na zona costeira após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão. Golder Associates Ltda, Maio, 2016. (GOLDER, 2016d)

O relatório inclui um resumo da qualidade da água na zona costeira próximo à foz do rio Doce após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão tendo como base informações disponíveis a partir de amostras coletadas em novembro e dezembro de 2015.

Relevância desse estudo para ARSH:

Esse Documento não apresenta maior relevância para os estudos de ARSH.

Relatório do cruzeiro de avaliação de efeitos da pluma de sedimentos oriunda da foz do rio doce sobre a biota marinha, a partir do norte do Espírito Santo ao sul da Bahia. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio17/02/2016. (ICMBIO, 2016a)

Relatório da segunda expedição para avaliação dos efeitos da pluma de sedimentos oriunda da foz do Rio Doces obre o ambiente marinho no Estado do Espírito Santo ao sul da Bahia. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. Maio 2016 (ICMBIO, 2016b).

Esses Documentos apresentam relatos sobre o cruzeiro de pesquisa e monitoramento realizado a bordo do Navio de Pesquisa Soloncy Moura - CEPsul/ICMBio para avaliação de possíveis impactos negativos sobre a biodiversidade marinha, gerados pelos sedimentos oriundos do desastre ambiental ocasionado pelo rompimento de barragens de contenção de rejeitos de extração de ferro da empresa SAMARCO. Foram estudadas as áreas de Unidades de Conservação e seu entorno e áreas foco de planos de ação, entre o norte do Espírito Santo e o sul da Bahia, Mariana - MG.

Relevância desses estudos para ARSH:

Esse Documento não apresenta maior relevância para os estudos de ARSH.

Monitoramento ambiental dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema de praia (REBIO COMBOIOS). 3ª CAMPANHA. Relatório Técnico 1763/2016. Realizado pela empresa APLYSIA Soluções Ambientais sob contratação da Samarco. (APLYSIA, 2016)

O Documento assinala o emprego de uma técnica muito difundida em estudos estuarinos para indicar processos e comportamento de mistura não conservativos, como é o caso do deslocamento ao longo do Rio Doce de uma pluma de turbidez gerada pela disposição de rejeitos de mineração.

O texto refere-se ao terceiro relatório, em que são descritas as metodologias de coleta e análise dos dados, bem como apresentados os resultados da terceira campanha de monitoramento, considerando o período retroativo (primeira e segunda campanhas).

O estudo teve por objetivos avaliar se a pluma dos rejeitos da Samarco penetrou no sedimento da praia na região da REBIO Comboios e se alterou as características físicas, químicas e biológicas.

Relevância desse estudo para ARSH: Esse Documento não apresenta maior relevância para os estudos de ARSH.

Estudos contratados pela Samarco e realizados pela FAURG – Fundação de Apoio à Universidade do Rio Grande

Relatório Técnico-Científico. Etapa 1. Análise de Contaminantes (Metais) - Contrato 105/2016 (FAURG, 2016a)

Nesse estudo foram coletadas e analisadas amostras ambientais e biológicas visando a avaliação e monitoramento dos possíveis impactos negativos sobre a biodiversidade marinha, com especial referência a áreas de Unidades de Conservação e seu entorno e áreas foco de planos de ação entre o Norte do Espírito Santo e o Sul da Bahia, gerados pelos sedimentos oriundos do desastre ambiental ocasionado pelo rompimento de barragens de contenção de rejeitos de extração de ferro da empresa Samarco, em Mariana (MG).

As áreas de amostragem compreenderam pontos de coleta ao longo do litoral do norte do Espírito Santo até o sul da Bahia, incluindo ambientes recifais coralíneos e algais.

As distintas áreas de amostragens compreenderam: Vitória/ES (2 estações de coleta); BarraNova - São Mateus/ES (2 estações de coleta); Região de Abrolhos (3 estações de coleta); Ituanas – Conceição da Barra/ES (2 estações de coleta); Degredo – Linhares/ES (2 estações de coleta); Foz do Rio Doce – Linhares/ES (6 estações de coleta); APA Costa das Algas e REVIS de Santa Cruz – Aracruz/ES: (2 estações de coleta); APA de Setiba -Guarapari/ES (2 estações de coleta). As amostragens foram realizadas no período de 19 a 27/04/2016 com o apoio do Navio de Pesquisa Soloncy Moura do ICMBio.

Relevância desse Estudo para ARSH.

De natureza eminentemente eco ambiental, esse Estudo não apresenta relevância para a ARSH.

Relatório Técnico-Científico. Etapa 1. Análise de Contaminantes (Metais) - Contrato 105/2016 (FAURG, 2016a)

Nesse estudo foram coletadas e analisadas amostras ambientais e biológicas visando a avaliação e monitoramento dos possíveis impactos negativos sobre a biodiversidade marinha, com especial referência a áreas de Unidades de Conservação e seu entorno e áreas foco de planos de ação entre o

Norte do Espírito Santo e o Sul da Bahia, gerados pelos sedimentos oriundos do desastre ambiental ocasionado pelo rompimento de barragens de contenção de rejeitos de extração de ferro da empresa Samarco, em Mariana (MG).

Em cada ponto de coleta foram obtidos os dados comuns, utilizados para controlar os lances, tais como coordenadas geográficas (datum WGS 84) e profundidade que foi realizada a amostragem. Em todos os pontos foram coletadas amostras de água (superfície e fundo) para a análise das concentrações de metais (total e dissolvido). Com o objetivo de avaliar possíveis efeitos fisiológicos decorrentes da contaminação da água por metais e consequente acumulação desses metais nos organismos de diferentes níveis tróficos e diferentes habitat, foram realizadas coletas de zooplâncton, crustáceos, peixes e corais. O material biológico coletado foi triado, processado a bordo e armazenado em nitrogênio líquido para posterior análise em laboratório da concentração de metais (corporal ou tecidual), bem como da resposta de biomarcadores selecionados.

As análises das concentrações de metais nas amostras de água e do material biológico (indivíduos inteiros ou músculo) foram realizadas utilizando-se forno de grafite acoplado a espectrômetro de absorção atômica de alta resolução com fonte contínua (HR-CS-AAS; ContrAA 700 Analytik Jena, Alemanha).

As amostras de material biológico foram previamente secas em estufa (45-60°C) até peso seco constante e digeridas em ácido nítrico (HNO₃) ultrapuro (Suprapur, Merck, Darmstadt, Alemanha) na proporção de 1 g de peso seco de material biológico para 2 mL de ácido nítrico. O teor de água nas amostras foi de 84,6 ± 7,6% para o zooplâncton, de 75,1 ± 3,5% para o músculo dos camarões e de 79, ± 4,1% para o músculo dos peixes. As amostras foram então submetidas a digestão ácida em tubos plásticos tipo *Eppendorf* devidamente lacrados e mantidos em estufa incubadora (45-60°C) até sua completa digestão. As amostras de material biológico digerido foram avolumadas a 1 mL com água tipo Milli-Q. Imediatamente antes da análise da concentração dos metais, as amostras foram diluídas utilizando-se água tipo Milli-Q. As concentrações dos metais no material biológico foram expressas em µg/g de peso úmido (mg/kg de peso úmido).

Os resultados indicam que apenas 2 amostras de ovela (5,7%), 1 amostra de pescada (7,1%) e 1 amostra de camarão branco (3,4%) apresentaram níveis de arsênio acima do permitido pela legislação vigente (1,00 mg/kg), representando 0,8% do total de amostras de pescados analisadas. Além disso, apenas 1 amostra de camarão rosa (1,3%) apresentou nível de Chumbo acima do permitido pela

legislação vigente (0,50 mg/kg), representando 0,2% das amostras de pescado analisadas. Todas as demais amostras de peixes e camarões apresentaram níveis de arsênio, cádmio e chumbo **em conformidade** com a legislação vigente.

Relevância desse Estudo para ARSH.

As determinações de metais em organismos marinhos comestíveis poderiam ser de interesse para os estudos de ARSH, mesmo que limitadas pela área de captura desses organismos. No entanto, considerando que não há o peso de cada espécie avaliada no Documento, a sua utilização para os estudos de ARSH fica impossibilitada. Os demais componentes desse Documento são de natureza eminentemente eco ambiental e, como tal, não apresenta relevância para a ARSH.

Etapa 2. Análise sobre as possibilidades de contaminação do Parque Nacional Marinho de Abrolhos e regiões relacionadas. (FAURG, 2016a, p 27)

Esse relatório visa descrever sucintamente a atividade de monitoração oceânica para o parâmetro Sólidos Totais em Suspensão, na região do Parque Nacional dos Abrolhos-BA, considerando sua importância ecológica, diante do desastre ocorrido em Mariana-MG, com graves consequências para os ecossistemas costeiros. É importante ressaltar, que a interpretação da dispersão de plumas de sedimentos em áreas costeiras por sensoriamento remoto muitas vezes não elucida suficientemente a questão da dispersão em si, visto que há carência em estudos voltados para a calibração das imagens e o fato da turbidez ser um parâmetro de alta complexidade regional. O estudo de caso abordado aqui se refere ao evento de 6 de fevereiro 2016 quando ocorreu a predominância de vento sul no litoral do Espírito Santo transportando parte da pluma de sedimentos no sentido norte, em direção ao Parque Nacional dos Abrolhos-BA.

Relevância desse Estudo para ARSH.

De natureza eminentemente eco ambiental, esse Estudo não apresenta relevância para a ARSH.

Etapa 5. Análise comparativa sobre os resultados entre as expedições Soloncy Moura I e II e as amostras coletadas antes do evento. (FAURG, 2016b)

Esse relatório dá continuidade aos resultados apresentados anteriormente relativos às etapas 1, 2, 3 e 4 do contrato 105/2016 entre o FUNBIO e a FAURG. Nesta etapa, o objetivo principal foi realizar uma análise comparativa entre os resultados de contaminação por metais obtidos nas amostras de água e de peixes coletadas antes da chegada da lama oriunda do rompimento da barragem de Fundão em Mariana (MG) e após a chegada desta lama na Foz do Rio Doce na costa do Espírito Santo.

Nesse estudo foram coletadas e analisadas amostras de água e biológicas visando à avaliação e monitoramento dos possíveis impactos negativos sobre a biodiversidade marinha, com especial referência a áreas de Unidades de Conservação e seu entorno e áreas foco de planos de ação entre o Norte do Espírito Santo e o Sul da Bahia, gerados pelos sedimentos oriundos do desastre ambiental ocasionado pelo rompimento de barragens de contenção de rejeitos de extração de ferro da empresa Samarco, em Mariana (MG).

As áreas de amostragem compreenderam pontos de coleta no estuário e foz do Rio Doce. As amostras de água foram realizadas nos dias 20/11/2015, 28/01/2016 e 24/04/2016. As amostras de pescadas foram coletadas em outubro de 2015, 28/01/2016 e 24/04/2016. Por sua vez, as amostras das demais espécies de peixes foram coletadas no período de 19 a 23/11/2015 e de 29 e 20/06/2016.

Antes da chegada da lama no mar, foram coletadas amostras de água para a análise das concentrações totais de metais. Com o objetivo de avaliar a possível acumulação desses metais nos organismos decorrente da contaminação da água, foram realizadas coletas de diversas espécies de peixes, incluindo algumas de interesse comercial.

Foram coletadas e analisadas 113 amostras de pescada, sendo 9 amostras coletadas antes do evento (outubro/2015), 27 amostras coletadas em 28/01/2016 e 77 amostras coletadas em 24/04/2016.

Os resultados desse Estudo indicam diferentes padrões de acumulação dos metais nas amostras de músculo das pescadas analisadas. No que se refere ao Cd e ao Cr, as concentrações destes metais apresentaram um aumento significativo ao longo do tempo de amostragem. Por sua vez, as concentrações de Cu, Fe e Mn apresentaram um aumento significativo na primeira coleta após a ocorrência do evento (28/01/2016), com tendência de redução na segunda coleta após a ocorrência do

evento (24/04/2016), porém ainda apresentando concentrações superiores às aquelas observadas antes da ocorrência do evento (outubro/2015). Por fim, o Pb apresentou um padrão de acumulação diferente dos demais metais. Neste caso, não foram observadas alterações significativas nos níveis de acumulação do Pb no músculo das pescadas analisadas antes e após a ocorrência do evento.

Os resultados indicam que, de forma geral, houve um aumento significativo das concentrações dos metais no músculo e no fígado dos peixes analisados após a ocorrência do evento (29 a 30/06/2016) quando comparadas às aquelas observadas nestes tecidos antes da ocorrência do evento (19 a 23/06/2016), à exceção das concentrações de Cr no músculo e fígado e de chumbo no fígado.

Relevância desse Estudo para ARSH.

Apesar de não apresentar os critérios de avaliação requeridos para os estudos de ARSH, base para a determinação de rota de exposição pela comparação com os valores de referência, os dados assinalados nesse Estudo apresentam relevância para os estudos de ARSH e serão melhor avaliados quando da realização da etapa “Contaminantes de Interesse” em Linhares.

ESTUDOS REALIZADOS PELO ICMBio**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 CEPsul/ICMBio. INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBio (ICMBIO, 2016c)**

Ao enfatizar os problemas de poluição das zonas costeiras, o Documento assinala diversas técnicas para avaliação e monitoramento ambiental que vêm sendo empregadas, levando em consideração os aspectos físicos, químicos e biológicos dos três principais compartimentos dos ambientes aquáticos: água, sedimento e biota. Para tal, diversos grupos de organismos, tais como os crustáceos e os peixes, têm sido empregados como modelos em estudos ecotoxicológicos. Neste contexto, vale lembrar que a resposta biológica às agressões ambientais pode ser evidenciada em qualquer nível de organização, desde ecossistemas até os menores compartimentos biológicos, tais como tecidos, células e estruturas subcelulares, incluindo reações bioquímicas intracelulares (Zagatto, 2006). Se parâmetros bioquímicos forem correlacionados de forma significativa aos níveis maiores de organização, as detecções de perturbações preliminares poderão então servir como ferramenta preventiva para evitar respostas irreversíveis ao ecossistema. Desta forma, a utilização de ferramentas alternativas, como os biomarcadores, no auxílio da avaliação e monitoramento da qualidade e saúde de ambientes aquáticos vem ganhando importância e relevância. Os biomarcadores podem ser considerados como respostas bioquímicas, fisiológicas ou histológicas mensuráveis que indicam a presença de contaminantes no ambiente.

Visando a avaliação e monitoramento dos possíveis impactos negativos sobre a biodiversidade marinha, com especial referência a áreas de Unidades de Conservação e seu entorno e áreas foco de planos de ação entre o Norte do Espírito Santo e o Sul da Bahia, gerados pelos sedimentos oriundos do desastre ambiental ocasionado pelo rompimento de barragens de contenção de rejeitos de extração de ferro da empresa Samarco, em Mariana (MG), foi realizado cruzeiro de pesquisa e monitoramento com o apoio do Navio de Pesquisa Soloncy Moura do CEPsul/ICMBio.

Relevância desse Estudo para ARSH.

De natureza eminentemente eco ambiental, esse Estudo não apresenta relevância para a ARSH.

ESTUDOS REALIZADO PELA ECONSERVATION**Monitoramento de Bioacumulação (Ictiofauna, Carcinofauna e Malacofauna) por Metais, na Região Marinha Adjacente a Foz do Rio Doce e sob Possível Influência da Lama de Rejeitos Oriunda do Rompimento da Barragem de Fundão. Relatório Técnico - RT ECV 065/16 - Revisão 00 - Abril/16. (ECONSERVATION, 2016a)**

Esse relatório apresenta uma análise preliminar do Monitoramento da Bioacumulação de elementos traço, em peixes, camarões e ostras, presentes na região adjacente a foz do rio Doce, abrangendo os municípios de Linhares, São Mateus e Aracruz-ES. O monitoramento e bioacumulação contemplou a realização de coletas e análises semanais, ao longo de 2 meses (8 semanas). As discussões e considerações apresentadas neste documento fazem referência às 8 semanas de monitoramento.

Nesse Documento se assinala que muitos organismos apresentam um forte potencial para bioconcentrar níveis elevados de vários elementos traço a partir de seu ambiente. Monitorar ambientes aquáticos por meio do uso de monitores biológicos tem sido objeto de considerável interesse nos últimos anos, devido a preocupação de que os níveis de base de vários elementos, a partir das diferentes atividades humanas, podem ter efeitos prejudiciais sobre vários organismos, criar problemas em relação a sua adequação como alimento para seres humanos e gerar desequilíbrios ecológicos de curta a longa duração dependendo da taxa de exposição e da persistência deste elemento no ambiente.

Vários estudos sugerem que a maior fração de elementos traço é imobilizada nos sedimentos sob formas não biodisponíveis, levando a um decréscimo na concentração disponível para a biota. Porém, vários dos elementos traço não são considerados essenciais e, portanto, são tóxicos em baixas concentrações. Existem diferenças na toxidez destes elementos entre os organismos (ex.: vertebrados e invertebrados), assim como nas vias de entrada na cadeia alimentar costeira e um ponto fundamental nos estudos de monitoramento é conhecer a partição geoquímica destes elementos ao longo do seu transporte do continente para o oceano.

A motivação desse monitoramento foi estabelecer os níveis de alguns elementos traços para o consumo de pescados, provenientes das áreas costeiras sob possível influência da pluma de rejeitos, uma vez que a foz do rio Doce e adjacências representam uma das principais áreas de pesca artesanal

tradicional do Estado. Os elementos traço selecionados nesta etapa foram incluídos a partir de relatórios divulgados pelo IBAMA e CPRM.

A estratégia utilizada neste estudo foi avaliar as concentrações de elementos traço ao longo de um período temporal definido, nos 3 grupos mais importantes sob o ponto de vista do consumo pela população: peixes, camarões e ostras.

Primeiramente, os peixes foram escolhidos pelo enorme potencial de consumo, sendo a atividade pesqueira uma das atividades econômicas de grande importância nas regiões monitoradas e também por estarem localizados no final da cadeia alimentar aquática.

Em seguida, diante da dificuldade de obtenção de amostras, os peixes capturados foram selecionados a partir da disponibilidade no local, pois a captura em todos os momentos não foi realizada com facilidade devido a presença da pluma de rejeitos na região.

Desta forma, os peixes podem apresentar diferentes níveis de concentração, representando uma fonte potencial de transferência de elementos traço para os seres humanos por meio da alimentação.

Outros grupos importantes, os moluscos bivalves e crustáceos têm sido amplamente utilizados em estudos ambientais na qualificação e quantificação de contaminantes em seus tecidos moles. Assim como para os peixes, estes invertebrados são consumidos pela população e possuem elevada capacidade de acumulação de elementos traço. Ambos foram considerados neste monitoramento para permitir a avaliação da bioacumulação nos níveis tróficos inferiores da cadeia alimentar.

O termo “elementos traço” é amplamente reconhecido para os elementos analisados em função da sua concentração no ambiente aquático e nos organismos. Elementos traços não essenciais estão associados com poluição e toxicidade (Chumbo, Cádmio, Mercúrio, Prata e Arsênio), mas também incluem alguns elementos biologicamente essenciais em baixas concentrações como Cobalto, Cobre, Ferro, Manganês, Selênio e Zinco, pois em elevadas concentrações também desempenham caráter tóxico em várias atividades enzimáticas a nível celular e sistêmico.

Foram consideradas cinco áreas potencialmente afetadas pela dispersão da pluma de rejeitos, via foz do rio Doce, e, portanto, de interesse para investigação de bioacumulação. O período do monitoramento semanal foi de 18/12/2005 até 05/02/2016. As atividades de campo foram realizadas com a participação de pescadores locais, que indicaram as áreas de pesca normalmente utilizadas em cada uma das 5 regiões monitoradas.

Em águas costeiras de profundidade inferior a 25 metros foram realizados os levantamentos para a coleta de peixes e camarões. As regiões consideradas foram:

- Regência, separado em região costeira e interior da foz;
- Barra Seca;
- Barra Nova;
- Barra do Riacho; e
- Santa Cruz.

Na figura abaixo, encontram-se plotadas as áreas de pesca, bem como a máxima extensão da pluma de rejeitos no ambiente marinho.



Sobreposição das áreas de pesca utilizadas neste monitoramento e a máxima extensão da pluma de rejeitos, no ambiente marinho. **Fonte:** Esse Estudo

Nos estuários de Barra Seca e Santa Cruz foram incluídas as amostragens de ostras, havendo, desta forma o monitoramento de bioacumulação em ambientes estuarinos ao norte e ao sul da foz do rio Doce.

Dentre os indivíduos da ictiofauna, a seleção dos indivíduos direcionados para análise em laboratório se baseou em três critérios:

- Ser uma espécie de interesse para consumo humano;
- Apresentar, preferencialmente, tamanho comercial; e
- Selecionar representantes da ictiofauna de diferentes níveis tróficos (carnívoros, onívoros, microinvertebrados).

Desta maneira, foram selecionados os espécimes de interesse para consumo humano e cuja pesca fosse frequente, como por exemplo: Pescada, Cação, Maria-Luiza, Pescadinha, Sarda, Cavala, Bagre, entre outros.

As coletas da ostra-do-mangue (*Crassostrea rhizophorae*) foram realizadas por meio de coleta manual, diretamente nos manguezais dos estuários dos rios Piraque-açú, em Santa Cruz-ES, e rio Mariricu, em Barra Seca-ES.

Após serem coletados, os organismos triados para análise foram mantidos congelados, até a chegada ao Laboratório de Ciências Ambientais (LCA), Centro de Biociências e Biotecnologia (CBB) da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), em Campos dos Goytacazes, no estado do Rio de Janeiro.

A preparação das amostras de tecido seguiu os procedimentos estabelecidos na USEPA (2000). Todos os materiais de dissecação e homogeneização utilizados foram de aço inoxidável ou teflon. Os técnicos usaram luvas de borracha nitrílica, sem talco, e como suporte, uma placa de corte de polietileno. A placa de corte e facas foram limpas com detergente Extran (Merck), água quente aquecida, seguida por lavagens com ácido nítrico 10% (v/v), e finalmente água deionizada, além de terem sido secas em estufa.

Os tecidos musculares dos peixes foram homogeneizados por indivíduo, até se chegar a uma massa suficiente para as determinações analíticas. Os camarões e ostras seguiram os mesmos cuidados e foram separados em amostras compostas do tecido muscular devidamente homogeneizadas.

Uma fração do material úmido foi usada para a determinação dos elementos arsênio (As), ferro (Fe), alumínio (Al), bário (Ba), cádmio (Cd), cromo (Cr), chumbo (Pb), cobre (Cu), cobalto (Co), manganês (Mn), níquel (Ni), prata (Ag), selênio (Se), zinco (Zn) e mercúrio (Hg). Outra fração foi separada para determinação do teor de umidade. O Documento assinala os conteúdos médios de água e seus intervalos por espécies.

Para a determinação analítica, aproximadamente 10,0 g da amostra úmida homogeneizada foi usada para a determinação dos elementos. Inicialmente, foram adicionados 15 mL de ácido nítrico (65%) em tubos de vidro borosilicato – a temperatura ambiente durante aproximadamente 15 horas (deixado durante a noite); em seguida os tubos com dedo frio foram transferidos para o bloco digestor a temperatura inicial de 60° C, com subsequente elevação de temperatura até 120° C com solubilização total (Baseado na USEPA 1994a; JACK & ROOSE, 2002). Após filtração, as amostras tiveram um volume final aferido ácido nítrico 0,5 N em 25 mL. Os elementos foram determinados por ICP-OES Varian 720ES (USEPA, 1994b).

Para a realização das análises de bioacumulação, esse Estudo organizou as espécies capturadas por ordem filogenética, além de associá-las à distribuição, ao ambiente, habitat, associação ao fundo, grupo trófico e valor de mercado de cada uma das espécies amostradas, de acordo com a literatura especializada.

Todas as espécies possuem como área de ocorrência o ambiente marinho. Além disso, a grande maioria possui hábito demersal, exceto *L. grossidens* e as sardas *S. cavalla* e *S. regalis*, que possuem hábito pelágico, e a *ostrae* o camarão que são bentônicos.

Quanto aos grupos tróficos identificados, 12 espécies são consideradas microinvertebradas, 9 são consideradas carnívoras, 3 são piscívoras, 2 são onívoras, 1 é filtradora e 1 zoobentívora, no entanto uma espécie não foi identificada quanto ao grupo trófico. Por fim, todas possuem algum valor de mercado, mas as de maior valor comercial são pescada, pescadinha e sarda.

De acordo com o padrão de abundância absoluta baseado nas médias e medianas dos elementos determinados nos tecidos musculares, o Documento propõe a distribuição de 3 grupos, a saber:

- Grupo 1: > 1 mg/kg;
- Grupo 2: 0,01 mg/kg < Grupo 2 < 1 mg/kg; e
- Grupo 3: < 0,01 mg/kg.

Dessa forma, de acordo com os resultados obtidos, o Documento assinala a seguinte distribuição dos grupos com a relação dos contaminantes metálicos avaliados:

- **Peixes** : Grupo 1 - Al, Fe, As e Zn;
Grupo 2: Cu, Co, Mn, Ni, Ag e Se; e

Grupo 3: Ba, Cd, Cr, Pb e Hg.

- **Camarões:** Grupo 1 - Al, Fe, As, Zn, e Cu;

Grupo 2: Co, Mn, Ni, Ag e Se; e

Grupo 3: Ba, Cd, Cr, Pb e Hg.

- **Ostras:** Grupo 1 - Al, Fe, As, Cu, Mn e Zn;

Grupo 2: Co, Ni, Ag e Se; e

Grupo 3: Ba, Cd, Cr, Pb e Hg.

Principais observações/conclusões desse Estudo em relação a cada contaminante

- Arsênio

De maneira geral as concentrações de arsênio (As) se destacaram pela alta frequência de valores superiores a 1,0 mg/kg, que representa o limite máximo tolerável para consumo humano, conforme determinado nas Legislações Federais em vigor (DL 55.871/1965 e RDC ANVISA No 42/2013). Esse padrão foi identificado nos três grupos monitorados, porém com destaque nos camarões, cujos valores estiveram superiores aos demais em todas as áreas onde foi monitorado.

Nos peixes os valores de mediana oscilaram entre 0,30 mg/kg (Regência Foz) a 1,76 mg/kg (Barra Nova). Nos camarões entre 3,42 mg/kg (Santa Cruz) e 8,96 mg/kg (Regência Costeiro) e nas ostras, as medianas foram de 1,06 mg/kg e 1,59 mg/kg nas regiões de Santa Cruz e Barra Seca, respectivamente.

Citando a literatura, o Documento assinala que o As possui uma química complexa, principalmente em ambientes marinhos, onde mais de 50 tipos de compostos de As ocorrem naturalmente. Em peixes e frutos do mar o As é biocumulado e está presente na maior parte como arsenobetaína que não é considerado tóxico para o ser humano. Outro composto orgânico muito presente, principalmente em peixes com mais gorduras, é o arsenolipídio. A forma inorgânica do As, que é tóxica, também é encontrada em pescados, porém em quantidades muito pequenas.

A legislação australiana (FSANZ, 2011) e o CODEX Alimentarius (FAO/WHO, 2006) estipularam limites de As para peixes e frutos do mar baseados na fração inorgânica (mais tóxica), sendo os mesmos de 2,0 mg/kg e 0,1mg/kg em peso úmido, respectivamente. Já a legislação brasileira determina o limite de As total sem especificarem orgânico ou inorgânico. Dessa forma o fato da maioria das amostras

apresentarem concentrações acima do limite permitido, não confirma se as mesmas são, de fato, prejudiciais à saúde ou não, porém considerando dados da literatura, fica ressaltada a menor participação da fração inorgânica na concentração total deste elemento.

Outro aspecto a ser destacado são os estudos que indicam níveis de arsênio naturalmente elevados nos sedimentos costeiros do ES, entre 12 a 134 mg.kg⁻¹, nos manguezais de 6 a 49 mg.kg⁻¹ e nas praias de 9 a 43mg.kg⁻¹ (MIRLEAN et al., 2012), o que pode auxiliar no entendimento das variações deste elemento entre peixes e camarões.

No entanto, não se pode negligenciar que a quantidade de rejeitos que entraram na bacia de drenagem a partir do incidente, promoveu um aumento de material que independente das concentrações e mobilidade, promoveram alterações que devem ser acompanhadas ao longo de um período.

No momento, o acúmulo de As nos peixes capturados no interior da Foz do rio Doce exibiu as menores concentrações deste elemento em tecido muscular, ao longo das semanas monitoradas. No entanto, é importante ressaltar que devemos considerar que a transferência para estes organismos não se processa em um curto espaço de tempo, o que suscita a necessidade de um acompanhamento mais prolongado.

- Ferro

Analisando os três grupos monitorados, é possível perceber que a maior capacidade de retenção de Ferro (Fe) ocorre nas ostras, cujos valores de mediana foram de 32,8 mg/kg em Santa Cruz e de 44,8 mg/kg em Barra Seca. Os camarões vieram em seguida, com concentrações entre 13,98 mg/kg (Santa Cruz) e 28,81 mg/kg (Regência – águas costeiras). Nos peixes, a acumulação desse metal foi bem menor, com valores entre 1,09mg/kg (Barra Nova) e 2,15 mg/kg (Regência - Foz).

As Legislações Federais em vigor (DL 55.871/1965 e RDC ANVISA No 42/2013) não estabeleceram níveis máximos de Fe, em pescados, para consumo humano, muito provavelmente em decorrência da dificuldade no estabelecimento de um valor fixo, já que o Fe está presente nas rochas e minerais sendo um dos elementos químicos mais abundantes, e um nutriente essencial para todos os seres vivos.

No entanto, mesmo sendo um elemento essencial estes níveis em algum momento deverão ser estabelecidos, pois em concentrações elevadas, um elemento essencial, também possui toxicidade.

Sobre os valores encontrados em ostras, estudos realizados com mexilhão (*Perna perna*) em áreas costeiras do litoral capixaba livres de contaminação, apontam para concentrações superiores a 100 mg/kg, em peso úmido (ECONSERVATION, 2015, APLYSIA, 2011). Outro estudo realizado por Cavalcanti (2003) destaca que em ostras obtidas do canal de Santa Cruz, Itapissuma, comercializadas em Recife, sem histórico de poluição, o teor médio de Fe foi de 44,21 mg/kg de peso úmido. Desta forma, ainda que não existam limites legais para esse metal, os valores obtidos mostraram-se compatíveis aos descritos em outros estudos.

- Alumínio

O alumínio (Al) pode ser considerado um elemento bastante comum, pois está presente em quase todas as esferas da atividade humana. O alumínio é um elemento não-essencial, porém está presente no organismo humano e sua absorção pode ser através da água, alimentos e medicamentos (CÂMARA, 2011).

Camarões e ostras apresentaram as maiores concentrações de alumínio. Nos peixes os valores estiveram extremamente baixos, estando a variação mediana entre 0,37 mg/kg (Santa Cruz) a 0,79 mg/kg de peso úmido (Barra Seca). A escassez de dados na literatura sobre concentrações desse elemento em peixes costeiros dificultou uma análise mais aprofundada dos resultados.

Nos camarões, as maiores concentrações (medianas) ocorreram em Barra Seca (41 mg/kg de Peso Úmido) e em Barra do Riacho (32,8 mg/kg de Peso Úmido). Nas ostras coletadas em Santa Cruz foram encontrados os maiores valores deste elemento, com 52 mg/kg (mediana), com máximo de 146 mg/kg de Peso Úmido.

- Cádmio

O Cádmio (Cd) é um metal altamente tóxico para organismos que vivem no ambiente aquático e para todos os seres vivos, em geral. Porém, pode substituir isomorficamente o Cálcio (Ca) devido as suas características físico-químicas, mas não possuem a mesma função e, portanto, criam sérios problemas fisiológicos. Ele existe na crosta terrestre em baixas concentrações, associado geralmente ao zinco, na forma de depósito de sulfeto. Nos peixes se acumula especialmente nas brânquias e no fígado e rins. Concentrações particularmente elevadas de cádmio, 2-30g/kg de peso úmido são encontradas em moluscos e crustáceos (FAWELL et al., 1992).

O padrão temporal, verificado nos três grupos monitorados (ostras, peixes e camarões), indicou a ausência de bioacumulação para este metal. Nas ostras, foi possível observar valores medianos de

0,027mg/kg de peso úmido (Santa Cruz) e de 0,025 mg/kg de peso úmido (Barra Seca). Os valores de peixes obtidos ao longo deste período também estiveram abaixo dos descritos por Morgano et al. (2011) e Sanches Filho et al. (2013).

Todas as amostras de tecido muscular analisadas estiveram adequadas perante o limite máximo recomendado para consumo de peixes e frutos do mar, de 0,5 mg/kg de peso úmido em crustáceos, 2,0 mg/kg de peso úmido em moluscos bivalves e de 0,05 mg/kg de peso úmido em peixes (RDC ANVISA No 42/2013).

- Cromo

Cromo é um metal de transição que pode assumir diversos estados de oxidação, sendo as formas mais comuns e estáveis a trivalente Cr (III) e a hexavalente (VI), que apresentam propriedades químicas diferentes, sendo que Cr (VI) é considerada a forma mais tóxica. O Cr (VI) é a espécie predominante em águas marinhas por ser geralmente estável devido as condições elevadas de oxidação do meio, sendo acumulado nas espécies aquáticas por difusão passiva.

Os resultados apresentados neste monitoramento fazem referência à concentração total. As concentrações medianas de cromo nos peixes variaram entre 0,01 e 0,017 mg/kg de peso úmido. Ao longo do monitoramento surgiram alguns valores anômalos, que, após tratamento estatístico, foram considerados *outliers* ou extremos, como por exemplo, o valor de 1,16 mg/kg registrado em uma das amostras de ostra, coletada em Santa Cruz (6ª semana).

Nos camarões, as maiores concentrações foram observadas nos organismos coletados em Barra Seca (0,063mg/kg de peso úmido), seguido por Regência (águas costeiras), cuja mediana foi de 0,059 mg/kg de peso úmido (Figura 3.2-6). Nas ostras as concentrações em Santa Cruz estiveram entre 0,019 a 0,129 mg/kg de peso úmido, enquanto em Barra Seca entre 0,029 e 0,084 mg/kg de peso úmido.

- Chumbo

O chumbo é um elemento natural na crosta terrestre e geralmente se apresenta combinado a outros elementos. Em muitos países o chumbo faz parte de lista de substâncias tóxicas e nocivas à saúde e de listas Prioritárias de Substâncias Perigosas, sendo considerado um dos elementos de maior toxicidade na natureza. As concentrações em peixes em todas as áreas monitoradas variaram de 0,009 a 0,015 mg/kg de peso úmido; em Camarões de 0,010 a 0,019 mg/kg de peso úmido e Ostras de 0,010 a 0,015 mg/kg de peso úmido.

Estes valores, quando comparados aos peixes de outras regiões, foram uma ordem de grandeza abaixo das concentrações descritas por Morgano *et al.* (2011) e Sanchez Filho *et al.* (2013).

Conforme apresentado no Estudo, as concentrações de chumbo encontradas nos peixes, ostras e camarões, estiveram baixas. Até o momento as amostras de tecido muscular não indicaram possibilidade de riscos à saúde associada a este metal, uma vez que o padrão verificado foi de concentrações inferiores a 0,01mg/kg, sendo o limite máximo permissível de até 0,5 mg/kg de peso úmido para crustáceos, 1,5 mg/kg de peso úmido para moluscos bivalves e de 0,3 mg/kg de peso úmido para peixes em geral (RDC ANVISA No 42/2013).

- Cobre

O Cobre (Cu) é amplamente distribuído na natureza em estado livre e em sulfatos, arsenitos, cloretos e carbonatos. Em ambientes aquáticos o cobre ocorre nas formas solúvel, particulada e coloidal, sendo as últimas mais frequentes. Segundo Masutti (2004), os resíduos de mineração e a poeira são as principais fontes sólidas de Cu, seguida pela produção de fertilizantes e esgotos domésticos e industriais, que constituem a principal via de entrada do Cu nos sistemas aquáticos. Importante ressaltar que em águas marinhas, onde o pH assume caráter básico, o cobre é complexado com hidrogênio e carbonato e sua absorção pela biota é menor que em peixes de água doce (EMBRAPA, 2013).

Assim como comentado para o chumbo, as concentrações registradas para o cobre estiveram abaixo da concentração máxima permitida de 30 mg/kg em peixes e frutos do mar, estabelecido para consumo humano (DL 55.871/1965). Nas amostras de peixe, as concentrações medianas de cobre oscilaram entre 0,08 mg/kg de peso úmido (Barra Nova) e 0,12 mg/kg mg/kg de peso úmido (Regência – Águas Costeiras). Nas ostras a mediana esteve entre 1,7 mg/kg mg/kg de peso úmido (Santa Cruz) e 4,0 mg/kg mg/kg de peso úmido (Barra Seca) e nos camarões entre 2,7 mg/kg mg/kg de peso úmido (Santa Cruz) e 4,3 mg/kg mg/kg de peso úmido (Barra Seca). Para efeitos de comparação, em estudo elaborado por Sanches Filho *et al.* (2013), as concentrações médias de cobre analisadas em amostras de bagres, corvinas e tainhas variaram entre 3,59 e 4,08 mg/kg mg/kg de peso úmido.

- Manganês

O manganês (Mn) é abundante nas rochas ígneas, sedimentares e metamórficas (CÂMARA, 2011), sendo amplamente distribuído na crosta Terrestre. O manganês no ambiente aquático apresenta-se em dois estados principais de valência: Mn 2+ e Mn 4+. No estado de Mn2+, o manganês

forma compostos solúveis e pode ser transportado em solução, entretanto no estado de Mn 4+, mais estável termodinamicamente, os compostos formados são insolúveis e se precipitam.

O Estudo assinala que as ostras foram os organismos com maior acúmulo deste metal, com mediana variando entre 2,07 mg/kg de peso úmido (Santa Cruz) e 2,53 mg/kg de peso úmido (Barra Seca). Nos camarões, as concentrações medianas estiveram entre 0,30 mg/kg de peso úmido (Santa Cruz) e 0,64 mg/kg de peso úmido (Barra Seca). Nos peixes a bioacumulação foi ainda menor, com concentrações entre 0,04 mg/kg de peso úmido (Barra Nova) e 0,09 mg/kg de peso úmido (Regência – águas costeiras).

As concentrações de Mn encontradas nos peixes deste monitoramento estiveram abaixo das concentrações determinadas por Sanches Filho *et al.* (2013), cujas concentrações de manganês em pescados da região costeira do RS, variaram entre 0,62 mg/kg e 0,70 mg/kg de peso úmido (Figura 3.2-7). O manganês não está referenciado nas legislações brasileiras sobre riscos ao consumo humano, provenientes da ingestão de pescados em geral.

Mercúrio

O mercúrio, o único metal no estado líquido à temperatura ambiente, está presente em diversas formas (metálico, orgânico, inorgânico) e pode ser encontrado em três estados de oxidação (0, +1, +2), facilmente convertíveis na natureza. Tanto o ser humano, quanto os animais estão expostos a todas as formas de mercúrio através do ambiente.

Este elemento na forma inorgânica atinge a atmosfera através dos resíduos formados a partir das atividades de mineração, industriais e queima de carvão. Já nos ambientes aquáticos e terrestres, este elemento participa dos ciclos biogeoquímicos através de depósitos naturais, disposição de resíduos, atividade vulcânica e das atividades antropogênicas descritas anteriormente (KUNIYOSHI, 2011).

O mercúrio (Hg) é um metal de relevância na área de alimentos em função da alta toxicidade, dos altos níveis de absorção e baixas taxas de excreção, sendo acumulado na cadeia alimentar, atingindo o homem, a partir do consumo de pescado, podendo representar risco a saúde humana.

Neste monitoramento, as concentrações de mercúrio total foram maiores nos peixes, nas amostras coletadas em Barra Seca (0,099 mg/kg de peso úmido) e Barra Nova (0,070 mg/kg de peso úmido). Os menores valores de mediana, para o mercúrio, foram encontrados em Regência - águas costeiras (0,024 mg/kg de peso úmido), onde a presença da pluma de rejeitos foi constante.

Sobre as concentrações de mercúrio encontradas nos camarões, as concentrações medianas entre 0,009 e 0,016 mg/kg de peso úmido estiveram ligeiramente inferiores aos achados de Matos & Carvalho (2011) em estudo de acumulação de mercúrio (Hg) em *Xiphopenaeuskroyeri* em São Joao da Barra, litoral norte do estado do Rio de Janeiro, cuja média foi de 0,03 mg/kg de peso úmido.

Finalmente, as amostras analisadas apresentaram concentrações de mercúrio adequadas para consumo humano (máximo permitido de 0,5 mg/kg para peixes em geral, podendo chegar a 1,0 mg/kg de peso úmido em peixes predadores, conforme RDC ANVISA No 42/2013), exceto um único valor registrado em Regência (no interior da foz do rio Doce), o qual se mostrou um outlier no banco de dados gerado.

- Níquel

O Ni é o 24º metal em abundância na crosta terrestre. As fontes mais importantes de níquel são os minérios na forma de sulfeto de níquel. Embora o níquel não seja considerado altamente tóxico como outros metais, ele tem a capacidade de ser bioacumulativo e é, portanto, potencialmente perigoso para os peixes. Por outro lado, o níquel é mais tóxico em água doce do que em ambientes salinos, provavelmente por causa da presença de outros cátions na água salgada, como Na⁺, Ca⁺², Mg⁺², que competem com os íons níquel por sítios de ligação.

Para o níquel, o limite de concentração em peixes e frutos do mar, nas legislações federais em vigor (DL55.871/1965) é de 5,0 mg/kg, o que aponta a ausência de contaminação por este metal nos bioindicadores monitorados.

As concentrações medianas, obtidas nas amostras analisadas, foram de 0,01 mg/kg nos peixes, entre 0,07 e 0,13 mg/kg nas ostras e entre 0,01 mg/kg e 0,03 mg/kg nos camarões. As concentrações aqui registradas estiveram inferiores ao observado por Sanches Filho *et al.* (2013).

Selênio

O selênio (Se) é conhecido como um micronutriente essencial para a maioria dos animais, porém em concentrações elevadas é considerado tóxico. Há grande interesse em entender o comportamento do Se nos organismos marinhos devido a sua importância fisiológica e toxicológica, porém são poucos os estudos sobre o Se em peixes de origem brasileira, tanto marinhos quanto de água doce.

Sobre os resultados encontrados neste monitoramento, a mediana das concentrações de selênio verificadas nos peixes variou entre 0,31 mg/kg de peso úmido (Santa Cruz) e 0,4 mg/kg de peso

úmido (Barra Nova). Nos camarões entre 0,36 mg/kg de peso úmido (Santa Cruz) e 0,81 mg/kg de peso úmido (Barra Seca) e nas ostras entre 0,20 e 0,29 mg/kg de v, para as amostras de Santa Cruz e Barra Seca, respectivamente.

Nas últimas décadas maior atenção tem sido dada aos estudos de interação selênio/mercúrio.

As pesquisas indicam que este elemento também desempenha uma importante função protetora e antagonica contra a ação tóxica do Hg. Desta forma, a relação atômica entre Se/Hg nos organismos tem sido utilizada como um parâmetro auxiliar para a inferência dos danos celulares e fisiológicos em diferentes organismos. Kerigh *et al.* (2013) estudando a região costeira do estuário do rio Paraíba do Sul encontrou a razão atômica para Se: Hg de 1,2 para mamífero marinho; 14 em peixes; 31 em camarões. Na região monitorada a mesma razão atômica apresentou a seguinte distribuição, a saber: Peixe = 19; Camarões= 128 e Ostras= 116. Considerando que a menor razão indica maior suscetibilidade como foi dito acima, estes organismos precisam de um acompanhamento e ampliação da avaliação para um maior número de espécies.

Para o Selênio, o limite de concentração nos alimentos em geral (não existe limite específico para pescados), na legislação federal (DL 55.871/1965) é de 0,3 mg/kg. Desta forma, a grande maioria das amostras analisadas (66%) apresentaram elevadas concentrações desse elemento. Com isso, os resultados obtidos vão ao encontro de diversos estudos que apontam concentrações superiores ao limite em vigor (ENVIRONMENT CANADA, 2015; TENUTA-FILHO, 2010; KEHRIG ET AL., 2009, AFONSO, 2009).

Por isso é importante salientar que os valores encontrados neste monitoramento são plenamente compatíveis aos níveis já registrados em pescados de regiões costeiras, existentes na literatura científica, e encontram-se bem inferiores ao limite de 1,5 mg/kg recomendado pela OMS (KEHRIG *et al.*, 2009) e aos limites de 4,0 mg/kg estabelecido pelo Ministério do Meio Ambiente de Columbia (Environment Canada, 2015) de 2,5 mg/kg estabelecido pela USEPA (2000).

Zinco

O zinco é um micronutriente constituinte de metaloproteínas, em particular as metaloenzimas, que são essenciais para diversos organismos uma vez que estão envolvidas em uma série de processos metabólicos fundamentais. Embora seja essencial, em altas concentrações é tóxico, pois atua no sistema nervoso, provocando mutagênese e carcinogênese (MARECEK, 1986).

O zinco está normalmente presente no ambiente marinho no estágio oxidado, ocorrendo nas formas Zn^{2+} , $Zn(OH)^+$, $ZnCO_3$ e $ZnCl^+$. Estudos indicam que as concentrações de zinco em peixes marinhos mostram-se maiores no fígado e no rim e, não parecem apresentar efeitos acumulativos, porém podem ter correlação positiva com os teores de cádmio (FURNESS & RAINBOW, 1990).

As ostras foram os organismos com maior acúmulo deste metal, com mediana variando entre 58 mg/kg e 60mg/kg. Nos camarões, as concentrações medianas estiveram entre 8,8 mg/kg (Santa Cruz) e 10,25 mg/kg (Barra Seca) e nos peixes ainda menores, entre 1,9 mg/kg (Regência – Águas Costeiras) e 3,55mg/kg (Regência – Interior da Foz).

Conforme apontado por Kuniyoshi (2011), espécies de peixes demersais da costa sudeste do Brasil apresentaram concentrações médias com a mesma ordem de grandeza dos valores encontrados nesse monitoramento, variando de 3,91 até 9,66 mg/kg, em peso úmido, sendo que os autores encontraram concentrações individuais entre 2,99 e 12,0 mg/kg em peso úmido (ALMEIDA *et al.*, 2008).

Um aspecto da bioacumulação de zinco nos bivalves em geral é que nestes, as concentrações podem atingir valores elevados (REBELO *et al.*, 2003), sem que o organismo indique sinal de toxicidade aparente, pois são capazes de criar pequenas estruturas granulares enriquecidas deste e de outros elementos. Isso se deve ao fato de que o zinco é um dos elementos essenciais para estes organismos, na constituição de proteínas e enzimas (carbopeptidase A e B e anidrase carbônica).

Os resultados encontrados neste estudo, para zinco em ostras (*Crassostrearhizophorae*), são inferiores aos achados por Câmara (2011) em estudos realizados com o mesmo bioindicador, cujas concentrações no manguezal da APA de Guadalupe, em Pernambuco, oscilaram entre 148 e 533 mg/kg. Por outro lado, merecem atenção por estarem superiores ao limite permitido por lei para consumo humano de frutos do mar, uma vez que o limite de zinco, na legislação federal (DL 55.871/1965) é de 50 mg/kg, para alimentos em geral.

Conclusões e recomendações do Estudo

Dos elementos analisados, mereceram atenção as concentrações de arsênio e selênio (segundo as Legislações Brasileiras), que estiveram elevadas para consumo humano na maioria das amostras analisadas. Este padrão foi verificado nos três grupos monitorados, porém, com destaque para os camarões.

A avaliação temporal do banco de dados obtidos em 8 amostragens, realizadas a cada semana, não evidenciou tendências claras de bioacumulação dos elementos analisados nos grupos monitorados (peixes, camarões e ostras) ao longo do tempo. Alguns picos de concentração surgiram para alguns dos elementos monitorados, porém de forma isolada, sendo considerados, após tratamento estatístico, como *outliers*. Somente para o Arsênio e Selênio, o padrão verificado foi considerado uniforme, sem distinção significativa entre as áreas monitoradas.

Apesar da existência de valor máximo para consumo humano para o Selênio, é importante ressaltar que o valor fixado de 0,3 mg/kg (DL 55.871/1965) não faz referência especificamente aos peixes marinhos. Por isso é importante salientar que os valores encontrados neste monitoramento são plenamente compatíveis aos níveis já registrados em pescados de regiões costeiras, existentes na literatura científica, e encontram-se bem inferiores ao limite de 1,5 mg/kg recomendado pela OMS.

Em 25 amostras de ostras, da espécie *Crassostrearhizophorae*, os teores de zinco acumulados ultrapassaram o limite de 50 mg/kg estabelecido na Legislação, porém, vale ressaltar o caráter metabólico do zinco em inúmeros processos metabólicos nestes organismos. Outro aspecto é que os sistemas estuarinos monitorados são relativamente preservados. Diante desse cenário, apesar de não estarem localizadas nas áreas de maiores concentrações/frequência de ocorrência da pluma de rejeitos, a continuidade dos monitoramentos permitirá avaliar se os teores de zinco sofrerão incrementos ou se manterão relativamente constantes ao longo dos próximos meses.

De maneira geral, não foi possível estabelecer relações diretas de causa e efeito entre os resultados de bioacumulação e a presença da pluma de rejeitos no ambiente marinho, visto a ausência de dados pretéritos, e de incrementos ao longo do tempo para a maioria dos elementos monitorados. A tendência observada, de ausência de bioacumulação ao término desta fase de monitoramento, poderá ser confirmada com a continuidade desse programa.

Para dirimir as dúvidas sobre os riscos reais dos níveis de arsênio encontrados, recomenda-se numa nova etapa de monitoramento e a realização de análises laboratoriais específicas para estimar a fração orgânica deste metal, cuja toxicidade é baixa, não representando riscos para o consumo.

Sobre o mercúrio, ficou claro que os peixes são os bioindicadores onde o acúmulo deste elemento se dá de maneira mais significativa que nos demais grupos monitorados. Ainda que os valores encontrados não indiquem qualquer risco de consumo para a população, a continuidade do

monitoramento permitirá uma análise temporal mais apurada deste elemento, cuja importância em termos toxicológicos é extremamente elevada.

Cabe ressaltar que a região próxima ao estuário ainda continua sendo afetada pela elevada turbidez e espera-se que, com a redução da mesma, haja aumento lento e gradativo na recomposição e diversidade de espécies principalmente no interior da foz do rio.

Outro aspecto é que a transferência dos elementos determinados para o tecido muscular não é imediata e, portanto, os resultados encontrados até o momento devem ser considerados com cautela e o monitoramento ser estendido, com coletas mensais por, ao menos, um ano, quando poderão ser avaliadas as espécies que não foram encontradas no período de realização deste monitoramento (dezembro/2015 a fevereiro/2016). Finalizada a análise anual, a continuidade do monitoramento deverá ser reavaliada com base nos resultados.

Relevância desse estudo para ARSH:

Documento de muita importância para se referenciar durante a etapa de “Contaminantes de Interesse” na etapa Linhares dos estudos de ARSH. Além da completa caracterização do objeto dos estudos, organismos marinhos, o Documento oferece também uma boa base para a discussão dos resultados, seja na comparação com os valores de referência normativos como também na comparação relativa a outros estudos.

Infelizmente, somente alguns poucos dados de crustáceos da área estuarina interna poderão ser utilizados na comparação com os resultados da amostragem ambiental realizada pela equipe de ARSH da Ambios na Etapa Linhares.

Remoção, Identificação, Contabilidade e Destinação de Peixes do Rio Doce - Relatório Final. Realizado pela empresa Ecoconservation sob contratação da Samarco. Relatório Técnico – RT ECV 060-17. Revisão 01 – Abril/17 (ECONSERVATION, 2017b)

O Documento assinala como objetivo a realização de serviços de Remoção, Identificação, Contabilidade e Destinação final de peixes do Rio Doce em atendimento ao OF020009.000614/2016-11 NQA/ES/IBAMA.

Relevância desse estudo para ARSH:

Esse Documento não apresenta maior relevância para os estudos de ARSH.

Levantamentos de Dados de Turbidez, Fito plâncton e Qualidade de Água entre Abrolhos e Vitoria. Realizado pela empresa Ecoconservation sob contratação da Samarco. Relatório Técnico – RT ECV 073/16. Revisão 00 – Abril/16. (ECONSERVATION, 2016b.)

Esse Documento assinala os resultados do levantamento da qualidade d'água do mar realizado entre a região de Abrolhos, na Bahia, e Vitoria, no Espírito Santo. Esse levantamento foi realizado entre os dias 19 e 25/01/2016.

Relevância desse estudo para ARSH:

Esse Documento não apresenta maior relevância para os estudos de ARSH.

Análise Integrada dos Contornos do Deslocamento das Plumias de Turbidez no Meio Marinho. Relatório Técnico – RT ECV 138/17. Revisão 00 – Junho/17. Realizado pela empresa Ecoconservation sob contratação da Samarco. (RT ECV 138/17, 2017)

Esse Documento assinala o Programa de Monitoramento por meio de sobrevôos às áreas de estudo. Desde a chegada no mar da pluma de turbidez, decorrente do acidente com a sua barragem de rejeitos em Mariana-MG, o que se deu no dia 21/11/2015 por volta das 17h, a SAMARCO vem implementando um intenso programa de monitoramento da dispersão da pluma através de levantamentos aéreos, com o objetivo de observar e acompanhar a dispersão da pluma do Rio Doce, além de observar a abrangência da mesma na região marinha do litoral do Espírito Santo.

O monitoramento realizado através de sobrevôos com helicóptero, vem sendo realizado desde o dia 22/11/2015, ou seja, no dia seguinte à chegada da pluma no mar. Todavia, a delimitação do alcance das plumas através de metodologia consensuada entre os órgãos ambientais e os técnicos da Econservation que realizavam os sobrevôos, só foi efetuada a partir do dia 25/11/2015.

Relevância desse estudo para ARSH: Esse Documento não apresenta maior relevância para os estudos de ARSH.

Capítulo II: Preocupações da Comunidade com sua Saúde

ETAPAS DE LEVANTAMENTO DAS PREOCUPAÇÕES DA POPULAÇÃO COM A SUA SAÚDE EM MARIANA E BARRA LONGA

Nesta fase do estudo de avaliação de risco à saúde humana buscou-se identificar junto à população afetada e aos profissionais de saúde que atuaram no atendimento a essas pessoas, as preocupações da comunidade com a sua saúde acerca de questões relacionadas ao desastre e à exposição aos rejeitos. Essa atividade permitiu entender o impacto do desastre no cotidiano e na percepção de risco à saúde da população atingida. Assim, foram realizadas entrevistas com profissionais de saúde responsáveis pelo atendimento da população e entrevistas/rodas de conversa com a população atingida.

Quando necessário, profissionais da equipe AMBIOS, realizavam entrevistas domiciliares (principalmente em residências habitadas, previamente identificadas para coleta de poeira, água de consumo e alimentos).

Importante salientar que antes de iniciar qualquer atividade, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (ANEXO 1) era apresentado e lido em voz alta. Uma cópia do termo era entregue ao entrevistado (a), e outra cópia assinada e datada recolhida pela AMBIOS. Após o consentimento, o objetivo do estudo era explicado e as entrevistas ou rodas de conversa iniciadas. As perguntas realizadas no questionário individual e questionário para profissionais de saúde, estão apresentadas nos Anexos 2 e 3.

As rodas de conversa foram realizadas em Unidades Básicas de Saúde, ou em locais de ponto de encontro de fácil acesso à população. Cabe ressaltar que toda a articulação com a população, foi inicialmente realizada pelos Agentes Comunitários de Saúde das regiões trabalhadas e profissionais da equipe da AMBIOS.

Em todas as etapas de Levantamento das preocupações da população com sua saúde, a equipe da AMBIOS sempre esteve acompanhada de profissionais das Secretarias Estaduais e/ou Municipais de Saúde.

Preocupações da população com a sua saúde em Mariana

Para a coleta de informações referentes às preocupações da comunidade com sua saúde em Mariana-MG, foram realizadas entrevistas com moradores das áreas atingidas e com profissionais de saúde responsáveis pelo atendimento da população atingida. As entrevistas foram realizadas nas Unidades Básicas de Saúde de Mariana (com moradores de Bento Rodrigues, Paracatu de cima e Paracatu de Baixo) e Águas Claras (com moradores de Bento Rodrigues, Paracatu de Cima, Paracatu de Baixo e Pedras).

Após a realização das entrevistas, os dados foram trabalhados por meio da metodologia de Análise de Conteúdo, tendo sido agrupados fragmentos dos relatos que continham determinadas características em comum entre falas dos indivíduos (CAREGNATO & MUTTI, 2006). A partir dos relatos dos profissionais e dos moradores entrevistados foram identificadas e criadas as seguintes categorias:

- Preocupações relacionadas à saúde da população atingida
- Preocupações relacionadas ao consumo de água e alimentos
- Preocupações relacionadas ao meio ambiente e à saúde
- Preocupações relacionadas às condições e à qualidade de vida da população atingida.

Entrevistas com profissionais de saúde nas Unidades de Mariana e Águas Claras.

Os profissionais de saúde entrevistados foram basicamente aqueles que deram assistência à população logo após o desastre e/ou aqueles que prestam atualmente assistência à população de Mariana. São eles: gestores, médicos, enfermeiros e agentes comunitários de saúde.

O número estimado de pessoas atingidas, segundo estes entrevistados, é cerca de mil. O que enquadra alguém como atingido, para fins de critério da organização do atendimento, é ter sido deslocado de sua moradia.

Sobre o estado geral de saúde da população, os principais relatos pontuados são:

- Número importante de casos de depressão, ansiedade, pânico, facilidade de acesso e aumento do consumo de substâncias psicotrópicas como álcool e drogas. Relatam também em seus atendimentos, manifestações como angústia, desânimo, irritabilidade, estresse e choro frequente;

- Crianças com problemas de depressão e com dificuldades na escola; e
- Relatam o sofrimento da população devido a mudanças estruturais (perda de locais de referência, mudança de casa e/ou localidade), bem como o sofrimento decorrente da separação geográfica de integrantes familiares, amigos e animais de estimação das famílias, além de brigas e preocupações com o futuro.

Sobre o consumo de água e alimentos:

- De modo geral os profissionais relataram que algumas pessoas têm receio de que as frutas, legumes e verduras provenientes de plantações em áreas atingidas pela lama possam estar contaminadas. Um profissional entrevistado relatou preocupação por não saber da procedência do que está sendo vendido na feira de Mariana, e da possível contaminação dos alimentos, afirma que prefere fazer suas compras em Juiz de Fora ou em Belo Horizonte/MG; e
- Afirmam que a população continua plantando frutas e legumes em áreas atingidas pela lama, ou em áreas próximas, e além de consumirem essa produção, distribuem, trocam entre si e vendem os produtos na feira da cidade. A preocupação com a contaminação do solo e da água que abastece as casas foi frequente na fala dos entrevistados.

Sobre o meio ambiente e saúde:

- Preocupações em relação a lama. Relataram que, no dia do desastre, a lama tinha um cheiro forte, cheiro de “podre”. Os profissionais se perguntam sobre o que seria esse cheiro e que mal essa lama poderia fazer à saúde das pessoas;
- Afirmam ter preocupações com a exposição das pessoas no contato com a lama de rejeitos. Algumas pessoas retornam periodicamente às áreas atingidas que estão desocupadas, ou mantêm criações de gado, cavalos e etc. nesses locais; e
- Perceberam o aumento do número de pessoas com problemas dermatológicos e respiratórios, provavelmente decorrentes do aumento da poeira no ambiente.

Sobre as condições e a qualidade de vida da população atingida.

Inúmeras queixas que foram pontuadas pelos profissionais se referem às mudanças de vida da população após o desastre, isto é, o deslocamento de uma população rural e periurbana para a cidade e as consequências para o cotidiano deles.

De maneira geral, mencionam que grande parte da população rural, que vive nos subdistritos de Mariana, perdeu uma condição valiosa que era a de subsistência por meio das atividades produtivas de plantio e criação de animais, passando a depender exclusivamente do benefício oferecido pela Fundação Renova.

“Frutas e Legumes cada um plantava na sua casa, agora tem que comprar”.

Fala de um morador atingido

Complementam ainda que além de não poderem mais exercer as atividades que lhes conferiam o sustento, perderam sua ocupação diária e estão ociosos em casa, alegando não terem nada para fazer. Afirmam que quem foi realocado de sua propriedade rural para Mariana, por exemplo, estranha a organização urbana, que eles têm a “sensação de não pertencimento” àquela localidade.

Outro relato presente é de que a forma como as pessoas foram realocadas na cidade também afetou a população. Vizinhos próximos e parentes foram separados. Assim, a relação de confiança que tinham antes foi afetada. São novas pessoas, um novo mundo para eles. Além disso, essa separação também interferiu na logística e organização da vida das pessoas como demonstrado abaixo.

“Minha sogra morava perto e eu deixava meus filhos com ela para ir trabalhar, e agora não tenho mais com quem deixar”.

Fala de moradora atingida

Entrevistas com moradores de Bento Rodrigues, Paracatu de Baixo e Paracatu de Cima

Contextualização do desastre a partir dos relatos da população.

A população conta que o dia do desastre foi um momento bastante dramático para todos. Foram avisados que a barragem havia se rompido e alguns contam que sentiram um tremor pouco antes da chegada da lama. Em algumas localidades, os próprios moradores saíram de moto gritando e alertando aos demais sobre o rompimento.

A passagem da lama, na descrição dos entrevistados, veio acompanhada de um estrondo enorme e um mal cheiro, causando destruição por onde passou. Na entrevista feita pela AMBIOS, detectou-se que um número importante de entrevistados teve suas casas completamente destruídas ou invadidas pela lama de rejeitos.

A população toda correu para os morros, e nesse processo, muitas pessoas se machucaram, se apavoraram, e muitos assistiram desses locais toda a destruição. Lá, ficaram ilhados durante a noite até chegar ajuda da Defesa Civil pela manhã. No dia do desastre e nos dias subsequentes, a maioria dos entrevistados afirmou ter tido contato intenso com a lama, principalmente para ajudar outras pessoas a saírem dos locais em que se abrigaram no momento do desastre, para resgatar animais, santos e monumentos das igrejas, além de seus pertences pessoais. Muitos saíram apenas com a roupa do corpo e “encharcados de lama”.

Parte da população que teve suas casas destruídas foi realocada em residências alugadas ou está hospedada em casas de parentes no centro, ou nos distritos/subdistritos de Mariana. Famílias que não tiveram suas casas totalmente destruídas já retornaram às suas moradias (exceto em Bento Rodrigues e uma Parcela de Paracatu de Baixo), e continuam plantando e criando animais em áreas atingidas pela lama (Paracatu de Cima, Paracatu de Baixo, Pedras e Borba).

De maneira geral, a produção de ovos, leite, frutas e verduras é destinada ao consumo próprio. Há de se destacar, no entanto, que venda ou troca entre familiares e amigos também ocorrem. Moradores das Localidades de Bento Rodrigues e Paracatu de Baixo, apesar de terem sido retirados de suas residências, retornam a estas localidades rotineiramente. Durante a visita da equipe da AMBIOS, principalmente em Paracatu de Baixo, onde o acesso é livre, foi possível verificar a presença de pessoas de fora da cidade tirando fotos e explorando locais desabitados.

As principais queixas e preocupações de saúde listadas pela população entrevistada foram:

- Insônia, dificuldade para dormir e sonhos frequentes com o desastre;
- Depressão, início de uso de medicamentos psicotrópicos, choro frequente;
- Cansaço, desânimo, tristeza, medo e insegurança;
- Preocupação com sua saúde mental;
- Preocupação com problemas cardíacos decorrentes do intenso nervosismo;
- Preocupação constante com um novo desastre;
- Aparecimento de “dores de cabeças muito fortes”, agravo em quadro já existente de epilepsia e mudança de comportamento (comportamentos agressivos);
- Falta de espaço para os filhos brincarem;
- Preocupações com aumento de casos de tentativa de suicídio;
- Queixas de problemas respiratórios e alérgicos, sinusites e resfriados;
- Pigarro, tosse, coriza, rouquidão, coceira na garganta, congestão, “coceira muito intensa no nariz” também foram efusivamente colocados;
- Além da alergia respiratória, a população comentou sentir coceiras na pele após o contato com a lama; e
- Dependência de uso de medicamentos para dormir ou “para ficar bem”, ganho de peso, perda de peso, falta de ânimo e esquecimento.

Abaixo seguem algumas falas dos entrevistados:

“O pouco que eu consigo dormir eu acordo pensando na lama”.

“Eu não dependia de remédio, agora eu dependo e a quantidade de remédio só aumenta. Engordei 10kg depois do desastre”.

“Só descobriu que estava com depressão por que chorava muito e tinha “apagões/ esquecimento”.

“Tenho problema de esquecimento (estou conversando e em seguida esqueço o que estava falando) e muita dificuldade para dormir”

“Nunca tive problema de saúde. Agora tomo remédio para depressão”. “Tenho problema de esquecimento e muita dificuldade para dormir”.

“A poeira pode causar problemas de pele?”

“Coça até sangrar”

Acerca das preocupações com meio ambiente e saúde, podem ser destacados os seguintes tópicos:

- Aumento expressivo da poeira na região que, segundo eles, tem cor avermelhada, (mesma cor da lama) e é bem fina, o que dificulta a limpeza das casas, suja a roupa e o sapato. Afirmam que houve um aumento considerável do fluxo de carros na região, o que facilita a dispersão da poeira para dentro de suas casas. Preocupam-se com as alergias que essa poeira tem causado; e
- Preocupações com a exposição à poeira, pois acreditam que o fato de respirar a poeira pode, à longo prazo, causar câncer e outras doenças. Outro relato apontou para preocupação com presença de metais pesados na poeira e os riscos para saúde.

Sobre as preocupações e queixas relacionadas às condições e qualidade de vida da população atingida:

- Algumas pessoas relatam sofrer com a discriminação em Mariana e que seus filhos, além de terem dificuldades para adaptação em uma nova escola, sofrem *bullying*;
- Algumas pessoas que não foram diretamente afetadas, passaram a dizer, segundo os relatos, “os atingidos agora estão bem de situação”; “recebem dinheiro sem precisar trabalhar”; “não pagam aluguel”; “compram tudo com o dinheiro que a Renova fornece”, dentre outras falas;
- As crianças dos distritos de Bento Rodrigues e Paracatu de Baixo tiveram que começar a frequentar a escola de Mariana/MG. As crianças, que costumavam estudar juntas e eram amigas, foram separadas na mudança de escola, o que gerou mais dificuldades de adaptação, conforme demonstrado no quadro abaixo com o relato de uma pessoa cuja família foi atingida; e

“Ela (filha) foi para uma escola onde as crianças de Bento sofriam muito bullying (os atingidos pelo desastre eram chamados de “meninos da lama; pé sujo”) e outras chacotas. Com isso não queria mais ir para escola, chorava demais quando ia chegando a hora de ir para a escola. Antes quando ela estudava no Bento e ficava o dia inteiro na escola, ela adorava”.

- Grande parte dos entrevistados relatou as diferenças impostas no modo de vida. Pessoas do campo, acostumadas a plantar, ter animais, produzir leite, não têm mais o terreno, os animais, ou o modo de vida que tinham antes. Abaixo seguem alguns relatos que explicitam essas preocupações:

“Quem está acostumado na roça, não consegue viver na cidade. A cidade é horrível”

“O contato com a terra que a gente tinha; os amigos e vizinhos foram tudo para longe (sente muita falta); perdemos a história da gente, perdemos as fotos da minha mãe e dos meus filhos de quando eram pequenos”

“A convivência com os amigos e parentes. Por conta do desastre todos estão longe, não tenho mais contato com eles. Tem mais de 3 anos que não vejo mais meus amigos”.

“Minha maior preocupação é resgatar o modo de vida de novo”

- Importância das festas tradicionais nas localidades e afetação do bem-estar social.

Segundo relatos, os espaços de socialização das comunidades foram completamente alterados e destruídos. As atividades e práticas desenvolvidas nas regiões, que representam as formas de expressão, de viver, de saber e afazeres das populações que ali viviam, foram diretamente impactadas e interrompidas e aparecem nos relatos das pessoas com grande pesar.

As festas religiosas eram tradicionais e reuniam toda a comunidade para celebrações históricas comemoradas nos arredores das Capelas. Com a destruição das capelas e das comunidades, as festas deixaram de ocorrer, ou, quando ocorrem, não conseguem a adesão de toda a comunidade por gerar muito sofrimento para alguns.

- Preocupações com brigas na população.

Os entrevistados relatam ter aumentado o número de brigas e discórdias entre amigos e familiares, brigas entre casais por questões econômicas, entre amigos e parentes em decorrência dos benefícios pagos pela Renova, ou simplesmente pela dificuldade de manter contato pessoal dada as novas distâncias decorrentes da reorganização das moradias.

- Impactos relacionados a trabalho e renda das pessoas.

Os entrevistados comunicaram que, além do estrago de suas propriedades, muitos perderam animais de criação, o que era fonte de renda ou de subsistência para muito deles. Alguns relataram que os animais que sobreviveram estão sob a guarda da Fundação Renova até que eles possam reestabelecer suas terras. Outros disseram que precisaram vender animais e propriedade para poder arcar com compromissos financeiros adquiridos. As plantações de frutas e verduras eram utilizadas tanto para consumo próprio quanto como fonte de renda para a população. Alguns entrevistados relataram que faziam parte do programa de financiamento do PRONAF e com o desastre tiveram todo seu planejamento comprometido.

“Criava porco, gado, galinha, legumes, verduras, frutas etc. Não dependia de nada. Hoje aqui em Mariana temos que comprar tudo, se a gente não tiver dinheiro a gente não come”.

“Lá no Bento a gente comia tudo que a gente plantava e produzia. Agora aqui em Mariana a gente precisa comprar tudo. Todos os nossos alimentos são comprados no sacolão e mercado”.

“Eu tentei trabalhar com carreto, mas não deu certo”.

“Eu plantava mais, mas agora não tem mão de obra por que as pessoas não estão mais morando aqui, estou sozinho para plantar”

Relatos de pessoas atingidas

Um dos entrevistados relatou que antes do desastre era operador de motosserra (para fazer carvão), mas desde que saiu de sua residência, não está mais trabalhando. Outros entrevistados também relataram que estão sem atividades atualmente, pois o que gostam de fazer, o que sabem fazer e o que fizeram a vida inteira foi trabalhar na roça “trabalhar na terra”.

Um ponto retratado pelos entrevistados, como gerador de muita angústia, ansiedade e sofrimento, é a espera e incerteza quanto ao processo de indenização. Eles relatam estarem “cansados” da espera, da falta de resposta e de terem que ficar “brigando” pelos seus direitos.

“O que eu vou fazer da minha vida caso a Samarco quebre ou declare falência. Onde vou morar caso a Samarco pare de pagar o aluguel. Já se passaram 3 anos e nada foi feito, não tivemos a indenização. Será que eu vou estar vivo até minha casa ser reconstruída?”

“O que adoece a gente é a forma que a Renova conduz o processo. Eles falam que dinheiro não é problema, mas na hora de indenizar eles dificultam o processo”.

“Quando essa situação irá se resolver: a espera por uma solução é muito ruim”.

“Minha preocupação é quando vai ser resolvida as coisas, quando vamos poder voltar para nossa casa, pois já se passaram 3 anos e até agora não deram nenhuma solução”.

“Quando essa situação irá se resolver, a Samarco não dá nenhuma perspectiva de quando irão construir nossa casa”.

Relatos de pessoas atingidas

Preocupações da população com a sua saúde em Barra Longa

A equipe de ARSH, em articulação com representantes da SMS de Barra Longa, identificou as localidades e propriedades diretamente afetadas em que ainda havia pessoas residindo. As localidades identificadas foram: Barreto, Gesteira, Mandioca, Jurumirim, Nova Barra, Tanque, São Gonçalo, Volta da Capela, Rua Primeiro de Janeiro, Rua Capitão Manoel Carneiro, Morro Batalha, Bairro do Rosário, Praça Manoel Lino Mol (PRACINHA), Rua Matias Barbosa, Morro Vermelho e Morro Cemitério. Assim, foram abertas 3 frentes de rodas de conversa por intermédio dos Agentes Comunitários de Saúde e da população dessas localidades. As rodas de conversa foram realizadas nos seguintes locais: Unidade Básica de Saúde de Barra Longa (com a população de todo o centro); na Unidade Básica de Saúde de Gesteira (população de Gesteira e Mandioca) e no Ponto de Encontro de Barreto, com a população que ali residia.

Entrevistas com profissionais de saúde

Preocupações relacionadas à saúde da população atingida

Após o desastre, a população vive sofrimento intenso. Houve aumento da procura por psicólogos e psiquiatras em todas as faixas e etárias. Para estes profissionais, o sofrimento é decorrente principalmente do impacto que o desastre teve no modo de vida da população.

Citam o medo que a população vive da ocorrência de um novo desastre, a impossibilidade das pessoas que trabalhavam no campo de continuarem com suas atividades por terem sido removidas de suas casas ou por terem perdido suas plantações e produções com a passagem da lama. Além disso, citam a perda da tranquilidade da cidade com a chegada de turistas, trabalhadores, pesquisadores entre outros. Outro ponto destacado foi o aumento do uso de álcool e outras drogas em decorrência do sofrimento vivido pela população.

Trazem no conteúdo de sua fala, um conceito ampliado de saúde, entendendo que muitos agravos e processos de adoecimento estão relacionados ao impacto que o desastre teve na vida das pessoas. Os profissionais afirmam que a população está adoecendo e que, a situação de

vulnerabilidade e tristeza na qual a população se encontra contribui para isso. Essa constatação aparece em algumas falas:

“Agora ela descobriu um câncer em metástase acelerada. É uma comunidade desassistida (Barretos). Isso fez com que isso possa ter agravado mais o problema dela né. A comunidade se pergunta como faz para ajudá-la, mas estamos em uma situação complicada. As pessoas da comunidade ficam apavoradas. Se ela era tão saudável e teve um tumor de forma tão rápida...”

“O adoecimento é muito mais do que doença de pele. A doença para um trabalhador rural é tirar a força de trabalho dele né”

A seguir serão listados alguns agravos, doenças e sintomas elencados pelos profissionais de saúde, cujas frequências têm aumentado após o desastre:

- *Labirintite;*
- *Uso de medicamentos para dores, além do aumento de quantidade de pessoas que se automedicam;*
- *Consumo de álcool e medicamentos de controle especial;*
- *Muitos pacientes com tristeza, desânimo, irritação, insegurança e medo;*
- *Depressão, dores de cabeça, cansaço e desânimo;*
- *Reações alérgicas dermatológicas;*
- *Reações alérgicas respiratórias;*
- *Número de casos de dengue;*
- *Número de casos de diarreia;*
- *Impactos nos hábitos de vida da população; e*
- *Nervoso e agitação das pessoas que tiveram suas criações perdidas e terrenos invadidos pela lama.*

Além do que foi posto acima, as pessoas relatam sobre a necessidade de contratar otorrinolaringologista para Barra Longa e sobre as pesquisas que já foram realizadas na população de Barra longa, e todas as demais que estão sendo feitas. E nesse contexto expõem questões que surgem como preocupações.

“A população fica observando as coletas de água, ar, alimentos, sangue, urina e não tem uma resposta concreta. O que de fato alterou nas pessoas de forma química e toxicológica? Se eles receberam resultados alterados dos exames toxicológicos, de onde está vindo essa alteração, da água, dos alimentos? Do ar? O que eu posso ou não consumir dos alimentos aqui produzidos? Precisamos falar de segurança alimentar com a população. Não temos uma resposta segura ainda. E em longo prazo, o que pode ser do modo de vida dessas pessoas? Podemos ter um aumento no número de casos de câncer? Alzheimer? As crianças nascerão com má formação? As respostas precisam vir de forma mais certa, mais definidas. Até o momento só temos perguntas, nenhuma orientação. Até o momento esses estudos só são amostrais. A população pergunta se eles têm de fazer exame de metais pesados, olha a preocupação que foi instalada!”

Preocupações relacionados ao meio ambiente e à saúde

- Preocupações com a composição da lama de rejeitos.

Sobre os impactos ambientais e preocupações com a saúde, os profissionais descrevem o rejeito como algo “diferente”, afirmando que em algumas áreas onde tem lama, a água que empoça fica com aspecto oleoso, “como se tivesse um óleo na água”.

- Preocupações com peixes do rio e a saúde.

Também relataram que existem pesquisas que mostram peixes com má formação, o que os deixa preocupados com o conteúdo da lama e os possíveis efeitos que podem gerar à saúde, em caso de ingestão desses.

- Preocupações com o consumo de água e alimentos.

Afirmam ainda, que as pesquisas realizadas na região oferecem resultados contraditórios fazendo com que, tanto os profissionais quanto a população fiquem inseguros quanto à segurança do consumo. O resultado de presença de metais pesados no sangue faz com que os profissionais se perguntem qual é a fonte de exposição, se é da água de consumo, dos alimentos ou do ar. Precisam dar uma resposta mais concreta à população.

- Preocupações relacionadas às condições e à qualidade de vida da população atingida.

Relatam que o desastre provocou diversas alterações na dinâmica da cidade e dos distritos de Barra Longa, impactando no modo de vida, no cenário e nos hábitos da população. Segundo eles, após o acidente, muitas pessoas vêm de fora da cidade, causando muita estranheza e principalmente para os idosos, que receosos, reduziram suas atividades físicas com medo de assaltos (uma vez que relataram que houve um aumento considerável na quantidade de furtos e roubos), adquirindo o hábito de ficarem apenas dentro de suas casas.

Descrevem sobre o nervosismo e agitação de agricultores que perderam o financiamento por crédito no PRONAF, em decorrência da falta de dinheiro para o pagamento do crédito, consequência da perda dos animais e de suas produções. Alguns tiveram que pegar dinheiro com agiota, venderam máquinas, objetos e animais restantes para pagar as dívidas. Além da perda dos animais, os profissionais relatam que muitos perderam grande parte de seus terrenos.

Entrevistas com moradores de Barreto, Gesteira, Mandioca, Jurumirim, Nova Barra, Tanque, São Gonçalo, Volta da Capela, Rua Primeiro de Janeiro, Rua Capitão Manoel Carneiro, Morro Batalha, Bairro do Rosário, Praça Manoel Lino Mol, Rua Matias Barbosa, Morro Vermelho e Morro Cemitério

Contextualização

Em Barra Longa, os entrevistados consideram que a totalidade da população do município é afetada. As pessoas entrevistadas relataram que no dia do desastre a população foi avisada que a barragem havia se rompido, e a passagem da lama veio acompanhada de um enorme estrondo, além do mal cheiro em toda a cidade. A lama atingiu aproximadamente 3 metros de altura nas margens do Rio. Casas que ficavam na beira do rio foram as mais afetadas.

Segundo os relatos, a população, que já está acostumada com enchentes frequentes, correu para auxiliar as pessoas que moram nas casas mais próximas do rio. Quando chegaram perto e tiveram contato com a lama perceberam que o rejeito não continha apenas água como imaginavam. Dessa forma muitas pessoas tiveram contato intenso, de corpo todo com a lama.

Em cada parte da cidade a lama chegou com intensidade e altura distintas invadindo e danificando as casas, comércio e instalações de diferentes maneiras. A praça da cidade e o campinho de futebol são exemplos citados pela população como localidades que foram completamente destruídas.

Os dias subsequentes são retratados pela população como um momento de muito sofrimento, perturbação, transtornos, cansaço e angústia. Muitas pessoas tiveram que se deslocar de suas casas tendo prejuízos financeiros e de saúde por conta disso. Os entrevistados contam que o trânsito de caminhões e de máquinas que circulavam para a retirada da lama da cidade, era atormentador e levantavam uma quantidade enorme de poeira.

Muitas casas e construções em Barra Longa e em Gesteira tiveram sua estrutura comprometida, ou pela lama, ou por conta de rachaduras ocasionadas pelo aumento do fluxo de máquinas e caminhões na região. Algumas casas foram classificadas pela Defesa Civil em situação de risco, tendo sido interditadas. Muitas das pessoas que estão nessa situação continuam esperando as indenizações e reparação dos danos. A equipe de ARSH percebeu a revolta de grande parte dos moradores com a Fundação Renova, por não prestarem informações à população acerca dos processos como um todo.

Na zona rural, algumas casas foram completamente destruídas, outras foram parcialmente danificadas ou tiveram seus terrenos invadidos pela lama. As famílias residentes nessas casas, viviam de atividades ligadas ao plantio e cultivo de animais. Algumas tinham essa atividade como fonte de renda, outras apenas como forma de subsistência. Em ambos os casos, essas pessoas foram severamente prejudicadas. Alguns pararam com as plantações e cultivos, outros mantiveram as atividades e continuam se alimentando, vendendo e trocando os produtos oriundos das terras atingidas pela lama.

Cabe ressaltar que em todas as rodas de conversa realizadas, a população se referiu a pesquisas progressas realizadas no município após o desastre, sem a devolutiva de resultados para a população. Isso inclui as análises que a Fundação Renova realiza periodicamente nas localidades, e não informa se a água pode ser consumida, ou como está a qualidade do ar, dentre outras queixas, o que gera grande revolta na população.

Destaca-se ainda que, foi realizada pesquisa em que exames toxicológicos de sangue e urina da população detectou a presença de metais pesados nessas matrizes, entretanto, a entrega dos resultados não previu um plano de acompanhamento ou estratégia a ser tomada. Isso gerou muita preocupação na população estudada, ainda sem saber como proceder com os resultados desses exames.

Preocupações relacionadas à saúde:

- Coceira intensa no corpo, problemas alérgicos, dermatites, manchas vermelhas ou pretas, inchaços ao longo do corpo, ressecamento da pele, lesões e bolhas na pele, escamação, eczema alérgico e dermatites;
- Piora nos quadros de asma e bronquite com o aumento da quantidade de poeira;
- Coceira nos olhos, manchas vermelhas, inchaço e piora na visão.

Cabe ressaltar que as reações alérgicas dermatológicas também foram muito citadas pela população, seja em decorrência do contato com a poeira, seja pelo contato com a lama. Alguns relataram terem sentido essas reações no contato mais intenso com a lama. No entanto, alguns afirmam que mesmo o contato com a poeira ou com a terra misturada à lama no quintal é suficiente para iniciar o quadro.

- Mencionam o aumento de casos de dengue na região. Alguns entrevistados afirmaram que isso pode ser consequência da diminuição de sapos e outros animais que comem os insetos e que morreram com o desastre, outros mencionam também a falta de canalização completa do esgoto que foi entupido pela lama;
- Ocorrências de derrame cerebral foram mencionadas durante as rodas de conversa, e que atribuem ao aumento do estresse gerado pelo desastre;
- Algumas pessoas afirmaram que houve um aumento de casos de Alzheimer na região;
- Também foi relatado aumento de casos de diarreia, febre e vômito após o contato com a lama, havendo inclusive, casos de internação.
- Dores de cabeça, enxaquecas, depressão, medo e insegurança; e
- Atribuem casos de morte de familiares em decorrência do desastre.

“Muitas mulheres estão sendo diagnosticadas com Alzheimer. Não sabemos se tem relação, mas é uma preocupação. Nem ouvíamos falar disso antes, mas é outra coisa que chama a atenção”

Fala de morador atingido

Importante frisar que a população citou, por diversos momentos, as pesquisas toxicológicas realizadas em Barra Longa, mostrando a presença de metais pesados nos exames de sangue. A partir desses resultados a população se mostra preocupada com os problemas que esses metais no sangue podem causar à saúde em curto, médio e longo prazo. Se colocam também preocupados com o futuro das próximas gerações diante da exposição a esses metais.

Uma pessoa afirma que a família dela foi escolhida para participar do referido estudo toxicológico, tendo sido identificados níveis elevados de metal no sangue do marido e do filho (cita o

“E essas pesquisas que saíram, que tem muito metal, que não gera um problema imediato né?! Não temos informação. Nós nos preocupamos muito com as crianças, quem está chegando agora. Pelo pouco que sabemos é que metal pesado pode gerar o agravo de algum problema.”

Fala de morador atingido

arsênio como exemplo). Pelo que foi informado pela responsável do estudo, parece se tratar de um caso de ingestão de metais pesados.

Relata que a médica do estudo informou que “os dois estão contaminados” e se questiona: “O que pode ocasionar futuramente? Diante disso, afirma que quer algum acompanhamento desses resultados para poder fazer algum tratamento.

Sobre a saúde mental da população, nos relatos, afirmam que ainda sentem recorrente sentimento de tristeza, fácil irritabilidade, ansiedade, agitação das crianças, falta de prazer na realização das tarefas, depressão, dificuldade para dormir e preocupação com a possibilidade de um novo desastre decorrente do rompimento da outra barragem que é ainda maior que a primeira. Abaixo são mostradas algumas falas da população:

“A vida aqui não é mais igual, eles estão acabando com a gente aos poucos. Não quero mais ficar aqui, quero ir embora para outro lugar”

“A sirene toca toda hora, é um horror. A gente fica assustado” Quando chove, o rio sobe, faz barulho e a gente fica com medo de que seja a próxima barragem rompendo”

“O povo fica com medo o tempo todo. Acabou nosso sossego”.

“Depois a gente ficou mais estressada, comecei a tomar remédio para ansiedade e pressão. Nunca tinha tido hipertensão passei a ter. Tem dias que fica só querendo chorar”.

“Me preocupo com meus filhos que depois da lama ficaram mais tristes”.

“Eu deixo minhas roupas todas dentro de um saco preparado por que eles deram tudo inferior ao que a gente já tinha. Não quero perder tudo de novo”.

“As incertezas é que matam”

“O emocional está muito atingido. As pessoas estão com medo da outra barragem. Não consigo dormir direito. Isso é muito sério. No momento do rompimento tratei de forma muito tranquila. Quando falaram que a outra iria estourar, que é muito maior, adquiri o pavor. Na hora que você fala, o pânico é um dos maiores problemas. Concordo quando “Fulano” (nome foi preservado) que disse que muitas pessoas morreram de diversas causas após o desastre”

Sobre a amplitude do entendimento da população quanto aos efeitos à saúde, abaixo tem-se o trecho de um relato de uma pessoa da comunidade, que demonstrou o sentimento de todos que estavam presentes.

“Estamos tendo todos os tipos de mal e as pessoas estão morrendo. Morrem de depressão, alcoolismo, derrame. O maior mal dessa lama não é a lama propriamente dita, é o que ela causa dentro da gente. Ela faz a gente se sentir triste, nós produzimos toxinas dentro de nós com efeitos adversos. Não poder voltar para sua casa, ter seus direitos negados, ver seu gado morrendo, ter seu nome sujo porque o gado parou de dar leite e não conseguir pagar as contas, ter toxinas dentro da gente, metais pesados, tudo isso...toda cidade adoeceu ou está adoecendo. Perdemos as áreas de convivência, de práticas de esporte, os rios que eram utilizados para lazer, o garimpo para ajudar no sustento, o dinheiro faz falta. São vários os fatores que causam o adoecimento. Você não enxerga uma luz no fim do túnel, isso causa desespero.

Qualquer coisa vem abalar a saúde da gente. Uma negativa de direito pela Samarco gera um problema de saúde, o medo que uma casa pode desabar, a negação de direito, o medo de não ter dinheiro para pagar as contas, tudo isso nos leva a uma contrariedade, um medo, uma ansiedade, nos causa um problema de saúde. Tem gente aqui que não é a mesma pessoa. As pessoas brincavam, riam... hoje em dia, você conversa com as mesmas pessoas e elas começam a chorar... e muitas pessoas dessas pessoas morreram.

Conheço um casal que os dois estão ficando cegos (estou acompanhando eles). Eles não têm dinheiro para fazer a cirurgia, a RENOVA deve e não quer pagá-los. Eles cozinhavam com a lenha que cortavam, que a lama levou e/ou sujou. Quando cozinham com a lenha, a fumaça solta um cheiro horrível.

Tem locais que os peixes estão sendo criados em poços onde passou a lama. Alimentos sendo plantados em locais onde passou a lama.

Um senhor saía de casa todo dia cedo para a Roça, a esposa de 87 anos ficava em casa, cozinhava tinha uma vida ativa. Hoje, após a perda da sua roça, eles não têm o que fazer, estão tristes em casa”

Preocupações com o meio ambiente e a saúde.

Quanto aos fatores ambientais e efeitos à saúde, o aumento da poeira na região foi uma das principais queixas da população, tendo sido relatado pela totalidade dos entrevistados, tanto da área urbana quanto das áreas rurais. Após o desastre, as pessoas entrevistadas afirmaram que, principalmente no período em que a lama estava sendo retirada das ruas por máquinas e caminhões, a quantidade de poeira que subia formava uma “nuvem”, que entrava nas casas, colava no corpo e causava diversos problemas respiratórios. O aumento do fluxo de carros na região, decorrente do desastre, também foi citado como um fator facilitador de dispersão da poeira aumentando a quantidade dentro das casas. Mesmo depois da retirada de toda a lama da cidade de Barra Longa, a população afirma que o problema com a poeira ainda permanece. Dentre as principais preocupações com a poeira, destaca-se:

- Receio de que a poeira possa estar contaminada e que faça mal à saúde, receio de que a poeira contamine os legumes e verduras das hortas, ou a água que bebem;
- Afirmam que com o aumento da poeira houve aumento de problemas respiratórios e alérgicos. Relatam sintomas e problemas tais como: tosse, coriza, rouquidão, coceira na garganta, congestão, “coceira nariz”, piora no quadro de bronquite, ou de alergias já existentes e aumento da frequência de gripe;

“Deveriam distribuir umidificador para a população por causa da poeira. Se não tem como resolver a questão da poluição do ar, tem que entregar soluções para a população”

Fala de morador atingido

- Sentem coceiras no corpo e sensação de “pinicar” por causa da poeira, além de sensação de que a pele fica mais seca. Um dos entrevistados afirmou que já tinha dermatite, mas que com o aumento da poeira o quadro piorou;
- Grande parte das pessoas mencionou sobre a possibilidade da lama estar contaminada e se preocupa com o contato das pessoas e dos animais com a terra. Segundo eles, a Fundação Renova mexeu na terra, plantou capim sobre ela, mas não

retirou todo o rejeito. Partes desse rejeito ainda permanecem nos terrenos das casas das pessoas e outras partes estão sendo depositadas em localidades próximas. Alguns se preocupam especificamente com a presença de metais pesados na lama e com a possibilidade de que essa exposição, a longo prazo, possa fazer mal à saúde. Os bloquetes construídos a partir da lama e utilizados nas obras públicas de reconstrução da cidade foram citados com preocupação: “Fizeram bloquetes da lama, mas e se tiver produto químico? E se isso fizer mal para a saúde? Se pisar descalço o que acontece? ”;

- Sobre a vegetação, algumas pessoas desconfiam que a Fundação Renova tenha jogado “adubo”, pois cresceu muito rápido e com bom aspecto. Em contrapartida, as hortas e plantações, segundo entrevistados, ficaram amareladas e morreram. Alguns relatam que desistiram de plantar pois “morre tudo”. Citam também que o capim que nasce sobre a lama tem ficado mais amarelado e que as árvores têm morrido.
- Apontaram preocupações com os animais. Uma pessoa afirmou que a égua estava prenha, tomava água do rio e abortou (há uns 2 anos). E outra disse que aumentou a ocorrência de Gabarro no gado: “As vacas, que pastam onde passou a lama, estão ficando com problema no casco. A unha inflama e elas não conseguem andar”; e
- Afirmam que as vacas leiteiras, ao pastarem, entram em contato com a poeira e as infecções em suas tetas, ou mastites ocorrem com grande frequência. Nesse caso, não podem mais ordenhar o leite para venda e além disso gastam muito mais dinheiro com antibióticos para o animal. Afirmam que a Renova não faz esse ressarcimento dos problemas secundários provenientes do desastre.

Preocupações com o consumo de água e alimentos

- A água para consumo humano também foi uma preocupação que apareceu na fala dos entrevistados;
- Relataram também que não consomem mais alimentos provenientes da produção local, por não saberem se foram cultivados em locais que a lama passou;

“O gosto da água fica ruim e com cheiro. A água vem da distribuidora. A água das casas vem do poço (a lama passou por cima dos encanamentos). Eles colocam o remédio na água que é retirada do poço. Duas a três vezes por semana vem um carro fazer análise de água, eles colocam luva, máscara e touca, colocam o produto na água. A lama passou por cima do poço. Se esses produtos são tão tóxicos, pela precaução deles ao lidar com os produtos, por que tomamos da água? Eles vêm e fazem uma análise e nunca divulgam os resultados dos estudos com a água”.

“Antes do desastre muitos se abasteciam da Água do “bicão” de mariana (perto da garagem de UNIVALE em mariana – Mina Del Rei). Muita gente vai lá. Os caminhões pipa vão lá, pegam a água no bicão e distribuem. A renova não informa onde pegam a água. As pessoas querem acompanhar os caminhoneiros e eles não deixam”.

“A Renova falou que quando tiver dando raio, não é para ficar perto da lama por que é perigoso. Agora, quando chove, a gente fica tudo dentro de casa e tira tudo da tomada”.

Relatos de moradores

- Querem respostas quanto ao consumo de alimentos de forma segura e se a água de suas casas não contém contaminação por metais; e
- A população da área rural de Barra longa diz que evitam consumir alimentos como peixe, leite, ovos, carnes, frutas, verduras e tubérculos) produzidos na região, optando por comprar mantimentos no centro de Barra Longa, onde são vendidas mercadorias vindas de outras localidades, ou ainda, optam por produtos industrializados, conforme explicações abaixo:

“Nós compramos comida em Barra Longa. Não tenho coragem de comer o peixe do rio. Não como mais manga do pé de manga que a lama passou e nem nenhuma outra fruta. Tem muita gente que não come com medo das consequências a longo prazo. (...) O peixe não morre, mas se a gente comer o peixe falaram que o tempo que vai demorar para fazer mal é de 6 a 8 anos”.

“O médico disse que a lama pode fazer mal. Que comer o peixe do rio pode fazer mal”

“Não tomo leite das vacas que pastam nessa lama por que acho que está contaminada”.

“Gostaria de saber se posso comer a mandioca que planto no meu quintal, se não vai me fazer mal”.

“Tinha um mini poço, mas não sei se posso usar essa água. Eu vou ter uma horta, vou usar a água para aguar, eu posso fazer isso? Não sei porque nunca me devolveram o resultado das análises.”

Preocupações relacionadas às condições e à qualidade de vida da população atingida

Sobre trabalho e renda, alguns revelaram que tiveram que parar temporariamente ou permanentemente suas ocupações por diversos motivos. Uma das entrevistadas contou que antes do desastre trabalhava fazendo unha e cabelo, mas que depois do ocorrido teve que parar pois entrou em um processo depressivo e por que precisou cuidar do marido que já tinha problemas de saúde mental, e após o desastre piorou seu estado de saúde.

Uma outra pessoa também afirma que deixou de trabalhar, pois a filha ficou doente após o desastre e ela teve que se dedicar a ela. Uma das pessoas tinha como fonte de renda a produção e venda de queijo, e quando teve que sair de casa, após o desastre, parou de fazer queijo, por não ter mais seus animais para produção de leite e teve que ficar só com o “benefício” da Renova. Outro relato se refere a uma pessoa que teve que parar de trabalhar, pois teve que ceder espaço que utilizava para o filho que perdeu a oficina mecânica por causa da lama.

Sobre os impactos no modo de vida da população Barralonguense, moradores mencionam que após o desastre, a cidade foi “invadida” por trabalhadores, curiosos, estudiosos, imprensa e pessoas de fora, o que gerou uma perturbação do modo de vida com o qual estavam acostumados.

Nas áreas rurais as pessoas apontam para a perda do sossego, do silêncio e da paz que tinham antes de tudo acontecer, devido ao aumento do fluxo de carros e trabalhadores na região.

Além disso, devido à poluição e ao cercamento do rio, as crianças já não podem mais utilizá-lo para brincar, tomar banho e pescar. O Rio para eles, era um espaço de lazer, diversão e sociabilidade que eles perderam com o desastre. Alguns moradores, tanto das áreas urbanas quanto das áreas rurais, afirmam que deixaram de plantar ou criar animais no terreno, por receio da contaminação do solo ou por que a plantação morre antes do tempo.

A mudança provisória de casa no momento da reparação dos danos também foi relatada como um momento de muita perturbação e geração de sofrimento. Muitos tiveram que sair com a roupa do corpo e ficaram dias sem poder retornar para casa. Narram que até seus animais de estimação foram perdidos.

No centro de Barra Longa, afirmam sobre o aumento da criminalidade, além de casos de assédio devido ao grande contingente de homens que chegou na cidade. Uma das entrevistadas afirma que os homens ficam olhando e “mexendo” com as mulheres e que por conta da entrada de pessoas estranhas na cidade já não dá mais para deixar a janela aberta.

Algumas pessoas ainda não foram devidamente indenizadas, segundo os relatos, e não tiveram suas casas reparadas. Sentem-se angustiados e ansiosos e sofrem muito devido à incerteza quanto ao processo de indenização.

“Essa Samarco é ruim demais. A Samarco é louca! Tinham duas casas, uma do lado da outra, no caso de uma eles tiraram os moradores e indenizaram, e para a casa do lado não indenizaram nada. (...) São 9 casas que estão em área de risco. Das 9 casas apenas 2 tiveram direito ao reassentamento e algumas casas que estão mais para cima do morro, longe do rio, tiveram direito, e nós que moramos na beira do rio não tivemos”.

Relato de morador

Capítulo III: Contaminantes de Interesse

CONTEXTUALIZAÇÃO

Os contaminantes de interesse são os compostos ou elementos químicos específicos do local de risco, que a equipe de ARSH seleciona para uma avaliação posterior sobre seus efeitos potenciais na saúde. A identificação dos contaminantes de interesse é um processo interativo que se baseia na análise das concentrações dos contaminantes no local, na qualidade e suficiência dos dados da amostragem ambiental, na produção de dados ambientais próprios pela equipe de ARSH, quando necessário, e no potencial de exposição humana. Assim, são duas as etapas do processo de determinação dos contaminantes de interesse, à saber: validação dos dados ambientais existentes e avaliação dos dados analíticos, detalhadas abaixo:

- **Validação dos dados ambientais existentes**

Caso os dados ambientais existentes sejam insuficientes ou inadequados, segundo os critérios da metodologia, a equipe de ARSH relatará a insuficiência ou inadequação dos dados ou produzirá novos dados, para que todos os compartimentos ambientais e todos os potenciais contaminantes de interesse estejam devidamente avaliados. Na necessidade de produção de novos dados, devem ser observadas as seguintes etapas:

- 1- Planejamento da amostragem, incluindo: Premissas para a amostragem; Definição dos compartimentos ambientais e contaminantes a serem avaliados; Definição dos procedimentos de amostragem; Definição dos valores de referência; Definição dos métodos analíticos.
- 2- Realização da amostragem ambiental, incluindo: Elaboração de pré-planejamento da amostragem ambiental; Visita à área para confirmação das premissas do pré-planejamento; Realização da amostragem ambiental. Essa etapa será melhor detalhada adiante, para realização da ARSH em Mariana e Barra Longa.

Cabe destacar que sempre que necessária a produção de novos dados, as premissas que forem estabelecidas para a ARSH devem ser observadas para o planejamento de amostragem.

- **Avaliação dos resultados analíticos**

Ocorre através da comparação com os valores de referência utilizados, determinação dos contaminantes de interesse em cada compartimento ambiental.

Etapas da amostragem ambiental

As etapas da amostragem ambiental para a realização da ASRH em Mariana e Barra Longa foram seguidas conforme as diretrizes da metodologia de ARSH do Ministério da Saúde, que preconizaram:

- Validação das informações ambientais existentes
- Pré-planejamento da amostragem ambiental
 - Seleção dos contaminantes de potencial interesse
 - Seleção dos compartimentos ambientais para a amostragem
 - Especificação dos métodos e procedimentos de amostragem
 - Especificação dos métodos analíticos
 - Determinação dos valores de referência a serem utilizados
- Visita às áreas de amostragem
 - Confirmação dos pontos de amostragem
- Realização da amostragem ambiental
 - Realização de coleta e análises laboratoriais
- Comparação dos resultados laboratoriais com os valores de referência para determinação dos contaminantes de interesse.

O plano de amostragem contendo todo o planejamento da realização da amostragem ambiental para Mariana e Barra Longa estão apresentados nos Anexos 4 e 5.

Critérios de amostragem

Na amostragem de solo superficial buscou-se as áreas de deposição da lama de rejeitos, que formaram um “novo solo” superficial, priorizando as áreas com presença de pessoas (residentes e/ou pessoas com atividades no local), bem como áreas caracterizadas pela produção de alimentos e pela presença de animais ou indícios de sua presença (fezes ou pisoteamento). Esse “novo solo” superficial, após a secagem dos

rejeitos, passa a ser um emissor de poeira, podendo gerar potenciais novas rotas de exposição.

A água de consumo humano, em suas diferentes formas de captação (superficial e subterrânea), foi amostrada no seu ponto de consumo. A seleção desse compartimento deu-se a partir dos relatos de preocupação da comunidade com o consumo de água nas várias localidades atingidas, mesmo considerando que já havia realização de outros estudos prévios na área. As localidades visitadas, de maneira geral, durante a etapa de levantamento das preocupações, expressaram grande preocupação com a água de consumo humano.

A amostragem dos alimentos foi realizada em áreas onde ocorreu a deposição da lama de rejeitos e se observou indícios de utilização do solo tanto para cultivo como para pastagem.

Na etapa de preocupações da comunidade, os levantamentos apontaram que a população residente nos dois municípios em questão, apontaram que o consumo de leite de vaca e ovo de galinha é uma preocupação frequente, principalmente por serem localidades rurais com produção de leite, e criação de galinhas.

Realização da amostragem sob a estratégia de pior cenário

Considerando a estratégia de **pior cenário**, o plano de amostragem para cada compartimento ambiental buscou o levantamento de dados para todos os potenciais contaminantes de interesse nas áreas imediatamente próximas ao leito das drenagens afetadas pela lama de rejeitos, bem como no seu entorno. A estratégia deu-se principalmente em áreas povoadas, e incluiu os seguintes compartimentos ambientais: solo superficial, água subterrânea, água superficial, água de abastecimento público, sedimentos, leite de vaca, ovo, poeira domiciliar e vegetais comestíveis.

Abaixo são detalhados os compartimentos considerados como **pior cenário** pela equipe de ARSH, na amostragem durante as visitas às localidades de Mariana e Barra Longa.

- **Sedimentos**

Independente dos condicionantes na definição da estratégia de “pior cenário”, adotada nos estudos de ARSH, os pontos de amostragem de sedimentos foram localizados preferencialmente em áreas de menor velocidade de fluxo das drenagens, onde ocorre uma deposição de material particulado mais leve e de menor granulometria, e caracterizam-se por serem os principais carreadores dos contaminantes orgânicos ou metálicos. Adicionalmente, numa perspectiva de pior cenário, buscou-se a coleta do sedimento dos 5 cm mais superficiais, representativos do “novo sedimento” formado pela lama de rejeito.

- **Água superficial**

Na ARSH, independente da estratégia de sua realização, os pontos de amostragem de água superficial serão localizados em áreas de menor velocidade de fluxo das drenagens, chamados pontos de remanso. Esses são caracterizam-se por conter maior densidade de particulado mais fino, incluindo colóides, os principais carreadores dos contaminantes, orgânicos ou metálicos. Na perspectiva de pior cenário, buscou-se a coleta de amostras de água superficial em áreas onde foi observada a presença da lama de rejeitos nas margens.

- **Solo superficial**

Conforme já assinalado, nos estudos de ARSH, considera-se na amostragem do solo superficial àquele coletado em uma profundidade não superior à 10 cm. Este solo superficial (ver “considerações iniciais”), além de representar o material de contato direto, é também da camada mais superficial do solo onde se concentram a maioria dos contaminantes, orgânicos ou inorgânicos por apresentarem baixa mobilidade vertical. É desta camada de solo de onde se mobilizam os gases e particulados mais finos (poeira) que propiciarão a exposição humana pela ingestão involuntária, e pela inalação.

Na perspectiva de pior cenário, buscou-se a coleta de amostras de solo superficial somente em áreas onde a deposição da lama de rejeitos formou o “novo solo” superficial nas áreas de várzea das drenagens. Adicionalmente a esta condição, a coleta foi realizada somente em áreas onde foram observados cultivos de alimentos

(principalmente frutas e tubérculos) ou onde havia claros indícios de ocorrência de pastagens.

- **Águas para consumo humano**

Usualmente, nos estudos de ARSH, a amostragem de água para consumo humano é realizada em áreas com suspeita de contaminação, principalmente nas áreas urbanas, visando avaliar a possibilidade de contaminação da rede de abastecimento pelos efeitos de “pane seca”. Em outras ocasiões, a coleta ocorre também em áreas suspeitas de contaminação onde a água para consumo humano seja de captação subterrânea.

Nas localidades de Mariana, em função dos resultados do monitoramento realizado pela Fundação Renova, inicialmente, a equipe de ARSH não previa realizar a amostragem da água para consumo humano. No entanto, em vista das preocupações apontadas pela comunidade, a equipe decidiu por realizá-la.

Na perspectiva de pior cenário, buscou-se a coleta da água para consumo humano em localidades onde a (precária) rede de distribuição encontrava-se soterrada pela lama de rejeitos. Desta forma, foram amostradas água para consumo humano provenientes tanto dos sistemas públicos de abastecimento como das captações subterrâneas.

- **Alimentos (frutas e tubérculos)**

Numa perspectiva de pior cenário, buscou-se a coleta de amostras de alimentos (principalmente frutas e tubérculos) somente em áreas onde se constatou a presença da lama de rejeitos formando o “novo solo”.

- **Leite e ovos de galinha**

Numa perspectiva de pior cenário, coletou-se amostras de leite de vaca em áreas onde o animal pastava em locais atingidos pela lama e ovos de galinha, onde os animais ciscavam preferencialmente em áreas com solo superficial sob influência direta ou

indireta da deposição de material particulado suspenso (poeira) procedente de solo superficial suspeito de contaminação.

- **Poeira domiciliar**

A coleta de amostras de poeira domiciliar tornou-se uma prática usual nos estudos de ARSH, em áreas suspeitas de contaminação, principalmente onde predominam as vias públicas de solo batido.

Na lógica de pior cenário, coletou-se amostras da poeira nas residências sob impacto direto do “novo solo” representado pela deposição (e posterior secagem favorecendo a emissão como particulado suspenso pelos ventos) da lama de rejeitos. A emissão da poeira proveniente da lama de rejeitos foi incrementada pela movimentação do transporte dessa lama nas intervenções remediadoras da Fundação Renova.

Definição dos Métodos Analíticos

De acordo com o plano de amostragem (anexos 04 e 05), foram seguidos os procedimentos operacionais padrão (POP) de rotina para coleta e envio das amostras para análise.

Os métodos analíticos selecionados tiveram como premissas:

a) serem normas estabelecidas nacional e/ou internacionalmente; e

b) apresentarem limites de quantificação abaixo dos valores de referência definidos pela equipe de ARSH.

Os métodos analíticos utilizados, bem como seus respectivos limites de quantificação são apresentados de forma específica para cada compartimento ambiental e para cada contaminante analisado nos respectivos laudos analíticos (Anexo 06 Laudos Analíticos Mariana e Anexo 7: Laudos Analíticos Barra Longa).

Definição dos valores de referência

A equipe da Ambios utilizou os seguintes valores de referência para todas fases dos estudos de ARSH em localidades atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão:

Águas para consumo humano e água superficial

- ✓ Padrão de potabilidade da [Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, do Ministério da Saúde](#)

Alimentos

- ✓ ANVISA - [RDC Nº 42/2013](#) e FAO - [CODEX ALIMENTARIUM](#)

Sedimentos

- ✓ Resolução [CONAMA No 454/2012](#)

Solo

- ✓ Resolução [CONAMA No 420/2009](#) – Valor de Prevenção de acordo com seu Artigo 3, Parágrafo III.

Poeira Domiciliar

- ✓ Resolução [CONAMA No 420/2009](#) – Valor de Prevenção de acordo com seu Artigo 3, Parágrafo III.

Condicionantes para a realização da ARSH: Localidades dos municípios atingidos de Mariana e Barra Longa

A avaliação dos dados obtidos nas etapas de planejamento para a realização da amostragem ambiental nas localidades de Mariana e Barra Longa permitem à equipe de ARSH da Ambios a avaliação sobre as diferenças marcantes entre as localidades dos dois municípios mineiros, tanto nas características ambientais, como nos impactos gerados pela lama de rejeitos e sua potencial geração de rotas de exposição humana aos possíveis contaminantes.

As diferenças são acentuadas mesmo em localidades do mesmo município, impondo uma avaliação de risco diferenciada para cada localidade, em cada um dos municípios. Os condicionantes locais específicos encontrados, na realidade, são como se impusessem a realização de vários estudos de ARSH.

Isto poderia indicar que, numa visão momentânea e de curto prazo, os contaminantes de interesse e as correspondentes rotas de exposição encontradas em cada localidade, somente seriam válidas (com as conseqüentes recomendações de saúde pública) para aquela localidade. Assim, em uma perspectiva de médio e longo prazo e considerando que:

- ✓ Os complexos mecanismos de transporte dos contaminantes, diferenciados em cada localidade, mas com efeitos em médio e longo prazo ao longo de toda a bacia hidrográfica atingida pela lama de rejeito;
- ✓ A grande massa de rejeito da mineração depositada nas drenagens, suas margens e áreas de várzea, que atuam de forma perene, até sua completa remoção, como fonte de emissão secundária dos contaminantes;
- ✓ Que após a emissão para o ambiente os contaminantes metálicos permanecem no local, por sua característica de persistência;

Esses contaminantes poderão, local e ocasionalmente, passar por processos de enriquecimento, mobilização e biodisponibilização originando rotas de exposição humana.

Diante disso, cabe ressaltar, que a hipótese de “inércia” ambiental da lama de rejeito e dos contaminantes nela contidos não é compartilhada pela equipe de ARSH da Ambios, conforme já explicitado no item “Considerações iniciais”.

Assim, levando em consideração o acima exposto, restam as seguintes questões:

- *Qual a quantidade de metais pesados contida na lama de rejeito?*
- *Quando esses metais tóxicos serão remobilizados e biodisponibilizados para os compartimentos ambientais, gerando rotas de exposição humana?*
- *Sob que circunstâncias esses metais tóxicos serão remobilizados e biodisponibilizados para os compartimentos ambientais, gerando rotas de exposição humana?*
- *Com qual dimensão esses metais tóxicos serão remobilizados e biodisponibilizados para os compartimentos ambientais, gerando rotas de exposição humana?*
- *Quais são os compartimentos ambientais já impactados e quais poderão sê-lo no futuro?*

Na presente ARSH, apenas parte dessas questões poderão ser respondidas. Assim sendo, e pelo período de tempo que perdurar os efeitos contaminantes da lama de rejeito, será necessário o monitoramento constante dos compartimentos ambientais afetados.

Na realização da ARSH nas localidades nos municípios de Mariana e Barra Longa foram considerados os seguintes aspectos:

Qualidade e adequação à metodologia ARSH dos dados ambientais existentes

Conforme previamente exposto, a atividade inicial da equipe de ARSH da Ambios, foi a de organizar, avaliar e validar as informações e dados de todos os estudos disponibilizados pela Fundação Renova de produção própria ou produzidos pela Samarco, pela Vale ou por terceiros, contratados por essas entidades. Além disso, foram revistos os informes disponíveis do Setor Saúde, estudos e relatos de outras fontes (ONGs, academia e mídia), bem como os relatos sobre casos semelhantes envolvendo a emissão de contaminantes metálicos pelas atividades de mineração.

Há de se ressaltar, que esta avaliação inicial cobriu os dados dos estudos sobre os ambientes atingidos desde o local do rompimento da barragem de rejeitos em Bento Rodrigues, até a foz do rio Doce em Linhares/ES, e áreas da costa do Espírito Santo.

Pela estratégia metodológica selecionada, a seguir apresentada e justificada, não foram considerados os dados dos estudos produzidos no ambiente marinho da costa capixaba.

Para o processo de determinação dos contaminantes de interesse, a equipe de ARSH avaliou dados levantados pela própria equipe, dados fornecidos pelo Setor Saúde das três esferas de gestão do SUS e os dados ambientais disponibilizados pela Fundação Renova. O conteúdo integral da avaliação desses dados foi apresentado no Capítulo I – Avaliação dos dados existentes deste Relatório.

Nesta avaliação, a equipe de ARSH da Ambios constatou lacunas nos dados disponibilizados pela Fundação Renova em relação a alguns dos compartimentos ambientais de interesse, pela possibilidade de representarem potenciais rotas de exposição humana aos contaminantes metálicos da lama de rejeitos. Outros compartimentos, onde a experiência da equipe não indicava a possibilidade de rotas de

exposição humana, mas onde havia a preocupação externada pela população, foram considerados necessários na investigação.

Acerca das lacunas mencionadas acima, pode-se mencionar que nos materiais disponibilizados pela Fundação Renova, não haviam dados sobre a contaminação dos alimentos (frutas, legumes, leite bovino, ovo de galinha e, principalmente, tubérculos). Ainda, apesar da existência de informações sobre a qualidade da água para consumo humano, mas em função da manifestação de preocupação da população, ou com a falta de divulgação dos resultados de suas coletas, ou com a preocupação dos dados apresentados pela Fundação Renova, a equipe decidiu coletar e analisar amostras de água, em busca de respostas para a população.

Por outro lado, dados existentes sobre outros compartimentos ambientais (solo, água superficial, sedimentos) não atendiam aos requisitos da metodologia de ARSH empregada (localização, procedimentos de coleta, dentre outros).

Desta forma, todas as informações ambientais utilizadas na definição de contaminantes de interesse nas localidades de Mariana/MG e Barra Longa foram produzidas pela equipe de ARSH da Ambios.

Prazo (urgência)

A maioria dos estudos de ARSH já realizados pela equipe da Ambios tratava-se de “passivos ambientais” com histórico de décadas e farta documentação sobre muitos aspectos. Conforme previamente assinalado, nesses estudos, relativamente menos urgentes quanto aos resultados para as ações de acompanhamento de saúde das populações potencialmente expostas, tiveram prazo de cerca de 12 meses para sua realização (ver “Considerações iniciais”).

No caso dos impactos gerados pelo rompimento da barragem da Samarco em Mariana, cuja lama de rejeitos percorreu mais de 500 km atingindo localidades em dezenas de municípios e com influências sobre centenas de comunidades de características diversas, a urgência nas respostas para as ações de saúde de acompanhamento às populações expostas passou a ser fundamental.

Além disso, os estudos de ARSH somente foram iniciados decorridos quase 3 anos do evento emissor e agravando a urgência quanto aos resultados para a realização de acompanhamento de saúde dessas comunidades.

Observando todas as possibilidades para a realização dos estudos, desde que preservados seus objetivos centrais, quais sejam, fundamentar as ações de saúde para acompanhamento das populações potencialmente expostas aos contaminantes, a equipe de ARSH da Ambios elaborou uma estratégia para a realização dos estudos em 3 fases com duração de 8 meses para cada fase. A estratégia proposta para a realização dos estudos enfatizou as populações mais diretamente atingidas pela lama de rejeitos e seus contaminantes metálicos.

Há de se ressaltar, neste contexto que, de forma amostral, cada fase proposta pela equipe de ARSH da Ambios é composta por 3 municípios com várias localidades, de 5 a 8 em cada município, com características diversas em quase todos seus aspectos (ambientais e de saúde). O condicionante prazo de realização dos estudos tornou-se a questão fundamental a ser considerada na estratégia para a realização dos estudos.

Desta forma, procurando alcançar resultados no menor espaço de tempo possível, a equipe propôs a realização dos estudos numa estratégia de pior cenário, aceita pelo contratante (Fundação Renova) e com aval da CT-Saúde (Câmara Técnica de Saúde) e do CIF (Comitê Interfederativo), formados para acompanhar as ações de recuperação do desastre. A realização dos estudos numa estratégia de pior cenário afeta também o processo de definição dos “contaminantes de interesse” como será relatado adiante.

Condicionantes ambientais

A preocupação central da amostragem ambiental nos estudos de ARSH recai sobre os compartimentos ambientais que possam representar rotas de exposição humana.

Além dos impactos diretos sobre o curso natural dos componentes da bacia hidrográfica do Rio Doce, a inundação das margens e áreas de várzea desses corpos hídricos resultou na deposição de grandes quantidades de resíduos nas margens e áreas de várzea, alterando totalmente o ambiente físico dessas áreas.

O percurso da principal drenagem impactada pela lama de rejeitos, o rio Gualaxo do Norte, é caracterizado por sinuosidade e muitos meandros. Alternando áreas de estreitamento do curso, com grande velocidade de fluxo, com áreas de alargamento com fluxo mais lento e áreas de várzea mais acentuadas. A visita prévia às áreas após

um pré-planejamento foi uma atividade fundamental na definição dos pontos de amostragem.

O material mais fino, componente da lama de rejeito vai se depositar em áreas de menor velocidade de fluxo do rio e, após a enxurrada de lama, se espriar além das margens e várzeas do rio, formando no “novo solo” nas margens e o “novo sedimento” ao longo das drenagens afetadas. Este material mais fino, com participação de óxido de ferro e manganês hidratados, amorfo, é também um forte hospedeiro de metais traço, muitos deles metais pesados de alta toxicidade.

A presença de metais pesados tóxicos, como o cádmio, e seu enriquecimento nessas frações mais finas dos sedimentos já tem sido relatada nos estudos realizados ou contratados pela Fundação Renova que foram disponibilizados.

Assim, por exemplo, dados de estudos sobre os sedimentos (GOLDER, 2017c) indicam que após a avalanche da lama de rejeitos o contaminante cádmio apresentou picos de alteração de maior magnitude onde as concentrações chegam a atingir valores até cerca de uma ordem de grandeza mais elevados que os máximos históricos e/ou o nível regulatório. Desta forma, o cádmio nos sedimentos coletados em Barra Longa estaria incluído entre os parâmetros que apresentaram picos de concentração após a chegada da pluma de rejeitos (Momento T1) ou durante o pulso de precipitação da estação chuvosa de 2015/2016. Assim, em março de 2017 foi registrada uma concentração máxima de cádmio de 1,199 mg/kg.

Segundo o Relatório citado (GOLDER, 2017c), em momentos posteriores (T3 e T4), o cádmio não voltaria a apresentar pulso de elevação consistente e tenderia a apresentar concentrações mais baixas e a permanecer dentro da faixa de variação anterior ao evento. O mesmo padrão foi observado para os parâmetros arsênio, cromo, chumbo, níquel, zinco, ferro e manganês total sendo que, para o cromo, alcançou uma concentração máxima de 78,5 mg/kg em novembro de 2015.

No entanto, conforme já assinalado, mesmo quando momentaneamente imobilizado nos sedimentos, os contaminantes podem ser remobilizados em diversos eventos, como nas cheias e enxurradas, sendo biodisponibilizados para a cadeia trófica aquática, inclusive peixes e outros organismos aquáticos comestíveis, podendo gerar rota de exposição humana pelo consumo.

Há de se considerar, neste contexto, que os estudos até o momento realizados não contemplam a atividade microbiana no solo e nos sedimentos, reconhecida como importante fator de mobilização e biodisponibilização dos contaminantes.

A gradação granulométrica do material mais leve, depositado além do leito natural desses rios, após secagem, gerou uma importante fonte secundária de emissão de particulado fino (poeira) iniciando, possivelmente, um processo de contaminação de outros compartimentos ambientais. Assim, por exemplo, deve-se considerar a alteração do solo superficial pela deposição desse particulado fino, originando dúvidas sobre a inocuidade de áreas de produção de alimentos.

Nas áreas urbanas e pequenas localidades, principalmente nas proximidades de locais com maior mobilização de poeira, é provável a ocorrência de novas fontes secundárias de emissão, seja pela emissão dos resíduos ressecados seja pelo transporte dos resíduos para outras disposições finais. Nelas se incluem, por exemplo, a água de abastecimento público que, dependendo das condições de armazenamento residencial, pode ter sofrido contaminação atmosférica ou contaminação por sua tubulação soterrada pela lama de rejeito.

Também deve ser considerada a possibilidade da percolação das áreas de deposição dos resíduos pelas águas das chuvas gerando, a depender do perfil litológico dos solos, a contaminação dos aquíferos cuja captação se destina ao consumo humano, irrigação ou consumo dos animais.

Por outro lado, apesar de inicialmente programada, a coleta de organismos aquáticos foi descartada nos dois municípios. Em Mariana, as informações indicaram que após o desastre houve uma eliminação total momentânea da vida aquática, inclusive dos peixes e outros organismos aquáticos comestíveis nesses corpos hídricos. Além disso, em levantamento preliminar dos hábitos alimentares da população de Mariana não há relatos de consumo frequente de pescados oriundos dos rios da região após o rompimento da barragem da Samarco.

LOCALIDADES AVALIADAS DURANTE OS ESTUDOS DE ARSH**Localidades no município de Mariana**

Os pontos de amostragem estavam inseridos nos Distritos de Bento Rodrigues, Camargos, Ponte do Gama, Paracatu de Baixo, Paracatu de Cima, Pedras, Borba e Campinas. Estes Distritos/subdistritos estão localizados ao longo do Rio Gualaxo do Norte e foram atingidos pelo desastre da Samarco de forma direta ou indireta pelo refluxo dos afluentes. Em linha reta, seriam pouco mais de 20 quilômetros separando as localidades mais distantes na área avaliada. No entanto, as características do percurso das drenagens, e as dificuldades de acesso em muitos pontos, fez com que a amostragem ambiental, desde seu planejamento até sua realização, representasse dificuldades a serem consideradas.

Localidades no município de Barra Longa

Os pontos de amostragem no município de Barra Longa abrangeram as localidades de Barretos, Mandioca, Gesteira, Volta da Capela e Centro, localizados ao longo dos Rios Gualaxo do Norte e Rio do Carmo.

Esse município apresentou duas áreas com características marcadamente distintas, sendo uma predominantemente urbana e outra rural, dispersa ao longo da drenagem dos rios Gualaxo do Norte e Carmo.

As áreas foram visitadas entre os dias 26 e 28 de setembro, com o objetivo de observação e análise dos melhores locais de amostragem de cada um dos compartimentos ambientais previstos inicialmente: solo superficial, sedimentos, água superficial, água subterrânea, água de sistema de abastecimento (SAA e SAC), poeira e alimentos.

Vale ressaltar que, que seja pelas interferências da Fundação Renova nas margens através do controle dos processos erosivos e a recuperação de calhas e margens, ou seja pela remoção de grande quantidade da lama de rejeitos, ou ainda pela velocidade de fluxo das águas em leito rochoso e pouco tortuoso, todos esses fatores resultam em

ambientes muito distintos daqueles observados nas localidades do município de Mariana.

Afora suas características hidrogeológicas, principalmente no rio Gualaxo do Norte, encaixado e com grande velocidade de fluxos de suas águas, poucos pontos de amostragem apresentavam condições mais adequadas para a coleta de sedimentos e água superficial nas áreas da sede de Barra Longa e nas suas imediações, tanto a montante quanto a jusante. Por isso, os pontos inicialmente previstos no planejamento para a coleta de água superficial e de sedimentos foram realocados. Sob esta constatação, ressalta-se os dois momentos desse processo, ou seja, situação anterior e posterior aos procedimentos de remediação e limpeza.

No momento anterior à remediação e limpeza em Barra Longa, além da própria presença dos rejeitos, houve uma geração contínua de material particulado fino no ambiente aquático, gerando turbidez e transformação na composição e forma dos sedimentos.

A cidade de Barra Longa, na sua área urbana, sede do município, foi atingida diretamente pela lama de rejeitos tendo uma área considerável da sede submersa pela lama. Coordenados pela Fundação Renova, boa parte dos resíduos dispostos na área urbana foram removidos e diversos outros procedimentos de remediação e limpeza das vias públicas, residências e logradouros atingidos foram realizados. As atividades de remoção e transporte da lama de rejeito aumentou drasticamente a geração de poeira em todas as áreas onde foram realizadas.

Dessa forma, o objeto da amostragem ambiental no município de Barra Longa concentrou-se na área urbana e de algumas localidades como Barreto, Mandioca, Gesteira e Volta da Capela, que concentram a maior parte da população atingida desse município.

DETERMINAÇÃO DOS CONTAMINANTES DE INTERESSE

Mariana

A determinação dos contaminantes de interesse é realizada pela comparação dos dados analíticos obtidos nas amostras ambientais, com os valores de referência utilizados para cada compartimento ambiental.

As tabelas a seguir apresentam os dados analíticos e os valores de referência utilizados para cada compartimento ambiental avaliado. Os limites de quantificação dos métodos analíticos e outras informações sobre os procedimentos analíticos estão apresentados nos respectivos laudos laboratoriais (anexo 06, laudos Mariana).

Dessa forma, com base nos valores de referência utilizados, pode-se concluir que:

- Não foram encontrados contaminantes de interesse nas amostras de frutas (Tabela 3)
- Não foram encontrados contaminantes de interesse nas amostras de tubérculos (Tabela 4)
- Não foram encontrados contaminantes de interesse nas amostras de leite de vaca (Tabela 5).
- Não foram encontrados contaminantes de interesse nas amostras de ovo de galinha (Tabela 6).

Frutas

Tabela 2: Resultados analíticos das amostras de frutas coletadas nos distritos de Mariana-MG.

Frutas

Local	Tipo	Matriz	Nº	ID	Horário	Data	Coordenadas		Resultados em mg.kg ⁻¹										
							LAT	LONG	Fe	Mn	Pb	Cd	As	Hg	Cu	Ni	Zn	Sb	
Limite de quantificação								5,0	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,50	
Bento Rodrigues	Fruta	Cana	1	21713	12:08	28/08/2018	20148834	432511288	8,82	16,84	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,630	<0,50	4,20	<0,50	
Ponte do Gama	Fruta	Cana	2	21714	11:35	29/08/2018	201629956	431756743	11,80	5,17	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,260	<0,50	1,82	<0,50	
Ponte do Gama	Fruta	Laranja	3	21715	11:50	29/08/2018	201630195	431756776	5,23	<0,50	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,342	<0,50	<0,50	<0,50	
Paracatu de Cima	Fruta	Banana	4	21716	11:50	30/08/2018	20184394	43153295	6,76	11,95	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	1,381	<0,50	2,49	<0,50	
Paracatu de Cima	Fruta	Cana	5	21717	14:40	30/08/2018	201722452	431554635	7,58	3,94	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,251	<0,50	<0,50	<0,50	
Paracatu de Baixo	Fruta	Cana	6	21718	16:50	30/08/2018	201757807	431237486	9,51	43,08	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,358	<0,50	2,55	<0,50	
Paracatu de Baixo	Fruta	Cana	7	21719	12:10	30/08/2018	201810936	43141096	6,42	13,35	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,165	<0,50	0,59	<0,50	
Paracatu de Baixo	Fruta	Cana	8	21720	13:00	31/08/2018	201812613	431439964	6,54	22,14	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,243	<0,50	0,51	<0,50	
Pedras	Fruta	Cana	9	21721	15:00	31/08/2018	201754829	431153046	9,76	26,36	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,677	<0,50	3,29	<0,50	
Valores de referência1 (mg.kg-1)											0,1	0,05	0,3						
Valores de referência2 (mg.kg-1)												0,1							

1 ANVISA RDC 42;
2 Codex alimentarius

Tubérculos

Tabela 3: Resultados analíticos das amostras de tubérculos coletadas nos distritos de Mariana-MG

Tubérculos																		
Local	Matriz	Nº	ID	Horário	Data	Coordenadas		Resultados em mg.kg ⁻¹										
						LAT	LONG	Fe	Mn	Pb	Cd	As	Hg	Cu	Ni	Zn	Sb	
Limite de Quantificação								5,0	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,50	
Bento Rodrigues	Inhame	1	21723	12:08	28/08/2018	20149908	43258501	16,94	14,75	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	3,136	<0,50	2,94	<0,50	
Ponte do Gama	Inhame	2	21724	11:35	29/08/2018	201631336	431759546	16,55	60,02	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	2,326	<0,50	13,19	<0,50	
Ponte do Gama	Mandioca	3	21725	12:00	29/08/2018	201630132	431756446	6,47	16,58	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,497	0,63	3,16	<0,50	
Paracatu de Cima	Mandioca	4	21726	15:00	30/08/2018	20183382	43151961	5,60	5,88	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	1,158	<0,50	2,91	<0,50	
Paracatu de Cima	Mandioca	5	21727	14:40	30/08/2018	201722452	431554635	<5,00	3,62	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,592	<0,50	2,14	<0,50	
Paracatu de Baixo	Inhame	6	21728	13:00	30/08/2018	201755014	431241624	24,56	41,45	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	1,170	<0,50	14,83	<0,50	
Paracatu de Baixo	Mandioca	7	21729	12:00	30/08/2018	201810936	43141096	26,89	22,26	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,433	<0,50	4,40	<0,50	
Campinas	Inhame	8	21730	08:00	31/08/2018	201623122	43105725	7,70	3,96	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	1,272	<0,50	6,01	<0,50	
Paracatu de Baixo	Mandioca	9	21731	09:15	31/08/2018	201811948	431437877	5,08	4,69	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,864	<0,50	3,03	<0,50	
Borba	Mandioca	10	21732	15:00	01/09/2018	20187634	43123749	<5,00	5,81	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,688	<0,50	4,36	<0,50	
Valores de referência ¹ (mg.kg ⁻¹)										0,1	0,1	0,2						
Valores de referência ² (mg.kg ⁻¹)											0,1							

1 RDC Anvisa; 2 Codex alimentarius

Leite de vaca

Tabela 4: Resultados analíticos das amostras de leite de vaca coletadas nos distritos de Mariana-MG

Leite

Local	Tipo	Nº	ID	Horário	Data	Coordenadas		Resultados em mg.-kg-1									
						Lat.	Long.	Fe	Mn	Pb	Cd	As	Hg	Cu	Ni	Zn	Sb
						Limite de quantificação		0,010	0,010	0,010	0,001	0,001	0,0001	0,0001	0,010	0,010	
Ponte do Gama	Leite	1	21733	14:50	29/08/2018	201602312	431711071	<5,00	<0,50	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,255	<0,50	7,33	<0,50
Paracatu de Cima	Leite	2	21734	09:00	30/08/2018	201721895	431554072	<5,00	<0,50	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,287	<0,50	2,30	<0,50
Paracatu de Baixo	Leite	3	21735	09:30	30/08/2018	201755014	431241624	<5,00	<0,50	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,853	<0,50	3,71	<0,50
Pedras	Leite	4	21736	16:00	31/09/2018	201754829	431153046	<5,00	<0,50	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	<0,050	<0,50	4,23	<0,50
Borba	Leite	5	21737	16:30	31/09/2018	201811948	431437877	<5,00	<0,50	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,222	<0,50	2,96	<0,50
Campinas	Leite	6	21740	16:00	01/09/2018	201623122	431037251	<5,00	<0,50	<0,50	<0,050	<0,050	<0,050	0,298	<0,50	5,79	<0,50
										0,02	0,05	0,05					
											<2ppm			0,05			

Valores de referência¹ (mg.kg-1)Valores de referência² (mg.kg-1)¹ RDC nº 42 de 29 de agosto de 2013² Codex alimentarium

Ovo de galinha

Tabela 5: Resultados analíticos das amostras de ovo de galinha coletadas nos distritos de Mariana-MG

OVO de galinha

Local	Tipo da Amostra	Nº	ID	Horário	Data	Coordenadas		Resultados em mg.kg-1									
						Latitude	Longitude	Fe	Mn	Pb	Cd	As	Hg	Cu	Ni	Zn	Sb
Limite de quantificação								0,010	0,010	0,010	0,001	0,001	0,0001	0,0001	0,010	0,010	
Ponte do Gama	Ovo	1	21742	12:00	29/08/2018	201631336	431759546	35,58	<0,50	<0,50	<0,050	< 0,0010	< 0,050	0,992	< 0,50	18,83	< 0,50
Ponte do Gama	Ovo	2	21743	15:27	29/08/2018	20160231	431711107	44,46	<0,50	<0,50	<0,050	<0,0010	<0,050	1,393	<0,50	26,69	<0,50
Paracatu de Baixo	Ovo	3	21744	14:40	30/08/2018	201759139	43123843	54,83	0,96	<0,50	<0,050	<0,0010	<0,050	1,515	<0,50	25,62	<0,50
Paracatu de Baixo	Ovo	4	21745	14:50	30/08/2018	201812877	43142947	36,88	0,65	<0,50	<0,050	<0,0010	<0,050	0,973	<0,50	20,37	<0,50
Paracatu de Baixo	Ovo	5	21746	09:00	31/08/2018	201824978	431350859	65,68	1,15	<0,50	<0,050	<0,0010	<0,050	2,036	<0,50	37,06	<0,50
Paracatu de Baixo	Ovo	6	21738	09:30	31/08/2018	201810837	431438673	34,21	<0,50	<0,50	<0,050	<0,0010	<0,050	0,677	<0,50	17,53	<0,50
Pedras	Ovo	7	21739	14:00	31/08/2018	201724544	431138648	47,15	0,59	<0,50	<0,050	<0,0010	<0,050	1,319	<0,50	21,89	<0,50
Valores de referência ¹ (mg.kg-1)										0,1		0,5					

Referências ¹ RDC nº 42 de 29 de agosto de 2013

OBS1 codex: Iron has been evaluated by JECFA in 1983. The PMTDI is established to 0.8 mg/kg bw as a precaution against storage in the body of excessive iron. (Hydrated) iron oxides have been evaluated by JECFA in 1974, 1978 and 1979 (based on their use as colouring agents). An ADI of 0.5 mg/kg bw was established for these iron forms.

Os resultados analíticos assinalaram que nas amostras de água de abastecimento público e superficial os metais **ferro e manganês** foram determinados como contaminantes de interesse por apresentarem concentrações acima dos valores de referência. Já para as amostras de água subterrânea o ferro foi determinado como contaminante de interesse (Tabela 6).

Com base nos valores de referência utilizados (1,3 mg/Kg), nas amostras de **solo** superficial (Tabela 7), o **cádmio**, com concentrações de até 15,87 mg/Kg foi determinado como contaminante de interesse.

Com base nos valores de referência utilizados, nos resultados analíticos das amostras de sedimentos (Tabela 8), o **cádmio** (4,91 mg/Kg) superou o valor de referência utilizado (1,3 mg/Kg); o **níquel**, com concentrações de até 21,93 mg/Kg, superou o valor de referência utilizado (18,0 mg/Kg) e foram classificados como contaminantes de interesse.

Com base nos valores de referência utilizados, nas amostras de poeira domiciliar (Tabela 9), os metais **cádmio**, com concentrações de até 14,32 mg/Kg (Valor de Referência 1,3 mg/Kg); o **chumbo**, com concentrações de até 138,80 mg/Kg (Valor de Referência 72,0 mg/Kg); o **cobre** com concentrações de até 358,70 mg/Kg (Valor de Referência 60 mg/Kg); e o **zinco** com concentrações de até 1.410,00 mg/Kg (Valor de Referência 300,00 mg/Kg), superaram em mais de 4 vezes os respectivos valores de referência e foram determinados como contaminantes de interesse.

Água

Tabela 6: Resultados analíticos das amostras de água coletadas nos distritos de Mariana-MG

Local	Tipo da Amostra	nº	ID	Horário	Data	Coordenadas		Resultados em mg.kg-1									
						LAT	LONG	Sb	As	Cd	Pb	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Zn
						Limite de quantificação						0,0040	0,00600	0,0005	0,0020	0,002	0,010
Paracatu de Cima	Água de SAA	26	46299	10:12	03/09/2018	20184583	43153379	< 0,004	< 0,006	0,0013	0,0039	0,004	0,066	0,014	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Ponte do Gama	Água de SAA	28	46301	13:07	03/09/2018	20161453	4317451	< 0,004	< 0,006	0,0018	0,0047	< 0,002	1,067	0,178	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Ponte do Gama	Água de Subterrânea	27	46300	12:16	03/09/2018	201630375	43180754	< 0,004	< 0,006	0,0013	0,0051	< 0,002	0,020	< 0,005	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Paracatu de baixo	Água SAA	12	46285	13:00	31/08/2018	201824978	431350859	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0057	< 0,002	0,514	0,049	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Paracatu de Baixo	Água SAA	13	46286	12:32	31/08/2018	201822177	431347953	< 0,004	< 0,006	0,0009	0,0038	0,019	0,431	0,024	< 0,0002	< 0,005	0,010
Borba	Água SAA	23	46296	16:48	31/08/2018	201813659	43124119	< 0,004	< 0,006	0,0009	0,0045	< 0,002	0,419	0,066	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Ponte do Gama	Água SAC	5	46278	13:55	29/08/2018	201558938	431750983	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0047	0,002	0,134	0,019	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Paracatu de Baixo	Água SAC	10	46283	10:36	31/08/2018	201812877	43142947	< 0,004	< 0,006	0,0012	0,0041	< 0,002	0,414	0,008	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Pedras	Água SAC	18	46291	15:22	31/08/2018	201724544	431138648	< 0,004	< 0,006	0,0013	0,0036	< 0,002	0,187	< 0,005	< 0,0002	< 0,005	0,072
Pedras	Água SAC	20	46293	17:50	31/08/2018	20214518	43124870	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	< 0,002	0,002	0,217	< 0,005	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Paracatu de baixo	Água SAC	22	46295	15:00	30/08/2018	201810837	431438673	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0051	< 0,002	0,591	< 0,005	< 0,0002	< 0,005	0,025
Barra Longa	água subterrânea	16	46289	13:00	01/09/2018	201610686	431016352	< 0,004	< 0,006	0,0013	0,0030	0,003	0,119	0,005	< 0,0002	< 0,005	0,017
Pedras	água subterrânea	17	46290	14:00	01/09/2018	201654571	43114062	< 0,004	< 0,006	0,0010	0,0036	0,0036	0,200	0,050	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Pedras	água subterrânea	19	46292	16:45	30/08/2018	20175483	431153045	< 0,004	< 0,006	0,0005	< 0,002	0,005	0,033	0,012	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Borba	água subterrânea	21	46294	14:30	01/09/2018	201759509	431159835	< 0,004	< 0,006	0,0006	0,0035	0,009	0,057	< 0,005	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Borba	água subterrânea	25	46298	14:36	01/09/2018	2018763	43123749	< 0,004	< 0,006	0,0010	0,0041	0,008	0,528	0,045	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Bento Rodrigues	Água superficial	1	46274	12:20	28/08/2018	201349592	43254704	< 0,004	< 0,006	0,0005	< 0,002	< 0,002	0,074	0,029	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Camargos	Água superficial	3	46276	14:50	28/08/2018	201554507	432424658	< 0,004	< 0,006	0,0007	0,0024	0,008	0,572	0,035	< 0,0002	0,0084	< 0,01
Ponte do Gama	Água superficial	4	46277	11:31	29/08/2018	201626876	431745625	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0069	0,005	0,384	0,21	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Ponte do Gama	Água superficial	6	46279	15:20	29/08/2018	20162381	431810662	< 0,004	< 0,006	0,001	< 0,002	< 0,002	0,231	0,101	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Paracatu de cima	Água superficial	7	46280	11:07	30/08/2018	201810044	431458945	< 0,004	< 0,006	0,0008	0,0023	0,006	0,245	0,09	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Paracatu de cima	Água superficial	8	46281	13:40	30/08/2018	201737081	431511479	< 0,004	< 0,006	0,0005	< 0,002	0,004	0,276	0,079	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Paracatu de baixo	Água superficial	9	46282	16:40	30/08/2018	201758048	431243915	< 0,004	< 0,006	0,0008	0,0027	< 0,002	0,226	0,073	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Paracatu de baixo	Água superficial	11	46284	11:05	30/08/2018	201810971	431356834	< 0,004	< 0,006	0,0007	< 0,002	0,006	0,452	0,799	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Campinas	Água superficial	14	46287	11:56	01/09/2018	201624717	43105688	< 0,004	< 0,006	0,0009	< 0,002	0,002	0,402	0,080	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Borba	Água superficial	15	46288	17:19	31/08/2018	20175358	43115762	< 0,004	< 0,006	0,0011	0,0027	< 0,002	0,404	0,203	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Paracatu de baixo	Água Superficial	Dupl. 1	46282	16:40	30/08/2018	201758048	431243915	< 0,004	< 0,006	0,0008	0,0027	< 0,002	0,226	0,073	< 0,0002	< 0,005	< 0,01

Valores de referência de acordo com a Portaria de potabilidade de água do Ministério da Saúde

-	0,01	0,005	0,01	2	0,3	0,1	0,001	0,07	5
---	------	-------	------	---	-----	-----	-------	------	---

Solo Superficial

Tabela 6: Resultados analíticos das amostras de solo coletadas nos distritos de MARIANA-MG

Solo

Local	Amostra	Nº	ID	Horário	Data	Coordenadas		Resultados em mg.kg-1									
						Latitude	Longitude	Sb	As	Cd	Pb	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Zn
Limite de quantificação								0,0200	0,0060	0,0010	0,0050	0,002	0,003	0,005	0,0002	0,0050	0,010
Bento Rodrigues	solo	1	46304	10:20	28/08/2018	201410923	432511205	< 0,02	< 0,006	0,0311	0,2503	3,640	952,000	0,292	< 0,0002	0,0096	0,053
Bento Rodrigues	solo	2	46305	11:08	28/08/2018	2014144876	432511882	< 0,02	< 0,006	0,0396	0,1705	2,409	334,000	0,737	< 0,0002	0,0121	0,096
Camargo	solo	3	46306	14:53	28/08/2018	201550393	432520664	0,0678	< 0,006	0,0767	0,4509	3,863	161,200	5,482	< 0,0002	0,8251	4,603
Ponte do gama	solo	4	46307	13:50	29/08/2018	201553452	431749779	0,0413	< 0,006	0,0596	0,2806	3,517	67,760	55,990	< 0,0002	0,7529	4,504
Ponte do gama	solo	5	46308	12:03	03/09/2018	201626025	431755935	< 0,02	< 0,006	9,3160	4,8500	3,970	20750,000	384,600	< 0,0002	3,3360	13,150
Paracatu de cima	solo	6	46309	11:42	30/08/2018	201756969	43151917	0,0225	< 0,006	0,0392	0,2895	6,215	119,900	57,910	< 0,0002	1,7670	9,958
Paracatu de cima	solo	7	46310	13:50	30/08/2018	201741246	431527359	< 0,02	< 0,006	6,1950	5,3620	5,683	17140,000	936,100	< 0,0002	4,1920	10,990
Paracatu de cima	solo	8	46311	14:50	31/08/2018	201722479	431554774	< 0,02	< 0,006	0,0301	0,1157	2,049	110,300	5,286	< 0,0002	0,7208	7,070
Paracatu de baixo	solo	9	46312	11:20	31/08/2018	20185196	4314227	< 0,02	< 0,006	0,1304	1,3650	5,475	614,200	25,060	< 0,0002	0,9469	11,750
Paracatu de baixo	solo	10	46313	11:00	31/08/2018	201810936	43141096	0,0214	< 0,006	12,2800	6,3210	4,754	20350,000	591,700	< 0,0002	4,5980	13,250
Paracatu de baixo	solo	11	46314	12:20	31/08/2018	201822177	431347953	< 0,02	< 0,006	10,5400	5,2200	3,781	19980,000	416,400	< 0,0002	3,4390	3,4390
Paracatu de baixo	solo	12	46315	15:00	30/08/2018	201811613	431439964	0,0214	< 0,006	6,9000	4,6390	4,310	16830,000	444,700	< 0,0002	2,9410	10,480
Borba	solo	13	46316	14:00	01/09/2018	20175959	43123273	0,0274	< 0,006	15,8700	12,6300	8,298	20730,000	1288,000	< 0,0002	5,2250	18,620
Pedras	solo	14	46317	17:30	31/08/2018	201755696	43122639	< 0,02	< 0,006	0,0547	0,3026	3,565	253,600	35,150	< 0,0002	0,5959	4,038
Campinas	solo	15	46318	12:30	01/09/2018	201624148	43945953	< 0,02	< 0,006	0,1146	0,9936	5,033	548,000	30,800	< 0,0002	1,4490	6,662
Valor de Referência CONAMA 420 – Prevenção(mg/kg)										72	1,3	15	0,5	60	30	300	

Sedimentos

Tabela 7: Resultados analíticos das amostras de sedimentos coletadas nos distritos de MARIANA-MG

Local	Amostra	Nº	ID	Horário	Data	Coordenadas		Resultados em mg.kg-1									
						Latitude	Longitude	Sb	As	Cd	Pb	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Zn
								0,0200	0,0060	0,0010	0,0010	0,002	0,003	0,005	0,0002	0,0050	0,010
<i>Bento Rodrigues</i>	sedimento	1	1	12:39	28/08/2018	201349592	43254704	< 0,02	< 0,006	0,0051	0,0954	2,075	2,075	4,309	< 0,0002	0,5011	2,323
<i>Camargo</i>	sedimento	2	2	14:28	28/08/2018	201554128	432423729	0,8250	< 0,006	4,9130	3,0240	5,560	13790,000	191,300	< 0,0002	5,0270	7,279
<i>ponte do gama</i>	sedimento	3	3	11:32	29/08/2018	201626876	431745625	0,4067	< 0,006	2,3780	1,8940	5,488	8822,000	455,100	< 0,0002	2,5700	8,254
<i>ponte do gama</i>	sedimento	4	4	15:20	29/08/2018	20162381	431810662	0,6362	< 0,006	3,6120	2,8750	6,405	11320,000	1021,000	< 0,0002	3,6100	8,646
<i>Paracatu de cima</i>	sedimento	5	5	11:07	30/08/2018	201810044	431458945	< 0,02	< 0,006	0,0391	0,1059	3,829	132,300	143,300	< 0,0002	< 0,0002	4,953
<i>Paracatu de cima</i>	sedimento	6	6	13:40	30/08/2018	201737081	431511479	< 0,02	< 0,006	0,0114	0,0527	2,743	39,090	18,480	< 0,0002	1,3300	5,588
<i>Paracatu de baixo</i>	sedimento	7	7	16:41	31/08/2018	201758048	431243915	0,0858	< 0,006	0,0586	0,1254	2,607	279,800	105,400	< 0,0002	21,6900	4,834
<i>Paracatu de baixo</i>	sedimento	8	8	11:20	31/08/2018	201810971	431456834	0,7518	< 0,006	3,3710	2,6880	6,324	11770,000	837,100	< 0,0002	3,4500	11,000
<i>Borba</i>	sedimento	9	9	17:50	31/08/2018	20175358	43115762	0,0435	< 0,006	0,7338	2,1040	4,438	3564,000	29,270	< 0,0002	1,0380	4,163
<i>Campinas</i>	sedimento	10	10	11:56	01/08/2018	201624717	43105688	< 0,02	< 0,006	0,0199	0,0855	2,803	25,900	3,004	< 0,0002	1,9050	8,923
Valor de Referência CONAMA 454 – (mg/kg)										35	0,6	5,9	0,17	35,7	18	123	

Poeira domiciliar

Tabela 8: resultados analíticos das amostras de poeira domiciliar coletadas nos distritos de MARIANA-MG

Local	Tipo da Amostra	Nº	ID	Horário	Data	Coordenadas		Resultados em mg.kg-1									
						Lat.	Long.	Sb	As	Cd	Pb	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Zn
						Limite de quantificação						0,0200	0,0060	0,0010	0,0050	0,002	0,003
Bento Rodrigues	poeira	1	1	11:08	28/08/2018	20144676	43254793	0,0250	< 0,006	4,9420	15,9500	35,480	18090,000	590,600	< 0,0002	9,7200	114,000
Bento Rodrigues	poeira	2	2	12:05	28/08/2018	20147409	432510431	0,0435	< 0,006	11,0600	16,8800	20,830	19740,000	1307,000	< 0,0002	19,6500	98,220
Bento Rodrigues	poeira	3	3	12:05	28/08/2018	201359795	432511201	0,0378	< 0,006	7,0870	138,8000	25,750	18080,000	886,900	< 0,0002	11,5500	104,400
Camargos	poeira	4	4	14:35	28/08/2018	201556707	432422336	< 0,02	< 0,006	0,2893	0,2509	2,262	123,500	149,900	< 0,0002	2,2330	13,610
Ponte do Gama	poeira	5	5	11:11	29/08/2018	201630047	431756186	0,1320	< 0,006	4,2800	9,0880	7,885	7,885	299,600	< 0,0002	3,6240	27,170
Ponte do Gama	poeira	6	6	13:45	29/08/2018	201558938	431750983	0,4195	< 0,006	1,4590	4,6680	10,430	10880,000	426,200	< 0,0002	3,2660	65,900
Ponte do Gama	poeira	7	7	15:02	29/08/2018	20160454	43171452	0,2058	< 0,006	1,7900	16,8300	72,520	11560,000	434,100	< 0,0002	10,3900	146,600
Ponte do Gama	poeira	8	8	16:00	29/08/2018	201557298	431721385	< 0,02	< 0,006	3,2380	12,6500	56,080	15830,000	479,400	< 0,0002	17,7800	154,500
Paracatu de Cima	poeira	9	9	11:02	30/08/2018	20184795	43153753	< 0,02	< 0,006	5,2160	8,8020	11,740	18520,000	532,600	< 0,0002	5,0670	68,710
Paracatu de Cima	poeira	10	10	12:20	30/08/2018	20173457	43151689	0,4198	< 0,006	0,6629	7,5550	25,300	5882,000	296,800	< 0,0002	1,5000	38,800
Paracatu de Cima	poeira	11	11	14:33	30/08/2018	201721895	431554072	0,1207	< 0,006	2,7980	8,9200	22,730	14630,000	624,300	< 0,0002	5,6560	50,850
Paracatu de Baixo	poeira	12	12	15:00	30/08/2018	201822955	431348543	0,0247	< 0,006	6,3920	32,2500	25,390	19660,000	510,200	< 0,0002	12,8900	116,900
Paracatu de Baixo	poeira	13	13	17:41	30/08/2018	201758781	431239815	< 0,02	< 0,006	0,2667	1,3570	244,100	244,100	285,600	< 0,0002	4,0810	251,800
Paracatu de Baixo	poeira	14	14	11:00	31/08/2018	20186477	43143384	0,0287	< 0,006	7,0610	16,1300	32,690	20790,000	369,200	< 0,0002	13,4600	253,500
Paracatu de Baixo	poeira	15	15	11:20	31/08/2018	201812877	43142947	0,4393	< 0,006	1,1280	7,7980	24,390	8111,000	291,200	< 0,0002	8,6700	220,300
Paracatu de Baixo	poeira	16	16	12:35	31/08/2018	201820917	43135044	< 0,02	< 0,006	0,1744	1,0420	24,540	621,700	492,300	< 0,0002	19,0500	469,100
Paracatu de Baixo	poeira	17	17	12:50	31/08/2018	201818879	43134896	0,9193	< 0,006	3,4520	5,1700	8,502	17010,000	260,400	< 0,0002	3,0480	17,980
Paracatu de Baixo	poeira	18	18	13:00	31/08/2018	201810837	43148674	0,9827	< 0,006	2,8690	2,8690	17,170	15220,000	522,500	< 0,0002	5,2740	72,110
Paracatu de Baixo	poeira	19	19	12:40	31/08/2018	201818879	43134896	0,1457	< 0,006	1,2400	5,3390	17,180	8749,000	530,600	< 0,0002	3,9140	90,100
Campinas	poeira	20	20	12:30	01/09/2018	201626791	4326791	< 0,02	< 0,006	4,5720	11,7500	17,010	18120,000	382,500	< 0,0002	7,1570	58,150
Borba	poeira	21	21	16:40	01/09/2018	201813659	43124119	0,3606	< 0,006	6,4020	18,7300	39,360	10830,000	361,600	< 0,0002	16,5000	104,300
Pedras	poeira	22	22	15:30:00	31/08/2018	201724544	431138648	< 0,02	< 0,006	14,3200	358,7000	332,400	13700,000	383,400	< 0,0002	11,6600	1410,000
Pedras	poeira	23	23	16:00:00	31/08/2018	20175483	43113045	< 0,02	< 0,006	2,7700	29,9600	78,590	14550,000	331,400	< 0,0002	9,4440	291,200
Pedras	poeira	24	24	17:50	31/08/2018	20214518	43124870	0,8479	< 0,006	2,2300	16,9500	39,060	13400,000	148,900	< 0,0002	8,3100	94,000
Borba	poeira	25	25	14:30	01/09/2018	201759509	431159835	0,4785	< 0,006	1,7480	1,2400	28,510	11450,000	844,100	< 0,0002	6,2510	108,200
Valor de Referência CONAMA 420 – Prevenção (mg/kg)										72	1,3	15	0,5	60	30	300	

Barra Longa

As tabelas a seguir apresentam os dados analíticos e os valores de referência utilizados para cada compartimento ambiental avaliado. Os limites de quantificação dos métodos analíticos e outras informações sobre os procedimentos analíticos são apresentados nos respectivos laudos laboratoriais (Anexo 07 laudos de Barra Longa).

Dessa forma, com base nos valores de referência utilizados, pode-se concluir que:

- Não foram encontrados contaminantes de interesse nas amostras de frutas (Tabela 10).
- Não foram encontrados contaminantes de interesse nas amostras de tubérculos (Tabela 11).
- Não foram encontrados contaminantes de interesse nas amostras de leite de vaca (Tabela 12).
- Não foram encontrados contaminantes de interesse nas amostras de ovos (Tabela 13)

Frutas

Tabela 9: Resultados analíticos das amostras de frutas coletadas nas localidades de BARRA LONGA-MG

Data do início da coleta:16/10/2018.

Local	Tipo da Amostra	Matriz	Nº	ID	Horário	Data	Coordenadas		Resultados análises laboratoriais (mg.kg ⁻¹)										
							Latitude	Longitude	Fe	Mn	Pb	Cd	Ar	Hg	Cu	Ni	Zn	Sb	
Limite de quantificação								5,00	0,50	0,50	0,050	0,050	0,050	0,050	0,50	0,50	0,50		
Gesteira	Fruta	Morango	1	60400	12:32	16/10/2018	2015857	4306595	91,12	6,45	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	3,271	< 0,50	7,02	< 0,50	
Mandioca	Fruta	Tomate	2	60401	13:44	16/10/2018	2015771	4308218	17,22	1,99	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,76	< 0,50	2,33	< 0,50	
Barretos	Fruta	Cana	3	60402	15:54	16/10/2018	2016549	4310158	11,21	8,43	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,50	1,17	< 0,50	
Barretos	Fruta	Jaboticaba	4	60403	16:00	16/10/2018	2016546	4310032	11,17	2,84	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	1,063	< 0,50	2,38	< 0,50	
Fazenda Bueno	Fruta	Mamão	5	60404	10:45	17/10/2018	2015258	4259051	11,23	< 0,50	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,172	< 0,50	1,16	< 0,50	
Tanques	Fruta	cana	6	60405	14:00	17/10/2018	2015985	4259803	14,75	4,56	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,229	< 0,50	0,71	< 0,50	
Volta da Capela	Fruta	Banana	7	60406	10:59	18/10/2018	2017159	4303505	12,8	3,65	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,902	< 0,50	2,25	< 0,50	
Volta Grande	Fruta	Tomate	8	60407	11:35	18/10/2018	2016622	4301032	13,87	1,77	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,989	< 0,50	3,55	< 0,50	
										0,1	0,05	0,3							
											0,1*								

Valores de referência1 (mg.kg-1)

Valores de referência2 (mg.kg-1)

1 RDC Anvisa; 2 Codex alimentarius

Tubérculos

Tabela 10: Resultados analíticos das amostras de tubérculos coletadas nas localidades de Barra Longa-MG

Local	Tipo	Matriz	Nº	ID	Horário	Data	Coordenadas		Resultados análises laboratoriais (mg.kg ⁻¹)										
							Latitude	Longitude	Fe	Mn	Pb	Cd	As	Hg	Cu	Ni	Zn	Sb	
Limite de quantificação									5,00	0,50	0,50	0,050	0,050	0,050	0,050	0,50	0,50	0,50	
Gesteria	Tubérculo	Inhame	1	60453	12:28	16/10/2018	2015857	4306595	55,7	1,5	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,968	< 0,50	2,31	< 0,50	
Mandioca	Tubérculo	Inhame	2	60454	13:40	16/10/2018	2015771	4308218	43,13	5,01	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	1,044	< 0,50	13,77	< 0,50	
Mandioca	Tubérculo	Mandioca	3	60455	14:17	16/10/2018	2015719	4305181	51,92	4,84	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,304	< 0,50	4,39	< 0,50	
Barretos	Tubérculo	Inhame	4	60456	15:54	16/10/2018	2016549	4310058	23,4	2,19	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	2,284	< 0,50	18,47	< 0,50	
Barretos	Tubérculo	Mandioca	5	60457	16:00	16/10/2018	2016596	4310032	31,37	1,83	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,897	< 0,50	5,53	< 0,50	
Fazenda Bueno	Tubérculo	Mandioca	6	60458	11:30	17/10/2018	2015184	4259022	9,61	1,01	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,271	< 0,50	4,41	< 0,50	
Tanques	Tubérculo	Inhame	7	60459	14:57	17/10/2018	2016158	4301079	29,12	28,94	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,46	< 0,50	2,96	< 0,50	
Centro	Tubérculo	Mandioca	8	60460	14:48	17/10/2018	2016961	4302635	24,8	1,76	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	1,257	< 0,50	5,21	< 0,50	
Nova Barra	Tubérculo	Mandioca	9	60461	12:20	18/10/2018	2017158	4303081	15,53	4,68	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	1,053	0,92	8,36	< 0,50	
Volta Grande	Tubérculo	Inhame	10	60462	11:20	18/10/2018	2016622	43301032	22,12	11,32	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,953	< 0,50	24,84	< 0,50	
Nova Barra	Tubérculo	Beterraba	11	60463	11:00	18/10/2018	2017068	4303011	15,8	2,18	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	1,051	< 0,50	5,24	< 0,50	
Volta da Capela	Tubérculo	Mandioca	12	60464	13:00	18/10/2018	2017160	4303507	< 5,00	< 0,50	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,50	< 0,50	< 0,50	
Volta da Capela	Tubérculo	Mandioca	13	60465	13:25	18/10/2018	2017159	4303505	12,31	1,08	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,362	< 0,50	3,22	< 0,50	
Valores de referência ¹ (mg.kg ⁻¹)											0,1	0,1	0,2						
Valores de referência ² (mg.kg ⁻¹)												0,1							

Referências

¹ RDC nº 42 de 29 de agosto de 2013

² Codex alimentarius

Leite de Vaca

Tabela 11: Resultados analíticos das amostras de leite de vaca coletadas nas localidades de Barra Longa-MG

Data do início da coleta: 16/10/2018.

Local	Tipo da Amostra	Matriz	Nº	ID	Horário	Data	Coordenadas		Resultados análises laboratoriais (mg.kg ⁻¹)									
							Latitude	Longitude	Fe	Mn	Pb	Cd	Ar	Hg	Cu	Ni	Zn	Sb
Limite de quantificação									5,00	0,50	0,50	0,050	0,050	0,050	0,050	0,50	0,50	0,50
Gesteria	Leite	Leite	1	60478	11:43	16/10/2018	2015655	4307071	6,6	< 0,50	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,093	< 0,50	2,47	< 0,50
Mandioca	Leite	Leite	2	60479	13:40	16/10/2018	2015781	4308218	7,81	< 0,50	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,50	1,75	< 0,50
Barretos	Leite	Leite	3	60480	15:54	16/10/2018	2016549	4310058	8,17	< 0,50	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,50	2,28	< 0,50
Fazanda Bueno	Leite	Leite	4	60481	11:50	17/10/2018	2015184	4259022	7,35	< 0,50	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,50	2,11	< 0,50
São Gonçalo	Leite	Leite	5	60482	10:30	18/10/2018	2016415	4300422	7,4	< 0,50	< 0,50	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,14	< 0,50	3,61	< 0,50
Valores de referência ¹ (mg.kg ⁻¹)											0,02	0,05	0,05					
Valores de referência ² (mg.kg ⁻¹)												<2ppm			0,05			

Referências

¹ RDC nº 42 de 29 de agosto de 2013

² Codex alimentarius

Ovo de galinha

Tabela 12: Resultados analíticos das amostras de ovo de galinha coletadas nas localidades de BARRA LONGA-MG

Local	Amostra	Matriz	Nº	ID	Horário	Data	Coordenadas		Resultados análises laboratoriais (mg.kg ⁻¹)									
							Latitude	Longitude	Fe	Mn	Pb	Cd	As	Hg	Cu	Ni	Zn	Sb
Limite de quantificação									5,00	0,50	0,50	0,050	0,0010	0,050	0,050	0,50	0,50	0,50
Gesteira	Ovo	Ovo	1	60488	12:00	16/10/2018	2015824	4306599	34,21	0,53	< 0,50	< 0,050	< 0,0010	< 0,050	0,804	< 0,50	19,59	< 0,50
Mandioca	Ovo	Ovo	2	60489	13:40	16/10/2018	2015781	4308218	30,94	0,54	< 0,50	< 0,050	< 0,0010	< 0,050	0,667	< 0,50	15,79	< 0,50
Barretos	Ovo	Ovo	3	60490	16:00	16/10/2018	2016546	4310032	41,75	0,69	< 0,50	< 0,050	< 0,0010	< 0,050	0,889	< 0,50	20,08	< 0,50
Fazenda Bueno	Ovo	Ovo	4	60491	11:50	17/10/2018	2013184	4259022	41,37	0,67	< 0,50	< 0,050	< 0,0010	< 0,050	0,926	< 0,50	19,35	< 0,50
Volta da Capela	Ovo	Ovo	5	60492	10:00	17/10/2018	2017306	4303466	35,61	0,60	< 0,50	< 0,050	< 0,0010	< 0,050	0,793	< 0,50	17,98	< 0,50
<i>Valores de referência¹ (mg.kg⁻¹)</i>											0,1		0,5					

Os resultados analíticos relativos às amostras de **águas** (Tabela 13) assinalam que os metais **ferro** e **manganês** apresentaram concentrações acima do padrão de potabilidade para as águas superficiais e águas subterrânea.

A Tabela 14 assinala nos seus resultados das amostras de **solo** superficial que o **cádmio** apresentou concentrações de até 22,47 mg/Kg, sendo superior em mais de 17 vezes a referência utilizada (1,3 mg/Kg).

Os resultados analíticos das amostras de **sedimentos** (Tabela 15) indicaram que o **cádmio**, com concentrações de até 16,63 mg/Kg, supera o valor de referência utilizado (0,6 mg/Kg) em mais de 17 vezes; o **cobre**, apresentando concentrações de até 81,68 mg/Kg, superou o valor de referência (60 mg/Kg); o **níquel**, com concentrações de até 142,60 mg/Kg, superou em quase 5 vezes o valor de referência utilizado (30 mg/Kg). O **chumbo** apresentou concentrações elevadas, de até 58,02 mg/Kg, próximo do limite do valor de referência (75 mg/Kg).

Os resultados de amostras de **poeira domiciliar** (Tabela 16) assinalam que, com base nos valores de referência utilizados, o **cádmio**, com concentrações de até 18,38 mg/Kg (Valor de Referência 1,3 mg/Kg); o **cobre**, com concentrações de até 81,68 mg/Kg (Valor de Referência 60 mg/Kg); e **zinco** com concentrações de até 808,80 mg/Kg (Valor de Referência 300,00 mg/Kg), superaram os respectivos os valores de referência e foram determinados como contaminantes de interesse. Observou-se também concentrações elevadas para **chumbo**, de até 58mg/Kg, próximas ao Valor de Referência (72,0 mg/Kg).

ÁGUA

Tabela 13: RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DE ÁGUA COLETADAS NAS LOCALIDADES DE BARRA LONGA-MG:

Local	TIPO	Matriz	Nº	ID	Horário	Data	Coordenadas		Resultados análises laboratoriais (mg.kg ⁻¹)									
							lat	long	SB	As	Cd	Pb	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Zn
Limite de quantificação									0,0040	0,006000	0,0005	0,0020	0,002	0,010	0,005	0,0002	0,005000	0,010
Gesteira	Água Superficial	Agua	1	51118	09:53	16/10/2018	2015483	4307402	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,006	< 0,002	1,353	0,414	< 0,0002	< 0,005	0,051
Gesteira	SAA	Agua	2	51119	10:25	16/10/2018	2015395	4307432	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0049	< 0,002	0,026	0,013	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Gesteira	SAA	Agua	3	51120	11:30	16/10/2018	2015824	4306599	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	< 0,002	< 0,002	0,025	< 0,005	< 0,0002	< 0,005	1,544
Gesteira	Água Subterrânea	Agua	4	51121	12:00	16/10/2018	2015833	4306614	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,019	0,008	7,768	0,12	< 0,0002	< 0,005	0,095
Mandioca	Água Subterrânea	Agua	5	51122	13:40	16/10/2018	2015771	4308218	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,004	< 0,002	0,024	< 0,005	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Mandioca	Água Superficial	Agua	6	51123	14:00	16/10/2018	2015855	4308181	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0049	< 0,002	1,174	0,7	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Barretos	Água Superficial	Agua	7	51124	16:43	16/10/2018	2016515	4310084	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0036	0,002	1,245	1,34	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Barretos	SAC	Agua	8	51125	16:02	16/10/2018	2016549	4310058	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,003	< 0,002	0,359	0,005	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Barretos	SAC	Agua	9	51126	16:00	16/10/2018	2016546	4310032	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0047	< 0,002	0,163	0,006	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Fazenda Bueno	Água Superficial	Agua	10	51127	10:45	17/10/2018	2015224	4259034	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0033	< 0,002	1,326	0,105	< 0,0002	< 0,005	0,033
Tanques	SAC	Agua	11	51128	13:37	17/10/2018	2015730	4259838	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0037	< 0,002	0,121	0,006	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Jurumirim	Água Superficial	Agua	12	51129	14:45	17/10/2018	2016551	4301057	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0045	< 0,002	0,953	0,509	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Barretos	Água Superficial	Agua	13	51130	09:11	18/10/2018	2016577	4309364	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0034	< 0,002	0,417	0,311	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
São Gonçalo	Água Subterrânea	Agua	14	51131	09:54	18/10/2018	2016415	4300422	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0049	< 0,002	0,025	< 0,005	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Volta da Capela	Água Subterrânea	Agua	15	51132	10:10	17/10/2018	2017430	4303272	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,005	< 0,002	0,316	0,015	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Volta Grande	Água Subterrânea	Agua	16	51133	11:39	18/10/2018	2016638	4301022	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0058	0,002	0,159	< 0,005	< 0,0002	< 0,005	0,011
Centro	SAA	Agua	17	51134	11:00	17/10/2018	2016948	4302452	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0035	< 0,002	0,025	< 0,005	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Centro	Água Subterrânea	Agua	18	51135	15:00	17/10/2018	2016998	4302670	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	< 0,002	< 0,002	< 0,01	< 0,005	< 0,0002	< 0,005	< 0,01
Centro	Água Subterrânea	Agua	19	51136	16:00	17/10/2018	2016988	4302595	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,004	< 0,002	0,057	< 0,005	< 0,0002	< 0,005	0,035
Centro	SAA	Agua	20	51137	17:00	17/10/2018	2017033	4302474	< 0,004	< 0,006	< 0,0005	0,0046	0,014	0,036	< 0,005	0,0004	< 0,005	< 0,01
Valores de referência de acordo com a Portaria de potabilidade de água do Ministério da Saúde									-	0,01	0,005	0,01	2	0,3	0,1	0,001	0,07	5

Solo

Tabela 14: RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DE SOLO COLETADAS NAS LOCALIDADES DE BARRA LONGA-MG 15:

Data do início da coleta: 16/10/2018

Local	Tipo	Matriz	Nº	ID	Horário	Data	Coordenadas		Resultados análises laboratoriais (mg.kg ⁻¹)									
							Latitude	Longitude	Sb	As	Cd	Pb	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Zn
Limite de quantificação									0,0200	0,0060	0,0010	0,0050	0,002	0,003	0,005	0,0002	0,0050	0,010
Gesteira	Solo	Solo	1	51179	10:00	16/10/2018	2015511	4307387	< 0,02	< 0,006	15,6200	7,7680	4,289	20750,000	729,400	< 0,0002	7,5700	26,870
Mandioca	Solo	Solo	2	51180	14:16	16/10/2018	2015719	4308181	< 0,02	< 0,006	10,5400	6,2390	2,808	18670,000	352,300	< 0,0002	4,3680	18,350
Mandioca	Solo	Solo	3	51181	14:26	16/10/2018	2015758	4308191	< 0,02	< 0,006	14,4500	7,5050	5,052	19440,000	389,400	< 0,0002	6,0100	22,140
Barretos	Solo	Solo	4	51182	16:00	16/10/2018	2016577	4309364	< 0,02	< 0,006	7,2830	3,3750	1,915	16630,000	270,600	< 0,0002	6,4250	19,120
Fazenda Bueno	Solo	Solo	5	51183	11:10	17/10/2018	2015212	4259090	< 0,02	< 0,006	19,1000	7,8630	2,178	20820,000	410,500	< 0,0002	6,0720	25,250
Tanques	Solo	Solo	6	51184	13:56	17/10/2018	2015812	4259849	< 0,02	< 0,006	< 0,006	5,0380	1,670	18370,000	293,300	< 0,0002	4,0120	17,090
Jurumirim	Solo	Solo	7	51185	15:09	17/10/2018	2016580	4301074	< 0,02	< 0,006	22,4700	8,0050	0,061	21030,000	335,000	< 0,0002	5,8510	23,620
Volta da Capela	Solo	Solo	8	51186	11:43	18/10/2018	2017165	4303535	< 0,02	< 0,006	0,7000	0,4567	1,611	314,400	11,940	< 0,0002	0,9140	4,196
Volta da Capela	Solo	Solo	9	51187	11:01	18/10/2018	2017373	4303353	< 0,02	< 0,006	16,5000	7,3400	2,932	2,932	381,100	< 0,0002	6,2310	21,650
Nova Barra	Solo	Solo	10	51188	12:33	18/10/2018	2017247	4303241	< 0,02	< 0,006	11,0800	8,4640	10,320	18740,000	1003,000	< 0,0002	13,4900	32,350
Centro	Solo	Solo	11	51189	13:30	18/10/2018	2016929	4302581	< 0,02	< 0,006	9,4670	8,4790	7,952	18160,000	146,500	< 0,0002	5,5760	26,900
São Gonçalo	Solo	Solo	12	51190	11:00	18/10/2018	2016176	4259560	< 0,02	< 0,006	3,1830	2,9900	4,325	9854,000	245,600	< 0,0002	3,7420	12,370
<i>Valor de Referência CONAMA 420 – Prevenção (mg/kg)</i>										15	1,3	72	60			0,5	30	300

SEDIMENTO

Tabela 16: RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO COLETADAS NAS LOCALIDADES DE BARRA LONGA-MG:

Data do início da coleta: 16/10/2018

Local	Matriz	Nº	Horário	Data	Coordenadas		Resultados análises laboratoriais (mg.kg ⁻¹)									
					LAT	LONG	Sb	As	Cd	Pb	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Zn
Limite de quantificação							0,0200	0,0060	0,0010	0,0050	0,002	0,003	0,005	0,0002	0,0050	0,010
Gesteria	Sedimento	1	09:53	16/10/2018	2015483	4307402	< 0,02	< 0,006	3,5810	1,8310	1,126	10630,000	203,500	< 0,0002	2,3650	13,980
Mandioca	Sedimento	2	14:00	16/10/2018	2015855	4308181	< 0,02	< 0,006	10,2300	4,4930	1,721	18130,000	560,500	< 0,0002	5,5410	17,210
Barretos	Sedimento	3	15:00	16/10/2018	2016515	4310084	< 0,02	< 0,006	3,1830	1,5240	1,042	10100,000	289,200	< 0,0002	1,7650	10,430
Fazenda Bueno	Sedimento	4	10:45	17/10/2018	2015224	4259034	< 0,02	< 0,006	3,0340	3,9200	5,466	9653,000	245,100	< 0,0002	5,9160	23,550
Tanques	Sedimento	5	14:42	17/10/2018	2016551	4301057	< 0,02	< 0,006	0,0426	0,1651	4,337	66,700	56,600	< 0,0002	5,6980	24,280
Barretos	Sedimento	6	09:13	18/10/2018	2016577	4309364	< 0,02	< 0,006	16,6300	6,1240	0,665	20070,000	501,100	< 0,0002	5,4660	23,310
Valor de Referência CONAMA 454 – (mg/kg)							35	0,6	5,9	0,17	35,7	18	123			

Tabela 17: RESULTADOS ANALÍTICOS DAS AMOSTRAS DE POEIRA COLETADAS NAS LOCALIDADES DE BARRA LONGA-MG:

Local	Matriz	Nº	ID	Horário	Data	Coordenadas		Resultados análises laboratoriais (mg.kg ⁻¹)									
						LAT	LONG	Sb	As	Cd	Pb	Cu	Fe	Mn	Hg	Ni	Zn
Limite de quantificação								0,0200	0,0060	0,0010	0,0050	0,002	0,003	0,005	0,0002	0,0050	0,010
Gesteira	Poeira	1	51139	9:06	16/10/2018	2015646	4307558	<0,02	<0,006	0,8725	<0,005	0,056	1,867	1,391	<0,0002	0,081	0,379
Gesteira	Poeira	2	51140	11:00	16/10/2018	2015439	4307404	<0,02	<0,006	2,754	9,279	20,29	8352	328,2	<0,0002	9,392	180,6
Gesteira	Poeira	3	51141	11:18	16/10/2018	2015444	4307365	<0,02	<0,006	14,56	20,02	24,69	18130	474,9	0,0643	14,64	115,1
Mandioca	Poeira	4	51142	14:08	16/10/2018	2015771	4308218	<0,02	<0,006	8,02	11,61	35,38	16750	577,2	<0,0002	11,05	2139
Barretos	Poeira	5	51143	16:00	16/10/2018	2016546	4310032	<0,02	<0,006	5,719	8,623	33,06	12620	646,3	<0,0002	38,03	96,44
Barretos	Poeira	6	51144	16:09	16/10/2018	2016549	4310058	<0,02	<0,006	2,319	4,412	22,74	7793	977	<0,0002	9,861	45,31
Fazenda Bueno	Poeira	7	51145	11:33	17/10/2018	2015184	4259022	<0,02	<0,006	2,956	50,96	13,19	9686	188,3	<0,0002	7,607	189,1
Tanques	Poeira	8	51146	13:07	17/10/2018	2015745	4259826	<0,02	<0,006	3,386	32,08	34,16	9923	348,5	<0,0002	9,39	217,4
Jurumirim	Poeira	9	51147	13:23	17/10/2018	2016630	4302097	<0,02	<0,006	11,53	21,61	32,89	17800	521,2	<0,0002	15,64	110,6
São Gonçalo	Poeira	10	51148	9:54	18/10/2018	2016415	4300422	<0,02	<0,006	8,287	22,52	50,63	16450	454,9	<0,0002	142,6	126,4
Nova Barra	Poeira	11	51149	12:33	18/10/2018	2017068	4303011	<0,02	<0,006	0,9406	0,1807	81,68	2122	157,6	<0,0002	22,54	53,61
Volta da Capela	Poeira	12	51150	10:00	17/10/2018	2017430	4303272	<0,02	<0,006	0,3438	0,1579	2,38	801,9	238,7	0,3734	3,834	101,9
Volta da Capela	Poeira	13	51151	10:10	17/10/2018	2017306	4303466	<0,02	<0,006	131,2	30,68	174	12710	517,3	<0,0002	44,42	1311
Volta da Capela	Poeira	14	51152	10:30	17/10/2018	2017287	4303490	<0,02	<0,006	7,322	18,94	54,46	15230	563,5	<0,0002	21,91	192,8
Volta da Capela	Poeira	15	51153	11:00	17/10/2018	2017213	4303531	<0,02	<0,006	0,1977	<0,005	22,23	614,7	226,8	<0,0002	3,103	1260
Centro	Poeira	16	51154	11:15	17/10/2018	2016948	4302452	<0,02	<0,006	8,04	19,07	53,19	15520	668,5	<0,0002	14,78	255,1
Centro	Poeira	17	51155	11:27	17/10/2018	2016926	4302453	<0,02	<0,006	18,38	58,02	73,24	18300	1039	<0,0002	26,57	455,5
Centro	Poeira	18	51156	10:31	17/10/2018	2016960	4302453	<0,02	<0,006	4,677	44,9	59,32	11590	417	<0,0002	11,1	808,8
Centro	Poeira	19	51157	10:40	17/10/2018	2017132	4302866	<0,02	<0,006	0,9845	0,8699	30,86	446,3	638,6	<0,0002	12,39	403,9
Centro	Poeira	20	51158	11:00	17/10/2018	2016998	4302670	<0,02	<0,006	6,106	12,1	20,35	12950	471,3	<0,0002	12,82	129,5
Centro	Poeira	21	51159	11:32	17/10/2018	2016998	4302670	<0,02	<0,006	11,8	41,4	62,23	16920	972,1	<0,0002	20,58	305,3
Centro	Poeira	22	51160	16:30	17/10/2018	2016936	4302613	<0,02	<0,006	4,626	14,56	37,18	12490	423,1	<0,0002	11,05	141,8
Centro	Poeira	23	51161	16:00	17/10/2018	2016992	4302629	<0,02	<0,006	10,58	44,5	62,79	16020	728,2	<0,0002	17,68	349,2
Centro	Poeira	24	51162	16:30	17/10/2018	2016899	4302218	<0,02	<0,006	4,589	13,05	33,97	10860	346,5	<0,0002	7,552	457,2
Centro	Poeira	25	51163	16:43	17/10/2018	2013884	4302441	<0,02	<0,006	8,267	20,2	151,7	16350	755,9	0,3849	25,51	2254
Valor de Referência CONAMA 420 – Prevenção(mg/kg)									15	1,3	72	60			0,5	30	300

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS CONTAMINANTES DE INTERESSE ENCONTRADOS NAS LOCALIDADES DE MARIANA E BARRA LONGA

Alimentos

Utilizando os valores de referência específicos para cada alimento avaliado, não foram encontradas concentrações superiores a essas referências.

No entanto, outras avaliações sobre a contaminação dos alimentos por metais serão discutidas pela equipe de ARSH na etapa “Rotas de exposição”.

Águas de consumo humano

Utilizando os valores de referência no compartimento água para consumo humano, os contaminantes **ferro** e **manganês** apresentaram concentrações acima dos valores.

As águas amostradas apresentaram concentrações de **ferro** acima do padrão de potabilidade (Portaria de consolidação Nº05/ MS, VMP: 300 µg/L). Nas amostras de água foram detectadas concentração de até 1.067 µg/L (abastecimento público); 528 µg/L (água subterrânea) e 456 µg/L (água superficial).

O padrão de potabilidade para o ferro é determinado por razões organolépticas, ou seja, de aceitabilidade da água devido sua aparência pelo consumidor. A preocupação de saúde é quando o consumidor busque águas de fontes menos confiáveis, devido à não aceitabilidade da água por sua aparência ou sabor, pelo excesso de ferro, principalmente a água do abastecimento público.

O **manganês** foi encontrado em amostras de água superficial em concentrações acima do VMP estabelecido pela Portaria de potabilidade de água/MS (100µg/L), de até 799 µg/L. Similar ao ferro, o estabelecimento do padrão de qualidade para manganês na Portaria de potabilidade de água do MS, se dá por razões organolépticas

A ingestão diária estimada de manganês é de 4,2 mg por pessoa/dia, que ficou próximo dos resultados de outros estudos (4,0 mg/dia). Os cereais são os principais contribuintes (57%) para a ingestão estimada de manganês (LIVSMEDELSVERKET, 2017). Tomando como base uma

concentração média de manganês na água consumida de 10 µg/L e uma suposição de que o adulto médio bebe 2 L de água/dia, pode-se projetar uma ingestão diária de 0,020 mg/dia.

Afora essas avaliações, as maiores concentrações de ferro e manganês, encontradas ambas numa amostra do mesmo sistema de abastecimento público, pode ter como causa uma falha técnica momentânea no tratamento de água da ETA.

Pelas ponderações acima relatadas, os metais ferro e manganês **não serão considerados contaminantes de interesse** para as avaliações posteriores de ARSH para as localidades dos municípios de Mariana e Barra Longa.

Por outro lado, levando-se em consideração a persistência de grandes volumes de lama de rejeitos nas localidades por ela atingidas; como também os mecanismos de transporte e eventos climáticos que possam favorecer o enriquecimento e mobilização dos contaminantes nas fontes de captação de águas para consumo humano, recomenda-se a continuidade do monitoramento.

Solo Superficial

As amostras de solo superficial apresentaram concentrações de cádmio superiores ao valor de referência (1,3 mg/kg) em diversas localidades de Mariana e Barra Longa. Observa-se que as maiores concentrações de cádmio estão correlacionadas com as maiores concentrações de ferro e manganês no “novo solo” formado pela deposição da lama de rejeitos.

Dessa forma, o cádmio será avaliado como contaminante de interesse nas etapas seguintes dos estudos de ARSH.

Sedimentos

O contaminante **cádmio** foi encontrado em concentrações acima dos valores de referência. A adsorção de cádmio por substâncias húmicas e outros agentes orgânicos complexantes desempenha um papel dominante no transporte, particionamento e remobilização de cádmio em ambientes aquáticos. Em períodos chuvosos, com aumento do fluxo e velocidade das águas, quando o sedimento é revolvido, o cádmio adsorvido a

superfícies minerais, como argila ou materiais orgânicos, é mais facilmente bioacumulável ou liberado no estado dissolvido. A partir de sua biodisponibilização a partir dos sedimentos, organismos aquáticos e terrestres bioacumulam o **cádmio**. Em animais de água doce e marinhos, o cádmio pode atingir concentrações centenas a milhares de vezes mais altas do que a concentração da água ambiente (EPA, 1979).

Desta forma, a equipe de ARSH determina o cádmio como contaminante de interesse a ser avaliado nas etapas seguintes da ARSH.

Poeira domiciliar

Nas localidades de Mariana, em residências próximas às áreas de deposição da lama de rejeitos nas margens e várzeas do rio Gualaxo do Norte, a presença do contaminante **cádmio** foi constatada na maioria das amostras de poeira domiciliar, muitas apresentando concentrações de cádmio até 14,32 mg/kg, acima dos valores de referência utilizado (1,3 mg/kg). O contaminante zinco apresentou uma concentração máxima de 1410,000mg/kg, bem acima do valor de referência (300 mg/kg). O contaminante cobre apresentou concentrações acima do valor de referência (60 mg/kg) com máxima de 332 mg/kg.

Situação pior foi constatada nas amostras de poeira coletadas nas localidades de Barra Longa, principalmente na sede do município. Ali, onde a lama de rejeito inundou boa parte da cidade, e a proximidade do foco gerador foi total, a mobilização da poeira foi intensificada pelos trabalhos de remoção dos rejeitos com intenso tráfego de caminhões de transporte da lama.

O contaminante **cádmio** foi detectado em praticamente todas as amostras coletadas nas residências. Em 70% das amostras, as concentrações de cádmio superaram os valores de referência, chegando a apresentar uma concentração máxima de 131 mg/kg, ou seja, 100 vezes o valor de referência utilizado (1,3 mg/kg).

O contaminante **níquel**, com concentrações de até 44 mg/kg, ultrapassou o valor de referência (30 mg/kg). O contaminante **zinco** foi detectado em mais de 30% das amostras com concentrações elevadas, de até 1310,000 mg/kg, acima do valor de referência (300 mg/kg).

CONCLUSÃO SOBRE OS CONTAMINANTES DE INTERESSE NAS LOCALIDADES DE MARIANA E BARRA LONGA

Independentemente de onde foram encontrados, e em que concentrações, pela metodologia de ARSH, principalmente quando os contaminantes de interesse foram determinados em procedimentos de amostragem que sob a premissa do pior cenário, foram realizados em compartimentos ambientais impactados pela lama de rejeitos, deve-se considerar que os contaminantes de interesse devem ser avaliados nas etapas seguintes da ARSH.

Por outro lado, sob esta ótica de avaliação, e considerando também que o enriquecimento, a mobilização e a biodisponibilidade dos contaminantes determinados por múltiplos e complexos mecanismos de transporte, podem ocorrer ocasional e localmente, os contaminantes metálicos considerados de interesse devem nortear as Fases seguintes da ARSH.

Por outro lado, contaminantes metálicos ainda não detectados, como arsênio e mercúrio, podem começar a ser identificados em etapas seguintes nas amostragens ambientais e devem continuar sendo objeto de avaliação nas Fases seguintes dos Estudos de ARSH.

Dessa forma, até o momento, levando em consideração os resultados obtidos nas amostragens ambientais realizadas, a equipe de ARSH da Ambios determina como contaminantes de interesse:

Cádmio

Chumbo

Níquel

Cobre e

Zinco

Capítulo IV: Mecanismos de Transporte

MECANISMOS DE TRANSPORTE DOS CONTAMINANTES DE INTERESSE

Como características gerais, o destino dos metais pesados nos sistemas aquáticos depende do particionamento entre sólidos solúveis e particulados. As fases de adsorção, precipitação, coprecipitação e complexação são processos que afetam o particionamento. Estes mesmos processos, que são influenciados pelo pH, potencial redox, força iônica da água, concentração de íons complexantes e as espécies e concentração do metal, afetam a adsorção de metais pesados ao solo (RICHTER & THEIS, 1980).

Argilas, siltes, óxidos de ferro, manganês e matéria orgânica do solo podem se ligar eletrostaticamente a metais (troca de cátions), assim como quimicamente (adsorção específica).

Nem sempre é possível separar os processos de destino ambiental relacionados ao transporte e distribuição, daqueles relacionados com a transformação de um metal e seus vários compostos e complexos. Por causa de delimitações analíticas, os pesquisadores raramente identificam a forma de um metal presente no ambiente.

Uma mudança no transporte ou distribuição de um metal pode ser resultado de uma transformação. Por exemplo, complexação pode resultar em maior mobilidade, enquanto a formação de um sulfeto menos solúvel pode diminuir a sua mobilidade na água. A adsorção pode ser o resultado de fortes ou fracas ligações sendo formadas. Separar os dados relativos à adsorção forte ou fraca em diferentes seções é difícil e nem sempre possível.

A seguir são apresentados os mecanismos de transporte dos contaminantes de interesse listados no capítulo III.

Cádmio

A exposição humana ao cádmio pode resultar do consumo de alimentos, água potável ou ingestão acidental de solo ou poeira contaminada; da inalação de partículas contendo cádmio do ar ambiente; da inalação de fumaça de cigarro, que contém cádmio absorvido pelo tabaco; ou de trabalhar em uma ocupação envolvendo a exposição a fumos de cádmio e poeira (ELINDER, 1985). A maior parte da água potável contém níveis muito baixos de cádmio, não sendo, geralmente, uma via importante de exposição.

As concentrações de cádmio no ar ambiente são geralmente inferiores a 5×10^{-6} mg/m³, mas concentrações até 5×10^{-4} mg/m³ foram detectadas em ar próximo de instalações emissoras de cádmio (ELINDER, 1985).

A exposição dietética pode aumentar à medida que a precipitação ácida diminui o pH do solo. Grãos e cereais são os produtos que geralmente contribuem com a maior porcentagem de cádmio na dieta; batatas, vegetais folhosos e verduras também contêm níveis relativamente altos. Carnes de órgãos (fígado e rim) e moluscos também podem contribuir para a ingestão de cádmio em indivíduos que consomem grandes quantidades desses alimentos. Fumar é uma importante fonte de exposição ao cádmio e, tipicamente, duplica a absorção diária total de cádmio (ELINDER, 1985).

Ar

O cádmio e seus compostos têm pressões de vapor insignificantes, mas podem existir no ar como partículas suspensas derivadas, por exemplo, de sua mobilização a partir de solos contaminados. Na atmosfera, o cádmio se apresenta geralmente como componente do material particulado, que pode consistir em partículas muito pequenas. O principal destino do cádmio transportado pelo ar é ser dispersado pelo vento e, subsequentemente, depositado por processos úmidos ou secos (ELINDER, 1985). A principal espécie química no ar é o óxido de cádmio, embora alguns sais de cádmio, como o cloreto de cádmio, possam entrar no ar especialmente quando proveniente de processos de incineração (IARC, 1993).

O cádmio emitido para a atmosfera pode estar associado a particulados muito pequenos que estão na faixa respirável (<10 µm) e estão sujeitos a transporte de longo alcance. Estes poluentes de cádmio podem ser transportados de cem a alguns milhares de quilômetros e têm um tempo de residência atmosférico típico de cerca de 10 dias antes da

deposição. Maiores partículas contendo cádmio são removidas da atmosfera por sedimentação gravitacional, com substancial deposição em áreas a favor do vento da fonte poluente (KEITZ, 1980).

Água

O cádmio pode ser liberado para as águas superficiais por processos naturais de intemperismo, pela descarga de instalações industriais ou estações de tratamento de esgoto, ou pela lixiviação de aterros sanitários ou do solo. As águas subterrâneas podem ser contaminadas por cádmio por drenagem de mina, águas residuais, transbordamento de tanques de rejeitos e escoamento de águas pluviais das áreas de mina (EPA 1981, 1985a; IJC 1989).

Nas águas superficiais e subterrâneas, o cádmio pode existir como íon hidratado ou como complexos iônicos com outras substâncias inorgânicas ou orgânicas. O cádmio é mais móvel em ambientes aquáticos do que a maioria dos outros metais pesados (por exemplo, chumbo). Em águas naturais não poluídas, a maior parte do cádmio transportado na coluna de água existirá no estado dissolvido como o íon hidratado $\text{Cd}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}$. (CALLAHAN *et al.*, 1979).

Pequenas quantidades de cádmio são transportadas com as partículas grosseiras e apenas uma pequena fração é transportada com os colóides. Em águas não poluídas o cádmio pode ser removido da solução pela troca de cádmio por cálcio na estrutura reticulada dos minerais carbonatados. Em águas poluídas ou ricas em orgânicos, a adsorção de cádmio por substâncias húmicas e outros agentes orgânicos complexantes desempenha um papel dominante no transporte, particionamento e remobilização de cádmio (CALLAHAN *et al.*, 1979).

A concentração de cádmio na água é inversamente relacionada ao pH e à concentração de material orgânico na água (CALLAHAN *et al.*, 1979). Nos ambientes aquáticos, como o cádmio existe apenas no estado de oxidação 2^+ , o cádmio aquoso não é fortemente influenciado pelo potencial oxidante ou redutor da água. No entanto, sob condições redutoras, o cádmio pode formar sulfeto de cádmio, que é pouco solúvel e tende a precipitar (EPA, 1983; MCCOMISH & ONG, 1988). O cádmio livre (iônico), forma tóxica, se torna muito mais prevalente na baixa salinidade (SPRAGUE, 1986).

Em água doce o cádmio está presente principalmente como íon (+2) ou como complexos de $\text{Cd}(\text{OH})_2$ e CdCO_3 , embora em altas concentrações de matéria orgânica, mais

da metade possa ocorrer em complexos (MCCOMISH & ONG, 1988). Alguns compostos de cádmio, como sulfeto de cádmio, cádmio carbonato e óxido de cádmio, são praticamente insolúveis em água. No entanto, compostos insolúveis em água podem ser alterados para sais solúveis por interação com ácidos ou luz e oxigênio. Por exemplo, suspensões aquosas de sulfeto de cádmio podem gradualmente fotolizar em cádmio solúvel (IARC, 1993).

Em ambientes estuarinos, a complexação de cádmio com íon cloreto aumenta com a salinidade até que em água do mar o cádmio se apresenta quase inteiramente como espécies de cloreto ($\text{CdCl} + \text{CdCl}_2$, CdCl_3^-), com uma pequena porção como Cd^{2+} . Em ambientes reduzidos o cádmio se precipita como sulfeto de cádmio na presença de íons sulfeto (MCCOMISH & ONG, 1988). Fotólise não é um mecanismo importante no destino aquático dos compostos de cádmio (EPA, 1983b), nem é provável a ocorrência de metilação biológica (EPA, 1979).

Thornton (1992) relata que as águas da vizinhança de depósitos minerais contendo cádmio podem ter concentrações de cádmio $\geq 1.000 \mu\text{g/L}$. A concentração de cádmio na água superficial natural e nas águas subterrâneas são geralmente $< 1 \mu\text{g/L}$ (ELINDER, 1985, 1992).

Precipitação e sorção para superfícies minerais, óxidos metálicos hidratados e materiais orgânicos são os processos mais importantes para a remoção de cádmio da água para os sedimentos. O ácido húmico é o principal componente do sedimento responsável pela adsorção. A sorção aumenta à medida que o pH aumenta (CALLAHAN *et al.*, 1979). As bactérias sedimentares também podem auxiliar na partição do cádmio da água para os sedimentos (BURKE & PFISTER, 1988).

O cádmio adsorvido às superfícies minerais, como argila ou materiais orgânicos, é mais facilmente bioacumulável ou liberado no estado dissolvido quando o sedimento é revolvido (CALLAHAN *et al.*, 1979). A remobilização do cádmio a partir de sedimentos pode ocorrer sob variadas condições ambientais de pH, salinidade e potencial redox (CALLAHAN *et al.*, 1979; EISLER, 1985; FEIJTEL *et al.*, 1988; MUNTAU & BAUDO, 1992).

Debus e colaboradores (1996) estudaram a retenção e distribuição de chumbo e cádmio em microcosmos de áreas pantanosas (*wetland*). As diferenças entre as concentrações medidas nas amostras de entrada e saída indicaram que aproximadamente metade do cádmio adicionado foi retido nos microcosmos dessas áreas. Experimentos mostraram que quase todos os vestígios de metais estavam presentes nos sedimentos como sulfetos, limitando sua biodisponibilidade e toxicidade. Os resultados de suas análises e a falta de efeitos biológicos

perceptíveis sugeriram que, em áreas alagadas contendo sedimentos orgânicos, a química dos sedimentos domina o ciclo dos metais traço. Enquanto formas solúveis podem migrar em água, o cádmio é relativamente inerte em complexos insolúveis ou adsorvido a sedimentos.

Solo e sedimentos

Nos solos os fatores importantes que afetam a mobilidade de cádmio são: pH, reações de redução de oxidação e formação de complexos (BERMOND & BOURGEOIS, 1992; HERRERO & MARTIN, 1993). O Cádmio pode participar em reações de troca na superfície negativamente carregada de minerais de argila. Em solos ácidos a reação é reversível. No entanto, a adsorção aumenta com o pH e pode se tornar irreversível (HERRERO & MARTIN 1993). O cádmio também pode precipitar como compostos de cádmio insolúveis, formar complexos ou quelatos por interação com matéria orgânica. Dados disponíveis sugerem que a matéria orgânica é mais eficaz do que os constituintes inorgânicos para manter o cádmio indisponível (MCBRIDE, 1995). Exemplos compostos de cádmio encontrados no solo são $Cd_3(PO_4)_2$, $CdCO_3$ e $Cd(OH)_2$ (HERRERO & MARTIN 1993). Estes compostos são formados à medida que o pH aumenta. Verificou-se que cerca de 90% do cádmio nos solos permanecem nos 15 cm mais superficiais. A mobilidade e disponibilidade do cádmio para as plantas em solos de zonas alagadas (wetland) são substancialmente diferentes daquelas em solos de terras altas. O cádmio tende a ser retido mais fortemente nos solos de zonas alagadas e está mais disponível para as plantas em condições de planalto (GAMBRELL, 1994).

Bioacumulação

Organismos aquáticos e terrestres bioacumulam o cádmio (HANDY, 1992a, 1992b; KUROSHIMA, 1992; NAQVIE HOWELL, 1993; ROSEMAN *et al.*, 1994; SURESH *et al.*, 1993). Em animais de água doce e ambiente marinho, o cádmio atinge concentrações centenas a milhares de vezes mais altas do que a concentração da água ambiente (EPA, 1979). Os fatores de bioconcentração relatados (BCF) variam de <200 a 18.000 para invertebrados (VAN HATTUM *et al.*, 1989), de 3 a 4.190 para organismos aquáticos de água doce (ASTER, 1995), e de 5 a 3.160 para organismos aquáticos de água salgada (ASTER, 1994). A bioconcentração em peixes depende do pH e do conteúdo de húmus da água (JOHN *et al.*, 1987).

Os dados indicam que o cádmio se bioacumula em todos os níveis da cadeia alimentar. A acumulação de cádmio tem sido relatada em gramíneas e culturas alimentares, em minhocas, em aves de capoeira, gado, cavalos e animais selvagens (ALLOWAY *et al.*, 1990; BEYER *et al.*, 1987; GOCHFELD & BURGER, 1982; KALAC *et al.*, 1996; ORNES & SAJWAN, 1993;

RUTZKE *et al.*, 1993; SILEO & BEYER, 1985; VOS *et al.*, 1990). O nível de contaminação de uma cultura depende da absorção pelo sistema radicular, da absorção direta foliar, da translocação dentro da planta e da deposição superficial de material particulado (NWOSU *et al.*, 1995). Em geral, o cádmio se acumula nas folhas e, portanto, apresenta um risco maior em vegetais folhosos cultivados em solo contaminado do que em sementes ou culturas de raiz (ALLOWAY *et al.*, 1990).

Alguns estudos concluíram que o pH do solo é o principal fator que influencia a absorção de cádmio pelas plantas (SMITH, 1994). A alteração do solo com calcário aumenta o pH, aumentando a adsorção de cádmio no solo e reduzindo sua biodisponibilidade (HE & SINGH, 1994; THORNTON, 1992). O tipo de solo também afeta a absorção de cádmio pelas plantas. Para solos com o mesmo teor total de cádmio, o cádmio é mais solúvel e mais disponível em solo arenoso do que em solo argiloso (HE & SINGH, 1994). O potencial de oxirredução também pode ter um grande efeito sobre o transporte de cádmio no solo. Sob condições inundadas, a formação de sulfeto de cádmio aumenta e, assim, o cádmio diminui sua solubilidade (IIMURA, 1981).

A contaminação do solo pelo cádmio é preocupante porque o cádmio é absorvido eficientemente pelas plantas e, portanto, entra na cadeia alimentar para os seres humanos e outros animais. Um solo de pH baixo (comum nos latossolos brasileiros) aumenta a absorção de cádmio pelas plantas (ELINDER, 1992). O cádmio é captado e retido pelas plantas aquáticas e terrestres e concentra-se no fígado e rim dos animais que comem as plantas (ELINDER, 1985).

Embora alguns dados indiquem aumento das concentrações de cádmio em animais no topo da cadeia alimentar, comparações entre animais de diferentes níveis são difíceis e os dados disponíveis sobre a biomagnificação não são conclusivos (BEYER, 1986; GOCHFELDE BURGER, 1982). No entanto, a absorção de cádmio do solo pelas culturas de alimentos pode resultar em altos níveis de cádmio em carne e aves domésticas (especialmente no fígado e nos rins). Este acúmulo de cádmio na cadeia alimentar tem importantes implicações para a exposição humana ao cádmio, ocorrendo ou não a biomagnificação.

Chumbo

Ar

As poeiras transportadas pelo ar assentam-se em alimentos, água, roupas e outros objetos e, posteriormente, podem ser transferidas para a boca. Um fator importante na determinação do transporte atmosférico de chumbo é a distribuição do tamanho das partículas. As partículas grandes, particularmente aquelas com diâmetros maior que 2 μm , precipitam da atmosfera rapidamente e são depositadas relativamente perto das fontes de emissão. Partículas menores podem ser transportadas por milhares de quilômetros (EPA, 1982).

Arrastamento ou suspensão de partículas de solo no ar em movimento é outra via de transporte de chumbo. Esse processo pode ser importante para contribuir com a carga do chumbo em áreas com níveis elevados de chumbo no solo (EPA, 1982).

Na atmosfera o chumbo inorgânico existe principalmente na forma de PbSO_4 e PbCO_3 que impacta o solo; os compostos inorgânicos de chumbo existem principalmente na forma particulada. Após a liberação para a atmosfera, as partículas de chumbo são dispersas e finalmente removidas da atmosfera por deposição úmida ou seca. A quantidade de chumbo extraída da atmosfera pela deposição úmida é muito variável podendo apresentar de 40 a 70% da deposição de chumbo, dependendo de fatores como a localização geográfica e a quantidade de emissões na área (EPA 1982).

Água

A química do chumbo em solução aquosa é altamente complexa porque este elemento pode ser encontrado em uma multiplicidade de formas. O chumbo tem tendência a formar compostos de baixa solubilidade com os principais ânions encontrados em águas naturais. A quantidade de chumbo nas águas superficiais depende do pH e do teor de sal dissolvido da água. O teor de sal dissolvido, por sua vez, depende do pH e da pressão parcial do CO_2 , bem como da temperatura da água. No ambiente a forma divalente (Pb^{2+}) é a espécie iônica estável do chumbo. Hidróxido, carbonato, sulfeto e, mais raramente, sulfato podem atuar como controles de solubilidade na precipitação de chumbo da água.

Em um pH menor que 5,4, o sulfato de chumbo limita a concentração de chumbo na solução, enquanto em um pH > 5,4, os carbonatos de chumbo limitam as concentrações de

chumbo. Os cálculos de equilíbrio mostram que em pH maior que 5,4, a solubilidade total do chumbo é de aproximadamente 30 µg/L em água dura e aproximadamente 500 µg/L em água macia. Os íons sulfato, se presentes em água macia, limitam a concentração de chumbo na solução através da formação de sulfato de chumbo. Acima de pH 5,4, os carbonatos de chumbo, $PbCO_3$ e $Pb_2(OH)_2CO_3$, limitam a concentração (EPA, 1979).

A concentração de carbonato é, por sua vez, dependente da pressão parcial de dióxido de carbono, pH e temperatura. Na maioria das águas superficiais e subterrâneas, a concentração de chumbo dissolvido é baixa porque o chumbo formará compostos com ânions na água, como hidróxidos, carbonatos, sulfatos e fosfatos, que têm baixa solubilidade em água e se precipitam para fora da coluna d'água (MUNDELL *et al.*, 1989).

Espera-se que uma fração significativa de chumbo transportada pela água do rio esteja em uma forma não dissolvida, que pode consistir de partículas coloidais ou maiores partículas não dissolvidas de carbonato de chumbo, óxido de chumbo, hidróxido de chumbo ou outros compostos de chumbo incorporados em outros componentes de partículas de superfície do escoamento. O chumbo pode ocorrer tanto como íons sorvidos ou revestimentos de superfície em partículas minerais sedimentares, como também pode ser transportado como parte de matéria orgânica suspensa ou não viva na água. A proporção de chumbo em sólidos suspensos para chumbo na forma dissolvida varia de 4:1 em riachos rurais a 27:1 em riachos urbanos (GETZ *et al.*, 1977).

Solo e sedimentos

O solo é considerado um dos depósitos principais de chumbo, pois este contaminante pode ali permanecer indefinidamente. O chumbo no solo pode estar sob diversas formas: relativamente insolúvel (sulfato, carbonato ou óxido), solúvel, adsorvido e coprecipitado como sesquióxido, adsorvido em matérias orgânicas coloidais ou complexado no solo (IPCS,1995).

O destino do chumbo no solo é influenciado pela adsorção específica ou de permuta nas interfaces minerais, a precipitação de formas sólidas pouco solúveis do composto e a formação de complexos ou quelatos organometálicos relativamente estáveis com matéria orgânica do solo. Esses processos dependem de fatores como pH do solo, tipo de solo, tamanho de partícula, conteúdo de matéria orgânica do solo, presença de colóides

inorgânicos e óxidos de ferro, capacidade de troca catiônica (CTC) e quantidade de chumbo no solo (NSF, 1977; REDDY *et al.*, 1995).

O pH do solo influencia a mobilidade do metal no solo, que pode sofrer modificações, formar compostos menos solúveis e tornar-se menos disponível. Em solos cultivados os níveis de chumbo podem variar de 20 a 80 g/g. Em pH próximo ao neutro, os complexos carbonochumbo orgânicos dissolvidos são as espécies predominantes nos extratos aquosos do solo. Em pH baixo, predomina a forma iônica de chumbo (Pb^{2+}) e os pares de íons (por exemplo, $PbSO_4$). O acúmulo de chumbo na maioria dos solos é principalmente uma função da taxa de deposição da atmosfera. A maior parte do chumbo é retida fortemente no solo e muito pouco é transportado para as águas superficiais ou subterrâneas. As condições que induzem a lixiviação são a presença de chumbo no solo em concentrações que se aproximam ou excedem a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, a presença de materiais no solo que são capazes de formar quelatos solúveis com chumbo e uma diminuição na o pH da solução de lixiviação (EPA, 1986; NSF, 1977).

O chumbo é fortemente ligado à matéria orgânica no solo e, embora não seja sujeito a lixiviação, pode entrar nas águas superficiais como resultado da erosão das partículas do solo contendo chumbo (REED *et al.*, 1995). O chumbo também pode ser imobilizado por troca iônica com óxidos ou argilas hidratadas ou por quelação com ácidos húmicos ou fúlvicos no solo (OLSON & SKOGERBOE, 1975).

Em solos com pH de 6,5 e com pelo menos 5% de teor de matéria orgânica, o chumbo atmosférico é retido nos 2 a 5 cm superiores do solo não perturbado. O chumbo inorgânico pode ser ligado a matrizes cristalinas de rochas e permanecer essencialmente imóvel; também pode ser aprisionado na água imóvel em torno dos macro e microporos do solo (REED *et al.*, 1995).

Complexos de chumbo e precipitados no solo e sua transformação dependem do tipo de solo. Em solos com alto teor de matéria orgânica e pH entre 6 e 8, o chumbo pode formar complexos insolúveis de chumbo orgânico; se o solo tiver menos matéria orgânica no mesmo pH, podem se formar complexos de óxido de chumbo hidratado ou o chumbo pode precipitar-se com íons de carbonato ou fosfato. Em um pH de 4-6, os complexos de chumbo orgânicos tornam-se solúveis e lixiviados ou podem ser absorvidos pelas plantas (EPA, 1986).

Bioacumulação

Plantas e animais podem bioconcentrar o chumbo, mas a biomagnificação não foi detectada. Embora a biodisponibilidade do chumbo no solo para as plantas seja limitada devido à forte absorção do chumbo na matéria orgânica do solo, a biodisponibilidade aumenta à medida que o pH e o teor de matéria orgânica do solo são reduzidos. O chumbo não é biomagnificado nas cadeias alimentares aquáticas ou terrestres. Pode contaminar as plantas terrestres como resultado da deposição e absorção atmosférica do solo, e dos animais como resultado da inalação de ar ambiente contaminado ou ingestão de plantas contaminadas.

Em geral, as maiores concentrações de chumbo são encontradas em organismos aquáticos e terrestres que vivem perto de instalações de mineração, fundição e refino de chumbo; áreas de disposição de resíduos e em locais onde de dragagem. O chumbo pode estar presente nas superfícies das plantas como resultado da deposição atmosférica; sua presença em tecidos vegetais internos indica absorção biológica do solo e superfícies foliares.

Cobre

O cobre e seus compostos estão naturalmente presentes na crosta terrestre. Descargas naturais para o ar e a água, tais como poeira soprada pelo vento, podem ser significativas. Portanto, é importante considerar as concentrações de cobre dentro de um ambiente específico, região geográfica ou local de estudo da população que foi minimamente afetado por fontes antropogênicas de cobre, a fim de se avaliar com precisão a contribuição de uma atividade antrópica para exposições humanas ao cobre.

No ar, as concentrações médias de cobre na atmosfera variam entre 5 e 200 ng/m³ em áreas rurais e urbanas. O cobre transportado pelo ar está associado a partículas que são obtidas de solos, fontes de combustível, fabricação ou processamento de materiais que contenham cobre ou rejeitos de minas.

A concentração mediana de cobre na água natural (por exemplo, rios, lagos e oceanos) é de 4 a 10 ppb, geralmente no estado Cu (II). A maior parte está complexada ou fortemente ligada à matéria orgânica. O cobre pouco é presente na forma livre (hidratada) ou prontamente trocável. Os processos combinados de complexação, adsorção e precipitação

controlam o nível de Cu livre (II). As condições químicas mais naturais da água é tal que, mesmo em concentrações relativamente altas de cobre, esses processos reduzirão a concentração de Cu (II) a valores extremamente baixos.

A concentração média de cobre no solo varia de 5 a 70 mg/kg e é maior em solos próximos a fundições, operações de mineração e fontes de combustão. O sedimento representa um importante sumidouro e reservatório para o cobre. Em sedimentos relativamente limpos, como os encontrados em algumas baías e estuários ao longo da costa, a concentração de cobre é <50 ppm, porém o sedimento poluído pode conter vários milhares de ppm de cobre.

Em sedimentos aeróbicos, o cobre está ligado principalmente a compostos orgânicos (substâncias húmicas) e óxidos de ferro. No entanto, em alguns casos, o cobre é predominantemente associado a carbonatos. Em sedimentos anaeróbicos, Cu (II) será reduzido a Cu (I) e sais de cobre insolúveis serão formados.

Ar

O cobre é emitido para o ar de fontes naturais e antropogênicas. Como o cobre é um componente da crosta terrestre, a crosta terrestre é a principal fonte natural de cobre. O pó trazido pelo vento tem emissão mundial média estimada de 0,9–15x10⁶kg/ano de cobre na atmosfera (OMS, 1998).

O cobre é liberado para a atmosfera na forma de material particulado ou adsorvido ao material particulado, sendo removido por sedimentação gravitacional, deposição seca, eliminação de nuvens (fixação de partículas por gotículas dentro das nuvens) e pelas chuvas (SCHROEDER *et al.*, 1987).

A taxa de remoção e a distância percorrida da fonte dependerão de vários fatores, incluindo características da fonte, tamanho da partícula, turbulência e velocidade do vento.

O assentamento gravitacional governa a remoção de partículas grandes com massa aerodinâmica mediana (MMA) de diâmetros > 5 µm, enquanto partículas menores são removidas pelas outras formas de deposição seca e úmida. A importância da deposição úmida para a seca aumenta geralmente com a diminuição do tamanho das partículas. A relação de eliminação (proporção da concentração de cobre na precipitação [ppm] para a sua concentração no ar [µg/m³]) para partículas grandes exibe uma dependência sazonal que

reflete a eliminação mais eficaz pela neve do que pela chuva (CHAN *et al.*, 1986). O cobre das fontes de combustão está associado a partículas submicrônicas. Estas partículas permanecem na troposfera por um período estimado de 7 a 30 dias. Nesse tempo, algum cobre pode ser transportado para longe de sua fonte de emissão (PERWAK *et al.*, 1980).

Água

Grande parte do cobre descarregado nos cursos de água está em partículas e se acomoda. Na coluna d'água e em sedimentos, o cobre se liga à matéria orgânica, ao ferro hidratado e óxidos de manganês e à argila. Na coluna d'água, uma fração significativa do cobre é adsorvida na primeira hora de introdução e, na maioria dos casos, o equilíbrio é obtido em 24 horas (HARRISON & BISHOP, 1984). De fato, a maioria do contido nos efluentes de estações de tratamento e no escoamento superficial já estão na forma de complexos (SEDLAK *et al.*, 1997).

O cobre liga-se principalmente à matéria orgânica no sedimento estuarino, a menos que o sedimento tenha pouca matéria orgânica.

Solo e sedimentos

A maior parte do cobre depositado no solo a partir da atmosfera, do uso agrícola e de resíduos sólidos será adsorvida com maiores concentrações de cobre medidas nos 5 a 10 centímetros superiores do solo (BRESLIN 1999; GIUSQUIANI *et al.*, 1992; LUNCAN-BOUCHÉ *et al.*, 1997; LEVY *et al.*, 1992; PERWAK *et al.*, 1980).

O movimento do cobre no solo é determinado por uma série de interações físicas e químicas com os componentes do solo. Em geral, o cobre será adsorvido à matéria orgânica, minerais de carbonato, minerais de argila ou óxidos de ferro e manganês hidratados (EPA, 1979; FUHRER, 1986; JANSSEN *et al.*, 1997; PETRUZZELLI, 1997; TYLER & MCBRIDE, 1982).

Solos arenosos com baixo pH tem o maior potencial de lixiviação. Na maioria dos solos temperados, o pH, matéria orgânica, concentrações de oxihidróxidos metálicos e a força iônica das soluções do solo são os principais fatores que afetam a adsorção (ELLIOT *et al.*, 1986; FUHRER 1986; GERRITSE & VAN DRIEL, 1984; JANSSEN *et al.*, 1997; RIEUWERTS *et al.*, 1998; TYLER & MCBRIDE, 1982). A força iônica e o pH da solução do solo afetam a carga superficial dos solos e, assim, influenciam a interação iônica (RIEUWERTS *et al.*, 1998).

Os microrganismos do solo também afetam a absorção de cobre nos solos devido à absorção e assimilação do metal por esses microrganismos (RIEUWERTS *et al.*, 1998). No entanto, não se sabe se a taxa de absorção e a capacidade de absorção dos microrganismos ao cobre é comparável com a capacidade de ligação e afinidades do cobre pela matéria orgânica em solos, como ácidos húmicos e fúlvicos. Quando a quantidade de matéria orgânica é baixa, o conteúdo mineral em óxidos de Fe, Mn e Al tornam-se importantes na determinação da adsorção de cobre. Fuhrer (1986) relatou que no sedimento estuarino oxidado a adsorção de cobre é dominada tanto pelo óxido de ferro amorfo como pelo e material húmico.

O cobre liga-se fortemente a solos com alto conteúdo orgânico (14-34% de matéria orgânica, peso seco) e a distribuição de cobre na solução do solo é menos afetada por mudanças no pH do que em outros metais (GERRITSE & VAN DRIEL, 1984).

Elliot e colaboradores (1986) compararam a adsorção dependente de pH dos cátions de metais de transição divalente Cd, Cu, Pb e Zn em dois solos minerais (franco argilo-siltoso, 0,5g/kg peso seco orgânico e argila arenosa, 1,6g/kg orgânico) e dois solos contendo considerável teor de matéria orgânica (areia argilosa, 20,5 g / kg orgânica e argila siltada, 42,5 g / kg orgânica). A adsorção aumentou com o pH, e Cu e Pb foram muito mais fortemente retidos do que Cd e Zn. A redução na adsorção após a remoção da matéria orgânica demonstrou a importância da matéria orgânica na fixação do cobre. Em um estudo sobre solos argilosos, Wu e colaboradores (1999) observaram ligação preferencial do cobre à matéria orgânica, mas encontraram maior afinidade de ligação às frações de argila finas (<0,2 µm) após a remoção da matéria orgânica.

Ensaio de percolação com lodos de estações de tratamento de esgotos assinalam que o cobre apresenta baixas concentrações no lixiviado. Isto sugere que cobre lixivia lentamente das lamas para a água subterrânea, mesmo dos solos arenosos (PERWAK *et al.*, 1980; RITTER & EASTBURN, 1978). Em outro estudo, perfis de solo retirados de áreas de pastagem após aplicação lodo de esgoto por 4 anos observou-se que entre 74% e 80% de cobre permaneceram no topo de 5 cm de um solo franco arenoso e outro franco-calcário (DAVIS *et al.*, 1988).

Estudos semelhantes também mostraram que o cobre é tipicamente confinado aos 5 a 10 cm superiores de solos agrícolas com lamas (BRESLIN, 1999; GIUSQUIANI *et al.*, 1992). Em solos que recebem aplicações pesadas de lodo a longo prazo, altas concentrações de cobre (471 mg/kgem comparação com 19,1 mg kg em solos controle inalterados) foram relatadas

para profundidades de até 25 cm (RICHARDS *et al.*, 1998). A mobilidade do cobre no solo a partir do lodo foi determinada principalmente pela área superficial e quantidade de carbono orgânico do solo (DOMERGUE & VÉDY 1992; GAO *et al.*, 1997). Além disso, os solos alterados por lodo com baixo teor de metal apresentaram maior sorção para cobre devido ao aumento da capacidade de ligação fornecida pelos compostos orgânicos de “baixo teor de metal” no lodo (PETRUZZELLI *et al.*, 1994).

Da mesma forma, o cobre permanece na camada superficial quando é aplicado ao solo como um líquido. O efluente de esgoto secundário inoculado com 0,83 ppm de cobre foi aplicado semanalmente a quatro solos diferentes. Após 1 ano de tratamento, a concentração de cobre nos horizontes superficiais aumentou muito: entre 50% a 76% da aplicação, o cobre foi encontrado na camada superior de 2,5 cm e 91-138% foi encontrado na camada superior de 12,7 cm (BROWN *et al.*, 1983).

Em um estudo de acumulação e transporte de metais em solos com lodo, parcelas de campo receberam grandes quantidades de esgoto durante um período de 6 anos. Duas lamas (uma contendo resíduos industriais), com teores médios de cobre de 0,29 e 23 ppm foram incorporadas nos 20 cm superiores do solo na primavera. A cevada foi cultivada e, após a colheita, amostras de solo de 1 m de profundidade foram retiradas. Algum movimento de cobre foi observado na camada de solo 22,5 a 25 cm, mas pouco abaixo desta zona. No entanto, nesta profundidade, o cobre ainda está dentro da zona de raiz de muitas culturas alimentares importantes e, portanto, está disponível para absorção nessas plantas. Além disso, a disponibilidade do cobre no solo, determinado pela sua capacidade de extração com ácido dietilenotriaminapentacético (DTPA) e nitrato, permaneceu constante durante um período de 4 anos em todas as profundidades. Dos resultados de outros trabalhos, espera-se que a maior parte do cobre (40-74%) seja associada às frações orgânicas, às de Fe-Mn-óxido e às de carbonato da maioria dos solos (MA & RAO, 1997).

Bioacumulação

O fator de bioconcentração (BCF) do cobre em peixes obtido em estudos de campo é de 10-667, indicando uma baixa potencial para bioconcentração (PERWAK *et al.*, 1980). O BCF é maior em moluscos, como ostras e lula onde pode chegar a 30.000 e 2.1x10⁷, respectivamente, e podem apresentar uma fonte alimentar de cobre que pode ser uma

preocupação para aqueles indivíduos que consomem regularmente ostras, moluscos ou lula (PERWAK *et al.*, 1980).

Esta preocupação é válida já que os moluscos se alimentam pela filtração da água e as concentrações de cobre são maiores no particulado do que na água. Por outro lado, existem dados limitados que sugerem que há pouca biomagnificação do cobre na cadeia alimentar aquática (PERWAK *et al.*, 1980). Por exemplo, o teor de cobre do tecido muscular de peixes de lagos contaminados perto de Sudbury, Ontário, não diferiram significativamente da mesma espécie de peixe em lagos longe dessa fonte (BRADLEY & MORRIS, 1986).

Nenhuma evidência de bioacumulação foi obtida a partir de um estudo das concentrações de poluentes no fígado de 10 espécies de mamíferos no Parque Nacional de Donana, na Espanha (HERNANDEZ *et al.*, 1985). O rio Guadalquivir, que atravessa o parque, flui primeiro através de uma grande região de mineração, além de uma grande área urbana e áreas industriais, carregando contaminantes adquiridos nesses sites. As espécies animais do estudo foram classificadas em três categorias (herbívoros, onívoros e carnívoros) para verificar se os poluentes estavam mostrando biomagnificação em níveis tróficos superiores de animais. Nenhuma evidência de biomagnificação de cobre na cadeia alimentar foi observada.

Da mesma forma, em um estudo de uma cadeia alimentar em uma floresta no norte da Alemanha, não houve evidência de biomagnificação em consumidores terciários (por exemplo, ratazana, musaranhos e camundongos) em comparação com os consumidores secundários (por exemplo, minhoca, caracol, escaravelho e isópodes) (SCHARENBERG & EBELING, 1996).

Um estudo sobre metais pesados em coelhos localizados em áreas de mineração tratadas com lodo de esgoto, mostraram que enquanto a concentração de cobre na superfície do solo foi 130% maior que na área controle, a elevação da concentração do cobre foi relativamente pequena nas amostras foliares e não foi observado aumento significativo de cobre no músculo, fêmur, rim ou fígado dos coelhos. Aparentemente, o cobre não é bioacumulativo na cadeia alimentar do coelho (DRESSLER *et al.*, 1986).

Diks e Allen (1983) adicionaram cobre a quatro sistemas de sedimentos/água e estudaram a distribuição de cobre entre cinco fases geoquímicas, nomeadamente, carbonato absorvido/permutável, facilmente redutível (óxidos de Mn e óxidos de Fe amorfos), orgânicos e moderadamente redutíveis (óxidos de ferro hidratado). Os investigadores buscaram correlacionar a concentração em cada fase geoquímica com a absorção de cobre por vermes

da família *tubicidae*. Somente o cobre extraído da fase de óxido de manganês (facilmente redutível) se correlacionou com o conteúdo de cobre nos vermes ao nível de confiança de 95%. Este resultado sugere que o potencial redox e o pH no intestino do verme é tal que os revestimentos de óxido de manganês são dissolvidos, tornando o cobre disponível para absorção por outros organismos.

Níquel

A avaliação confiável do potencial de exposição humana ao níquel depende, em parte, da confiabilidade dos dados analíticos das amostras ambientais e espécimes biológicos. Concentrações de níquel em atmosferas não poluídas e em águas superficiais naturais são frequentemente tão baixas que estão perto dos limites dos métodos analíticos. Ao revisar os dados sobre os níveis de concentrações de níquel no ambiente, também se deve notar que as concentrações identificadas analiticamente não são necessariamente equivalentes às concentrações biodisponíveis.

Ar

O níquel é liberado para a atmosfera na forma de material particulado ou adsorvido ao material particulado, sendo dispersado pelo vento e removido por decantação gravitacional (sedimentação), deposição a seco, lavagem pela chuva. A taxa de remoção e distância a partir da fonte depende das características da fonte (por exemplo, altura da pilha), tamanho e densidade da partícula e condições meteorológicas (SCHROEDER *et al.*, 1987). Evidência para o transporte de longo alcance de níquel foi descrita na literatura pelo fato de que fontes de emissão na América do Norte, Groenlândia e Europa são responsáveis por concentrações elevadas de níquel atmosférico na região norueguesa do Ártico durante o verão e o inverno (PACYNA & OTTAR, 1985).

As taxas estimadas de deposição de níquel variam de 0,01 a 0,5 kg/hectare/ano (1 a 50 mg/m²/ano) e de 0,1 a 5,95 kg/hectare/ano (10 a 595 mg/m²/ano) em áreas rurais e urbanas, respectivamente (SCHROEDER *et al.*, 1987). As concentrações médias de níquel no ar ambiente variam tipicamente entre 6 e 20 ng/m³ e podem ser tão altas como 150 ng/m³ perto de fontes antrópicas de níquel transportado pelo ar (BARCELOUX, 1999). Com base nos dados de emissão da EPA (NTI, 1996), foi estimada uma concentração média de níquel no ar ambiente nos Estados Unidos em 2,22 ng/m³ (EPA, 2003).

As concentrações médias anuais de níquel no ar ambiente em 11 cidades canadenses, medidas durante o período 1987-1990, variaram de 1 a 20 ng/m³, enquanto na zona rural a concentração média de níquel era de 1 ng/m³ (CEPA, 1994). Em outro estudo canadense, as concentrações médias de exposição ao níquel no ar para residentes que moram perto de fundições de cobre e refinarias de zinco variaram entre 0,005 e 0,151 µg/m³ (5-151 ng/m³) em comparação com níveis de fundo de 0,00069 µg/m³ (0,69 ng/m³) (NEWHOOK *et al.*, 2003).

Graney e colaboradores (2004) mediram o níquel em ar interior como parte de um estudo sobre exposição a metais para residentes em Towson, Maryland. Os participantes do estudo tinham uma idade média de 84 anos, eram todos não-fumantes e não cozinhavam suas próprias refeições. Níveis médios de níquel de 1,02 e 1,71 ng/m³ no ar foram relatados em partículas (PM_{2,5}) das amostras coletadas de ar interno e de exposição pessoal, respectivamente.

Em um estudo com 46 estudantes do ensino médio em Nova York realizado no inverno e verão, as concentrações de níquel nas partículas coletadas (PM_{2,5}) a que esses estudantes estavam expostos foram avaliadas usando dispositivos de monitoramento pessoal e medições estacionárias de níquel dentro e fora de casa. As concentrações médias de níquel no ar obtido dos monitores externos, internos e pessoais foram semelhantes (32,3 ± 22,4, 31,6 ± 54,5 e 49,6 ± 114 ng/m³, respectivamente). Da mesma forma, as concentrações médias de níquel obtidas dos três monitores durante o verão também foram similares (11,7 ± 6,3, 12,6 ± 8,4 e 17,3 ± 24,7 ng/m³, respectivamente), embora um pouco abaixo das concentrações de inverno. Estes resultados sugerem que as concentrações ambientais são determinantes nas exposições internas e pessoais ao níquel (KINNEY *et al.*, 2002).

O assentamento gravitacional governa a remoção de partículas grandes (> 5 µm), enquanto partículas menores são removidas por outras formas de deposição seca e úmida. A importância da deposição úmida em relação à deposição seca geralmente aumenta com a diminuição do tamanho das partículas. A remoção de partículas grossas pode ocorrer em questão de horas. Pequenas partículas dentro da faixa de tamanho de 0,3 a 0,5 µm podem ter uma meia-vida atmosférica de até 30 dias e, portanto, tem o potencial de ser transportado por longas distâncias (SCHROEDER *et al.*, 1987).

Estudos indicam que com base nas propriedades químicas e físicas das partículas atmosféricas, as concentrações de níquel em partículas grandes (> 1 µm de diâmetro), comumente associadas com partículas derivadas de fontes naturais, são menores que as

concentrações em partículas menores ($<1 \mu\text{m}$ de diâmetro), que são tipicamente derivadas de fontes antropogênicas (GIUSTI *et al.*, 1991; SCUDLARK *et al.*, 1994; STOESEL & MICHAELIS, 1986). No entanto, experimentos em Ontário mostraram que o níquel está associado a partículas relativamente grandes, $5,6 \pm 2,4 \mu\text{m}$ (CHAN *et al.*, 1986).

Uma análise dos modelos de estabilidade termodinâmica de vários minerais de níquel e espécies em solução indica que a ferrita de níquel é a espécie sólida que provavelmente irá precipitar nos solos (SADIQ & ENFIELD, 1984a). A formação de aluminato, fosfato ou silicato de níquel não foi significativa. Ni^{2+} e $\text{Ni}(\text{OH})^+$ são os principais componentes da solução do solo em solos alcalinos. Em solos ácidos as espécies de solução predominantes provavelmente serão $\text{Ni}(\text{OH})^+$, NiSO_4 e NiHPO_4 (SADIQ & ENFIELD, 1984b).

Água

A água de consumo humano é sempre uma preocupação central em estudos de saúde. Em uma pesquisa nacional de água bruta, tratada e distribuída de 71 municípios em todo o Canadá, a concentração de níquel na água potável tratada e distribuída teve uma variação entre 0,6 a 1,3 $\mu\text{g/L}$ para água tratada e 1,8 $\mu\text{g/L}$ para água distribuída (MERANGER *et al.*, 1981). A semelhança entre os valores mediano e máximo para o tratamento e a água distribuída sugere que o níquel não é geralmente recolhido no sistema de distribuição.

O níquel é fortemente adsorvido em superfícies minerais, como óxidos e óxidos hidratados de ferro, manganês e alumínio. Adsorção de níquel em partículas suspensas na água é um dos principais mecanismos de remoção de níquel da coluna de água. Essa adsorção desempenha um papel importante no controle da concentração de níquel em águas naturais (EVANS, 1989; RAI & ZACHARA, 1984).

A adsorção do níquel em partículas está em concorrência com a adsorção em matéria orgânica dissolvida, o que limita a quantidade de níquel que pode ser removida da coluna de água por meio da deposição de partículas suspensas (MARTINO *et al.*, 2003).

Concentrações de níquel foram medidas como parte de um estudo do teor de metais pesados em drenagens impactadas por operações de mineração ativas e abandonadas, na região de Black Hills, Dakota do Sul/EUA (MAY *et al.*, 2001). As concentrações de níquel nestas águas superficiais variaram entre 1,3 e 7,6 $\mu\text{g/L}$ e foram tipicamente mais altas perto de onde receberam água de drenagem de áreas abandonadas ou de operações de mineração. As

concentrações de níquel na água não se correlacionaram com as concentrações de níquel nos sedimentos.

Muito do níquel liberado em cursos de água como escoamento é associado com material particulado; é transportado e se instala em áreas de sedimentação ativa, como a foz de um rio. Além disso, quando um rio alimenta um estuário, as alterações da salinidade podem afetar a capacidade de absorção devido à complexação e competição entre os pontos de ligação (BOWMAN *et al.*, 1981).

Aplicação terrestre de lamas contaminadas com níquel não resultou em aumento dos níveis de níquel nas águas subterrâneas (DEMIRJIAN *et al.*, 1984). O níquel (II) é pouco removido das águas residuais no processo de lodos ativados devido à alta solubilidade (STEPHENSON *et al.*, 1987). Apenas 30 a 40% do níquel foram removidos em uma planta piloto por lodos ativados. A remoção de níquel em plantas de lodos ativados é melhor correlacionada com sólidos suspensos no efluente (KEMPTON *et al.*, 1987). O níquel é predominantemente solúvel no efluente e é encontrado complexado ao ácido húmico, biopolímeros e outros agentes quelantes (SEDLAK *et al.*, 1997). Doses mais altas e repetidas aplicações de lodo de esgoto contendo níquel não resultaram em aumento proporcional na mobilidade do níquel (HARGITAI, 1989).

Em um estudo entre 1977-1979 sobre águas subterrâneas e águas superficiais em toda Nova Jersey, em que mais de 1000 poços e 600 águas superficiais foram amostradas, os níveis médios de níquel nas águas subterrâneas e superficiais foram de 3,0 µg/L (IARC, 1990).

Concentrações de níquel foram medidas em 30 amostras de águas subterrâneas retiradas do aquífero aluvial de South Platte River subjacente a Denver, Colorado (BRUCE & MCMAHON, 1996). As amostras representaram uma variedade de atividades de uso da terra, incluindo comercial, industrial, residencial e agrícola. Foi determinada uma concentração média de níquel de 3 µg/L, com valores máximos e mínimos de concentrações de 20 e 1 µg/L, respectivamente.

Em uma pesquisa sobre metais pesados, concentrações médias de níquel de 872 e 752 ng/L foram medidas nos Lagos Erie e Ontário, respectivamente. As concentrações foram maiores em águas da zona costeira devido à sua proximidade a centros urbanos e a foz de rios poluídos. Uma diminuição na concentração média de níquel de 838 ng/L, medida em junho, para 751 ng/L, obtida em outubro, indica que a sedimentação de partículas suspensas resulta em uma depleção de níquel durante a estratificação de verão (NRIAGU *et al.*, 1996).

Concentrações de níquel nas águas do lago Huron apresentaram média e máxima de 0,54 e 3,8 µg/L, respectivamente (DOLAN *et al.*, 1986). Em outra pesquisa, concentrações de níquel no Porto Hamilton, Lago Ontário, variaram de <1 a 17 µg/L, com uma mediana de 6 µg/L (POULTON, 1987). A mediana da concentração de níquel de um levantamento análogo foi de 4 µg/L.

Solo e sedimentos

O sedimento é um importante sumidouro para o níquel na água. O nível médio de níquel em sedimentos não contaminados variou de 8,5 a 38 ppm, principalmente associado com silte e argila (HEIT *et al.*, 1984; ROSSMANN, 1988; SWEENEY & NAIDU, 1989; USGS, 2000).

Sedimentos suspensos em amostras de água superficial (0,2 m) em Hamilton Harbour, Lago Ontário, continham 17 a 23 ppm de níquel. Amostras de uma profundidade de 20 m continham 67-87 ppm, semelhante às 66 ppm de níquel encontradas em amostras de sedimentos de fundo (POULTON, 1987).

Estes resultados sugerem que a ressuspensão do sedimento do fundo é um dos principais contribuintes para o sedimento em suspensão a 20 m de profundidade.

Sedimentos salinos de estuários frequentemente contêm pirita e outros compostos de enxofre facilmente oxidáveis. Quando estes sedimentos são oxidados, como quando o sedimento dragado é exposto ao oxigênio, o ácido sulfúrico pode ser produzido, o que pode sobrecarregar a capacidade de tamponamento do sedimento, baixar o pH e dissolver os óxidos e hidróxidos férricos que retêm metais pesados (DELAUNE & SMITH, 1985). Como resultado, quantidades significativas de níquel podem ser liberadas. Uma diminuição análoga do pH após a exposição ao oxigênio não foi observada em sedimentos de água doce.

A presença de bissulfetos de ferro em sedimentos de terras húmidas tem sido associada a uma maior mobilização de níquel na água subterrânea durante períodos de seca na Holanda (LUCASSEN *et al.*, 2002). Dessecação dos sedimentos levam à oxidação dos bissulfetos de ferro e subsequente acidificação dos sedimentos. Quando as relações S/ (Ca+ Mg) nestes sedimentos aumentam acima de 2/3, ocorre a mobilização de metais pesados como o níquel, levando a concentrações de níquel na água subterrânea que excediam o nível de alerta holandês de 50 ppb para níquel em 50% dos locais de monitoramento.

Bioacumulação

Foi relatado que o níquel não é acumulado em quantidades significativas pelos organismos aquáticos (BIRGE & BLACK, 1980; ZAROOGIAN & JOHNSON, 1984). A concentração de níquel em grandes peixes carnívoros, como a truta do lago, foi o mais baixo, e a concentração não aumentou sensivelmente com a idade do peixe. O fator médio de bioconcentração (BCF) para três espécies de peixes carnívoros foi 36 (BIRGE & BLACK, 1980).

A concentração de níquel em mexilhões e ostras tratados com 5 µg Ni/kg de água do mar por 12 semanas foi, em média, 9,62 e 12,96 µgNi/g, respectivamente, com base no peso seco (ZAROOGIAN & JOHNSON, 1984). Quando esses dados são ajustados para controle e a concentração de níquel no tecido é expresso em base de peso úmido, o fator de BCF para os mexilhões e ostras é de ≈100 µgNi/g.

Depois de 2 semanas em fluxo de água do mar, observou-se uma diminuição de 58% e 38% do níquel no mexilhão e na ostra, respectivamente. Não ocorreu perda significativa de níquel durante o restante do período de depuração de 28 semanas. O conteúdo de ácido sulfídrico volátil (AVS) no sedimento ajuda a determinar a biodisponibilidade dos metais. Em estudos de níquel e cádmio, os metais eram tóxicos para um anfípode (*Hyallela azteca*) e um Oligocheate (*Lumbriculus variegatus*) quando a relação metais extraídos/AVS era maior que 1 (ANKLEY *et al.*, 1991).

No trabalho de McGeer e colaboradores (2003) para determinar a BCF para níquel em vários organismos aquáticos (algas, artrópodes, moluscos e peixes), observou-se que em concentrações de exposição dentro do intervalo de 5 a 50 µgNi/L na água, valores médios de BCF de 106 ± 53 foram obtidos. Em intervalos de concentrações acima de 5-50 µgNi/L, um valor de BCF de 157 ± 135 foi obtido. Os autores observaram que os valores de BCF estavam inversamente correlacionados às concentrações de exposição, onde os maiores valores de BCF foram obtidos em menores concentrações de exposição. Não houve evidência de que o níquel biomagnifica nas cadeias alimentares aquáticas e, de fato, observou-se a evidência de que as concentrações de níquel nos organismos diminuem com o aumento do nível trófico (MCGEER *et al.*, 2003; SUEDEL *et al.*, 1994).

Dois estudos com ratazanas e coelhos que vivem em terras alteradas pela deposição de lamas contaminadas não indicaram acumulação de níquel nestes animais ou nas plantas que os alimentaram (ALBERICI *et al.*, 1989; DRESSLER *et al.*, 1986). A falta de bioacumulação

significativa de níquel em organismos aquáticos, ratos e coelhos indica que o níquel não é biomagnificado na cadeia alimentar.

Tal como acontece com a maioria das espécies de plantas que hiperacumulam metais, a alfafa ativamente remove e transloca metais pesados, como o níquel, das raízes para a parte aérea. A absorção de níquel em plantas é modulada pela acidez (pH) do solo. Smith (1994) mostrou que as concentrações de níquel no centeio, foram reduzidas por um fator de três quando o pH do solo foi aumentado de 4 para 7. Isto ocorre em função da diminuição na biodisponibilidade do níquel com o aumento do pH. A biodisponibilidade do níquel para as plantas é também influenciada pelo tipo de solo.

Zinco

O zinco é um elemento comumente encontrado na crosta terrestre. Ele é liberado para o meio ambiente de fontes naturais e antropogênicas; entretanto, liberações de fontes antropogênicas são maiores que as de fontes naturais. As principais fontes antropogênicas de zinco no ambiente (ar, água, solo) são relacionadas a operações de mineração e metalurgia envolvendo zinco e uso de produtos comerciais contendo zinco. Em todo o mundo, as emissões no solo são provavelmente a maior fonte de zinco no meio ambiente. A maioria das fontes importantes de zinco antropogênico no solo vêm de descargas de escória de fundição e resíduos, rejeitos, carvão e cinzas volantes de fundo, e o uso de produtos comerciais como fertilizantes e conservantes de madeira que contêm zinco.

O zinco é comumente encontrado na crosta terrestre, e liberações naturais para o meio ambiente podem ser significativas. Além disso, o zinco é um dos metais mais utilizados no mundo. As principais fontes industriais de zinco incluem galvanoplastia, fundição e processamento de minério, e drenagem de mineração com operações ativa e inativa (MIRENDA, 1986). Além disso, o zinco é um componente importante de latão, bronze, fundição de metal, outras ligas, borracha e tintas.

O zinco não se volatiliza do solo. Embora o zinco geralmente permaneça adsorvido ao solo, a lixiviação tem sido relatada em locais de disposição de resíduos. O zinco não volatiliza da água, mas é depositado principalmente em sedimentos por adsorção e precipitação. Contaminação severa de zinco tende a ficar confinada a áreas próximas às fontes de emissão. Grande quantidade de solo contaminado precisaria ser ingerida para atingir o valor do índice

alimentar registrado de 3,3 a 3,8 mg de zinco por dia. É, portanto, improvável que o zinco encontrado no solo contaminado represente um risco para a saúde se ingerido.

O zinco é capaz de formar complexos com uma variedade de grupos orgânicos e inorgânicos (ligantes). A atividade biológica pode afetar a mobilidade do zinco no ambiente aquático, embora a biota contenha relativamente pouco zinco em comparação com os sedimentos. Zinco é moderadamente acumulado em organismos aquáticos; a bioconcentração é maior em espécies de crustáceos e bivalves do que em peixes. O zinco não se concentra em plantas, e não biomagnifica através de cadeias alimentares terrestres.

O zinco ocorre no ambiente principalmente no estado de oxidação +2. A sorção é a dominante reação, resultando no enriquecimento de zinco em sedimentos suspensos e no leito. Em águas aeróbias, o zinco se distribui nos sedimentos através da sorção em óxidos de ferro hidratado e manganês, nos minerais de argila e no material orgânico. A eficiência destes materiais na remoção de zinco da solução varia de acordo com suas concentrações, pH, potencial redox (Eh), salinidade, natureza e concentrações de ligantes complexantes, capacidade de troca catiônica e concentração de zinco.

Precipitação de zinco de compostos solúveis aparenta ser significativa apenas sob condições redutoras em água altamente poluída. Geralmente, em valores de pH mais baixos, o zinco permanece como íon livre. O íon livre (Zn^{+2}) tende a ser adsorvido e transportado por sólidos suspensos em águas não poluídas. Em águas poluídas nas quais a concentração de zinco é alta, a remoção do zinco pela precipitação do hidróxido é possível, particularmente quando o pH é maior que 8 (EPA, 1979). Em ambientes anaeróbicos e na presença de íons sulfeto, a precipitação de sulfeto de zinco limita a mobilidade do zinco. A mobilidade relativa do zinco no solo é determinada pelos mesmos fatores que afetam seu transporte em sistemas aquáticos, isto é, solubilidade do composto, pH e salinidade (CLEMENT, 1985).

O zinco é um nutriente essencial que está presente em todos os organismos. Embora a biota pareça ser um menor reservatório de zinco em relação aos solos e sedimentos, a decomposição microbiana da biota na água pode produzir ligantes, como os ácidos húmicos, que podem afetar a mobilidade do zinco no meio aquático por meio da precipitação e adsorção (EPA, 1979).

As concentrações de zinco no ar são relativamente baixas, exceto perto de fontes industriais, como fundições. Não existe estimativa disponível para o tempo de residência do

zinco na atmosfera, mas o fato de ser transportado a longas distâncias no ar indica que sua vida útil no ar é pelo menos da ordem de dias.

Ar

Na atmosfera, o zinco existe principalmente oxidado, ligado a aerossóis, com o tamanho das partículas determinadas pela fonte de emissão (NRIAGU & DAVIDSON, 1980). A maior proporção de zinco liberado dos processos industriais é adsorvida em particulados que são pequenos o suficiente para estarem na faixa respirável (DORN *et al.*, 1976). A poeira soprada pelo vento transporta o zinco ligado às partículas de solo na atmosfera (EPA, 1980).

Partículas contendo zinco na atmosfera são transportadas para o solo e água por deposição úmida (chuva e neve) e deposição a seco (decantação gravitacional e deposição em superfícies de água e solo). Partículas de zinco com baixas velocidades de deposição seca (isto é, partículas com pequeno diâmetro e baixa densidade) podem ser transportadas de sua fonte de emissão para regiões distantes (PACYNA *et al.*, 1989).

A interação química dos compostos de zinco na atmosfera pode alterar a especiação aniônica do composto. As interações atmosféricas são maiores para partículas com pequenos diâmetros aerodinâmicos (FISHBEIN, 1981). O zinco é encontrado na atmosfera nas maiores concentrações nas menores partículas (FISHBEIN, 1981). Emissões atmosféricas de zinco, consistindo principalmente de zinco sorvido a material particulado sob a forma de óxido de zinco (ZnO) deverá dissipar-se rapidamente como resultado da deposição no solo e em águas superficiais (EPA, 1980).

Água

Na água, o zinco ocorre no ambiente principalmente no estado de oxidação +2. Dissolve-se em ácidos para formar cátions hidratados de Zn^{+2} e em bases fortes para formar ânions zincados, que são complexos hidroxido, por exemplo, $Zn(OH)_3$; $(Zn(OH)_4)^{2-}$ e $(Zn(OH)_4 \cdot 4[H_2O])^{2-}$ (O'NEIL *et al.*, 2001). Na maioria das águas, o zinco existe principalmente na forma hidratada do cátion divalente. No entanto, o metal geralmente forma de complexos com uma variedade de ligantes orgânicos e inorgânicos (EPA, 1979, 1984, 1987).

O zinco pode ocorrer nas formas suspensa e dissolvida em águas superficiais. O zinco dissolvido pode ocorrer como íon livre (hidratado) ou como complexos e compostos

dissolvidos com vários graus de estabilidade. O zinco suspenso (isto é, não dissolvido) pode ser dissolvido com alterações nas condições da água (por exemplo, pH, redoxpotencial, especiação de solução) ou pode ser absorvido em matéria suspensa. Gundersen e Steinnes (2003) relataram que menos de 10% do zinco foi sorvido em partículas ou colóides na água de dois rios com pH de 3.1 e 5.1 (rios próximos a atividade de mineração), enquanto 21% do zinco ocorreu em forma sorvida em seis rios de pH neutro.

No meio aquático, partições de zinco para sedimentos ou sólidos suspensos em águas superficiais ocorre através desorção em óxidos de ferro hidratado e manganês, minerais de argila e material orgânico. Em reservatórios localizados a jusante de mineração de chumbo-zinco e em áreas de beneficiamento mineral foram encontradas concentrações mais elevadas de zinco do que em reservatórios de outras áreas, e o zinco estava mais concentrado nos sedimentos no fundo do reservatório do que nos solos circundantes (PITA & HYNE, 1975). Além disso, o teor de zinco no sedimento estava estreitamente correlacionado com a profundidade, conteúdo orgânico e teor de argila dos sedimentos.

Fosfatos e ferri-hidróxidos afetam a transferência de metais (incluindo zinco) da água do rio para os sedimentos (HOUBA *et al.*, 1983).

O transporte de zinco no ambiente aquático é controlado por espécies aniônicas. Em águas naturais, agentes complexantes, como o ácido húmico, podem ligar-se ao zinco. A estabilidade dos complexos de zinco depende do pH da água e da natureza do complexo. A dissociação do complexo pode determinar a quantidade de íons de zinco livres em solução.

A tendência do zinco a ser sorvido é afetada não apenas pela natureza e concentração do solvente, mas também pelo pH e pela salinidade. O zinco tende a sorver mais rapidamente a um pH alto ($\text{pH} > 7$) (EPA, 1979). A desorção de zinco de sedimentos ocorre à medida que a salinidade aumenta (HELZ *et al.*, 1975), aparentemente por causa do deslocamento dos íons de zinco adsorvidos por cátions alcalinos e alcalino-terrosos, que são abundantes em águas salobras e salgadas (EPA, 1979).

Uma pequena fração de zinco existirá na fase aquática como compostos de zinco inorgânico solúveis (por exemplo, cloreto e sulfato de zinco) que hidrolisam em solução, formando hidróxido de zinco, e precipitará. A hidrólise pode diminuir o pH, mas a ação tampão presente na maioria das águas naturais impede alteração significativa no pH.

O hidróxido de zinco precipita mais rapidamente do que o carbonato de zinco. Zinco carbonato é solúvel em água pura a 25° C, a concentrações de ≤ 107 mg de zinco/L. O

hidróxido é solúvel somente em concentrações de $\leq 0,2$ mg Zn/L. Como resultado, algumas das formas inorgânicas de zinco que se espera estar presente em água são o carbonato básico ($Zn_2 [OH]_2 CO_3$), o hidróxido ($Zn[OH]_2$) e o silicato ($Zn_2 SiO_4$) (NAS, 1977; FLORENCE, 1980). Quando o pH é ≥ 8 , a maioria destes compostos irá precipitar, no entanto, à medida que o pH diminui, mais e mais desses compostos se dissolvem e permanecem na água (EPA 1979).

A precipitação do sulfeto de zinco afeta a mobilidade do zinco em ambientes redutores, especialmente quando sulfeto de hidrogênio é formado. A precipitação do hidróxido, carbonato ou sulfato básico pode se tornar mais significativa em altas concentrações de zinco. Os óxidos de zinco (hidratado) e não sulfetos são as espécies dominantes nos sólidos dos aquíferos sob condições redutoras. Os hidróxidos e os óxidos hidratados de ferro e manganês são frequentemente componentes da fração argila de sedimentos e muitas vezes existem como revestimentos nas superfícies de outros minerais (NAS, 1977). O zinco pode co-precipitar com óxidos hidratados quando óxidos de ferro ou manganês reduzidos são oxidados. À medida que os novos sólidos são formados, eles podem capturar vários íons em suas redes cristalinas (EPA, 1979).

Solo

O potencial redox do solo pode alterar o particionamento de zinco. Dissolução redutora de ferro e óxidos de manganês (hidratado) sob condições subóxicas liberam zinco na fase aquosa; a persistência de condições subóxicas podem então levar a um reparticionamento de zinco em sólidos de sulfeto e carbonato. Bostick e colaboradores (2001) descrevem a especiação de zinco em solo úmido contaminado que sofre inundações sazonais. Em solos secos oxidados, o zinco estava associado às fases de oxi-hidróxidos, enquanto em solos alagados o zinco estava associado a sulfetos e carbonatos. Mudança reversível ocorreu com a inundação do solo seco. No entanto, uma pequena fração de zinco tornou-se recalcitrante com a fração de oxi-hidróxidos.

O zinco se liga fortemente às partículas do solo. A mobilidade do zinco no solo depende da solubilidade das formas especiadas do elemento e das propriedades do solo, tais como a capacidade de troca catiônica, pH, potencial redox e espécies químicas presentes no solo. Em condições anaeróbicas, o sulfeto de zinco é a espécie controladora (EPA, 1980; KALBASI *et al.*, 1978). Como o sulfeto de zinco é insolúvel, a mobilidade do zinco em solo anaeróbio é baixa.

Em um estudo do efeito do pH na solubilidade do zinco, Saeed e Fox (1977) mostraram que, quando o pH é <7 , existe uma relação inversa entre o pH e a quantidade de zinco em solução. Como as cargas negativas nas superfícies do solo aumentam com o aumento do pH, locais adicionais para adsorção de zinco são ativados e a quantidade de zinco em solução diminui. As espécies ativas de zinco no estado adsorvido são as espécies de hidróxido de zinco carregadas isoladamente, isto é, $Zn[OH]^+$ (SANDERS & KHERBAWY, 1987).

Por outro lado, a quantidade de zinco em solução geralmente aumenta quando o pH é maior que 7 em solos com alto teor de matéria orgânica. Isso é resultado da liberação de zinco organicamente complexado, redução da adsorção de zinco em pH mais alto ou aumento na concentração de agentes quelantes no solo (SAEED & FOX, 1977).

Argila e óxidos de metal são capazes de sorver zinco e tendem a retardar sua mobilidade no solo. O zinco foi mais móvel a pH 4 do que a pH 6,5 como consequência da sorção. Ácido húmico e Goethite (isto é, o oxihidróxido de ferro) causam uma diminuição maior na mobilidade (WARWICK *et al.*, 1988).

O zinco numa forma solúvel (por exemplo, sulfato de zinco) é moderadamente móvel na maioria dos solos. No entanto, é pouco usual o descarte do zinco em aterros na forma solúvel. Assim, a mobilidade é limitada por uma taxa lenta de dissolução. Conseqüentemente, espera-se que o movimento em direção à água subterrânea seja lento, a menos que o zinco seja aplicado a solos sob forma solúvel (como em aplicações agrícolas) ou acompanhados de substâncias corrosivas, tais como nos rejeitos de mina (EPA, 1980).

Conseqüentemente, o zinco permanece principalmente em formas imóveis e recalcitrantes em solos contaminados (CHLOPECKA *et al.*, 1996; KABALA & SINGH, 2001; KAMINISKI & LANDSBERGER, 2000; MA & RAO, 1997). No entanto, condições do solo não adequadas para a sorção de zinco podem levar à lixiviação. Baixo pH (pH <7) e alta força iônica da solução de lixiviação favorecem a dessorção (EPA, 1987; SAEED & FOX, 1977).

Bioacumulação

O zinco é um nutriente essencial e ocorre nos tecidos dos organismos, mesmo em concentrações ambientais normais de água e solo. O zinco pode se acumular em animais de água doce de 51 a 1.130 vezes a concentração presente na água (EPA, 1987). Estudos em microcosmos indicam, em geral, que o zinco não se biomagnifica nas cadeias alimentares

(BIDDINGER & GLOSS, 1984; EPA, 1979; HEGSTROM & WEST, 1989). Além disso, embora o zinco ativamente se bioacumule nos sistemas aquáticos, a biota parece representar um sumidouro em comparação com os sedimentos. Fatores de bioconcentração de zinco no estado estacionário (BCF) para 12 espécies aquáticas variam de 4 a 24.000 (EPA, 1987). Crustáceos e peixes podem acumular zinco da água e da comida. Uma BCF de 1.000 foi relatado para plantas aquáticas e peixes, e um valor de 10.000 foi relatada para invertebrados aquáticos (FISHBEIN, 1981). A ordem de enriquecimento do zinco em diferentes organismos aquáticos foi (concentrações de zinco em $\mu\text{g/g}$ peso seco aparecem entre parênteses): peixe 25, camarão 50, mexilhão 60, perifíton 260, zooplâncton 330 e ostra 3.300 (RAMELOW *et al.*, 1989).

O alto enriquecimento em ostras pode ser devido à ingestão de material particulado contendo maiores concentrações de zinco do que a água ambiente. Outros pesquisadores também indicaram que organismos associados a sedimentos têm maior concentração de zinco que os organismos que vivem na camada aquosa (BIDDINGER & GLOSS, 1984).

Com relação à bioconcentração do solo por plantas terrestres, invertebrados e mamíferos, BCF de 0,4, 8 e 0,6, respectivamente, foram relatadas. A concentração de zinco nas plantas depende das espécies de plantas, o pH do solo e a composição do solo (DUDKA & CHLOPECKA, 1990; RUDD *et al.*, 1988). As plantas não concentram o zinco acima dos níveis presentes no solo (LEVINE *et al.*, 1989).

Capítulo V: Rotas de Exposição

CONTEXTUALIZAÇÃO

Nesta etapa da ARSH, após a determinação dos contaminantes de interesse (cujas concentrações de contaminantes acima dos valores de referência em qualquer dos compartimentos ambientais avaliados, deve-se buscar a compreensão dos mecanismos de transporte). Os mecanismos de transporte assinalam as formas de mobilização, transformação, transporte e acumulação dos contaminantes através dos compartimentos ambientais, desde a fonte de emissão até os pontos onde a exposição humana pode ocorrer.

Por último, concluindo a avaliação dos dados ambientais nos estudos de ARSH, devem ser identificadas as rotas de exposição humana a esses contaminantes, a comprovação da existência dos cinco componentes possíveis de uma rota de exposição, determinando, ainda, se estes elementos estão ligados entre si.

Após a comprovação dos cinco componentes da rota de exposição, será possível categorizar a rota de exposição como completa ou como potencial e definir se a rota deve ser eliminada ou analisada no capítulo de implicações para a saúde.

Uma rota de exposição é um processo que permite o contato dos indivíduos com os contaminantes originados em uma fonte de contaminação. A rota de exposição é composta pelos seguintes cinco elementos:

Fonte de contaminação - É a fonte de emissão do contaminante ao ambiente. Entretanto, no caso em que a fonte original seja desconhecida, esta pode ser representada pelo compartimento ambiental responsável pela contaminação de um ponto de exposição.

Compartimento ambiental - Os compartimentos ambientais são vários, incluindo: materiais ou substâncias de resíduos, água subterrânea, água superficial, água de abastecimento público, alimentos, ar, solo superficial, poeira domiciliar, sedimento e biota.

Ponto de exposição - É o lugar onde pode ocorrer o contato humano com o compartimento ambiental contaminado, por exemplo, uma residência, local de trabalho, parque, jardim, curso de água (rio), corpo de água (lago), um manancial, um poço ou uma fonte de alimentos.

Via de exposição - São os caminhos pelos quais os contaminantes podem estabelecer contato com o organismo humano, tais como: ingestão, inalação, absorção ou contato dérmico.

População receptora - São as pessoas que estão expostas ou potencialmente expostas aos contaminantes de interesse em um ponto de exposição.

Uma rota de exposição não é simplesmente um compartimento ambiental (solo, ar, água) ou uma via de exposição (contato dérmico, ingestão, inalação). Ela inclui todos os elementos que ligam uma fonte de contaminação com a população receptora. Estes elementos podem, ainda, ocorrer no passado, no presente ou no futuro.

As diferentes rotas de exposição, mesmo que tenham um mesmo contaminante comum, podem significar diferentes problemas de saúde. Da mesma forma, um compartimento ambiental específico ou uma via de exposição, podem chegar a ser parte de múltiplas rotas de exposição. Além disso, mecanismos de transporte diferentes podem dar lugar a que as pessoas se exponham a distintas concentrações dos contaminantes.

Para determinar se uma rota de exposição é relevante para uma ARSH, é necessária informação suficiente para ligar o compartimento ambiental contaminado com uma população específica. Se a informação é insuficiente para chegar a tal determinação, o relatório de avaliação de saúde deve indicar qual é a informação que falta e fazer as recomendações pertinentes para preencher a lacuna de informação.

A equipe de ARSH identificará os vazios informativos que existem em cada um dos cinco elementos e explicará como influem na avaliação de uma rota específica. Em particular, deve identificar para qual ou quais contaminantes existe informação insuficiente com relação aos mecanismos de transporte e/ou vias de exposição, indicando que o vazio informativo impede uma avaliação completa dos contaminantes, enquanto os dados não estejam disponíveis.

As rotas de exposição que forem definidas deverão ser avaliadas na etapa “Implicações para a Saúde Pública”.

Identificação da fonte de contaminação

Uma fonte de contaminação é a origem da contaminação ambiental. Cada fonte representa uma localização (ponto ou área) por onde os contaminantes chegam ao meio ambiente como resultado de algum mecanismo de transporte.

Existem casos onde é difícil identificar a fonte original da contaminação. Mesmo que seja possível detectar contaminantes no ambiente, isto não implica que necessariamente se

conheça a fonte que origina a contaminação do meio. Em muitas ocasiões a fonte de contaminação não poderá ser conhecida. Em tais casos, e com o fim de estabelecer a rota de exposição, a equipe de ARSH pode assinalar o meio contaminado como uma fonte intermediária de contaminação.

Dependendo da estratégia de realização dos estudos em função dos fatores determinantes (urgência, recursos e características ambientais) a equipe poderá revisar a concentração dos contaminantes no ponto que suspeita que se origina a contaminação.

Assim, sempre que for possível, em função dos contaminantes assinalados, a equipe poderá realizar a comparação dos resultados obtidos com:

- Concentrações obtidas à jusante, corrente abaixo, montanha abaixo e ventos abaixo. Esta comparação ajudará a decidir se o ponto de emissão é uma fonte de contaminação. Se, a partir do ponto de suspeita, as concentrações do contaminante diminuem com a distância e se, além disso, a concentração não aumenta na direção contrária, tal ponto pode ser considerado uma fonte de contaminação.
- A frequência da emissão do contaminante pode determinar a necessidade de realizar maiores investigações sobre esta fonte. Os antecedentes sobre o período das emissões são fundamentais para definir a importância do ponto de emissão em períodos específicos, particularmente se as emissões envolvem algum elemento humano de controle. Com base no período de emissões e nas condições atuais, poderá se definir o período que deve ser considerado quando se avalia uma rota de exposição.

Compartimentos ambientais contaminados e mecanismos de transporte

Identificação do meio ambiental

Depois de identificar a fonte de contaminação, a equipe de ARSH deve reconhecer todos os meios ambientais que podem servir para o transporte dos contaminantes, desde a fonte até os pontos onde poderia ocorrer a exposição humana.

A lista de meios ambientais inclui: materiais de resíduos, lixiviados, gás, lodos, solo superficial, subsolo, sedimentos, água superficial, água subterrânea ou profunda (com subcategorias de poços municipais, privados e de monitoramento), compartimentos atmosféricos (ar, poeira) e alimentos de origem vegetal e animal.

Uma vez identificados os compartimentos ambientais contaminados, a equipe de ARSH deve considerar os mecanismos de transporte e de transformação que poderiam influenciar na migração dos contaminantes através de tais meios ambientais.

Sempre que ocorrer mais de um compartimento ambiental envolvido no transporte dos contaminantes, desde a fonte até a população receptora, a equipe deverá assinalar estas situações no relatório.

Idealmente, sempre que existam dados adequados para a avaliação da exposição humana, é importante para a equipe de ARSH, conhecer a situação passada e presente da contaminação nestes meios. No caso onde os meios ambientais não tenham sido amostrados corretamente, a equipe deverá explorar o destino dos contaminantes e os processos de transporte para determinar se o meio esteve, está ou poderá estar contaminado.

Uma vez que os mecanismos de transporte tenham sido avaliados para um meio ambiental em particular e for possível a determinação da extensão da contaminação desde a fonte, ou compartimento ambiental contaminado, a equipe deverá estar pronta para definir o ponto (ou pontos) de exposição associados com os meios contaminados.

Mecanismos de transporte

A avaliação dos mecanismos de transporte é muito importante para determinar:

- Fonte original de contaminação e o ponto de emissão para uma rota de exposição
- Possibilidade de contaminação e exposição potencial além das áreas amostradas
- Representatividade e adequação da amostragem realizada no local
- Necessidade e urgência de realização de estudos adicionais de amostragem ambiental, avaliação da exposição ou outros relacionados com a saúde
- Estimar o período da exposição.

No geral, o transporte ambiental envolve os movimentos de gases, líquidos e partículas sólidas dentro de um determinado meio e através de interfaces entre ar, água, sedimento, solo, plantas e animais. Quando uma substância é emitida para o ambiente, um ou mais dos seguintes eventos podem ocorrer:

- Movimento (advecção/convecção em água, transporte em sedimento suspenso ou através da atmosfera)
- Transformação física (volatilidade, poeira, particulado suspenso)
- Transformação química (fotólise, hidrólise, oxidação/redução)
- Transformação biológica (biodegradação, bioacumulação)
- Acumulação em um ou mais meios (incluindo o meio que recebe a emissão de contaminantes).

Os mecanismos de transporte e o destino dos contaminantes usualmente podem ser simplificados em quatro categorias básicas:

- Emissão: liberação ou descarga de material contaminado desde uma fonte.
- Advecção ou convecção: a migração normal ou o movimento do contaminante através do meio (exemplo, a corrente de um arroio, o fluxo do ar, a erosão do solo, arraste de solo por correntes superficiais, deslizamento de solos, movimento de massas, etc).
- Dispersão: distribuição de contaminantes em um líquido, gás ou fase sólida devida à mistura deste contaminante com dito material.
- Atenuação: a degradação, a adsorção ou o atraso do transporte de um contaminante.

Para cada meio contaminado podem existir vários mecanismos de transporte que devem ser considerados. Por exemplo, onde houver contaminação de solo, a equipe de ARSH determinará se os contaminantes de relevância são transportados através do arraste de solo por correntes superficiais, lixiviação, volatilização, suspensão de partículas por correntes de ar ou captação biológica. A Tabela 18 assinala alguns mecanismos de transporte importantes.

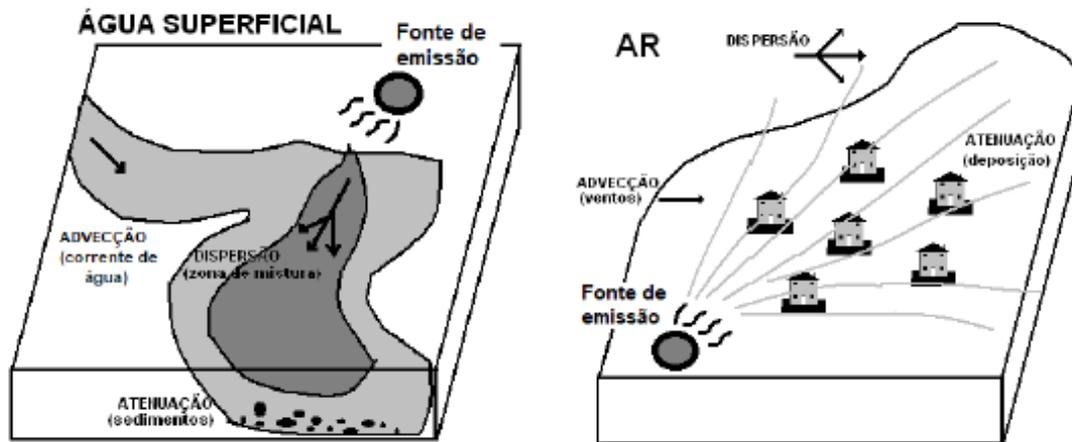
Tabela 18: Mecanismos de transporte

<i>Categoria de Transporte</i>	SOLO	ÁGUA SUPERFICIAL
<i>Emissão</i>	- Massa de contaminante que se elimina ao dia (ex., derrame de uma represa, tubulação ou caminho)	- Descargas ou derrames de tubulações; - Deslizamentos superficiais e perdas de solos; - Deposição atmosférica; - Descarga de aquíferos
<i>Advecção</i>	- Infiltração - Migração de gás - Arraste do solo - Erosão pela água ou vento	- Correntes de arroio - Correntes e transbordo de lagos
<i>Dispersão</i>	- Invasão com partículas de solo	- Zona de mistura em um curso ou corpo de água
<i>Atenuação</i>	- Adsorção - Biodegradação - Hidrólise - Oxi-redução - Fotólise - Volatilidade	- Sedimentação e outros fenômenos já assinalados para o solo
<i>Transferência entre os meios</i>	- Migração de gases ou de partículas no ar - Migração de aquífero - Migração para a água superficial, sedimentos e biota aquática - Captação biológica por plantas e animais	- Adsorção de sedimentos - Bioacumulação - Migração do gás para o ar - Recarga de aquíferos

Fonte: adaptado de BRASIL (2010) <file:///E:/ARSH/Avaliacao-de-Risco---Diretrizes-MS.pdf>

Na Figura 5 são representados alguns dos principais mecanismos de transporte dos contaminantes nos compartimentos ambientais.

Figura 5: Representação gráfica de alguns mecanismos de transporte.



Fonte: BRASIL (2010) <file:///E:/ARSH/Avaliacao-de-Risco---Diretrizes-MS.pdf>

Fatores específicos de natureza química que influenciam no destino dos contaminantes e no transporte ambiental

Depois de identificar os contaminantes de interesse no meio amostrado, e de distinguir os possíveis mecanismos de transporte, a equipe de ARSH deverá considerar os fatores de natureza química que podem influir no transporte do contaminante. As propriedades físico-químicas, tais como solubilidade e densidade, influem no destino e transporte do composto através das interfaces e dos meios ambientais. Dados sobre essas propriedades podem ser obtidos nos *Perfis Toxicológicos da ATSDR* ou em outras fontes tais como no *Hazardous Substances Data Bank* do sistema *TOXNET*.

Fatores específicos do local de estudo que influenciam no destino e transporte ambiental dos contaminantes

Ao identificar as possíveis rotas de transporte, a equipe de ARSH também deve considerar os fatores específicos do local de estudo que poderiam influir no transporte dos contaminantes. Cada local é único e deve ser avaliado buscando determinar as características que poderiam aumentar ou diminuir a migração dos contaminantes de interesse. Muitos dos fatores que afetam o transporte dependem das condições climáticas e das características físicas do local. A equipe deve avaliar os fatores específicos do local com relação às características dos contaminantes de interesse, buscando compreender seu potencial de migração. Alguns desses fatores são:

Taxa de precipitação anual. Esta informação pode ser muito útil para determinar a quantidade de arraste de solo por correntes superficiais. Por exemplo, uma alta taxa de precipitação anual em um lugar com contaminantes hidrossolúveis, ocasionará uma importante migração. As precipitações também transportarão os contaminantes do solo, por exemplo, para as drenagens. Por outro lado, a precipitação remove as partículas e compostos solúveis da atmosfera.

Condições de temperatura. Afetam o índice de volatilidade dos contaminantes, por exemplo, uma zona congelada retarda o movimento.

Velocidade e direção dos ventos. Influenciam no índice de geração de poeira. Durante os períodos de estabilidade atmosférica, a sedimentação gravitacional atuará na deposição de partículas.

Condições diurnas e estacionais. Podem ser um fator importante para alterar as taxas de migração dos contaminantes em lugares onde as médias de precipitação ou temperatura variam muito nas diferentes épocas do ano ou no decorrer do dia.

Características Geomorfológicas. Podem ter um papel muito importante na velocidade das correntes de água, o volume e índice de velocidade de correntes superficiais, médias de erosão e características do solo. Os terrenos sobre pedras fraturadas podem aumentar, de maneira significativa, as conexões hidrológicas entre corpos de água superficiais e aquíferos.

Características hidrogeológicas. Os tipos e a localização de aquíferos são importantes para determinar o perigo que a zona de estudo representa para fontes de água potável. Os

contornos do nível freático e as superfícies piezométricas indicam os gradientes hidráulicos e por fim, dão idéia dos padrões de fluxo dos aquíferos, incluindo a possibilidade de descargas superficiais, isto é, infiltrações, mananciais e arroios afluentes.

Canais de águas superficiais. Localização, largura e profundidade e suas áreas de inundação próximas à área de estudo também podem afetar a magnitude da migração dos contaminantes. As variações nos fluxos por mudanças nas estações do ano e os arroios intermitentes devem ser considerados na investigação. Devido ao fato que as correntes efluentes recebem água da zona de saturação (isto é, o canal está situado abaixo do nível freático) podem aumentar o movimento dos contaminantes da água subterrânea contaminada para a água superficial. Por sua parte, as correntes afluentes (isto é, o canal está situado acima do nível freático) proporcionam água para a zona de saturação e podem aumentar o movimento dos contaminantes da água superficial para a água subterrânea.

Características do solo. Aqui consideradas a configuração, composição, porosidade, permeabilidade e capacidade de troca iônica. Tais características influenciam nos índices de percolação, recarga de aquíferos, lixiviação de contaminantes e seu transporte. Como já assinalado, dependendo dos condicionantes para a realização dos estudos de ARSH, é importante a informação sobre as concentrações de metais, compostos orgânicos e pH nos solos da área, para delimitar a zona contaminada.

Cobertura do solo e características da vegetação. Influenciam nos índices de erosão, percolação e evaporação.

Flora e fauna. Na área de estudo poderiam ser utilizadas pelo homem como fonte alimentícia e, por isso, poderia facilitar a exposição humana.

Obras públicas. Os esgotos ou os canais de drenagem podem facilitar o movimento de contaminantes. Afora isto, poços mal construídos podem causar contaminação entre aquíferos.

Outros fatores que influenciam a qualidade dos resultados finais da ARSH incluem as amostragens ambientais representativas e confiáveis do local. A equipe de ARSH deve determinar se os dados ambientais existentes são adequados e suficientes para caracterizar o transporte de contaminantes e a magnitude da contaminação. Para tal, a equipe deve:

- Revisar o número, localização, tempo coberto e qualidade das amostras quanto aos critérios da ARSH; e

- Mencionar explicitamente os meios que não tenham sido amostrados.

Identificação de um ponto de exposição

O ponto de exposição é o terceiro elemento de uma rota de exposição e se refere ao ponto no qual as pessoas entram em contato com um meio contaminado. Pode ser identificado considerando o uso do solo e dos recursos naturais, em tempo passado, presente e futuro.

Historicamente, os padrões de uso do solo urbano têm variado de forma intensa. Uma mesma zona pode haver tido vários usos: recreativo, residencial, agrícola, comercial e industrial. Estes usos podem originar uma grande variedade de pontos de exposição, dependendo do meio ambiental contaminado e da época examinada.

Por isso, é muito importante que a equipe de ARSH considere o passado, o presente e o futuro com relação aos usos do solo e dos recursos naturais. Pode ser possível que, devido a ações corretivas ou por outras atividades desenvolvidas na área de estudo, a equipe não encontre pontos de exposição. Neste caso, deve considerar que os pontos de exposição existiram no passado e, assim, deve tratar de se buscar sua identificação. Os possíveis pontos de exposição para cada meio são discutidos a seguir:

Água subterrânea. Os pontos de exposição incluem: poços para uso municipal, doméstico, industrial e agrícola.

Água superficial. Os pontos de exposição incluem fontes de água para irrigação, uso de abastecimento público, indústrias, agricultura e consumo animal. Este tipo de água também pode ser usado para atividades recreativas.

Solo. Em zonas residenciais o solo pode ser ponto de exposição para os moradores da área. O ponto de exposição em interiores também é de interesse, já que pode resultar do transporte desde o local até as casas, pela suspensão, deposição e pisoteio. Afora isto, o solo contaminado pode ser utilizado como área para a produção de alimentos ou como local de recreação e convívio.

Ar. Os pontos de exposição envolvem contaminantes que são voláteis ou que se adsorvem às partículas suspensas. O contato pode ocorrer dentro e/ou fora das edificações (exteriores e interiores). Áreas situadas na direção dos ventos predominantes podem ser um ponto de exposição pelo arraste de substâncias voláteis ou de contaminantes fixados pelas

partículas de poeira. Uma rosa dos ventos da área é de grande ajuda para determinar a direção dos ventos dominantes e, por conseguinte, os possíveis contaminantes transportados por este meio a diversas direções.

Cadeia alimentar. Os pontos de exposição ocorrem se as pessoas consomem plantas, animais ou outros produtos alimentícios que tenham tido contato com solos, sedimentos, resíduos industriais, água superficial ou subterrânea, ar ou biota contaminados. Caso isto aconteça, poderiam representar pontos de exposição para os humanos, os produtos de hortas e jardins, produtos agrícolas irrigados com águas residuais, gado, caça, plantas medicinais ou qualquer outro organismo aquático ou terrestre no local ou nas proximidades da área de estudo. A equipe deve também considerar os pontos de exposição quando os animais, como gado e aves, se alimentam de material contaminado.

Outros meios. Também outros meios podem representar exposição adicional. Os sedimentos podem servir como reservatórios de contaminantes para organismos aquáticos, ou serem transportados a outras áreas e utilizados como solo superficial.

Assim, depois de haver identificado os pontos de exposição na área de estudo, a equipe deve considerar as potenciais vias de exposição para cada um dos pontos identificados.

Identificação de uma via de exposição

A via de exposição representa o quarto elemento de uma rota de exposição. As vias de exposição são os meios pelos quais os contaminantes entram no organismo humano e incluem:

- Ingestão de contaminantes por meio de consumo de água subterrânea, água superficial, solos e alimentos;
- Inalação de contaminantes de água subterrânea ou superficial pela presença de vapores ou aerossóis, inalação de contaminantes presentes no ar em forma de gases ou de partículas de solo ou poeira;
- Contato dérmico com contaminantes presentes na água, solo, ar e outros meios; e
- Absorção dérmica de contaminantes presentes na água, solo, ar ou outros meios.

A equipe de ARSH deve considerar todas as vias de exposição relevantes para a área de estudo, incluindo aquelas que poderiam ser pouco frequentes, porém concentrando-se nas de maior importância.

Uma vez que a via de exposição tenha sido determinada como relevante para uma rota de exposição, a duração e a frequência da via deve ser discutida para tal rota. O período compreendido pela via de exposição, quando seja de importância para o estudo, deve ser assinalado no capítulo de Implicações para a Saúde Pública.

Identificação de populações receptoras

O último elemento de uma rota de exposição é a população que esteve, está ou potencialmente poderá estar exposta através das vias de exposição aos contaminantes presentes em um ponto de exposição. Cada rota de exposição deve ser considerada com relação às populações que poderiam entrar em contato as rotas determinadas.

Localização das populações - A equipe de ARSH deve determinar a localização das pessoas no local ou proximidades da área do estudo. As áreas residenciais, escolas, creches, asilos, parques, áreas de recreação, etc., e as rotas de transporte, devem ser assinaladas no estudo. As populações que poderiam estar expostas aos contaminantes podem ser identificadas ao considerar as vias de exposição em cada ponto de exposição.

População exposta via contato com a água - Indivíduos potencialmente expostos incluem aquelas pessoas que se utilizam de água contaminada para o asseio pessoal ou recreação. Quando possível, devem ser identificadas todas as populações que usam a água proveniente de fontes sujeitas à contaminação. Devem ser consideradas, durante a avaliação, as características demográficas que poderiam afetar a magnitude da exposição.

População exposta via inalação - Devido à variação da concentração dos contaminantes no ar, dependendo das características de emissão e da distância da fonte de contaminação, as populações afetadas podem estar compostas por pessoas expostas a concentrações diversas dos contaminantes.

População exposta via ingestão de solo - A população exposta a contaminantes através da ingestão de solo pode ser identificada estimando a área de dispersão de contaminantes e depois determinando a população compreendida dentro desta área. A população pode ser

caracterizada com maior profundidade, identificando os grupos de alto risco (p.ex.: crianças). Entretanto, deve ficar claro que toda a população poderia ingerir alguma porção do solo contaminado.

População exposta via ingestão de água contaminada - Deve-se estabelecer se a contaminação se restringe às águas superficiais, aos aquíferos ou encontra-se em ambas as fontes. Caso os aquíferos estejam contaminados, devem ser obtidas informações específicas sobre os poços, sejam estes de uso do município, privado ou agrícola. Deve-se agregar aos dados dos sistemas de água, dados sobre as populações que são abastecidas por estes sistemas.

População exposta via ingestão de alimentos. Quando existir a possibilidade de que os contaminantes entrem na cadeia alimentar, a equipe de ARSH deve identificar as pessoas expostas ou potencialmente expostas por meio do consumo de animais e vegetais. O índice de consumo de vegetais e animais pode variar muito de comunidade para comunidade. Por exemplo, em alguns casos pode se encontrar famílias que se abastecem dos vegetais de suas próprias hortas ou famílias nas quais o pescado seja sua principal fonte de proteínas. Deve-se considerar na avaliação, todas as fontes do lugar. Quando estes alimentos forem parte de uma rota de exposição na área de estudo, deve-se indicar a população exposta ou potencialmente exposta. Durante a avaliação pode ser necessário o levantamento sobre hábitos alimentares, para se obter informação sobre a quantidade e frequência da ingestão de produtos contaminados. Outra informação de utilidade é o número de caçadores e pescadores com licença na área geográfica em particular, que pode indicar disponibilidade de animais no local.

Depois de identificadas as populações expostas ou potencialmente expostas, a equipe de ARSH deve avaliar fatores específicos da área de estudo que poderiam influenciar na duração e frequência da exposição.

A Tabela 19 apresenta as principais vias de exposição específica de cada meio ambiental.

Tabela 19: Rotas de exposição específicas de cada meio ambiental

MEIO AMBIENTAL	ROTAS DE EXPOSIÇÃO
ÁGUA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ingestão direta. 2. Contato e reação dérmica. Contato e reação ocular. 3. Inalação secundária pelo uso doméstico (vapor, aerossol).
SOLO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ingestão direta (principalmente crianças de 9 meses a 5 anos). 2. Contato e reação dérmica. Contato e reação ocular. 3. Inalação de compostos químicos voláteis presentes no solo. 4. Inalação de pó.
AR	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inalação. 2. Contato e reação dérmica. Contato e reação oculares.
BIOTA/ CADEIA ALIMENTAR	<ol style="list-style-type: none"> 1. Consumo de plantas, animais ou produtos contaminados, secundário ao consumo de água contaminada. 2. Consumo de plantas, animais ou produtos contaminados, secundário ao consumo ou contato com solo, pó ou ar contaminado. 3. Consumo de plantas, animais ou produtos contaminados, secundário à inalação ou à evapotranspiração de ar contaminado. 4. Contato dérmico com, ou reação à, plantas, animais ou produtos contaminados.
MEIOS MISCELÂNEOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ingestão direta. 2. Contato e reação dérmicos. Contato e reação oculares. 3. Inalação secundária à volatilidade ou arraste dos contaminantes de meios miscelâneos

Fatores que influenciam a exposição

Cada área de estudo é única e deve ser considerada individualmente a fim de se determinar as características distintas que poderiam aumentar ou diminuir a frequência e magnitude da exposição humana. Ao avaliar a possibilidade de exposição, deve-se considerar os seguintes fatores:

Idade da população - A idade da população afeta o tipo, nível e frequência de atividades na área ou em sua vizinhança. Deve-se estabelecer na avaliação, a presença de grupos de alto risco, como crianças e idosos.

Condições climáticas - Uma revisão das condições climáticas é necessária porque fornece informação valiosa sobre o tipo e frequência das atividades ao ar livre e de recreação

da população local. O clima frio pode ocasionar o congelamento do solo e nevascas podem servir como cobertura que diminui a frequência do contato humano direto com os contaminantes.

Acessibilidade às áreas contaminadas - Os indivíduos podem entrar em contato com meios contaminados se o acesso à área não for limitado ou restrito. A presença de uma cerca não é um indicativo suficiente de que a área é inacessível. A equipe de ARSH deve indicar a necessidade de delimitar o acesso ao local, assinalar os materiais contaminados nos limites do local e zonas de contaminação. As áreas que tenham construções abandonadas, água estancada ou arroios, podem ser atrativas para as crianças; as áreas de recreação e as escolas próximas à área devem ser consideradas com especial atenção. É conveniente que se considere também a extensão das barreiras físicas, as condições das cercas ou dos sistemas de segurança que poderiam prevenir ou evitar a exposição. Uma revisão da segurança local pode servir para conhecer ações tomadas para minimizar as exposições. Neste contexto, por exemplo, poderia ser citada a proibição de construção de poços privados locais que poderiam abastecer um núcleo da população local com água subterrânea contaminada.

Usos do solo e dos recursos naturais - Uma revisão dos usos do solo no local e suas proximidades fornecerá informações valiosas sobre os tipos e a frequência das atividades da população nos arredores e sobre a probabilidade de aumento da exposição. Os usos do solo no passado, presente e planejamentos para o futuro necessitam ser considerados em toda a avaliação. Os usos do solo afetam significativamente os tipos e frequência das atividades humanas e, portanto, afetam o grau e a intensidade do contato com os solos, água, ar, resíduos industriais ou urbanos e o consumo de vegetais ou animais que podem servir como alimento. É importante que a equipe de ARSH tenha atenção aos seguintes fatores:

Áreas residenciais - As zonas habitadas adjacentes à área contaminada proporcionam um potencial de exposição para os seus habitantes.

Áreas recreativas - Algumas destas áreas poderiam ser pontos de exposição. Especial atenção àquelas construções, valas ou reservatórios na área de estudo que poderiam ser atrativos para as crianças.

Fontes de alimentos. A produção de vegetais e animais em áreas agrícolas ou em hortas familiares com solos contaminados geram uma série de riscos, já que a população pode ser exposta por múltiplas vias. Deve-se verificar em que intensidade os alimentos locais estão sendo consumidos como fonte de subsistência alimentar das famílias locais. Além disso, deve-

se considerar que os grãos ou gramíneas crescidas em solo contaminado podem não ser adequados para o consumo humano ou para o alimento animal. Em algumas áreas, as plantas silvestres ou os animais da fauna local (organismos aquáticos) podem representar uma proporção importante da dieta dos residentes locais.

Usos da água superficial. Deve-se verificar o uso dos corpos de água superficial (fonte de água potável, recreação, irrigação de zonas agrícolas, fonte de água para consumo animal e aquicultura).

Usos de água subterrânea. A informação similar à água superficial deve ser coletada para as fontes de água subterrânea. É de fundamental importância que a equipe de ARSH verifique o abastecimento de água, público e privado, que podem estar sob a interferência da contaminação. Além disso, onde se suspeite que grandes poços municipais que servem de abastecimentos públicos de água operem sobre aquíferos contaminados, deve-se buscar informação sobre localização, profundidade e perfil de construção dos poços. As taxas de captação de alta capacidade para uso agrícola, industrial e municipal podem influir e de alguma maneira determinar os regimes de fluxo da água subterrânea, o que afeta frequentemente o transporte do contaminante dentro da zona de captação do poço.

Poços residenciais privados. Deve-se estabelecer contatos com autoridades locais para determinar o número e usos deste tipo de poços na área que poderia estar contaminada.

É necessário que a equipe de ARSH empregue seu julgamento profissional para elaborar a lista final de possíveis rotas de exposição. No documento que se elabore para apresentar os resultados da avaliação de saúde, as rotas de exposição podem ser apresentadas em um formato de uma tabela, onde se indicam os elementos de uma rota de exposição, desde a fonte contaminante, o meio afetado, os pontos de exposição, as vias de entrada ao organismo e até as populações receptoras.

Categorização das rotas como potenciais ou completas

As rotas de exposição podem ser categorizadas como completas ou potenciais. Cada rota completa ou potencial representa uma condição de exposição passada, presente ou futura que deve ser assinalada. Deve-se avaliar a possibilidade da exposição humana aos contaminantes do local para cada rota potencial ou completa.

Mesmo que o enfoque de maior importância na avaliação de saúde deve ser sobre as rotas de exposição completas, deve-se reservar espaço para se discutir as rotas potenciais. Deve-se entender que qualquer contaminante associado com as rotas, sejam completas ou potenciais, requererá uma avaliação posterior na seção de Implicações à Saúde Pública.

Rotas de exposição completa

Uma rota de exposição completa é aquela em que seus cinco elementos ligam a fonte de contaminação com a população receptora. Sem importar que a rota seja passada, presente ou futura, em todos os casos em que a rota for completa, a população será considerada exposta.

A equipe de ARSH deve discutir cada rota de exposição completa em separado. As rotas são apresentadas mostrando como os cinco elementos (fonte de contaminação, meio ambiental afetado, ponto de exposição, via de exposição e população receptora) estão conectados entre si.

É necessário evitar confundir futuras rotas de exposição completas com futuras rotas potenciais, avaliando o estado da contaminação no ponto de exposição. Uma futura rota de exposição completa existe nas seguintes situações:

- Existência de uma contaminação atual (1) em um ponto de exposição ou (2) em um meio ambiental em um lugar que poderia chegar a ser um ponto de exposição em dias, semanas, meses ou anos (p.ex.: possível aumento de um contaminante metálico nos sedimentos e posterior contaminação da biota aquática comestível).
- Pessoas de uma comunidade que no futuro terão acesso irrestrito a um ponto de exposição ou poderão participar em atividades do meio em questão (ex.: os

trabalhadores das companhias que construirão parques desportivos sobre solos contaminados).

- A inexistência de controles institucionais para prevenir o contato com contaminantes atuais em pontos de exposição já definidos ou prováveis, onde é alta a possibilidade de contato humano com um meio contaminado que pode aparecer a qualquer momento em um futuro próximo.
- Se, por exemplo, uma residência, casa em construção ou lote residencial sem um poço profundo, encontra-se localizada sobre um aquífero contaminado e não existem impedimentos para prevenir os residentes ou proprietários sobre a construção de poços no aquífero contaminado.
- Quando existe a probabilidade de que a rota presente continue no futuro. Se uma residência habitada está construída sobre solos contaminados, os residentes seriam a população receptora para rotas presentes e futuras. Se uma residência vacante ou uma em construção se localiza na área com solos contaminados, existe uma futura rota de exposição completa pela alta probabilidade de que se apresente contato humano em um futuro próximo.
- Quando existe uma alta probabilidade de que se apresente uma atividade humana em um meio contaminado em qualquer momento.

Deve-se ter em mente que as rotas de exposição completas, tanto presentes como futuras, refletem uma exposição presente, contínua e provável de ocorrer em qualquer momento. Levando em conta que as rotas completas envolvem, seja uma exposição atual ou uma alta probabilidade de exposição no futuro, deve-se ter mais atenção à avaliação e às medidas recomendadas para prevenir a exposição presente e atual. Este enfoque permitirá que os órgãos ambientais se concentrem naquelas rotas para as quais a equipe de ARSH tem preocupações sobre a saúde pública.

Dessa maneira, deve-se determinar a urgência que a equipe de ARSH necessita obter toda a informação necessária para completar sua avaliação de saúde pública e que outras atividades de seguimento necessitam ser implementadas. A etapa final de “Conclusões e Recomendações” oferece elementos sobre esta questão.

Recomenda-se manter em mente que as rotas de exposição completas presentes e futuras se estabelecem quando existe uma alta probabilidade de que ocorra exposição humana em algum momento. Mas, também, uma rota desta categoria se estabelece quando se encontram evidências de que as rotas atuais de exposição completa se manterão no futuro ou que, determinadas por prováveis mecanismos de transporte, se formarão no futuro. A equipe de ARSH deve recomendar as medidas corretivas para aquelas rotas de maior risco.

Deste modo, abaixo são listados alguns exemplos de atividades humanas, que poderiam resultar em exposições a partir de futuras rotas completas:

- Construção de poços e consumo de água subterrânea contaminada
- Uso de solos contaminados para finalidades que levariam à exposição humana (residências, asilos, escolas, hospitais, áreas de recreação, produção de alimentos)
- Consumo de frutas e vegetais cultivados em solos contaminados
- Consumo de pescados de corpos de água contaminados
- Remoção e/ou uso de material ou meios contaminados
- Ocupação de construção sobre áreas com emissões de gás proveniente do subsolo
- Habitação ou trabalho em áreas com ar ou poeira contaminados.

Rota potencial de exposição

Uma rota potencial de exposição existe quando um ou mais elementos que constituem uma rota de exposição não forem identificados. O uso de dados obtidos por modelagem, devem ser evitados em estudos de ARSH. No entanto, dependendo das circunstâncias de realização dos estudos, principalmente nos casos de extrema urgência para determinação das populações potencialmente expostas, pode-se incluir nesta categoria aquelas rotas para as quais se empregou a modelagem a fim de completar as lacunas de informação (ex.: modelagem de dados de um aquífero empregando informação de níveis em um solo ou de outros aquíferos).

Caso seja necessária a utilização de tais dados, a equipe de ARSH deve enfatizar a natureza preliminar da ARSH. Usualmente, em tais casos, as rotas de exposição serão consideradas potenciais.

Uma rota potencial indica que a exposição a um contaminante pode haver ocorrido no passado, que pode ocorrer no presente ou que poderia ocorrer no futuro.

Recomenda-se assumir que uma rota potencial poderia ocorrer no futuro quando no ponto de exposição não se encontra evidência atual de contaminação. Por exemplo, a futura rota potencial de exposição se estabelece quando:

- A contaminação tem que migrar a algum ponto de exposição; ou
- Calculou-se (mediante modelos) ou projetou-se que a contaminação se apresentará em algum ponto de exposição.

Se existem possibilidades de que um poço privado de água potável seja afetado pelo contaminante encontrado à montante dele, pode-se então antecipar a existência de uma futura rota de exposição potencial.

Em geral, a discussão das rotas potenciais no documento final deve ser breve. Entretanto, condições particulares da área de estudo, como a descoberta de um aquífero contaminado, com uma pluma à montante de um poço público para abastecimento de água, pode ser de suficiente importância para maior atenção como rota potencial. As avaliações de saúde devem incluir uma lista das rotas potenciais.

Eliminação de uma rota de exposição

As rotas de exposição possíveis ou suspeitas podem ser eliminadas se as características do local indicam como pouco provável a exposição humana no passado, presente ou futuro. Da mesma forma, caso se comprove que um meio ambiental não está contaminado, a equipe de ARSH pode eliminar todas as rotas de exposição suspeitas associadas com tal meio. Entretanto, a eliminação de rotas baseando-se em informação sobre ambientes não contaminados deve ser tomada com cuidado já que, por um lado, deve-se considerar a possibilidade de uma futura contaminação e, por outro lado, também deve-se levar em conta que os dados desta informação devem ser analisados quanto a sua confiabilidade e representatividade, antes de tomar uma decisão final.

A equipe de ARSH não deve descartar todas as rotas de exposição relacionadas com um meio específico tão somente porque uma (ou mais) rota (s) de exposição de tal meio não foram finalmente consideradas de importância. Por exemplo, ainda que a inalação de contaminantes voláteis poderia não ser de importância em um solo com abundante cobertura vegetal, o gás poderia migrar através do subsolo para entrar nas vizinhanças próximas. Para aquelas rotas que sejam preocupantes para a comunidade local, a equipe deve explicar com clareza porque foram eliminados o contaminante que causa inquietação e a rota suspeita.

Uma rota de exposição provável pode ser eliminada se ao menos um dos seus cinco elementos está ausente e nunca se apresentará. Há que recordar que o julgamento profissional deve ser usado quando se busque eliminar uma rota por falta de dados ambientais.

Se uma rota de exposição suspeita não pode ser categorizada como completa ou potencial e nenhum contaminante de interesse é identificado, a rota deve ser eliminada. Por outro lado, a equipe deve usar sua experiência profissional sobre como discutir o tema na avaliação de saúde.

Em geral, deve-se evitar discutir rotas de exposição humana ou ambiental que não estejam baseadas em dados ambientais, informação da área de estudo ou antecedentes bibliográficos. Se os contaminantes das rotas de exposição suspeitas são considerados importantes devido à preocupação da comunidade, a equipe de ARSH os discutirá na avaliação de saúde.

Definição de exposição da população

Existem três categorias de exposição da população: exposto, potencialmente exposto e exposição desconhecida.

População exposta

Uma população é considerada como exposta se existiu, existe, ou existirá, uma rota de exposição completa que liga o contaminante com essa população receptora. Uma população exposta inclui pessoas que ingerem, inalam, entram em contato com os contaminantes ou estão expostas à radiação no passado, presente ou futuro.

Exemplos de pessoas expostas são aquelas que:

- Tenham ingerido, estão ingerindo ou ingerirão contaminantes de um ou mais meios ambientais
- Tenham inalado, estão inalando ou inalarão contaminantes de um ou mais meios ambientais
- Tiveram contato, têm contato ou terão contato com contaminantes de um ou mais meios ambientais
- Estiveram, estão ou estarão expostos à radiação de um ou mais meios ambientais

Se um meio ambiental (solo) contém um contaminante de interesse em um ponto de exposição (um jardim residencial) e existe evidência de que tenha ocorrido, ocorre ou ocorrerá uma via de exposição (ingestão), a equipe de ARSH deve assumir que os habitantes dessa residência estão ou estarão expostos. Se o jardim residencial está localizado em uma casa desocupada, a equipe de ARSH deve assumir que seus futuros ocupantes estarão expostos.

Os indivíduos também seriam considerados como expostos se a exposição tenha sido verificada mediante marcadores biológicos ou exames clínicos/médicos. Para a avaliação de saúde, não é indispensável contar com as conclusões dos estudos de ARSH para determinar a exposição em uma população.

População potencialmente exposta

Uma população é considerada como potencialmente exposta se uma rota de exposição potencial tenha existido no passado, existe no presente ou existirá no futuro.

População com exposição desconhecida

A equipe de ARSH assinalará esta categoria a uma população na qual não tenha sido possível estabelecer uma rota de exposição completa ou potencial.

Resumo para rotas de exposição completas e potenciais

A equipe de ARSH deve resumir em uma ou mais tabelas as rotas de exposição, os cinco elementos e os componentes temporais pertinentes. A equipe de ARSH deve realizar todos os esforços possíveis a fim de assinalar as populações expostas ou potencialmente expostas para

cada uma das rotas de exposição. Sempre que possível a tabela deve incluir quais os contaminantes afetam ou afetariam às populações nas rotas completas ou potenciais.

ROTAS DE EXPOSIÇÃO EM MARIANA E BARRA LONGA

Como já assinalado no capítulo de “Contaminantes de interesse”, existem diferenças fundamentais entre os aspectos ambientais dos impactos gerados pelo rompimento da barragem de Fundão sobre as localidades diretamente atingidas pela lama de rejeitos nas localidades de Mariana e Barra Longa.

A principal característica em comum dos impactos, afora a eliminação quase completa dos organismos aquáticos, principalmente dos elos superiores da cadeia trófica, pelo menos até a confluência do rio Gualaxo do Norte com o rio do Carmo, é a deposição da lama de rejeitos além das margens das drenagens impactadas, recobrando também a quase totalidade das áreas de várzeas. A dinâmica ambiental de como este impacto ambiental gerou a contaminação de outros compartimentos ambientais, gerando potenciais rotas de exposição aos humanos, já foi analisada nas etapas precedentes.

De qualquer forma, sendo a lama depositada nas margens e áreas de várzeas ao longo das drenagens atingidas, em dimensões, massas e volumes ainda não mensurados com precisão, considerando-se também que sua permanência poderá perdurar por décadas, é factível se considerar a lama de rejeitos decorrente do rompimento da barragem de Fundão em Mariana como a fonte primária de emissão dos contaminantes metálicos com potencial de contaminação de outros compartimentos ambientais.

Pela dinâmica ambiental advinda dos mecanismos de transporte dos contaminantes – que abordaremos adiante mais detalhadamente para cada contaminante e compartimentos ambientais avaliados – uma determinada concentração máxima encontrada num determinado compartimento não exclui a possibilidade de sua ocorrência em qualquer momento nos respectivos compartimentos ambientais de outras localidades.

Isto deve ser considerado, mesmo com os possíveis condicionantes atenuantes naturais ou de remediação que venham ocorrer, em função da continuidade da fonte geradora das emissões, a lama de rejeitos nos sedimentos das drenagens e no novo solo superficial formado pela lama de rejeito depositada.

Há de se considerar nesta avaliação que os contaminantes metálicos, ao contrário de muitos compostos orgânicos, não “desaparecem” ou “degradam” para espécies menos tóxicas. Alguns tornam-se, inclusive, mais tóxicos, como, por exemplo, os compostos metilados do mercúrio.

Por outro lado, como já salientado anteriormente, por sua composição granulométrica e química, os rejeitos pesados e mais inertes, formados majoritariamente pelos silicatos, devem ter sido carregados prioritariamente para o fundo das drenagens e se depositado em pontos como nas três barragens das hidrelétricas ao longo da bacia do rio Doce.

Ou seja, os sedimentos das drenagens atingidas pela lama de rejeito, também contendo os contaminantes metálicos, além de testemunho para sempre da contaminação representará uma fonte de emissão perene desses contaminantes.

Existem opiniões que afirmam que os valores basais já assinalavam concentrações elevadas dos metais pelas características minerais próprias da região, bem como pela ação humana pretérita nas atividades de mineração, como demonstrado pelos estudos geoquímicos contratados pela Fundação Renova.

No entanto, é indiscutível que a avalanche de lama trouxe uma importante contribuição adicional para os níveis elevados de contaminantes metálicos para toda drenagem principal da área, desde sua emissão a partir do local do rompimento da barragem em Mariana até a foz do rio Doce em Linhares, como demonstrado em estudos posteriores também contratados pela Fundação Renova.

O material “mais leve” dos rejeitos da barragem de Fundão, formados primordialmente pelos óxidos e oxi-hidróxidos de ferro e manganês, reconhecidamente grandes coletores de metais traços, inclusive os altamente tóxicos metais pesados, constitui, desde o momento de rompimento da barragem de rejeitos, o material sobrenadante que inundou as margens e várzeas das drenagens atingidas.

É este material, de permanência quase perene ou por muitas décadas, que formou o “novo solo” superficial nas áreas de deposição da lama. Além de seu arraste para as drenagens, principalmente pelas águas das chuvas, formando o “novo sedimento”, quando seco, será transportado na forma de poeira, inclusive para as áreas residenciais.

As demais possíveis contaminações de outros compartimentos ambientais se dão a partir desses mecanismos centrais. A forma e intensidade como isto se dará no futuro, ocasional e localmente, é de difícil previsão.

Com esta visão conceitual, e com base na estratégia de realização dos estudos sob as condições de “pior cenário”, anteriormente detalhado, a equipe de ARSH avalia que as rotas de exposição completas e potenciais, determinadas com base na comparação dos resultados analíticos das campanhas de amostragens realizadas pela equipe de ARSH da Ambios com os valores de referência utilizados nos estudos, são representativas para o período desde o rompimento da barragem de rejeitos em novembro de 2015 até o presente momento.

As projeções sobre rotas de exposição futuras se baseiam nos mecanismos de transporte extraídos de dados da literatura e da experiência de estudos anteriores da equipe de ARSH da Ambios.

A seguir são apresentadas as rotas de exposição por compartimento.

Alimentos

Utilizando os valores de referência específicos para cada alimento avaliado, não foram encontradas concentrações superiores a essas referências que indicassem a presença de contaminantes de interesse.

A maior expectativa de contaminação por metais, na visão da equipe de ARSH, era representada por alimentos de contato direto com o solo decorrente da deposição da lama de rejeito (tubérculos) ou, de forma indireta, por ingestão de gramíneas pelas vacas (leite) ou de solo contaminado pelas galinhas (ovos).

Em solos, pH, reações de redução de oxidação e formação de complexos são fatores importantes que afetam a mobilidade e biodisponibilidade dos contaminantes metálicos.

Aparentemente, pela forma como se apresentam no material da lama de rejeitos, os metais avaliados não se encontram, atualmente, em forma disponível para absorção pelos vegetais e gramíneas.

No entanto, futuramente, em razão de eventos naturais, de mecanismos de transporte e transformação, inclusive com participação microbiana, até agora desconsiderada, não é possível se afirmar se uma maior disponibilidade dos metais e absorção pelos vegetais relacionados não possam ocorrer e gerar rotas de exposição humana no futuro.

Por essa razão, a equipe de ARSH considera possível uma biodisponibilização futura de contaminantes metálicos para as plantações e gramíneas dessas áreas, por absorção radicular, contaminando animais e humanos pelo consumo dos alimentos.

Assim, a equipe de ARSH considera que os alimentos, principalmente aqueles produzidos nas áreas de deposição da lama de rejeitos, como os tubérculos, cujos resultados da amostragem ambiental não indicaram a presença atual de contaminantes de interesse, podem representar uma **rota de exposição potencial** futura, caso as condições físico-químicas do solo superficial se alterem permitindo a biodisponibilização dos contaminantes metálicos.

Complementarmente, o material particulado suspenso (poeira), gerado no solo superficial contaminado e mobilizado pelos ventos, poderá se depositar e ser absorvido por alimentos de folhagens, como as verduras, originando rota de exposição pelo consumo de tais alimentos. Cabe ressaltar que durante as campanhas de amostragem não foram identificadas hortaliças com tais características em quantidades e dimensões que justificassem uma amostragem para os propósitos desse estudo de ARSH.

Entretanto, caso tais plantações de verduras e leguminosas venham a ser realizadas em áreas de deposição da lama de rejeitos ou delas próximas que permitam a deposição da poeira oriunda do arraste pelos ventos do solo superficial contaminado, existe a possibilidade de ocorrência de **rota de exposição potencial futura**. Os componentes de tais rotas de exposição são apresentados na Tabela 20

Tabela 20: ROTAS DE EXPOSIÇÃO: ALIMENTOS

ELEMENTOS DA ROTA DE EXPOSIÇÃO						
ROTA NOME	FONTE	MEIO AMBIENTE	PONTO DE EXPOSIÇÃO	VIA DE EXPOSIÇÃO	POPULAÇÃO RECEPTORA	TEMPO
Alimentos	Solo contaminado	Tubérculos e raízes Vegetais	Local de consumo	Ingestão	Consumidores dos alimentos	Futuro

Assim sendo, o solo nas áreas com deposição da lama de rejeitos, bem como naquelas áreas, cujos solos superficiais, em decorrência dos ventos dominantes, possam ser contaminados pela poeira, devem ser monitoradas e **deve-se evitar a produção de alimentos nessas áreas**.

Água para consumo humano

A detecção de cádmio e chumbo nas amostras de água para consumo humano, mesmo que abaixo dos valores máximos permitidos, indicam uma prevalência ambiental nas captações que exige o contínuo monitoramento dos metais nas águas de captação.

Para consumo humano foram encontradas situações de concentrações de ferro e manganês acima dos padrões de potabilidade prescritos pelo Ministério da Saúde.

Entretanto, pelas razões já assinaladas no Capítulo III Contaminantes de Interesse, a equipe de ARSH descartou a inclusão de rota de exposição da água para consumo humano nas avaliações do Capítulo VI Implicações para a Saúde Pública.

No entanto, em função das fontes de emissão presente, principalmente no solo e sedimentos, não descarta a possibilidade de que fontes de captação de água para consumo humano, principalmente as de captação subterrânea, venham a ser contaminadas futuramente.

Assim sendo, a equipe de ARSH da Ambios considera esta uma rota potencial futura, exigindo o monitoramento permanente das águas para consumo humano de todas as formas de captação.

Os componentes da **rota de exposição potencial futura** são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21: ROTAS DE EXPOSIÇÃO POTENCIAL FUTURA

ÁGUA DE CONSUMO HUMANO ELEMENTOS DA ROTA DE EXPOSIÇÃO						
ROTA NOME	FONTE	MEIO AMBIENTE	PONTO DE EXPOSIÇÃO	VIA DE EXPOSIÇÃO	POPULAÇÃO RECEPTORA	TEMPO
Água	- Água superficial; -Água Subterrânea	Água consumo humano	- Nas residências - Outros locais de uso e consumo	- Ingestão - contato dérmico	-Consumidores das águas contaminadas	Futuro

Solo superficial

Os resultados analíticos assinalam o cádmio como contaminante de interesse no solo superficial em ambas as localidades: Mariana e Barra longa.

Em solos, o pH, as reações de redução de oxidação e a formação de complexos, são fatores importantes que afetam a mobilidade de cádmio. Os metais podem participar em reações de troca na superfície negativamente carregada de minerais de argila. Em solos ácidos, a reação é reversível. No entanto, a adsorção aumenta com o pH e pode se tornar irreversível.

Em solo alcalino ou neutro, como é a expectativa no solo superficial formado pela deposição da lama proveniente do rompimento da barragem de Fundão, inclusive pela provável adubação e calagem promovida pela Fundação Renova, nessas áreas, é provável que o cádmio se apresente na forma de compostos tais como $Cd_3(PO_4)_2$, $CdCO_3$ e $Cd(OH)_2$. Estes compostos são formados à medida que o pH aumenta.

Sabe-se que o processo de flotação ocorre, predominantemente, em meio alcalino, e o controle do pH se faz com a adição de reagentes reguladores. Os reguladores alcalinos mais utilizados são hidróxido de sódio, hidróxido de cálcio e carbonato de sódio. Por isso, é de se supor que os rejeitos depositados na barragem de Fundão sejam de natureza alcalina.

Adicionalmente, conforme constatado nas campanhas de amostragem, a Fundação Renova, possivelmente para promover um rápido crescimento de cobertura vegetal nas áreas de deposição da lama de rejeitos e, provavelmente, para inibir o arraste desses rejeitos para outros compartimentos ambientais, têm realizado adubação desses solos com misturas de caráter alcalino. Conforme observado pela equipe de ARSH, a Fundação Renova tem realizado o plantio de vegetais diversos que, acredita-se, possa objetivar a remoção dos metais pelas raízes dessas plantas. Mesmo que a remoção não seja efetiva, essa vegetação plantada formará seguramente um ambiente de solo com maior teor orgânico.

Os contaminantes metálicos, como o **cádmio**, podem, nessas condições, precipitar como compostos insolúveis ou formar complexos por interação com matéria orgânica. Dados disponíveis sugerem que a matéria orgânica é mais eficaz do que os constituintes inorgânicos para manter, por exemplo, o cádmio indisponível.

Estudos indicam que cerca de 90% do cádmio nos solos permanecem nos 15 cm mais superficiais. O nível de contaminação de uma cultura depende da absorção pelo sistema radicular, da absorção direta foliar e da translocação dentro da planta, ou da deposição superficial de material particulado nas suas folhas e partes aéreas. Em geral, o cádmio se acumula nas folhas e, portanto, apresenta um risco maior em vegetais folhosos cultivados em solo contaminado do que em sementes ou culturas de raiz.

Por essas razões, a equipe de ARSH considera pouco provável que o solo superficial contaminado, nas condições atuais, possa representar uma rota de exposição pelos alimentos que venham a ser ali produzidos.

Por outro lado, a mobilização dos contaminantes pela ação dos ventos, transportando a poeira contaminada, bem como pelas chuvas, arrastando o solo superficial contaminado para os sedimentos das drenagens, bem como pelo contato direto das pessoas, resultam na possibilidade de geração de rotas exposição humana.

Sob a visão de pior cenário, a equipe de ARSH realizou a amostragem de solo superficial (solo até 10 cm de profundidade) somente nas áreas onde a lama de rejeitos, que após transbordar o leito das drenagens por ela atingidas, inundou áreas de margens e várzeas formando o “novo solo” superficial. A constatação de solo superficial contaminado neste estudo de ARSH restringe-se a essas áreas.

No entanto, é provável que o material particulado suspenso, a partir desse “novo solo” superficial, mobilizado pelos ventos, venha a se depositar e constituir, com o tempo, solo superficial contaminado, preferencialmente em áreas na direção dos ventos predominantes.

Um outro aspecto sobre o qual não foi possível realizar uma avaliação neste estudo de ARSH foi a questão da hidrogeologia, principalmente quanto às características do solo superficial formado pela lama de rejeito: a permeabilidade do solo nessas áreas, existência de fraturas e outros fatores de potencial influência na transferência dos contaminantes do solo para os aquíferos.

Os dados ambientais obtidos pela equipe de ARSH assinalam o solo superficial nas áreas de deposição da lama de rejeito como uma **rota completa de exposição no passado**, desde o rompimento da barragem, e **no presente**, pelo contato direto, inalação e ingestão (involuntária, adultos; e crianças, principalmente na fase de engatinhar) de poeira contaminada para os residentes dessas áreas.

Da mesma forma, o solo superficial representa uma **rota potencial de exposição futura** principalmente para os residentes das áreas na direção dos ventos predominantes para onde ocorra a deposição da poeira contaminada.

Os componentes da **rota de exposição completa** pelo solo superficial são apresentados na Tabela 22. Os componentes da **rota de exposição potencial futura** são apresentados na Tabela 23.

Tabela 22: ROTAS DE EXPOSIÇÃO COMPLETA: SOLO SUPERFICIAL.

ELEMENTOS DA ROTA DE EXPOSIÇÃO						
ROTA NOME	FONTE	MEIO AMBIENTE	PONTO DE EXPOSIÇÃO	VIA DE EXPOSIÇÃO	POPULAÇÃO RECEPTORA	TEMPO
Solo superficial	Solo superficial contaminado	- Solo Contaminado; - Poeira	- Nas residências - Outros locais de contato	- Ingestão - Inalação - contato dérmico	- Residentes - Pessoas c/ atividades nessas áreas	- Passado, - Presente

Tabela 23: ROTAS DE EXPOSIÇÃO POTENCIAL FUTURA: SOLO SUPERFICIAL.

ELEMENTOS DA ROTA DE EXPOSIÇÃO						
ROTA NOME	FONTE	MEIO AMBIENTE	PONTO DE EXPOSIÇÃO	VIA DE EXPOSIÇÃO	POPULAÇÃO RECEPTORA	TEMPO
Solo superficial	Solo superficial contaminado	- Solo Contaminado; - Poeira	- áreas c/ deposição da poeira na direção dos ventos predominantes	- Ingestão - Inalação - contato dérmico	- Residentes - Pessoas c/ atividades nessas áreas	-Futuro

Sedimentos

Os resultados analíticos das campanhas de amostragem assinalam o **cádmio** como contaminante de interesse nos sedimentos das drenagens atingidas pela lama de rejeitos nas localidades de Mariana e Barra Longa.

Atualmente, em função da eliminação praticamente total da fauna aquática ao longo das drenagens atingidas pela lama de rejeitos, entre os quais dos peixes carnívoros, os superiores da cadeia trófica que reconhecidamente bioacumulam o cádmio, é pouco provável a exposição humana pelo consumo de organismos aquáticos oriundos dos ambientes aquáticos com sedimentos contaminados pelo cádmio nas localidades avaliadas.

No entanto, os sedimentos representam o testemunho da contaminação e os metais, como se sabe, não desaparecem ou se degradam para se tornarem atóxicos.

Em algum momento haverá a revitalização natural desses ambientes aquáticos, possivelmente com outras características das espécies predominantes, mas, seguramente, com nova ocorrência de organismos aquáticos a serem potencialmente consumidos pelos humanos.

Como já assinalado na revisão bibliográfica (ver “Mecanismos de Transporte”), os organismos aquáticos e terrestres bioacumulam o cádmio. A bioconcentração em peixes depende do pH e do conteúdo de húmus da água. Em animais de água doce e ambiente marinho, o cádmio pode atingir concentrações de centenas a milhares de vezes mais altas do que a concentração da água ambiente.

O fator de bioconcentração relatado (BCF) para cádmio varia de 3 a 4.190 para organismos aquáticos de água doce. Ou seja, em algum momento no futuro ocorrerá a revitalização dessas drenagens e o surgimento de outra fauna aquática. Os sedimentos contaminados, dependendo das características hidrogeológicas das drenagens atingidas pela lama de rejeitos, poderão ser transportados lentamente em direção ao fluxo dos rios. Entretanto, sempre haverá áreas onde o material contaminado tenderá a se concentrar.

No caso dos contaminantes metálicos, principalmente os metais pesados, tóxicos, é comum, pelos dados da literatura e pela experiência da equipe de ARSH da Ambios em estudos anteriores, serem transportado pelo material particulado mais fino que se depositam

preferencialmente em áreas de baixa velocidade de fluxo, nos “pontos de remanso” ou, mais adiante, em áreas estuarinas.

Por outro lado, é de conhecimento geral que as amplas áreas de deposição da lama de rejeitos, nas margens e várzeas dessas drenagens, representam uma fonte de emissão de longa duração para o carreamento do “novo solo” superficial, contaminado, por ação dos elementos naturais, para as drenagens com novos aportes de contaminantes para os sedimentos.

Em função da contaminação já detectada dos sedimentos por cádmio, e com a possibilidade da revitalização dos ambientes aquáticos, do ressurgimento dos organismos aquáticos comestíveis, inclusive dos peixes, bem como da mobilização e biodisponibilização futura de outros metais pesados por possíveis mecanismos de transporte, incluindo a participação crescente da atividade microbiana, a equipe de ARSH da Ambios recomenda um amplo monitoramento da contaminação por metais pesados dos organismos aquáticos comestíveis, utilizando os critérios de avaliação da ARSH, nos locais onde tais organismos aquáticos comestíveis já existam ou onde possam vir a reaparecer.

Desta forma, a equipe de ARSH considera os sedimentos contaminados pelo **cádmio** como uma **rota de exposição completa futura**. Os componentes da **rota de exposição completa futura** são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24: SEDIMENTOS. ROTAS DE EXPOSIÇÃO COMPLETA FUTURA

ELEMENTOS DA ROTA DE EXPOSIÇÃO						
ROTA NOME	FONTE	MEIO AMBIENTE	PONTO DE EXPOSIÇÃO	VIA DE EXPOSIÇÃO	POPULAÇÃO RECEPTORA	TEMPO
Sedimentos	Sedimentos e Solo superficial contaminado	- Fauna aquática	- Local de consumo da fauna aquática	- ingestão da fauna aquática contaminada	- Consumidores da fauna aquática contaminada	-Futuro

Poeira domiciliar

As amostras de poeira domiciliar coletada nas residências das localidades de Mariana e Barra Longa apresentaram concentrações dos contaminantes metálicos: **cádmio, níquel, zinco e cobre** acima dos valores de referência.

Em função da pouca distância dos pontos de coleta das áreas de deposição da lama de rejeitos, é razoável a suposição que a poeira, coletada nas residências das diversas localidades dos municípios de Mariana e Barra Longa, tenha como origem principal o “novo solo” superficial gerado pela deposição da lama de rejeitos trazida pelo rompimento da barragem de Fundão.

Essa afirmativa torna-se mais contundente quando se observam os resultados da poeira domiciliar em Barra Longa onde a lama de rejeitos invadiu as áreas das residências e, posteriormente, a remoção e transporte desses resíduos, com intensa atividade do tráfego de caminhões, aumentou a emissão de poeira a altos níveis em praticamente todas as áreas da sede do município de Barra Longa, segundo relato dos moradores (ver “Preocupações da comunidade com sua saúde”).

Como já se tem relatado e fundamentado na revisão da literatura (ver “Mecanismos de Transporte”), o material particulado mais fino trazido inicialmente pela lama de rejeitos, por sua composição e densidade granulométrica, foi o principal material de deposição nas margens e várzeas das drenagens atingidas. Enquanto o material da barragem de rejeitos mais pesados, principalmente o de composição predominante dos silicatos, foi constituindo as camadas mais profundas no processo de arraste pelas águas, com deposição principal na calha do rio ou nas represas, o material mais leve, constituído pelos óxidos e oxi-hidróxidos de ferro e manganês formaram a “lama sobrenadante” que se espalhou além do leito regular das drenagens atingidas. Os dados da literatura assinalam que justamente este tipo de material, óxidos e oxi-hidróxidos de ferro e manganês, são captadores naturais dos contaminantes e, no caso aqui abordado, da lama de rejeitos proveniente do rompimento da barragem de Fundão, dos traços metálicos com forte participação dos metais pesados.

Ainda, conforme já assinalado, após secagem, as partículas mais finas das camadas mais superficiais do “novo solo” superficial passaram a ser facilmente mobilizadas pelos ventos, formando o material particulado suspenso que, além da contaminação do ar ambiente, se

deposita principalmente em locais de baixa velocidade e intensidade da ação de transporte dos ventos, entre eles, e principalmente, nas residências próximas à geração dessa poeira.

Dados da literatura indicam que o material particulado fino pode, após sua mobilização, permanecer no ar até 30 dias e alcançar área de abrangência de até 1,5 quilômetros a partir do ponto de sua emissão. Sob esta perspectiva, há de se considerar que todas as localidades avaliadas pela equipe de ARSH da Ambios nos municípios de Mariana e Barra Longa, inclusive toda a área da sede do município de Barra Longa estiveram e estão, conforme os resultados das amostragens, sob influência da poeira contaminada.

Em muitas áreas, como na sede do município de Barra Longa, esta exposição à poeira contaminada intensificou-se fortemente com os trabalhos de remoção e transporte da lama de rejeitos

As altas concentrações dos contaminantes: **cádmio, níquel, zinco e cobre, na poeira domiciliar** nas residências das localidades avaliadas dos municípios de Mariana e Barra Longa, muito acima dos valores de referência utilizados, determinam a poeira domiciliar como uma **rota completa de exposição humana no passado**, desde o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, **no presente e no futuro**, tão longo não se consigam providências de remediação que inibam ou eliminem completamente a geração da poeira contaminante.

Os componentes da **rota de exposição completa** pela poeira domiciliar são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25: POEIRA DOMICILIAR. ROTA DE EXPOSIÇÃO COMPLETA

ELEMENTOS DA ROTA DE EXPOSIÇÃO						
ROTA NOME	FONTE	MEIO AMBIENTE	PONTO DE EXPOSIÇÃO	VIA DE EXPOSIÇÃO	POPULAÇÃO RECEPTORA	TEMPO
Poeira domiciliar	Solo superficial Contaminado	Poeira domiciliar	- Residências a até 1,5 km a partir da emissão na direção dos ventos predominantes	- Ingestão involuntária; - Inalação	- Residentes a até 1,5 km a partir da emissão na direção dos ventos predominantes	-Passado; -Presente e -Futuro

Em resumo, os componentes das rotas de exposição completa de Alimentos, Água, solo, sedimento e poeira estão sumarizados no Quadro 10.

Quadro 10: RESUMO ROTAS DE EXPOSIÇÃO DOS COMPARTIMENTOS AVALIADOS

	Alimento	Água	Solo	Sedimento	Poeira domiciliar
Fonte	Solo contaminado	Água superficial e subterrânea	Solo superficial contaminado	Solo superficial contaminado	Solo superficial contaminado
Meio Ambiente	Tubérculos e Raízes	Água de Consumo Humano	Solo contaminado e poeira	Fauna aquática contaminada	Poeira domiciliar
Ponto de exposição	Local de consumo	Nas residências e em outro local de consumo	Nas residências e em outro local de contato	Local de consumo da fauna aquática contaminada	Residências a até 1,5 km a partir da emissão na direção dos ventos predominantes
Via de exposição	Ingestão	Ingestão, contato dérmico	Ingestão, inalação, contato dérmico	Ingestão da fauna aquática contaminada	Ingestão involuntária; inalação
População receptora	Consumidores de alimentos	Consumidores de águas contaminadas	Residentes e pessoas com atividades nessas áreas	Consumidores da fauna aquática contaminada	Residentes; até 1,5 km a partir da emissão na direção dos ventos predominantes
Tempo	futuro	passado; presente	passado; presente	futuro	passado; presente e futuro

Capítulo VI: Implicações para a Saúde Pública

Implicações para a saúde

INTRODUÇÃO

Nos relatórios anteriores, a investigação do processo de contaminação ambiental e a análise dos dados ambientais produzidos a partir das amostragens realizadas, definiu os contaminantes de interesse e estabeleceu as rotas de exposição humana, segundo os parâmetros da metodologia de Avaliação de Risco à Saúde Humana (ARSH) proposta pelo Ministério da Saúde. Da mesma forma, foi construído o perfil sociodemográfico, de saúde e das características culturais, assim como realizado o Levantamento das Preocupações da Comunidade, nas localidades objeto desta fase do desenvolvimento dos estudos, Mariana e Barra Longa.

A realização destas três etapas é mandatória para que sejam avaliadas as implicações sobre a saúde decorrentes do desastre ambiental causado pelo rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, em Mariana, no ano de 2015. A caracterização sociodemográfica, das condições de saúde e dos padrões culturais permite a identificação de situações de vulnerabilidade específicas das potenciais populações expostas. A presença de grupos populacionais mais susceptíveis a agentes lesivos, à existência de hábitos culturais e de organização dos espaços sociais que propiciam maior interação com os meios ambientais em estudo, à localização e às condições das moradias, são fatores que podem representar um risco diferenciado de exposição aos contaminantes identificados, e de impacto sobre a saúde das potenciais populações expostas.

Da mesma forma, a definição dos contaminantes de interesse e das rotas de exposição permite uma investigação dos efeitos lesivos sobre a saúde mais específica e, simultaneamente, qualitativamente mais abrangente. Esta definição permite a estimativa da exposição e, também, a identificação das lacunas existentes na informação técnico-científica atual relativa aos contaminantes em estudo. Esta condição exige que o dimensionamento e análise dos efeitos lesivos à saúde seja realizado a partir de parâmetros quantitativos e qualitativos de exposição.

Toda proposta de atenção à saúde deve também incluir a percepção e as preocupações da população com a sua saúde. Neste sentido, o levantamento das preocupações da

comunidade tem como objeto identificar as questões e dúvidas da população, relativas ao impacto sobre a sua saúde decorrente do processo de contaminação ambiental ocorrido. Para além do estabelecimento dos possíveis efeitos lesivos sobre a saúde da população exposta, o relatório de implicações sobre a saúde deve responder às indagações apresentadas por esta população em relação à sua saúde.

Assim sendo, este relatório foi construído a partir das informações coletadas, analisadas e descritas nos relatórios anteriormente elaborados. Ele está organizado nos seguintes tópicos:

Avaliação Toxicológica: os possíveis efeitos adversos de cada substância contaminante, nas condições em que são encontradas nas localidades de Mariana e Barra Longa, sobre a saúde das populações expostas.

Considerações preliminares

Cálculo da Dose de Exposição aos contaminantes de interesse definidos

Perfis toxicológicos - Efeitos tóxicos dos contaminantes de interesse

Análise dos estudos e dados de saúde existentes relativos as localidades de Mariana e Barra Longa

Estabelecimento das Implicações sobre a saúde das populações expostas das localidades de Mariana e Barra Longa

Resposta às preocupações sobre a saúde

AVALIAÇÃO TOXICOLÓGICA

Considerações preliminares

Os efeitos adversos sobre a saúde aos quais viemos nos referindo ao longo deste relatório serão considerados segundo a capacidade de o agente químico produzir câncer e/ou efeitos adversos sistêmicos.

Câncer

O corpo humano pode ser considerado como uma sociedade bem organizada de células. Cada conjunto de células (tecidos) tem funções determinadas e colaboram para a manutenção de todo o organismo. No organismo humano, assim como qualquer organismo vivo sadio, as células somáticas são comprometidas com sua própria morte, dedicam suas existências ao suporte das células germinativas. As células germinativas são destinadas a reprodução do organismo. Qualquer mutação que dê origem a um comportamento egoísta de uma célula somática, fazendo-a reproduzir-se indefinidamente, compromete toda a sociedade – essa é a origem do câncer. Em geral deriva de uma única célula que se reproduz em detrimento dos vizinhos normais e invadem e colonizam outros territórios reservados para outras linhagens de células.

Para que ocorra um câncer, ou melhor, para que uma única célula se torne cancerosa, é necessária uma série de modificações. Uma substância química é dita cancerígena quando é capaz de produzir dano ao funcionamento normal da célula. Um carcinógeno pode participar da origem do câncer de duas formas diferentes. Como iniciador do tumor ele produz alterações mutagênicas que preparam a célula para tornar-se cancerosa. Por si só essas substâncias não são capazes de gerar câncer, mas modificam a célula permanentemente de tal forma que quando estas entram em contato com promotores de tumor são então transformadas e geram câncer, não importa o tempo que tenha decorrido entre os dois eventos (IARC, 2019a).

No mecanismo normal de divisão celular há genes que inibem a divisão e há genes que a estimulam. Ocorre câncer quando há mutação em um dos genes que controlam esses mecanismos. Os genes que inibem a divisão celular são chamados de genes supressores de tumor e o gene alterado que hiperativa o estímulo a divisão celular é chamado oncogene. As substâncias químicas podem atuar promovendo mutações genéticas e chegar a essas alterações permanentes. Aqui estão a maior parte das substâncias carcinogênicas. É por isso que quando uma substância é suspeita de ser carcinogênica ela requer todo cuidado. Tem-se sempre poucas evidências de carcinogenicidade em humanos (é preciso que ocorram em torno de sete mutações específicas, em uma única célula) podendo ocorrer após uma única exposição, mas é mais garantido que ocorra após exposições repetidas por um período longo de tempo. Se as características físico-químicas da substância fazem com que tenha uma longa meia-vida, portanto persista muito tempo sem se metabolizar, e também facilitem sua acumulação nos organismos vivos, então haverá mais substância no interior do organismo para promover tais mutações genéticas. De toda forma, o câncer é sempre um evento muito raro e pode ocorrer longe do momento de contaminação. Essa é uma das razões inclusive pela qual o câncer devido a substâncias químicas é pouco diagnosticado, é difícil realizar onexo causal (IARC, 2019a).

Em vista dessas dificuldades, a carcinogenicidade é um dos testes toxicológicos que são realizados para avaliar uma substância química. São realizados diversos ensaios em animais de laboratórios com diversas doses, vias de administração, duração da exposição e espécies diferentes de animais para avaliar o tipo e local do câncer produzido. Normalmente, é com dados em animais que contamos com maior frequência, o que implica em grandes incertezas e determina que sejam feitos cálculos adicionais para extrapolar os resultados destes estudos para seres humanos (IARC, 2019a).

As substâncias são classificadas segundo sua carcinogenicidade. Aqui utilizaremos a classificação elaborada pela Agência de Proteção Ambiental Americana (Environmental Protection Agency - EPA) e pela Agência Internacional de Investigação do Câncer (International Agency for Research on Cancer - IARC). Essas classificações estão baseadas, em sua maioria, em experimentos com animais. As tabelas 26 e 27 apresentam as classificações dos carcinógenos segundo as duas instituições.

Tabela 26: EPA classificação dos carcinógenos

Categorias		Evidências
A	Carcinógeno humano	Dados suficientes em humanos
	Carcinógeno provável humano	
B	B1	Dados limitados em humanos e dados suficientes em animais
	B2	Dados em humanos inadequados ou ausentes e dados suficientes em animais
C	Carcinógeno humano possível	Dados em humanos ausentes e dados limitados em animais
D	Não há evidências de ser carcinógeno humano	Dados ausentes ou inadequados em humanos ou em animais
E	Não carcinógeno humano	Nenhuma evidência em estudos adequados em humanos ou animais.

Fonte: EPA, 2019a.

Tabela 27: Iarc, classificação dos carcinógenos

Categorias		Evidências
1	Carcinógeno humano	Dados suficientes em humanos
2A	Carcinógeno provável humano	Dados limitados em humanos e dados suficientes em animais OU dados suficientes em animais e outros dados relevantes
2B	Carcinógeno humano possível	Dados limitados em humanos OU dados suficientes em animais OU dados limitados em animais e outros dados relevantes
3	Não há evidências de ser carcinógeno humano	Dados ausentes ou inadequados em humanos ou em animais
4	Provável não carcinógeno humano	Nenhuma evidência em estudos adequados em humanos e animais.

Fonte: IARCa, 2019a

Assim, um agente químico é considerado carcinogênico quando aumenta a ocorrência de câncer ao ser administrado a animais, em comparação com controles não tratados. Existem quatro tipos de respostas neoplásicas aceitas como evidências de carcinogenicidade, o aumento da taxa “normal” de ocorrência de tumores, o desenvolvimento de novos tipos de câncer, uma diminuição do tempo médio para o aparecimento de um tumor e uma nova multiplicidade de cânceres (IARC, 2019a).

Uma das grandes dificuldades do estudo da carcinogenicidade das substâncias químicas é a escassez de dados em humanos. A maior parte dos agentes, quando há informações, são extraídas de dados de experimentos em animais. Para a extrapolação desses dados para humanos, é preciso ter em conta que além das diferenças entre as espécies, na maioria das situações de exposição humana encontramos baixas doses, exposição a múltiplos agentes e de longa duração. Para minimizar essas dificuldades, diversas instituições internacionais desenvolveram modelos para permitir que se faça, com alguma segurança, essa extrapolação dos dados em animais para situações de exposição humana.

O modelo em estágios múltiplos é o método de extrapolação de altas para baixas doses utilizado pela EPA. É um modelo que pressupõe que a resposta câncer ocorra após uma série de eventos celulares. Também é admitido que resposta 0 se obtém quando a dose é 0, ou seja a curva dose-resposta passa necessariamente pela origem (0,0). Essa estimativa de resposta humana para baixas doses produz uma reta cujo fator de inclinação (*slope factor*) é o indicador utilizado para estimar excesso de risco de câncer para cada substância. Ele significa o potencial carcinogênico de uma substância quando a pessoa está exposta durante toda sua vida a 1mg/Kg-dia desta substância. O risco unitário de câncer é outro indicador que informa o risco estimado de câncer para cada unidade de concentração no meio considerado. Ele é uma estimativa quantitativa de risco ou por $\mu\text{g/L}$ de água potável ou por $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar respirado. Por exemplo, a EPA atribui um risco unitário de câncer por inalação do cádmio de $1,8^{-3}$ por ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) o que significa a estimativa de risco caso haja exposição a uma concentração de cádmio no ar de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de ar inalado durante toda a vida. São indicadores de potencial carcinogênico que multiplicados pela dose (em se tratando de fator de inclinação) ou pela concentração no ar ou água (risco unitário) darão as estimativas de excesso de risco de câncer (ATSDR, 2005a).

Estes são parâmetros que devem ser levados em conta quando se realiza a investigação e o acompanhamento de saúde de uma população exposta a compostos químicos.

Efeitos Sistêmicos

A maior parte dos estudos de toxicidade de uma substância química é feita com animais. Esses estudos são realizados oferecendo uma dose conhecida de uma substância a uma população de animais. Eles são realizados com diversas doses para que se possa determinar alguns indicadores de toxicidade como o NOAEL (no-observed-adverse-effect-level) que é o nível de maior dose oferecida a uma população de cobaias que não apresentou nenhum efeito adverso; o LOAEL (lowest-observed-adverse-effect-level) indica qual o menor nível de dose em que foi observado efeito adverso. Cada um desses indicadores é elaborado para cada tipo de exposição, quanto a duração (pode ser aguda, intermediária e crônica) e quanto a via de exposição (respiratória, oral, dérmica). Outro indicador de toxicidade é a DL50 (dose letal 50 – aquela que mata 50% da população de cobaias). Com base nesses estudos com animais, são elaboradas as curvas de dose - resposta (para cada efeito, nas abscissas são colocadas as doses e nas ordenadas a população de cobaias que apresenta o efeito). Os efeitos sistêmicos ocorrem quando a substância produz efeitos sobre os mais diversos órgãos (rins, fígado, cérebro, coração etc.) e tecidos, que são observados em animais. Nem sempre eles são os mesmos observados em humanos, mas é lícito supor a ocorrência de efeitos em humanos caso ocorram em animais. Essa extrapolação de animais para humanos é realizada considerando graus de incerteza (ATSDR, 2005a).

O indicador que vamos utilizar nesse estudo é o Nível de Risco Mínimo (Minimal Risk Level - MRL). É definido como uma estimativa de exposição diária humana a uma substância perigosa que provavelmente não trará risco de efeito adverso diferente do câncer, considerando uma duração específica de exposição (aguda – 1-14 dias, intermediária – 15 – 364 dias, e crônica – 365 dias ou mais) para uma determinada via de exposição. O MRL é um indicador de perigo e quer dizer que exposições até esse nível provavelmente não acarretarão efeito adverso inclusive à pessoa mais sensível. Exposições acima do MRL não significam que ocorrerão efeitos adversos. O MRL é baseado no NOAEL referido ao estudo que menor dose utilizou para verificar o efeito adverso mais sensível que a substância produziu, associado aos graus de incerteza. Quando se dispõe de informações suficientes de diversos estudos em animais, em diversas espécies, é utilizado o maior nível de dose em que não foi observado nenhum efeito adverso (NOAEL). O MRL é produzido dividindo-se o NOAEL pelos fatores de incerteza. Em geral, quando se usa o NOAEL, os fatores de incerteza são 2 (10^2) agregando um

fator 10 pela extrapolação de animais para humanos e outro fator 10 pela variabilidade e suscetibilidades humanas (ATSDR, 2005a).

A população

Para uma análise mais detalhada da exposição humana e seus efeitos sobre a saúde dividimos a população em grupos de acordo com a faixa etária, importante para procedermos ao cálculo da exposição e também para a discussão dos efeitos sobre a saúde.

Na discussão dos efeitos das substâncias químicas sobre a saúde das pessoas, alguns grupos merecem atenção especial, são as ditas populações susceptíveis. Uma população susceptível exibe respostas diferentes ou mais acentuadas a uma determinada substância química do que a maioria das pessoas expostas ao mesmo nível da substância no meio ambiente. Entre as razões para esta susceptibilidade estão herança genética, mecanismos imunológicos de defesa ou mecanismos enzimáticos ainda não totalmente ativos ou já em processo de desgaste, estado nutricional e de saúde entre outros. Estes fatores vão contribuir para uma diminuição da capacidade do organismo de detoxificar ou excretar as substâncias químicas, contribuindo para o aumento do seu potencial tóxico. Entre os grupos populacionais particularmente susceptíveis aos contaminantes de interesse definidos estão as crianças e idosos, gestantes, pessoas com doenças genéticas ou disfunções renais ou hepáticas e alcoólatras e fumantes (FAUSTMAN & OMENN, 2001).

Crianças podem diferir dos adultos na susceptibilidade às substâncias químicas, porém isto depende do químico. Podem ser mais ou menos susceptíveis do que os adultos e esta relação se altera com a idade. A vulnerabilidade frequentemente depende do estágio de desenvolvimento. Há períodos críticos no estágio de desenvolvimento de uma determinada estrutura orgânica ou funcional, no qual ela é mais sensível à lesão, tanto no período pré como no pós-natal. O dano pode não ser evidente até um estágio bastante posterior da vida (LANDRIGAN & ETZEL, 2013).

Há frequentemente diferenças no metabolismo dos xenobióticos entre crianças e adultos. Se estas diferenças tornam as crianças mais ou menos susceptíveis vai depender se as enzimas envolvidas atuarão na detoxificação ou na formação de novos metabólitos tóxicos a partir do composto químico original. Pode também haver diferenças na capacidade de excreção, em particular em recém-nascidos que têm menor capacidade de filtração glomerular e reabsorção tubular. Crianças e adultos podem também diferir na sua capacidade de reparar danos teciduais a partir de insultos químicos. As crianças têm também maior tempo

de vida para expressar o dano ocorrido; esta característica é particularmente relevante para câncer (LANDRIGAN & ETZEL, 2013).

Exposição

Para que possam ocorrer efeitos sobre a saúde a partir da contaminação ambiental é preciso que a população se exponha às substâncias presentes no ambiente. Vimos nos capítulos anteriores a descrição das rotas pelas quais as substâncias entram em contato com a população exposta. O cálculo da dose de exposição é o que vai estimar a quantidade da substância que está entrando em contato com os organismos humanos, seja através da inalação, da ingestão ou da absorção pela pele. Para tanto é necessário levarmos em conta a estratificação dessa população segundo faixa etária, uma vez que cada grupo etário possui um padrão de comportamento característico que faz com que fique mais ou menos tempo, ou mais ou menos intensamente, em contato com o agente contaminante. Por exemplo, as crianças costumam brincar na terra o que aumenta o contato da pele com o solo superficial contaminado e a ingestão através das mãos sujas que vão à boca. Quando calculamos a dose de exposição de cada grupo químico abaixo, levamos em conta todas as vias pelas quais o agente químico penetra no organismo humano para cada um dos subgrupos populacionais definidos (CAMARA et al., 2016; ATSDR, 2005b).

CÁLCULO DA DOSE DE EXPOSIÇÃO AOS CONTAMINANTES DE INTERESSE DEFINIDOS

Os estudos ambientais realizados no município de Mariana estabeleceram como contaminantes de interesse o cádmio, tendo como rota de exposição completa o solo superficial e a poeira domiciliar; e o chumbo, cobre e zinco com rota de exposição completa pela poeira domiciliar.

Em relação ao município de Barra Longa, foram estabelecidos como contaminantes de interesse o cádmio, tendo como rota de exposição completa o solo superficial e a poeira domiciliar; e o níquel, cobre e zinco com rota de exposição completa pela poeira domiciliar.

Em relação ao cádmio, a estimativa de exposição mostra valores acima dos limites mínimos de risco estabelecidos (MRLs – Minimal Risk Levels) para crianças menores de 1 ano até 11 anos, para exposição decorrente da ingestão de solo superficial, tanto nas localidades de Mariana como de Barra Longa (ATSDR, 2005c; ATSDR, 2018).

A equipe responsável por este estudo realizou também uma estimativa de dose de exposição ao cádmio para ingestão de poeira domiciliar, usando os mesmos parâmetros norteadores do cálculo para solo superficial. Esta decisão foi baseada no fato de que a poeira domiciliar pode se acumular em locais da estrutura domiciliar, como superfícies porosas de paredes e cantos de rodapés, onde crianças, em particular as menores de 5 anos, podem brincar e ingerir estas partículas, a partir do contato com as mãos nestes lugares. Tanto em Mariana, para crianças até 1 ano, como em Barra Longa para todas as faixas etárias, foram encontradas estimativas de exposição acima dos limites mínimos de risco definidos para exposição crônica (tabela 28). Os detalhamentos de realização dos cálculos estão mostrados no anexo 8

Tabela 28: Estimativa de dose de exposição crônica ao cádmio por via oral (mg/kg_dia)

Município	Rota de exposição	DE Cr < 1 ano	DE Cr. 1 – 11 anos	DE Cr 11 – 17 anos	DE Adulto
Mariana	Solo Superficial	0,0003	0,0001	0,00006	2,267 ⁻⁰⁵
	Poeira Domiciliar	0,0003	9,54667 ⁻⁰⁵	0,00003	2,04571 ⁻⁰⁵
Barra Longa	Solo Superficial	0,0004	0,0001	0,00009	0,00003
	Poeira Domiciliar	0,003	0,001	0,0003	0,0002

Valor de Referência: MRL (Nível de Risco Mínimo) para exposição crônica por via oral (ingestão): 0,0001mg/kg_dia. (ATSDR, 2018)

Estimativa da dose de exposição para ingestão de poeira domiciliar, com base nos parâmetros acima descritos, foi realizada para todos os outros contaminantes definidos como de interesse em Mariana (chumbo, cobre e zinco) e em Barra Longa (níquel, cobre e zinco). Em Mariana foi encontrada uma estimativa de exposição por via oral para crianças até 1 ano ao cobre (0,01 mg/kg_dia) igual ao limite mínimo de risco estabelecido para exposição intermediária pela ATSDR (MRL: 0,01 mg/kg_dia).

O limite de risco mínimo (MRL) utilizado para exposição ao cobre se refere à exposição intermediária, ou seja, aquela que ocorreu no período de 15 a 365 dias (ATSDR, 2005a). O período decorrido desde o desastre totalizou 3 anos em novembro de 2018. Não foi possível obter na literatura científica atual, limites de risco mínimo (MRL) ou dose de referência (RfD) para exposição crônica ao cobre, através da ingestão. Os parâmetros toxicológicos utilizados para a construção do limite utilizado (MRL_ exposição intermediária) não abrangem exposição crônica da população, ou seja, acima de 365 dias. Como o tempo de exposição a um contaminante é um dos parâmetros toxicológicos implicados na ocorrência dos efeitos sobre a saúde, em geral observando-se a associação entre maior tempo de exposição e maior risco de ocorrência destes efeitos, o uso de um limite de risco mínimo para exposição intermediária falha em dimensionar adequadamente o risco da ocorrência de efeitos à saúde em situações de exposição crônica. Assim sendo, as estimativas de exposição encontradas para os outros grupos etários podem representar concentrações que impliquem em efeitos sobre a saúde, na vigência de exposição crônica, como a que ocorre no caso em estudo.

PERFIS TOXICOLÓGICOS - EFEITOS TÓXICOS DOS CONTAMINANTES DE INTERESSE

Efeito carcinogênico

O cádmio é considerado cancerígeno aos seres humanos (grupo 1) pelo IARC (EPA, 2018) e provável carcinógeno humano pela EPA (grupo B1). O chumbo é classificado pela EPA como B2, provável carcinógeno humano, por via oral, a partir de experimentos em animais com desenvolvimento de tumores renais após ingestão de sais solúveis de chumbo. É considerado possível carcinógeno humano pelo IARC (grupo 2B) indicando que existem dados de ocorrência de câncer em humanos, associada com a exposição ao chumbo, mas que eles são inadequados ou ausentes ou limitados. Estudos em animais têm relatado câncer pulmonar pela exposição a compostos solúveis de níquel. O Níquel apresenta potencial carcinogênico distinto de acordo com a sua forma química de apresentação. Ele é classificado como carcinógeno humano pela EPA (grupo A) e IARC (grupo 1) devido a estudos em animais e humanos reportando um aumento no risco de câncer pulmonar e de seios paranasais, associado à exposição a poeiras oriundas do refinamento do níquel (nickel refinery dust). Níquel em ligas metálicas é classificado como 2B pela IARC e compostos solúveis de níquel (nickel carbonyl) são classificados pela EPA como B2, provável carcinógeno humano. Níquel é considerado ser genotóxico mas, tem um potencial mutagênico baixo.

O zinco e o cobre estão classificados no grupo D pela EPA (EPA, 2018) e o cobre no grupo 3 pelo IARC (não há definição para o zinco). Isto significa que estas substâncias não apresentam evidências até o momento de terem potencial de causar câncer em seres humanos (tabela 29).

Tabela 29: Classificação segundo carcinogenicidade dos contaminantes de interesse, Mariana e Barra Longa _ Minas Gerais, 2019.

Contaminante	EPA	IARC
<i>Cádmio</i>	B1	1
<i>Chumbo</i>	B2	2B
<i>Níquel</i>		
- <i>Nickel refinery dust</i>	A	1
- <i>Nickel compounds</i>	A	1
<i>Cobre</i>	D	3
<i>Zinco</i>	D	-

Fonte: EPA, 2018.

Efeitos não-carcinogênicos sobre a saúde

Cádmio (ATSDR – Toxicological profile, 2012)

O cádmio é um elemento natural da crosta terrestre e essencialmente um subproduto da metalurgia do zinco e do chumbo. É um metal que tem seu maior uso na indústria de acumuladores elétricos (68%), pigmentos (15%), estabilizante para matérias plásticas (10%) e galvanoplastia (5%). As principais fontes de exposição ao cádmio são: ocupacional, alimentação e tabaco.

As folhas de tabaco acumulam altos níveis de cádmio do solo. A quantidade de cádmio absorvida através do consumo de 1 maço de cigarros por dia é cerca de 1-3 microgramas por dia. Medidas diretas dos níveis de cádmio nos tecidos corporais confirmam que o tabagismo praticamente dobra a carga corporal de cádmio no organismo, quando comparados a não fumantes. Em relação a alimentação, em geral vegetais folhosos como alface e espinafre, batatas e grãos, amendoim, soja e sementes de girassol contêm altos níveis de cádmio, aproximadamente 0,05-0,12 mg/kg. A exposição ocupacional aumenta em locais onde há processos de aquecimento de material contendo cádmio, como fundição e galvanoplastia, ocorrendo a exposição principalmente através da inalação de poeiras e fumos.

As principais vias de exposição são a respiratória (55%) e a oral (10%) a qual depende de fatores nutricionais como carências proteicas ou de ferro ou cálcio. O cádmio acumula-se no organismo, seus níveis aumentam com a idade na exposição não-ocupacional, decrescendo por volta dos 50 anos. O acúmulo principal é no fígado e rins (córtex renal) ligado a uma proteína de baixo peso molecular, a metalotionina. Sua meia vida é de 20 anos. A presença do cádmio no sangue reflete a intensidade de exposição dos últimos 2 a 3 meses, e na urina pode refletir depósito renal. A fração de troca corporal eliminada por dia é cerca de 0,05 a 0,1 por mil. Nos casos de intoxicação por ingestão de alimentos contaminados a eliminação fecal é mais importante que a urinária.

Na intoxicação aguda por inalação de fumos de óxido de cádmio os sintomas são respiratórios, podendo evoluir com uma pneumonite química e edema pulmonar. Nos casos de ingestão o quadro clínico será semelhante a uma gastroenterite.

Na intoxicação crônica por inalação de poeiras ou vapores de cádmio, ou ingestão de alimentos contaminados, os principais órgãos afetados serão o rim e os ossos. O cádmio provoca uma alteração nos túbulos renais com perda de proteínas na urina (proteinúria), e

pode levar a uma nefropatia irreversível. Nos ossos causa um quadro de osteomalácia e osteoporose com fraturas espontâneas e fissuras pela perda renal de fosfato de cálcio, com fortes dores. Pode também afetar os pulmões, cujas lesões precedem as renais, com a instalação de uma síndrome obstrutiva e enfisema. O fígado pode sofrer degeneração gordurosa e pode haver anemia (ATSDR, 2012).

Exposição e efeitos tóxicos em crianças

O cádmio é bioacumulativo e tem uma longa meia-vida no organismo humano, portanto, exposições em crianças mesmo em baixas concentrações podem ter efeitos adversos a longo prazo. Alguns estudos (JACQUILLET et al., 2007; TRZCINKA-OCHOCKA et al., 2004; apud ATSDR, 2012 pg. 227) sugerem que adultos expostos a cádmio na infância podem ser mais susceptíveis à toxicidade renal do cádmio do que quando somente expostos na fase adulta. Estudos têm investigado uma associação entre exposição a cádmio e efeitos neurológicos adversos em crianças, sem resultados conclusivos.

O cádmio parece ter efeito prejudicial no perímetro cefálico ao nascer e no crescimento infantil nos três primeiros anos de vida (LIN *et al.*, 2011). Um estudo avaliando a exposição ao cádmio, excluindo o hábito de tabagismo através da dosagem da cotinina, relatou associação com a diminuição do peso ao nascer (JOHNSTON *et al.*, 2014). Rollin *et al.* (2015) observaram associação inversa entre o cádmio no sangue materno e o percentil de peso ao nascer em recém-nascidos do sexo feminino. Kipler *et al.* (2012) associaram o aumento do cádmio na urina materna à diminuição do perímetro cefálico e no peso ao nascer também em meninas (para cada aumento de 1 µg/dl na urina, diminuiu 0,26 cm do PC e 45 g no peso ao nascer).

A amamentação pode ser uma fonte de exposição ao cádmio. As concentrações de cádmio no leite materno são 5 – 10% das concentrações no sangue materno. A placenta pode atuar como uma barreira parcial à exposição fetal ao cádmio.

Chumbo (ATSDR – Toxicological profile, 2007)

O chumbo é um metal amplamente utilizado na nossa sociedade. Várias são as fontes de exposição a este metal: fabricação e reforma de baterias; fabricação de pisos, azulejos, cerâmicas, cristais; fabricação e uso de pigmentos, tintas, vernizes; mineração; gráfica; funilaria de automóveis; e vários outros. Seus efeitos nocivos sobre o organismo humano são potencializados por alguns fatores como a idade (crianças são mais sensíveis); fatores nutricionais – deficiência de ferro e desnutrição; presença de doenças concomitantes; entre outros (KEOGH & BOYER, 2001).

As principais vias de absorção são: respiratória e oral, sendo a inalação a principal forma de penetração no organismo por exposição ocupacional e a ingestão por exposição ambiental. O chumbo se difunde no plasma e se deposita nos “tecidos duros”, ossos, dentes, cabelos. Apenas 3% da carga corpórea total é circulante, sendo que 50% é ligado a hemoglobina. A fração livre no plasma é que tem efeito lesivo. De acordo com um gradiente de concentração o chumbo é progressivamente liberado dos reservatórios para o sangue. Sua ação tóxica se dá pelo contato da fração livre no plasma com os “tecidos moles”, principalmente fígado, rim, medula óssea e sistema nervoso. É excretado pela urina, fezes e suor. A meia vida do chumbo no sangue é de 28 a 36 dias, nos tecidos moles é de 46 dias e no esqueleto é de 10 a mais de 20 anos.

Observam-se alterações neurológicas em adultos com doses a partir de 30 µg//dl: diminuição da velocidade de condução nervosa (Sistema Nervoso Periférico); alterações neurocomportamentais (irritabilidade, alterações de memória, distúrbios da função oculomotora); sintomas e sinais neurológicos (cefaleia, parestesia, diminuição da libido, fraqueza); e encefalopatia em doses mais altas.

Ocorre diminuição da fertilidade, aumento da ocorrência de aborto e de morte neonatal com doses a partir de 10 µg/dl e diminuição da mobilidade e do número de espermatozoides com doses a partir de 40 µg/dl.

Embora não exista uma dose letal mínima para o chumbo, parece haver uma associação com taxas de mortalidade aumentadas para populações expostas, principalmente ocupacionalmente, resultando principalmente de cânceres, doença crônica renal (nefrose, nefrite) hipertensão arterial e doença cerebrovascular (LUSTBERG & SILBERGELD, 2002). Em crianças parece haver uma associação de níveis elevados de chumbo com Síndrome de morte

súbita (SIDS). Risco de óbito ocorre quando há encefalopatia. A taxa de chumbo no sangue associada com encefalopatia foi 90 – 800 µg/dl (média: 330 µg//dl) e com óbito foi 125 – 750 µg/dl (média: 327 µg/dl).

Exposição e efeitos tóxicos em crianças

O chumbo é um dos metais aos quais as crianças, principalmente até os 05 anos, são mais susceptíveis aos efeitos tóxicos. Isto ocorre não só pela absorção intestinal aumentada (50%) em relação aos adultos (15%), mas também pela vigência frequente de alguma deficiência nutricional nesta faixa etária. A atividade de engatinhar, brincar no chão e o hábito de comer terra favorecem a ingestão de poeira e solo contaminado. Além disso, a dieta das crianças, principalmente de 01 até os 03 anos, pode ser particularmente deficiente em ferro, cálcio e zinco, o que contribui para a absorção de chumbo e potencialização do seu efeito tóxico. Crianças necessitam de menores doses de chumbo no sangue para a ocorrência de efeitos tóxicos. Lactentes também são susceptíveis através da amamentação, pela contaminação do leite pelo chumbo a partir das mães expostas.

É observado anemia (hematócrito menor que 35%) em crianças com doses acima de 20 µg /dl e diminuição da hemoglobina com exposição a doses acima de 40 µg /dl. Os efeitos hematológicos em geral ocorrem com doses acima de 15 µg/dl. São observadas alterações hepáticas (sistema oxidase) em crianças – dose não referida e alterações renais: nefropatia, gota, hipertensão arterial, alterações enzimáticas (NAG) com doses a partir de 34,2 µg /dl.

Em crianças, doses acima de 6 µg/dl apresentam alterações na função neurocomportamental (leve diminuição da performance em testes de QI); funções cognitiva e motora alteradas; alterações no potencial evocado visual; neuropatia periférica e diminuição da velocidade de condução (20 – 30ug/dl); e desequilíbrio postural (11,9 ug/dl). Observam-se alterações no desenvolvimento como baixo peso, prematuridade e aborto com doses a partir de 12ug/dl. Ocorrem alterações no desenvolvimento mental e motor de crianças com doses a partir de 10 – 15 µg/dl.

Um estudo examinou a associação entre o nível de chumbo no sangue materno e o peso ao nascer do recém-nato, observando uma diminuição média de 61 g e 87g no peso ao nascer em relação às concentrações de chumbo de 5 e 10 µg/dL, respectivamente (Zhu *et al.*, 2010). Hu *et al.*, (2006) referem uma associação entre a exposição pré-natal ao chumbo e

efeitos adversos no neurodesenvolvimento (HU *et al.*, 2006). Um estudo realizado no Nepal associou a concentração de chumbo no sangue do cordão umbilical (mediana = 2,06 µg /dL) a um menor tônus musculares em recém-nascidos (PARAJULI *et al.*, 2013).

Níquel (ATSDR – Toxicological profile, 2005d)

O níquel (Ni) é um metal em abundância na crosta terrestre. Dentre os vários compostos de níquel, os principais são óxido de níquel (NiO), hidróxido de níquel (NiOH), sulfato de níquel (Ni3S2) e cloreto de níquel (NiCl2). Os sais de níquel de ácidos orgânicos fortes são solúveis em água, enquanto os sais de níquel de ácidos inorgânicos fracos são insolúveis.

O níquel e seus compostos não têm odor ou sabor característicos. Compostos de níquel são usados para colorir cerâmica, produção de baterias e como substâncias conhecidas como catalisadores que aumentam as taxas de reações químicas. O aço inoxidável e moedas contém níquel. Algumas joias são revestidas com níquel.

O níquel pode ser liberado ao meio ambiente através de pilhas, através da produção de ligas, usinas de energia e incineradores de lixo. A deposição do níquel no solo e/ou sedimento ou através da poeira pode fazer com que se liguem a partículas de ferro ou manganês. Em condições mais ácidas, o níquel tem maior mobilidade no solo, podendo adentrar-se em águas subterrâneas. Algumas plantas podem acumular níquel, já em pequenos animais que vivem em terra, não se pode afirmar que esse metal pode se acumular.

A fonte mais provável de exposição ao níquel é através da alimentação com ingestão média estimada para adultos de 100 – 300 µg por dia. Outras fontes de exposição podem ser o ar, a ingestão de água contaminada ou através do consumo de tabaco. O contato com solo, ou através do banho, bem como contato com metais revestidos com níquel também podem resultar em exposição. Pacientes podem ser expostos ao níquel devido a utilização de próteses e/ou órteses feitas de ligas contendo o metal. A exposição de um nascituro pode ser feita através do sangue, ou através do leite materno. Não foi possível obter informação sobre efeitos à saúde decorrentes da exposição ao níquel a partir de áreas de deposição de resíduos perigosos.

O efeito prejudicial mais comum do níquel à saúde em humanos é uma reação alérgica. Aproximadamente 10-20% da população é sensível ao níquel. Uma pessoa pode se tornar sensível ao níquel quando se utiliza de joias ou outros itens contendo níquel, tendo um contato mais direto e prolongado. Indivíduos sensíveis ao níquel podem ser extraordinariamente susceptíveis porque a exposição ao níquel por qualquer via pode desencadear uma reação alérgica (ATSDR, 2005, pg.142)

Inalação crônica pode resultar em efeitos respiratórios, incluindo um tipo de asma específico do níquel, bronquite e redução da capacidade respiratória.

Exposição dérmica

Dermatite de contato é o efeito mais comum decorrente da exposição dérmica ao níquel. Este agravo tem sido relatado em decorrência de exposição ocupacional ou ambiental. Os sintomas mais comuns são eczema (*rash* – vermelhidão, coceira) dos dedos, mãos, pulsos e antebraços. Este agravo é mais frequentemente observado em mulheres jovens, do que em homens ou indivíduos idosos. Esta maior prevalência parece estar relacionada com a exposição prévia ao níquel e não com uma maior susceptibilidade. A exposição prolongada ao níquel através do uso de joias e bijuterias revestidas com níquel é frequentemente a fonte de sensibilização orgânica. Esta sensibilização pode permanecer por muitos anos, entretanto, o intervalo de tempo entre as exposições pode influenciar o grau de reatividade, com reações cutâneas mais intensas quando exposições ocorrem em intervalos de tempo menores ou quando já existe uma prévia dermatite alérgica de contato.

Estudos com testes cutâneos em indivíduos sensíveis usando sulfato de níquel mostram uma relação dose-resposta entre a quantidade de níquel e a severidade da resposta.

Cobre (ATSDR – Toxicological profile, 2004)

O cobre é um elemento essencial para o organismo dos mamíferos. Está envolvido na respiração celular, defesa contra radicais livres, neurotransmissão, metabolismo do ferro e síntese de tecido conectivo. Existem enzimas que são dependentes do cobre como a citocromo – oxidase e a dopamina beta-hidroxilase. Efeitos sobre a saúde ocorrem quando sua ingestão é deficiente ou excessiva. A principal rota de exposição é através da ingestão, porém pode também ocorrer inalação, a partir de poeiras e fumos de indústrias, ou absorção dérmica a partir de aplicações tópicas a base de cobre (FISHER, 2001).

Um adulto ingere 1.2 a 5mg de cobre por dia, cerca de metade é absorvida. Mais de 75% do cobre circulante é ligado a proteínas plasmáticas. No plasma está 95% ligado à ceruloplasmina. Esta é uma proteína que se eleva nos estados inflamatórios agudos e crônicos, no uso de pílulas (pelo estrogênio), na gravidez, cirrose, câncer e tireotoxicose. Ele é distribuído através do corpo, mas é estocado primariamente no fígado, músculos e ossos. O cobre é eliminado principalmente através das fezes, sendo a excreção urinária baixa em humanos.

A intoxicação aguda pelo cobre pode ser fatal dependendo da dose. Os achados predominantes são gastrointestinais estando também associada com a ocorrência de febre dos fumos metálicos. A toxicidade crônica e os efeitos a longo prazo da exposição ao cobre não têm sido bem estabelecidos. Em trabalhadores expostos à inalação de poeiras ou fumos de cobre tem sido relatada a ocorrência da febre dos fumos metálicos e de perfuração do septo nasal.

O cobre causa imobilização irreversível dos espermatozoides *in vitro*. Nenhum efeito teratogênico atribuído ao cobre foi relatado em humanos, porém altas doses em ratas grávidas foram relacionadas com aumento da mortalidade fetal e malformações no sistema nervoso central.

Tem sido relatada a ocorrência de dermatite pruriginosa após exposição por contato dérmico com o cobre.

Zinco (ATSDR – Toxicological profile, 2005e)

A principal rota de exposição ao zinco é através da dieta. Ocorre também inalação de poeiras e fumos de zinco e absorção cutânea a partir de preparados tópicos. A absorção intestinal de zinco é influenciada por fatores da dieta. A ingestão concomitante com proteínas vegetais, cádmio e fósforo diminui a absorção e com proteínas animais aumenta. Ele se concentra no pâncreas, próstata, rins, fígado, músculos e retina. Um grande número de enzimas do organismo humano necessita de zinco para funcionar. Ele interage com proteínas para regular a síntese de DNA e RNA e controlar a neurotransmissão. É necessário para o hormônio do crescimento e ajuda a manter a integridade estrutural da membrana celular (FISHER, 2001).

Sua meia vida biológica excede 300 dias. Cerca de 70 a 80% é excretado nas fezes o que é acentuado pela ingestão de proteínas de origem vegetal. Ele também é eliminado através da urina (15%), suor (pode chegar a 25% em países quentes) e leite materno.

Sintomas agudos de intoxicação pelo zinco são fundamentalmente gastrintestinais. Ele também é lesivo aos olhos (irite e glaucoma) e pele (úlceras e dermatite). Ingestão crônica de altas doses de suplementos a base de zinco (mais de 100mg/dia) dão origem a anemia sideroblástica e leucopenia. Está associado a febre dos fumos metálicos. O zinco parece não ser teratogênico, embora sua deficiência seja.

ESTABELECIMENTO DAS IMPLICAÇÕES SOBRE A SAÚDE DAS POPULAÇÕES EXPOSTAS DAS LOCALIDADES DE MARIANA E BARRA LONGA**Considerações Iniciais**

O estabelecimento das implicações para a saúde em um estudo de avaliação de risco deve ser norteado por uma visão de saúde que englobe tanto potenciais agravos específicos, decorrentes da exposição aos contaminantes de interesse identificados, através das rotas estabelecidas quanto o impacto que o evento ou a situação em estudo determinou sobre as formas de viver e se organizar histórica e socialmente das populações das localidades afetadas.

Ao longo do processo de elaboração deste Estudo, esta equipe realizou inúmeras viagens à área de estudo, entrevistou e realizou rodas de conversas com moradores, lideranças comunitárias, profissionais de saúde e representantes de organizações governamentais e não governamentais, visitou sítios específicos na área para investigação e coleta de amostras, e procedeu à identificação, leitura e análise de inúmeros estudos ambientais e de saúde realizados por diversas instituições governamentais e não governamentais.

A experiência e o conhecimento adquiridos a partir destas atividades permitem a esta equipe afirmar que o desastre ocorrido em Mariana, em novembro de 2015, pelo rompimento da barragem do Fundão, trouxe consequências sobre a qualidade e as condições de vida e de saúde da população das localidades estudadas, que extrapolaram o efeito lesivo específico dos contaminantes sobre a saúde e que perduram até hoje.

Alterações das trajetórias de vida, repentinas e não por decisão própria, as quais permanecem sem resolutividade 3 anos após o desastre, determinam uma condição de sofrimento emocional e psíquico, de desarranjo e inadequação social, de insegurança pessoal, familiar, e das interrelações comunitárias que têm consequências diretas e indiretas sobre a saúde das populações destas localidades.

Este relatório não tem como proposição o aprofundamento das análises e discussões referentes ao impacto do desastre de Mariana sobre a estruturação social, institucional, de modos de vida e organização comunitária das populações das localidades em estudo. Esta equipe considera, no entanto, fundamental estabelecer de forma inequívoca o pano de fundo

sobre o qual se assentam as análises específicas dos efeitos lesivos da exposição aos contaminantes de interesse. Considera e ressalta que todo e qualquer processo de adoecimento é consequente não apenas da exposição a agentes químicos, físicos ou biológicos unicastais mas, do conjunto de condições econômicas, sociais, culturais, genéticas, ambientais que constituem o arcabouço sobre o qual se estrutura a percepção e o estado de saúde dos indivíduos e a análise da situação de saúde da população.

A partir da compreensão de que o cenário social descrito nas considerações acima é um determinante fundamental do desenvolvimento do processo saúde e doença das populações das localidades de Mariana e Barra Longa, procederemos a seguir à análise das implicações sobre a saúde das populações expostas aos contaminantes de interesse identificados.

IMPLICAÇÕES SOBRE A SAÚDE DAS POPULAÇÕES EXPOSTAS AOS CONTAMINANTES DE INTERESSE IDENTIFICADOS.

As análises realizadas ao longo dos itens anteriores deste relatório permitiram à equipe deste Estudo de avaliação de risco afirmar que **existe um perigo para a saúde das populações expostas aos contaminantes definidos através da ingestão, inalação ou absorção dérmica das partículas de solo superficial e/ou da poeira domiciliar contaminadas**. Esta exposição pode determinar a ocorrência de efeitos lesivos sobre a saúde dessas populações, imediatos ou de longo prazo, devendo ser objeto de recomendações de ações de saúde pertinentes para sua prevenção e assistência.

Esta afirmativa é baseada nas seguintes considerações:

1. Os estudos ambientais definiram concentrações do contaminante cádmio em amostras de solo superficial acima dos limites de segurança vigentes na legislação, às quais a população está exposta desde a ocorrência do desastre há 3 anos;
2. Não é possível calcular a dose de exposição a partir da inalação das partículas de poeira (valor em mg/kg e não em mg/m³) para nenhum dos contaminantes definidos. Portanto, consideramos que as estimativas de exposição a todos os contaminantes para todas as faixas etárias estão subavaliadas;
3. O cálculo das doses de exposição resultou em estimativas de ingestão do contaminante de interesse cádmio, através de partículas oriundas do solo superficial e da poeira domiciliar contaminados, acima dos limites de risco mínimo à saúde para todas as faixas etárias em Barra Longa e para crianças até 11 anos em Mariana. O cádmio é classificado como carcinogênico ao homem pela IARC e com potencial carcinogênico pela EPA. Considerando que a exposição ao cádmio está subestimada, e tendo por base o princípio da precaução, consideramos que **as populações expostas ao cádmio através da ingestão, inalação ou absorção dérmica do solo superficial e/ou da poeira domiciliar contaminados**, acima de 11 anos estudadas em Mariana, também devem ser objeto de recomendação de ações de saúde específicas;
4. O cálculo das doses de exposição resultou em estimativas de ingestão do contaminante de interesse cobre, através de partículas oriundas da poeira domiciliar contaminada, no limite de risco mínimo à saúde para exposição intermediária para crianças até 01 ano em Mariana. Assinalamos que o cenário de Mariana é de exposição crônica, que ocorre há mais de 3 anos e para o qual não existe limite de risco mínimo (MRL) ou dose de referência (RfD) estabelecidos. Na ausência de parâmetros científicos de segurança de exposição humana

conhecidos, considerando o cálculo de dose subestimado, e tendo por base o princípio da precaução, consideramos que **as populações expostas ao cobre através da inalação, ingestão ou absorção dérmica das partículas de poeira domiciliar contaminadas**, de todas as faixas etárias estudadas em Mariana devem ser objeto de recomendação de ações de saúde específicas;

5. Os estudos ambientais evidenciaram concentrações de chumbo na poeira domiciliar em Mariana. Embora seja possível estimar a exposição ao contaminante, não existem parâmetros de segurança estabelecidos para exposição humana. A exposição ao chumbo, em particular na faixa etária menor de 5 anos, é considerada de risco para a saúde e desenvolvimento humano. Assim sendo, na ausência de parâmetros científicos de segurança de exposição humana conhecidos, e tendo por base o princípio da precaução, consideramos que **as populações expostas ao chumbo através da inalação, ingestão ou absorção dérmica das partículas de poeira domiciliar contaminadas**, de todas as faixas etárias estudadas em Mariana, devem ser objeto de recomendação de ações de saúde específicas;

6. Os estudos ambientais evidenciaram concentrações de níquel na poeira domiciliar em Barra Longa. O efeito prejudicial mais comum do níquel à saúde em humanos é uma reação alérgica, em geral decorrente da inalação de poeiras ou do contato dérmico. O nível de risco mínimo (MRL) existente para o níquel é para exposição crônica por via inalatória (0.00009 mg/m³). Assim sendo, algumas considerações em relação ao presente cenário de exposição ao níquel são necessárias:

- ✚ Trata-se de exposição crônica (acima de 365 dias) para a qual não existe nível mínimo de risco (MRL) estabelecido, nem estudos sobre efeitos à saúde decorrentes da exposição crônica por via oral ou dérmica, embora existam estudos sobre efeitos específicos no sistema imunológico.
- ✚ Indivíduos sensíveis ao níquel podem ser extraordinariamente susceptíveis porque a exposição ao níquel por qualquer via pode desencadear uma reação alérgica (ATSDR, 2005, pg.142)
- ✚ Dermatite de contato alérgica é o efeito mais comum decorrente da exposição dérmica ao níquel. Os sintomas mais comuns são eczema (*rash* – vermelhidão, coceira) da superfície cutânea em contato com o metal.
- ✚ A exposição prévia ou a exposição prolongada ao níquel é frequentemente a fonte de sensibilização orgânica. Esta sensibilização pode permanecer por muitos anos,

entretanto, o intervalo de tempo entre as exposições pode influenciar o grau de reatividade, com reações cutâneas mais intensas quando exposições ocorrem em intervalos de tempo menores ou quando já existe uma prévia dermatite alérgica de contato. Estudos com testes cutâneos em indivíduos sensíveis usando sulfato de níquel mostraram uma relação dose-resposta entre a quantidade de níquel e a severidade da resposta (ATSDR, 2005);

- ✚ A equipe deste Estudo de avaliação de risco em várias ocasiões esteve nas zonas rural e urbana do município de Barra Longa, para realização das atividades de reconhecimento do local, levantamento das preocupações da comunidade e coleta de amostras ambientais. Durante todas estas ocasiões foi possível observar a grande quantidade de lama ou seus resquícios, e por conseguinte poeira, que ainda permanece nesta localidade;
- ✚ Os relatos constantes no capítulo de preocupações da comunidade são relativos à ardência e irritação ocular, irritação cutânea com vermelhidão e coceira, e sintomas respiratórios (tosse, coriza, congestão nasal). Todos podendo ser potencialmente associados com inalação ou contato com poeiras contendo níquel;
- ✚ As informações fotográficas constantes no relatório do estudo Pesquisa Avaliação de Saúde da População de Barra Longa afetada pelo Desastre de Mariana, Brasil (Instituto Saúde e Sustentabilidade e Greenpeace, março 2017) indicam um quadro de eczema cutâneo; quadro clínico semelhante também foi observado pela equipe deste Estudo de avaliação de risco quando em campo entrevistando os moradores da zona rural de Barra Longa.

De acordo com as considerações pontuadas acima, na ausência de parâmetros científicos de segurança de exposição humana conhecidos, e tendo por base o princípio da precaução, consideramos que todas as faixas etárias estudadas estão potencialmente expostas ao níquel na localidade de Barra Longa e devem ser objeto de recomendação de ações de saúde específicas.

RESPOSTA ÀS PREOCUPAÇÕES DA COMUNIDADE SOBRE A SAÚDE**Preocupações relacionadas à saúde mental da população atingida.**

O desastre de Mariana determinou um grande impacto sobre a vida de toda a população das localidades estudadas. Ele provocou uma fissura no modo como as pessoas viviam, que é claramente referido como “antes e depois do desastre”. Destruiu hábitos e rotinas de convivência, laços familiares, expectativas profissionais e pessoais. Criou insegurança, instabilidade, incertezas, medos, angústias, que não foram sanados pelos responsáveis ao longo destes 3 anos. O passar do tempo não resolveu ou melhorou estes sentimentos e sensações, ao contrário, trouxe a suspeita de que jamais terão solução, e que a convivência com os mesmos será um fardo a ser carregado por todos. Sem dúvida isto causou e tem causado um grande sofrimento, com graus de intensidade e repercussões distintas, sobre a saúde mental das pessoas.

Preocupações relacionadas ao impacto sobre a saúde da população atingida**Preocupações com problemas dermatológicos e respiratórios decorrentes do aumento da poeira no ambiente.**

O presente Estudo de avaliação de risco indica que os problemas respiratórios e dermatológicos referidos pela população podem estar associados com a exposição à poeira oriunda da lama da barragem, e seus contaminantes específicos. A exposição a estes contaminantes na poeira pode causar alergias de vários tipos (respiratórias, dérmicas) que se manifestam nas pessoas através dos sintomas relatados: coceira e vermelhidão na pele, irritação e lacrimejamento nos olhos, tosse, congestão nasal, entre outros. Estes problemas devem ser objeto de ações de saúde visando a assistência e resolução dos problemas atuais e a prevenção de agravos futuros.

Preocupações em relação à contaminação da poeira e da lama e seus resquícios ainda existentes.

A poeira domiciliar analisada a partir dos estudos ambientais está contaminada por cádmio, chumbo, níquel, cobre e zinco. Estes metais têm diferentes graus de potencial tóxico, ou lesivo, à saúde humana. Ações de saúde específicas devem ser implementadas para a prevenção, diagnóstico e tratamento dos possíveis agravos à saúde. A população deve ser monitorada para a exposição que ocorreu no passado, ainda ocorre, e pode vir a ocorrer no futuro, caso medidas de interrupção da exposição não venham a ser adotadas.

Preocupações relacionadas ao aumento dos casos de Dengue e Febre amarela

Dengue:

A dengue é uma doença febril aguda, causada pelos vírus DENV1, DENV2, DENV3 e DENV4, transmitidos pelo mosquito *Aedes aegypti*, principal vetor. O estado de Minas Gerais é dividido em 28 Unidades Regionais de Saúde (URS), e em todas elas há presença do *Aedes aegypti* (SES-MG, 2016).

Quadro 11: Casos notificados de dengue (prováveis) no município de Mariana no período de 2015 a 2017.

Dengue	Frequência de casos	Incidência (por 10.000 habitantes)
2015	24	4,08
2016	468	78,86
2017	5	0,84

Fonte: Secretaria Municipal de Saúde

Em 2016, houve um aumento da incidência de dengue em Mariana (78,86 por 10 mil habitantes) em relação ao ano de 2015 (4,08 por 10 mil habitantes) (SMS, 2018). Ao avaliar municípios com o aporte populacional semelhante ao de Mariana, por exemplo Campo Belo (2015 n= 28; 2016 n=127), Lagoa Santa (2015 n= 902; 2016 n=1081), Frutal (2015 n= 259; 2016 n=569), Leopoldina (2015 n= 2; 2016 n=187), Ponte Nova (2015 n= 11; 2016 n=536), Pirapora (2015 n= 0; 2016 n=24) dentre outros situados em diferentes regiões do estado, verificou-se um também aumento no número de casos confirmados para o mesmo período (SINAN, 2018).

Dengue em Barra Longa

Durante as atividades realizadas pela equipe do estudo de ARSH no município de Barra Longa, foi relatado pelos profissionais de saúde um aumento no número de casos de dengue no ano de 2016. Segundo os dados disponibilizados pela Secretaria Municipal de Saúde, neste ano, foram notificados no Sistema de Agravos de Notificação (SINAN) 171 casos prováveis de dengue. Entretanto, desse total de casos prováveis, 15 foram casos confirmados de dengue em 2016.

Em 2016, houve um aumento da incidência de casos confirmados de dengue em Barra Longa (2,6 por 1000 mil habitantes) em relação ao ano de 2015 (n = zero casos) (SINAN, 2018). Ao avaliar municípios com o aporte populacional semelhante ao de Barra Longa, por exemplo Chalé (2015 n= 0; 2016 n=17), Juvenília (2015 n= 0; 2016 n=30), Nova União (2015 n= 2; 2016 n=35), Olhos-d'Água (2015 n= 0; 2016 n=12), Veredinha (2015 n= 0; 2016 n=53), e Sobrália (2015 n= 0; 2016 n=16), dentre outros situados em diferentes regiões do estado, verificou-se também um aumento no número de casos confirmados para o mesmo período (SINAN, 2018).

No entanto, estudos mais detalhados incluindo uma análise histórica são necessários para Mariana e Barra Longa.

Febre Amarela

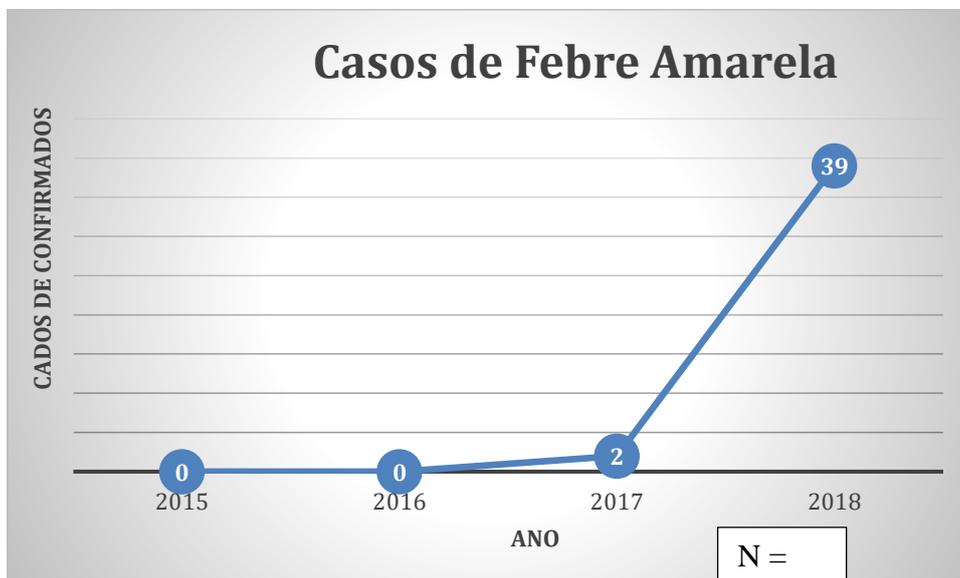
A febre amarela (FA) é uma doença infecciosa aguda, febril, não contagiosa, de curta duração e de gravidade variável. Em dezembro de 2016, o Brasil enfrentou um dos maiores surtos de FA de transmissão silvestre da sua história, com ocorrência em estados da região Sudeste, principalmente Minas Gerais. No período de dezembro de 2016 até a segunda quinzena de março de 2017, foram registrados em Minas Gerais 349 casos e 118 óbitos confirmado (CAVALCANTE & TAUILL, 2017; BRASIL 2017).

Nesse contexto, segundo o boletim epidemiológico publicado pelo Ministério da Saúde em 2017: “ainda que o sistema de saúde tenha sido alertado para (i) ampliar as coberturas vacinais e a vacinação preventiva, e (ii) intensificar a vigilância no período sazonal da doença, o Brasil em 2017 passaria pelo maior surto da história recente da febre amarela, colocando novamente à prova a capacidade de resposta do serviço de saúde pública brasileiro (BRASIL, 2017).”

Os casos de Febre Amarela em Mariana

Ao avaliar o período de 2015 a 2018, verificou-se que em Mariana no ano de 2017 foram registrados 2 casos de FA e ambos evoluíram para óbito. Em 2018, foi verificada a maior ocorrência com 39 casos de FA, destes 5 evoluíram para óbito (SMS, 2018a). Em 2018, houve casos em municípios vizinhos que não foram atingidos pelo desastre, por exemplo Ouro Preto (n= 15). Em Mariana, muitos casos ocorreram em localidades que não foram atingidas pela lama de rejeitos (SMS, 2018a).

Figura 6: Casos de Febre Amarela Notificados em Mariana no período de 2015 a 2017



Fonte: Secretaria Municipal de Saúde, 2018a.

Estudos mais detalhados incluindo uma análise histórica são necessários.

Febre Amarela Barra Longa

No período de 2017 a 2018, foram registrados 3 casos suspeitos ou prováveis de Febre Amarela, sendo apenas 2 confirmados e 1 descartado. Desses casos confirmados, todos evoluíram para óbito (SMS, 2018b).

Preocupações relacionadas ao consumo de água e alimentos

O Estudo de Avaliação de risco não mostrou contaminação da água e dos alimentos (tubérculos, frutas, ovos e leite) avaliados. Em relação ao peixe estudos mais específicos são necessários.

Preocupações relacionadas às condições e à qualidade de vida da população atingida

Como discutido ao longo deste Relatório, considera-se que o desastre decorrente do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana/MG, determinou um impacto não só sobre o ambiente mas, também, sobre a saúde e as condições e modos de vida da população.

Capítulo VII: Conclusões e Recomendações

CONTEXTUALIZAÇÃO

A última tarefa do relatório de uma avaliação de saúde é determinar as conclusões sobre as implicações para a saúde associadas ao local e elaborar as recomendações. Para tal devem ser completados os propósitos de uma avaliação de saúde:

- Determinar as implicações para a saúde no local.
- Discutir estas implicações fazendo recomendações para a condução de estudos de saúde e ambientais futuros (quando considerados necessários).
- Identificar as ações necessárias para eliminar, mitigar ou prevenir efeitos adversos à saúde.

A avaliação de risco à saúde humana por exposição a contaminantes ambientais representa um instrumento importante para a tomada de decisão e implementação, de maneira sistemática, de articulações e de ações intra e intersetoriais visando à promoção e proteção da saúde, para melhorar as condições sociais e de vida das populações expostas.

Para trabalhar esta etapa é necessário considerar a definição constitucional de saúde no Brasil e sobre ambiente (nacional e internacional), as determinações do Sistema Único de Saúde, as limitações do modelo de avaliação de risco e as especificidades do processo de adoecimento da população.

Finalmente, para a tomada de decisão, gerenciamento e comunicação do risco é necessário que o processo de ARSH seja claro e transparente, conhecido pelas partes envolvidas: a população, especialmente os expostos, empresa, pesquisadores, governo, justiça, legisladores, indústria, entre outros, para garantir a preservação da saúde e qualidade de vida da população.

Seleção de categorias de perigos para a saúde pública

A primeira conclusão que a ARSH identifica é o nível de perigo que representa um local. Uma ARSH deve associar ao local uma das seguintes categorias:

- A. Perigo urgente para a Saúde Pública**
- B. Perigo para a Saúde Pública**
- C. Perigo Indeterminado para a Saúde Pública**
- D. Não há perigo para a Saúde Pública**

As categorias são selecionadas para:

- ✚ Caracterizar o nível de perigo do local investigado para a saúde pública, com base em fatores tais como a existência de rotas potenciais de exposição humana, a susceptibilidade da comunidade exposta, a comparação dos níveis esperados de exposição humana com as normas relacionadas com a saúde, e a avaliação de dados de efeitos sobre a saúde específicos para a comunidade.
- ✚ Determinar: (1) se devem ser tomadas ações para eliminar ou reduzir a exposição humana às substâncias perigosas no local; (2) se são necessárias informações adicionais sobre a exposição humana e riscos associados à saúde; (3) se esta informação deve ser obtida por meio de amostragem ambiental mais ampla ou de outras ações de saúde, incluindo estudos epidemiológicos, ou com o estabelecimento de um programa de vigilância em saúde ou de educação em saúde ambiental.
- ✚ Identificar as lacunas de informação toxicológica específicas para uma substância e para aspectos toxicológicos gerais. Estas lacunas de dados poderiam ser consideradas para estabelecer prioridades de investigação.

Critérios e Recomendações relacionados às categorias de perigos para a saúde pública

Os critérios para o estabelecimento das Categorias de perigo à Saúde Pública, e as correspondentes recomendações de ações de saúde pública, utilizados pela metodologia de ARSH da Ministério da Saúde (Brasil, 2010) são apresentados no Quadro 12. Com base nestas categorias é possível elaborar as conclusões e recomendações das localidades objeto desta fase do desenvolvimento da ARSH, Mariana e Barra Longa.

Quadro 12: Critérios e recomendações para as categorias de risco para a saúde pública.

Categoria A	Categoria B
<p>Esta categoria é utilizada para os locais que apresentam um risco para a saúde pública como resultado de exposições passadas, presentes e futuras, de curto ou longo prazo, a substâncias químicas perigosas, ou locais onde existe risco físico.</p>	<p>Esta categoria é utilizada para os locais que apresentam um risco para a saúde pública como resultado de exposições passadas, presentes e futuras, de curto ou longo prazo, a substâncias químicas perigosas não carcinogênicas, com valores abaixo dos níveis de referência.</p>
<p>Critérios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existiu, existe e poderá haver rotas de exposição completas a uma ou mais substâncias carcinogênicas ou com potencial carcinogênico por mecanismo genotóxico; e/ou - Existiu, existe e poderá haver rotas de exposição completas a uma ou mais substâncias com efeitos tóxicos sistêmicos em níveis acima dos valores de referência; e/ou - Os dados de efeitos na saúde da comunidade específica indicam que o local teve um impacto adverso na saúde humana que requer uma rápida intervenção; e/ou - Os perigos físicos no local representam um risco eminente de danos à saúde. 	<p>Critérios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Os dados são disponíveis para todos os meios ambientais aos quais os humanos estão sendo expostos; e - Existiu, existe e poderá haver rotas de exposição completas a uma ou mais substâncias com efeitos tóxicos sistêmicos, porém em níveis abaixo dos valores de referência; e - Existem dados que indicam deterioração da qualidade de vida da população do local; e - Não existem dados de efeitos de saúde específicos da comunidade que indiquem que o local teve um impacto adverso na saúde humana.
<p>Recomendações de Ações de Saúde:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tomar as medidas necessárias para afastar os riscos físicos existentes e interromper a exposição da população; na impossibilidade de eliminação dos riscos, remover a população. 2. Identificar a população exposta (passado, presente e potencial no futuro) por meio do Cadastro Nacional de Usuários do SUS. 3. Acompanhar a saúde das populações expostas por meio de ações de Vigilância e Atenção integral (vigilância ambiental, epidemiológica, sanitária e saúde do trabalhador, atenção básica, média e alta complexidade) incluindo: <ul style="list-style-type: none"> • Protocolos específicos para avaliação de saúde dos expostos e ações de vigilância à saúde; • Estruturação do sistema de informação para a vigilância dos expostos; • Monitoramento de indicadores biológicos de exposição, efeito e de vulnerabilidade social e econômica; • Formação e capacitação continuada dos profissionais de saúde e agentes comunitários para atender às 	<p>Recomendações de Ações de Saúde:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar a população exposta (passado e potencial no futuro) por meio do Cadastro Nacional de Usuários do SUS; 2. Acompanhar a saúde das populações expostas por meio de ações de Vigilância e Atenção integral à saúde da população exposta (vigilância ambiental, epidemiológica, sanitária e saúde do trabalhador, atenção básica, média e alta complexidade) incluindo: <ul style="list-style-type: none"> • Protocolos específicos para avaliação de saúde dos expostos e ações de vigilância à saúde; • Estruturação do sistema de informação para a vigilância dos expostos; • Monitoramento de indicadores biológicos de exposição, efeito e de vulnerabilidade social e econômica; • Formação e capacitação continuada dos profissionais de saúde e agentes comunitários para atender as especificidades das ações de atenção e vigilância à saúde dos expostos; • Educação, comunicação de risco e informação em saúde para a população exposta e profissionais dos órgãos envolvidos na tomada de decisões; • Fortalecer os mecanismos de controle social e participação comunitária como estabelecido no SUS; • Fomentar e executar estudos e pesquisas para fundamentar cientificamente as intervenções, tomada de decisão e gestão nos diversos campos de interesse da situação em foco; • Estabelecer mecanismos de gestão que permitam a reestruturação e fortalecimento do setor saúde para atender

<p>especificidades das ações de atenção e vigilância à saúde dos expostos;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Educação, comunicação de risco e informação em saúde para a população exposta e profissionais dos órgãos envolvidos na tomada de decisões; • Fortalecer os mecanismos de controle social e participação comunitária como estabelecido no SUS; • Fomentar e executar estudos e pesquisas para fundamentar cientificamente as intervenções, tomada de decisão e gestão nos diversos campos de interesse da situação em foco; • Estabelecer mecanismos de gestão que permitam a reestruturação e fortalecimento do setor saúde para atender às especificidades de atenção e vigilância à saúde da população exposta; • Fortalecer parcerias intra e intersetoriais para coordenação e implementação das ações de vigilância e atenção à saúde da população exposta; <p>Recomendações do setor saúde para ações de ambiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar parcerias visando medidas que interrompam as rotas de exposição, bem como o monitoramento das condições ambientais. • Monitorar a qualidade ambiental para subsidiar as ações de vigilância e atenção à saúde da população exposta; 	<p>às especificidades de atenção e vigilância à saúde da população exposta;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer parcerias intra e inter setoriais para coordenação, implementação das ações de vigilância e atenção à saúde da população exposta; <p>Recomendações do setor saúde para ações de ambiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mitigar ou eliminar as rotas de exposição; • Monitorar a qualidade ambiental para subsidiar as ações de vigilância e atenção à saúde da população exposta;
<p>Categoria C</p> <p>Esta categoria é utilizada para os locais que têm informação incompleta.</p>	<p>Categoria D</p> <p>Esta categoria é utilizada para os locais que não apresentam um risco para a saúde pública.</p>
<p>Critérios:</p> <p>- Dados disponíveis insuficientes para caracterizar a exposição; e</p> <p>- Não existem dados, ou são insuficientes, que indiquem que o local teve um impacto adverso sobre a saúde humana.</p>	<p>Critérios:</p> <p>- Não existem indícios ou dados que comprovem a exposição humana atual ou passada a meios contaminados; e</p> <p>- Não é provável que ocorram exposições futuras a meios contaminados; e</p> <p>- Não existem dados de efeitos de saúde específicos da comunidade que indiquem que o local teve um impacto adverso na saúde humana;</p>
<p>Recomendação de Ações:</p> <p>Identificar os dados ou informações necessárias para avaliar adequadamente os riscos à saúde pública originados do local, por meio de estudos e pesquisas de saúde e ambiente para complementar as informações como proposto na metodologia (vide etapas respectivas).</p>	<p>Recomendações de Ações:</p> <p>Realizar ações de educação, comunicação de risco e informação em saúde para a comunidade e profissionais dos órgãos envolvidos na tomada de decisões, tendo em vista que não está ocorrendo, não ocorreu no passado nem é provável que ocorra no futuro uma exposição humana que possa ser de interesse na saúde pública.</p>

Fonte: Brasil, 2010

CLASSIFICAÇÃO DA CATEGORIA DE PERIGO PARA A SAÚDE HUMANA NOS MUNICÍPIOS DE MARIANA E BARRA LONGA

Nota Introdutória

Processo de adoecimento da população e limitações do modelo de ARSH

O processo de adoecimento é particular de cada pessoa, sendo consequente a fatores de caráter coletivo como o meio ambiente, e o contexto social, econômico, histórico e cultural de uma dada sociedade. É também determinado por outros fatores de caráter individual, como o mapa genético de cada um, a carga genética que herdamos de nossos antepassados, o estado nutricional, de desenvolvimento e o grau de maturidade do nosso organismo. A junção destas duas ordens de fatores é que determina a relação entre saúde e doença em uma pessoa, e explica porque alguns adoecem e outros não, quando expostos às substâncias químicas, e porque podem ocorrer patologias diferentes em pessoas expostas ao mesmo composto.

Além disso, é importante lembrar que em muitos casos a população exposta tem baixa escolaridade, baixa renda, subemprego, condições precárias de saneamento, é acometida por múltiplas doenças infecciosas, subnutrição, doenças crônicas, entre outras. Nestas populações, a exposição a alguma substância química, ou múltiplas substâncias, se configura como um fator de risco adicional, agravando sua vulnerabilidade. Além disso, a resposta biológica nem sempre corresponde às descrições existentes na literatura.

Ao anterior, devemos acrescentar as limitações do modelo de avaliação de risco à saúde humana, principalmente em relação aos limites de referência; à identificação dos efeitos adversos ou da capacidade do agente químico produzir câncer e/ou efeitos sistêmicos; ao uso de estimativas ou dados substitutos quando faltam informações sobre a exposição, o local e os contaminantes; ao uso de parâmetros genéricos nos cálculos das doses de exposição, como os relativos ao peso corporal para a idade, taxas de inalação, ingestão de água e alimentos, duração da exposição, entre outros.

Existem incertezas geradas pela insuficiência dos dados, particularmente os relacionados com a exposição e os efeitos adversos. Fatores numéricos de segurança ou fatores de incerteza são utilizados para minimizar o efeito da variabilidade e a extrapolação de dados sobre efeitos em animais para efeitos em humanos. Portanto, os fatores de segurança são utilizados para responder questões não conhecidas, como as diferenças nas

respostas entre as espécies, bem como a variabilidade espacial, temporal e entre os indivíduos, e a sensibilidade potencial aumentada em determinados grupos da população, como crianças, por exemplo.

As conclusões e recomendações em relação ao perigo à saúde para as populações expostas podem parecer extremamente conservadoras, dependendo dos interesses dos diferentes grupos envolvidos no caso, porque podem superestimar o risco. Porém, deve-se considerar que essas populações estão expostas a um ou mais contaminantes, por várias vias, durante períodos distintos de tempo.

A exposição estabelecida através das rotas completas a substâncias lesivas à saúde humana pode determinar a manifestação de efeitos tóxicos de forma variável na população. O eixo norteador da ARSH é o estabelecimento da existência da exposição da população a substâncias tóxicas à saúde humana e podem constituir em um risco adicional de adoecimento.

A ARSH, em geral e especificamente este estudo, nem a presença de um processo de adoecimento, nem o estabelecimento de nexos de causalidade. Nos casos de exposição de longo prazo e baixas doses, como no presente Estudo, o efeito tóxico das substâncias (contaminantes de interesse) encontradas pode se manifestar de forma ampla, abrangendo desde processos de adoecimento específicos como manifestações alérgicas, como difusos, através do desencadeamento ou agravamento de processos mórbidos que apresentam etiologia multicausal.

CATEGORIA DE PERIGO PARA A SAÚDE HUMANA NOS MUNICÍPIOS DE MARIANA E BARRA LONGA**CRITÉRIOS DE CATEGORIZAÇÃO:**

- ❖ **Existiu, existe e poderá haver rotas de exposição completas a uma ou mais substâncias carcinogênicas ou com potencial carcinogênico por mecanismo genotóxico; e/ou**
 - ❖ **Existiu, existe e poderá haver rotas de exposição completas a uma ou mais substâncias com efeitos tóxicos sistêmicos em níveis acima dos valores de referência; e/ou**
1. No município de Mariana foram estabelecidos como contaminantes de interesse o cádmio, tendo como rota de exposição completa o solo superficial e a poeira domiciliar, e o chumbo, cobre e zinco com rota de exposição completa pela poeira domiciliar.
 2. No município de Barra Longa, foram estabelecidos como contaminantes de interesse o cádmio, tendo como rota de exposição completa o solo superficial e a poeira domiciliar; e o níquel, cobre e zinco com rota de exposição completa pela poeira domiciliar.
 3. O cádmio é considerado cancerígeno aos seres humanos (grupo 1) pela IARC (IARC, 1993) e provável carcinógeno humano pela EPA (grupo B1). O chumbo é classificado pela EPA como B2, provável carcinógeno humano, por via oral, e possível carcinógeno humano pela IARC (grupo 2B).
 4. O cálculo das doses de exposição resultou em estimativas de ingestão do contaminante de interesse cádmio, através de partículas oriundas do solo superficial e da poeira domiciliar contaminados, acima dos limites de risco mínimo à saúde para todas as faixas etárias em Barra Longa e para crianças até 11 anos em Mariana. As estimativas de exposição ao cádmio nas faixas etárias acima de 11 anos estudadas em Mariana estão subestimadas pela impossibilidade de calcular a dose de exposição a partir da inalação das partículas de poeira ou absorção dérmica das mesmas.
 5. O cálculo das doses de exposição resultou em estimativas de ingestão do contaminante de interesse cobre, através de partículas oriundas da poeira domiciliar contaminada, no limite de risco mínimo à saúde para exposição intermediária para crianças até 01 ano em Mariana. Assinalamos que o cenário de Mariana é de exposição crônica, que ocorre há mais de 3 anos e para o qual não existe limite de risco mínimo (MRL) ou dose de referência (RfD) estabelecidos.
 6. O cálculo das doses de exposição resultou em estimativas de ingestão do contaminante de interesse chumbo, através de partículas oriundas da poeira domiciliar contaminada, em Mariana. Não existem limite de risco mínimo (MRL) ou dose de referência (RfD) estabelecidos para exposição humana ao chumbo. A exposição ao chumbo, em particular na faixa etária menor de 5 anos, é considerada de risco para a saúde e desenvolvimento humano.
 7. Os estudos ambientais evidenciaram concentrações de níquel na poeira domiciliar em Barra Longa. O nível de risco mínimo (MRL) existente para o níquel é para exposição crônica por via inalatória

(0.00009 mg/m³). Não é possível calcular a dose de exposição a partir da inalação das partículas de poeira (valor em mg/kg e não em mg/m³).

❖ **Os dados de efeitos na saúde da comunidade específica indicam que o local teve um impacto adverso na saúde humana que requer uma rápida intervenção;**

1. Os relatos constantes no capítulo de preocupações da comunidade são relativos à ardência e irritação ocular, irritação cutânea com vermelhidão e coceira, e sintomas respiratórios (tosse, coriza, congestão nasal). Todos podendo ser potencialmente associados com inalação ou contato com poeiras contendo níquel.
2. As informações fotográficas constantes no relatório do estudo Pesquisa Avaliação de Saúde da População de Barra Longa afetada pelo Desastre de Mariana, Brasil (Instituto Saúde e Sustentabilidade e Greenpeace, 2017) indicam um quadro de eczema cutâneo; quadro clínico semelhante também foi observado pela equipe de ARSH da Ambios quando em campo entrevistando os moradores da zona rural de Barra Longa.
3. O estudo realizado pelo EPISUS (2016) aponta que o percentual de atendimentos por IVAS registrado em 6 meses de 2016 é 60% superior ao registrado em todo o ano de 2015. Esses atendimentos podem ter aumentado devido à presença de poeira proveniente da lama de rejeito da barragem que secou, influenciando no aumento da poluição atmosférica, e consequente risco para doenças respiratórias.
4. O estudo realizado pelo EPISUS (2018) identificou um aumento de 23% nos atendimentos no período de julho de 2016 a maio de 2018. O maior número de registros foi por Infecções de vias aéreas superiores (IVAS), 1.060 (14,2%).

Classificação da Categoria de perigo para a saúde humana nos Municípios de Mariana e Barra Longa

Em decorrência dos critérios acima enumerados, esta ARSH classifica as localidades estudadas de Mariana e Barra Longa como:

Local de Perigo Categoria A: Perigo urgente para a Saúde Pública.

Esta classificação considera que **existe um perigo para a saúde das populações expostas aos contaminantes definidos através da ingestão, inalação ou absorção dérmica das partículas de solo superficial e/ou da poeira domiciliar contaminadas.**

Esta exposição pode determinar a ocorrência de efeitos lesivos sobre a saúde das mesmas, imediatos ou de longo prazo, devendo ser objeto de recomendações de ações de saúde pertinentes para sua prevenção e assistência.

RECOMENDAÇÕES DE AÇÕES DE SAÚDE

Para os municípios de Mariana e Barra Longa recomenda-se:

1. Estruturação de um Programa de Atenção e Vigilância à Saúde inserido no âmbito do Sistema Único de Saúde e dos Programas de Atenção Básica e de Saúde da Família de cada município, abrangendo ações de promoção, prevenção, assistência e vigilância da saúde.

Para a estruturação deste Programa devem ser realizadas as seguintes ações:

1.1 Estruturação de equipes multidisciplinares de atenção à saúde, que devem ser parte integrante do SUS de cada município, cujo dimensionamento tanto numérico, quanto do perfil profissional, deve obedecer às necessidades de atenção à saúde dos grupos populacionais expostos.

1.2 Estabelecimento de uma rede hierárquica de atenção à saúde, composta por profissionais e serviços especializados e estruturados para a investigação, diagnóstico e tratamento destes agravos, assim como responsáveis pela orientação e supervisão das equipes de base deste Programa.

1.3 Organização, implantação e implementação de um sistema de informações em saúde com o objetivo de monitorar todos os eventos relacionados à saúde das populações expostas para identificação precoce e monitoramento dos agravos à saúde decorrentes da contaminação ambiental.

1.4 Estabelecimento de parcerias com instituições de pesquisa e ensino para:

- Elaborar um programa de educação continuada para as equipes de saúde deste Programa, com o objetivo de capacitar seus membros, de acordo com as especificidades de formação profissional, para a prevenção e identificação precoce da ocorrência dos agravos à saúde associados com a exposição aos contaminantes de interesse definidos.
- Realizar pesquisas em temas específicos para elucidação dos mecanismos de ação e efeitos à saúde dos contaminantes presentes, estudos genéticos e outros que contribuam para a melhoria da assistência à saúde destas populações e o aumento do conhecimento científico existente;
- Elaborar um programa de educação em saúde e comunicação de risco para a população a fim de que ela possa apropriar-se de conhecimentos para melhor conduzir-se, com autonomia, para a proteção e promoção de sua saúde.

O Programa de Assistência e Vigilância em Saúde acima mencionado deve ser o responsável pela realização e cumprimento das ações de saúde recomendadas abaixo.

2. Identificação e cadastramento de todos os moradores das zonas urbana e rural do município de Barra Longa, considerando a exposição disseminada nestas áreas aos contaminantes definidos, através da ingestão, inalação ou absorção dérmica das partículas de solo superficial e/ou da poeira domiciliar contaminadas.

3. Identificação e cadastramento de todos os moradores das localidades do município de Mariana, onde se constate exposição aos contaminantes definidos, através da ingestão, inalação ou absorção dérmica das partículas de solo superficial e/ou da poeira domiciliar contaminadas.

Para todos os moradores cadastrados em ambos os municípios deve ser realizado:

4. Elaboração do perfil sociodemográfico, de condições de vida e saúde e história de exposição incluindo informações sobre o local e distância da residência do leito do rio e o tempo de residência no local.

4.1. Este levantamento deve incluir: dados demográficos, escolaridade, renda pessoal e familiar, ocupação e história ocupacional, condições de saneamento e habitação da residência, padrão alimentar, cultivo de plantações e/ou criação de animais, presença de quintais, jardins, espaços de lazer.

4.2. No levantamento das condições de saúde devem ser incluídos o histórico pessoal e familiar de saúde, tanto atual como pregresso, de forma geral e específica para processos alérgicos, afecções renais, cardiovasculares e neurodegenerativos e ocorrência de câncer.

4.3. Especial atenção deve ser dada à história de vida das famílias e seus componentes, com identificação das trajetórias pessoais e familiares, hábitos culturais, de lazer, e interações sociais na comunidade.

5. Inclusão em um protocolo assistencial o qual deve prever:

5.1 Avaliação de saúde completa incluindo exames clínicos e laboratoriais e avaliação psicológica.

5.2 A avaliação clínica e laboratorial deve prever protocolos de investigação específica de possíveis agravos à saúde resultantes da exposição aos contaminantes de interesse identificados. Assim sendo, recomenda-se:

- Avaliação periódica da função renal com protocolos que incluam provas de avaliação da filtração glomerular, proteinúria de 24 horas, microalbuminúria e creatinina sanguínea. Outros exames, incluindo exames de imagem, a critério médico, com especial atenção para indivíduos que tenham uma história pessoal de patologias com repercussões lesivas sobre o sistema renal, e/ou história pessoal ou familiar de câncer de bexiga, rins ou próstata.
- Avaliação periódica da função pulmonar com protocolos que incluam exames de imagem. Outros exames a critério médico, com especial atenção para indivíduos fumantes e/ou que tenham uma história pessoal ou familiar de patologias pulmonares incluindo o câncer.
- Investigação de manifestações clínicas associados com quadros alérgicos, com especial para os de natureza cutânea e respiratória. É necessário a inclusão nas equipes de

atenção à saúde, ou de referência, de profissionais especializados nas áreas de Dermatologia, Alergologia, Otorrinolaringologia.

- Realização de provas funcionais e dosagens hormonais incluindo, porém não restrito a, provas funcionais hepáticas, estudo funcional da tireoide, estudo funcional do sistema imunitário, e provas metabólicas.

6. Análise laboratorial dos Indicadores biológicos de exposição e de efeito para os compostos determinados como contaminantes de interesse: chumbo, cádmio, níquel, cobre e zinco, nas matrizes biológicas padronizadas nacionalmente. É necessário que se estabeleçam laboratórios de referência que realizem estrito controle de qualidade de seus procedimentos.

7. Implantação e implementação de uma rede de prevenção e assistência aos processos de sofrimento psíquico e adoecimento mental, com suporte profissional e oferta de atividades de promoção da saúde

Para os grupos populacionais com especiais características de vulnerabilidade, recomenda-se:

8. Sensibilização e capacitação das Equipes de pré-natal para a atenção à gestação e parto com particular vigilância ao crescimento e desenvolvimento intrauterino, parto e período neonatal.

9. Para a faixa etária infantil, desde o nascimento, deve ser previsto a avaliação e monitoramento do desenvolvimento neuromotor, cognitivo e psicológico. Implantação de uma rede para o desenvolvimento de atividades de promoção da saúde e de estímulo ao desenvolvimento infantil.

10. Deve ser estabelecido um padrão de periodicidade para o monitoramento clínico dos grupos populacionais expostos, assim como para o biomonitoramento da exposição aos contaminantes listados. Recomenda-se que o monitoramento clínico-laboratorial deva ser realizado pelo período mínimo de 10 anos.

RECOMENDAÇÕES DE AÇÕES AMBIENTAIS

A complexidade da dinâmica ambiental determinada por interações locais e temporais de diversos mecanismos de transporte, condicionando a mobilização e biodisponibilização dos contaminantes nos diversos compartimentos ambientais, exige ações que visem a eliminação ou mitigação dos riscos à saúde humana, além de ações de monitoramento e de estudos adicionais. As medidas de controle e monitoramento de ações ambientais devem ser realizadas, assim para os municípios de Mariana e Barra Longa recomenda-se:

1- **A Higienização das residências nas localidades atingidas pela lama de rejeitos, em relação à poeira contaminada. Justificativa:**

A poeira domiciliar foi determinada como uma rota de exposição completa pelos metais cádmio, chumbo, cobre, zinco e níquel

2- **Monitoramento do solo superficial nas áreas de ocorrência da deposição da lama de rejeito e nas suas proximidades. Justificativa:**

Os resultados da amostragem ambiental realizada pela equipe de ARSH da Ambios demonstraram a contaminação do solo superficial por **cádmio**. Os contaminantes metálicos presentes no solo não indicam possibilidade de contaminação de frutas e outros vegetais que não tenham contato direto com o solo. Aparentemente, a difusão dos contaminantes metálicos a partir do solo pelo sistema radicular não é eficiente o suficiente para atingir os frutos.

Da mesma forma, como já observado em estudos anteriores sobre contaminação do solo por metais pesados, não se observa a contaminação do leite de vaca nem dos ovos de galinha, mesmo considerando que esses animais se alimentem da grama (vacas) ou estejam em contato direto com o solo superficial (galinhas) nas áreas de deposição da lama de rejeito. Possivelmente por não se apresentar em forma biodisponível, devido a outros condicionantes ambientais locais momentâneos, ou processos metabólicos próprios desses animais, não ocorreu a contaminação desses alimentos.

Os resultados analíticos sobre a **contaminação de vegetais** de contato direto com o “novo solo” formado pela deposição de lama de rejeito nas margens e áreas de várzeas da

bacia do Rio Doce, como os **tubérculos**, amplamente avaliados durante esta ARSH, não assinalaram contaminação. Isto se deve, possivelmente, às formas químicas como os contaminantes metálicos se apresentam atualmente nessas áreas, ou seja, não biodisponíveis.

No entanto, em função da intensa adubação nestes solos, promovida pela Fundação Renova, visando uma cobertura vegetal como medida remediadora para conter a geração de poeira e sustentação radicular para evitar a erosão e arraste do solo superficial para a drenagem, a iminência da formação de camadas húmicas e intensificação da atividade microbiana podem modificar os mecanismos de transporte, resultando na biodisponibilização dos contaminantes e sua absorção pelo sistema radicular dos vegetais soterrados, principalmente dos tubérculos.

Por esta razão, a equipe de ARSH assinalou uma rota de exposição humana potencial futura pelo consumo desses vegetais cultivados no “novo solo”.

Pelo exposto, a equipe de ARSH da Ambios recomenda o monitoramento do solo superficial nas áreas de ocorrência de deposição da lama de rejeito e nas suas proximidades. Nestas últimas, em função do arraste e deposição do solo contaminado pela poeira, pode ocorrer também a contaminação de cultivos de verduras foliares.

Sugere-se a realização pesquisas acadêmicas em que tratem sobre a dinâmica de mobilização e biodisponibilização de metais em tais solos.

3- Remoção e disponibilização adequada da lama de rejeitos das áreas atingidas.

Justificativa:

A imensa área nas margens e várzeas da bacia do Rio Doce coberta pela deposição da lama de rejeito, caso já dimensionada, não é do nosso conhecimento. Acredita-se ser esta uma informação relevante, principalmente quanto à emissão continuada dos contaminantes bem como para determinar com maior precisão as rotas de exposição futuras ao longo de toda a bacia.

4- Na impossibilidade de parcial ou total remoção da lama de rejeitos, recomendam-se medidas de remediação ou mitigação

Justificativa: para evitar a geração de poeira e de sustentação mecânica desses solos, bem como evitar sua dispersão e/ou arraste pelas chuvas para as drenagens.

4.1. Recomenda-se também o monitoramento de tais ações no solo contaminado visando avaliar sua eficácia e possíveis efeitos negativos como, por exemplo, a

biodisponibilização dos contaminantes por alterações físico-químicas ou pela atividade microbiana.

A realização de estudos acadêmicos sobre melhoria nessas atividades remediadoras como, por exemplo, sobre a remediação fitoquímica com espécimes vegetais (que possibilitem a fixação e remoção dos metais pesados), poderiam ser temas de pesquisas adicionais.

5- Monitoramento permanente das águas para consumo humano em todas as formas de captação. Justificativa:

Nas amostras de água superficial, afora os parâmetros ferro, manganês, fora do padrão de potabilidade, não foram detectadas concentrações de metais pesados acima das normas de potabilidade. No entanto, essas características das águas do Rio Doce e seus afluentes atingidos pelos efeitos da lama de rejeito impedem sua utilização nos usos previstos para potabilidade, inclusive os de balneabilidade.

Apesar de não haverem sido detectados contaminantes de interesse nas águas para consumo humano, com exceção do ferro e manganês, descartados para maiores avaliações de implicações à saúde pública, a equipe de ARSH da Ambios considera, em função das fontes de emissão de contaminantes existentes (solo e sedimentos), a possibilidade de contaminação futura das fontes de captação. Assim, a água para consumo humano foi classificada como uma **rota potencial futura**.

6- Realização de criterioso estudo sobre a contaminação dos organismos aquáticos comestíveis pelos metais.

A contaminação dos sedimentos das drenagens atingidas pela lama de rejeitos, formando rotas potenciais futuras de contaminação, determina a necessidade de um monitoramento da qualidade desses organismos aquáticos para consumo humano.

Em função da contaminação já detectada dos sedimentos por **cádmio**, considerando também a possibilidade da remobilização e biodisponibilização futura de outros metais pesados por possíveis mecanismos de transporte, incluindo a participação crescente da atividade microbiana, e, com a revitalização dos ambientes aquáticos mais atingidos onde a vida aquática foi dizimada, do ressurgimento dos organismos aquáticos comestíveis, inclusive dos peixes, a equipe de ARSH da Ambios classifica os sedimentos como uma **rota completa futura**.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referências Bibliográficas

- ACQUA. **Consultoria e Recuperação de Ambientes Aquáticos Ltda. Avaliação de elementos químicos em peixes na área de influência do acidente com o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, Mariana, Mg. Trecho do Rio Doce – ES.** Belo Horizonte, fevereiro, p 28. 2016.
- ALBERICI, T.M. *et al.* **Trace metals in soil vegetation and voles from mine land treated with sewage sludge.** J Environ Qual v. 18, n. 1, p. 115-120, 1989.
- ALLEONI, L.R.F.; BORBA, R.P.; & CAMARGO, O. A. de. **Metais pesados: da cosmogênese aos solos brasileiros.** Top. Ciên Solo, v. 4, p. 1-42, 2005.
- ALLOWAY, B.J.; JACKSON, A.P.; MORGAN H. **The accumulation of cadmium by vegetables grown on soils contaminated from a variety of sources.** Sci Total Environ v. 91, p. 223-236, 1990.
- AMBILEV. Oceonografia e Hidrografia. **Relatório Técnico: Monitoramento Hidrográfico na Plataforma Adjacente à Foz do Rio Doce, nas Proximidades de Regência, ES.** RT AMB 075/15, revisão 00, p 70, 2015.
- AMPLO. **Relatório de impacto ambiental – RIMA – EIA Integrado do Complexo Germano, SAMARCO.** AMPLO ENGENHARIA E GESTÃO DE PROJETOS LTDA. 150 p. Disponível em: <<https://www.samarco.com/wp-content/uploads/2017/11/rima-samarco-2017.pdf>>. 2017.
- ANA. Agência Nacional de Águas. SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO DE RECURSOS HIDRICOS - **Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce Rompimento da Barragem em Mariana/MG,** 2016. 49 p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf>.
- ANDRADE, L. C. R. **Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil.** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2014.
- ANKLEY, G.T. *et al.* 1991. **Acid-volatile sulfide as a factor mediating cadmium and nickel bioavailability in contaminated sediments.** Env Tox and Chem An Intern Journal v. 10, n. 10, p. 1299-1307, 1991.
- APLYSIA. **Monitoramento da qualidade do efluente da celulose S.A. Atraves do uso de mexilhões como indicadores de metais pesados e organoclorados – Condicionante N° 45 da LO - GCA/No 172/2007 (Relatorio Tecnico, Parada Geral da Fabrica A),** 2011.
- APLYSIA. Soluções Ambientais. Relatório Técnico: **Análise de bioacumulação de metais em tecido de moluscos - nº 274/2017 – revisão 00,** p 12, 2017.
- APLYSIA. Soluções Ambientais. Relatório Técnico: **Monitoramento ambiental dos efeitos da pluma de turbidez sobre o ecossistema de praia (REBIO COMBOIOS).** nº 1763/2016 – revisão 01, 3ª CAMPANHA p 113, 2016.
- ASTER. **Ecotoxicity profile.** (Assessment Tools for the Evaluation of Risk) Duluth, MN: Environmental Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency. 1994.
- ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **Public Health Assessment Guidance Manual.** Lewis Publishers. Boca Raton – Ann Arbor – London – Tokyo. 220, 1992.
- ATSDR. **Minimal Risk Levels (MRLs) for Hazardous Substances, 2018.** Acesso em fev 2019. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/mrls/mrllist.asp>>.

ATSDR. **Public Health Assessment Guidance Manual (2005 Update)**. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Acesso em fev 2019. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/hac/phamanual/toc.html>> 2005b.

ATSDR. **Public Health Assessment Guidance Manual (2005 Update)**. *Appendix F: Derivation of Comparison Values*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Acesso em fev 2019. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/hac/phamanual/appf.html>> 2005a.

ATSDR. **Public Health Assessment Guidance Manual (2005 Update)**. *Appendix G: Calculating Exposure Doses*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Acesso em fev 2019. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/HAC/phamanual/appg.html>> 2005c.

ATSDR. **Toxic Substances Portal – Cadmium, Updated 2012**. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Acesso em fev 2019. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=48&tid=15>>.

ATSDR. **Toxic Substances Portal - Copper. Updated 2004**. – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Acesso em fev 2019. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=206&tid=37>>.

ATSDR. **Toxic Substances Portal - Lead. Updated 2007**. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Acesso em fev 2019. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=22>>.

ATSDR. **Toxic Substances Portal - Nickel. Updated 2005**. – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Acesso em fev 2019. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=44>> 2005d.

ATSDR. **Toxic Substances Portal - Zinc. Updated 2005**. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Acesso em fev 2019. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=54>> 2005e.

ATSDR. **Toxicological Profiles**. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Acesso em fev 2019. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiledocs/index.html>>.

BARCELOUX, D.G. **Nickel**. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, v. 37, n. 2, p. 239-258, 1999.

BERMOND, A.; BOURGEOIS, S. **Influence of soluble organic matter on cadmium mobility in model compounds and in soils**. *Analyst*, v. 117, n. 3, p. 685-687, 1992.

BEYER, W. N.; HENSLER, G. L.; MOORE, J. **Relation of pH and other soil variables to concentrations of Pb, Cu, Zn, Cd, and Se in earthworms**. *Pedobiologia*, v. 30, p. 167-172, 1987.

BEYER, W.N. 1986. **A reexamination of biomagnification of metals in terrestrial food chains**. *Environ Toxicol Chem An Intern Journal* v. 5, n. 10, p. 863-864, 1986.

BIDDINGER, G. R.; GLOSS, S. P. **The importance of trophic transfer in the bioaccumulation of chemical contaminants in aquatic ecosystems**. *Residue Reviews*. Springer, New York, NY, 1984. p. 103-145.

BIRGE, W. J.; BLACK, J. A. **Aquatic toxicology of nickel**. *Nickel in the Environment*. New York: J. Wiley and Sons, p. 349-366, 1980.

- BORTOLON, P.; **A Samarco e o Desastre de Mariana (MG): um Estudo em Representações Sociais a Partir da Perspectiva dos Ex-funcionários da Samarco**, 2018. 145f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Jurídicas e Econômicas, Espírito Santo, 2018.
- BOSTICK, B. C. *et al.* **Seasonal fluctuations in zinc speciation within a contaminated wetland**. *Env sci & tech*, v. 35, n. 19, p. 3823-3829, 2001.
- BOWMAN, R. S.; ESSINGTON, M. E.; O'CONNOR, G. A. **Soil Sorption of Nickel: Influence of Solution Composition 1**. *Soil Science Society of America Journal*, v. 45, n. 5, p. 860-865, 1981.
- BRADLEY, R. W.; MORRIS, J. R. **Heavy metals in fish from a series of metal-contaminated lakes near Sudbury, Ontario**. *Water, Air, and Soil Pol*, v. 27, n. 3-4, p. 341-354, 1986.
- BRADLEY, S. B. **Long-term dispersal of metals in mineralized catchments by fluvial processes**. In: I. Foster, A. Gurnell, B. Webb (eds.): *Sediment and Water Quality in River Catchments*; Chichester: 161-177. 1995.
- BRASIL, Ministério do Planejamento e Orçamento Secretaria Especial de Políticas Regionais Departamento de Defesa Civil. **Glossário de defesa civil: estudos de riscos e medicina de desastres**. Brasília, 1998. Disponível em: <<http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa%20Civil/manuais/GLOSSARIODicionario-Defesa-Civil.pdf>> Acesso em 03 set 2018.
- BRASIL, Ministério do Trabalho e Previdência Social Superintendencia Regional do Trabalho e emprego em MG - Seção de Segurança e Saúde no Trabalho - **Relatório de análise de acidente rompimento da barragem de rejeitos fundão em mariana – MG**. 2016
- BRASIL, Portaria de Consolidação N. 5, do Ministério da Saúde. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde**, Brasília, 2017. Disponível em: <<http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/29/PRC-5-Portaria-de-Consolida----o-n---5--de-28-de-setembro-de-2017.pdf>> acesso em novembro de 2018.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. ANVISA - RDC Nº 42. **Regulamento Técnico MERCOSUL sobre Limites Máximos de Contaminantes Inorgânicos em Alimentos**. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/rdc0042_29_08_2013.pdf/c5a17d2d-a415-4330-90db-66b3f35d9fbd>, 2013.
- BRASIL. **Boletim Epidemiológico. Emergência epidemiológica de febre amarela no Brasil, no período de dezembro de 2016 a julho de 2017**. Ministério da Saúde (BR). Secretaria de Vigilância em Saúde. Volume 48 Nº 28 – 2017.
- BRASIL. **Diretrizes para elaboração de estudo de avaliação de risco à saúde humana por exposição a contaminantes químicos**. Brasília: DF. p 82. Disponível em: <<http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2015/janeiro/06/Avaliacao-de-Risco---Diretrizes-MS.pdf>>. 2010.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Análise de Situação de Saúde. Coordenação Geral de Informações e Análise Epidemiológica. **Sistema de Informação sobre Mortalidade, SIM**. Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0205&id=6937&VObj=http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?sim/cnv/obt10>, Departamento de Informática do SUS. DATASUS. Acesso em 24 ago. 2018a.

- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Sistema de Informação de Agravos de Notificação, SINAN.** Disponível em: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0203&id=29878153>, Departamento de Informática do SUS. DATASUS. Acesso em 24 ago. 2018b.
- BRASIL. Resolução nº 420, de 28 de Dezembro. **Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.** Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), Brasília, 2009. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>, acesso em novembro de 2018.
- BRASIL. Resolução nº 454, de 1º de novembro. **Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.** Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), Brasília, 2012. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693> acesso em novembro de 2018.
- BRESLIN, V. T. **Retention of metals in agricultural soils after amending with MSW and MSW-biosolids compost.** Water, air, and soil pollution, v. 109, n. 1-4, p. 163-178, 1999.
- BRUCE, B. W.; MCMAHON, P. B. **Shallow ground-water quality beneath a major urban center: Denver, Colorado, USA.** Journal of Hydrology, v. 186, n. 1-4, p. 129-151, 1996.
- BURKE, B.E.; PFISTER, R.M. **The removal of cadmium from lake water by lake sediment bacteria.** In: Proceedings of the Annual Meeting of the American Society for Microbiology, Miami Beach, Florida, USA, May 8-13, 1988.
- CALLAHAN, M.A. *et al.* **Water-related environmental fate of 129 priority pollutants.** Office of Water Planning and Standards, Office of Water and Waste Management, US Environmental Protection Agency, 1979.
- CAMARA V.M. *et al.* **The generation and buildup of contaminants. Threats to health in the short- and long- term.** In: Environmental and Social Determinants of Health. Galvão, Finkelman, Henao (eds). Pan American Health Organization (Ed). Washington, DC: PAHO, 2016.
- CAMARGOS, V.L. **Florística e estrutura da vegetação arbórea e suas relações com a drenagem e os fatores edáficos num trecho da floresta estacional semidecídua no entorno da lagoa carioca – Parque Estadual do Rio Doce – MG.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Pós-Graduação em Ciência Florestal. 2004.
- CAREGNATO, R. C. A. & MUTTI, R. **Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo.** 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/tce/v15n4/v15n4a17> . Acesso em: 06 de outubro de 2018.
- CAVALCANTE, K.R.L.J.; TAUIL, P.L. Risco de reintrodução da febre amarela urbana no Brasil. Epidemiol. Serv. Saúde [online], vol.26, n.3, pp.617-620, 2017.
- CAVALCANTI, A. D. **Monitoramento da Contaminação por Elementos Traco em Ostras Comercializadas em Recife, Pernambuco, Brasil.** Cadernos de Saude Publica, Rio de Janeiro, v. 19, n. 5, p. 1545-1551, 2003.

- CEPA. **Priority substances list assessment report: Nickel and its compounds.** Canadian Environmental Protection Act. Government of Canada, Environment Canada, Health Canada, p. 1-82, 1994.
- CHAN, W.H. *et al.* **Concentration and deposition of trace metals in Ontario - 1982.** Water Air Soil Pollut v. 29, p. 373-389, 1986.
- CHLOPECKA, A. *et al.* **Heavy metals in the environment.** J. Environ. Qual, v. 25, p. 69-79, 1996.
- CLEMENT. **Chemical, physical, and biological properties of compounds present at hazardous waste sites.** Final Report to the Office of Waste Programs Enforcement, Office of Solid Waste and Emergency Response, Environmental Protection Agency, Washington, DC, by Clement Associates, Arlington, VA. 1985.
- CNES. **CADASTRO NACIONAL DE ESTABELECIMENTOS DE SAÚDE.** 2018. Disponível em: <http://cnes2.datasus.gov.br> , acesso em 25/11/2018.
- COSTA, A.T. **Geoquímica das águas e dos sedimentos da Bacia do Rio Gualaxo do Norte, leste-sudeste do Quadrilátero Ferrífero (MG): Estudo de uma área afetada por atividade de extração mineral [manuscrito].** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 146p. 2001.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Levantamentos geológicos básicos do Brasil, Mariana – Folha SF.23-XB-1.** Estado de Minas Gerais. Escala 1:100.000. Org. por Orivaldo Ferreira Baltazar e Frederico Ozanam Raposo. Brasília, DNPM/CPRM. 196p. 1993.
- CRISANTO HERRERO, T.; LORENZO MARTIN, L. F. **Evaluation of cadmium levels in fertilized soils.** Bull Environ Contam Toxicol, v. 50, n. 1, p. 61-68, 1993.
- DAVIS, R. D. *et al.* **Distribution of metals in grassland soils following surface applications of sewage sludge.** Env Pol, v. 49, n. 2, p. 99-115, 1988.
- DE SOUZA, L. A.; SOBREIRA, F. G.; DO PRADO FILHO, J. F. **Cartografia e diagnóstico geoambiental aplicados ao ordenamento territorial do município de Mariana–MG.** Revista Brasileira de Cartografia, v. 3, n. 57, 2005.
- DEBUSK, T. A.; LAUGHLIN JR, R. B.; SCHWARTZ, L. N. **Retention and compartmentalization of lead and cadmium in wetland microcosms.** Water research, v. 30, n. 11, p. 2707-2716, 1996.
- DELAUNE, R. D.; SMITH, C. J. **Release of Nutrients and Metals Following Oxidation of Freshwater and Saline Sediment 1.** Jour of Enval Qual, v. 14, n. 2, p. 164-168, 1985.
- DEMIRJIAN, Y. A. *et al.* **Land treatment of contaminated sludge with wastewater irrigation.** Journal (Water Pol Cont Fed), p. 370-377, 1984.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISA MINERAL – DNPM. Portaria DNPM n. 416 de 03 de setembro. **Cria o Cadastro Nacional de 86 Barragens de Mineração e dispõe sobre o Plano de Segurança, entre outros,** 2012.
- DIKS, D. M.; ALLEN, H. E. **Correlation of copper distribution in a freshwater-sediment system to bioavailability.** Bull Environ Contam Toxicol, v. 30, n. 1, p. 37-43, 1983.
- DOLAN, D. M. *et al.* **Lake Huron, 1980: Intensive survey summary report.** Windsor, Ontario, Canada: Surveillance Work Group, 1986.

- DOMERGUE, F. L.; VEDY, J. C. **Mobility of heavy metals in soil profiles**. Int J Environ Anal Chem, v. 46, n. 1-3, p. 13-23, 1992.
- DORN, C. R. *et al.* **Airborne Pb, Cd, Zn and Cu concentration by particle size near a Pb smelter**. Atmos Environ, v. 10, n. 6, p. 443-446, 1976.
- DOWNS, S. G.; MACLOED, C. L.; LESTER, J. N. **Mercury in precipitation and its bioaccumulation in fish: a literature review**. Water Air Soil Pollut. 108, 149–187. 1998.
- DRESSLER, R. L. *et al.* **Heavy Metals in Cottontail Rabbits on Mined Lands Treated with Sewage Sludge 1**. J Environ Qual, v. 15, n. 3, p. 278-281, 1986.
- DUDKA, S.; CHLOPECKA, A. **Effect of solid-phase speciation on metal mobility and phytoavailability in sludge-amended soil**. Water Air Soil Pollut, v. 51, n. 1-2, p. 153-160, 1990.
- ECONSERVATION. **Análise Integrada dos Contornos do Deslocamento das Plumas de Turbidez no Meio Marinho**. RT ECV 138-17, revisão 00, p 115. Junho, 2017a.
- ECONSERVATION. **Levantamentos de Dados de Turbidez, Fitoplâncton e Qualidade de Água entre Abrolhos e Vitória**. RT ECV 073-16, revisão 00, p 98. abril, 2016b.
- ECONSERVATION. **Relatório Técnico: Monitoramento de Bioacumulação (Ictiofauna, Carcinofauna e Malacofauna) por metais, na Região Marinha Adjacente a Foz do Rio Doce e sob Possível Influência da Lama de Rejeitos Oriunda do Rompimento da Barragem de Fundão**. RT ECV 065/16, revisão 00, abril, p 54, 2016a.
- ECONSERVATION. **Relatório Técnico: Remoção, Identificação, Contabilidade e Destinação de Peixes do Rio Doce**. RT ECV 060-17, revisão 01, p 25. Abril, 2017b.
- ECOPLAN – LUME. **Plano de ação de recursos hídricos da unidade de planejamento e gestão DO1 PARH Piranga**. p116, maio, 2010.
- EISLER, R. **Cadmium hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review**. Fish and Wildlife Service, Biological Report, 85(1.2), p. 46, 1985.
- ELINDER, C. G. **Cadmium as an environmental hazard**. IARC scientific publications, n. 118, p. 123-132, 1992.
- ELINDER, C.G. **Cadmium: uses, occurrence and intake**. In: FRIBERG L, ELINDER CG, Kjellstrom T, *et al.* (eds.), Cadmium and health: A toxicological and epidemiological appraisal., v. 1, p. 23-64, 1985.
- ELLIOTT, H. A.; LIBERATI, M. R.; HUANG, C. P. **Competitive Adsorption of Heavy Metals by Soils 1**. J Environ Qual, v. 15, n. 3, p. 214-219, 1986.
- EM. **Desastre na Barragem de Fundão afunda Mariana no atoleiro do desemprego**. Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2016/11/03/interna_gerais,820492/desastre-na-barragem-de-fundao-deixa-mariana-no-atoleiro-do-desemprego.shtml>. 2018.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Embrapa Florestas. Clima: Os tipos climáticos segundo Koeppen**. Disponível em: <<https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>> Acesso em 22 ago. 2018.

- EMBRAPA. **O uso do sulfato de cobre em ecossistemas aquáticos: fatores que afetam sua toxicidade em peixes de água doce** / Fernanda Garcia Sampaio, Cheila de Lima Boijink, Francisco Tadeu Rantin. – Jaguariuna, SP : Embrapa Meio Ambiente, 101 p. — (Documentos / Embrapa Meio Ambiente; 91), 2013.
- EPA_ United States Environmental Protection Agency. Assessing Dermal Exposure from Soil. Region 3 Technical Guidance Manual, Risk Assessment. Acesso em fev 2019. Disponível em: <https://www.epa.gov/risk/assessing-dermal-exposure-soil>.
- EPA _ United States Environmental Protection Agency. **Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment)**. Final. Acesso em fev 2019. Disponível em: <<https://www.epa.gov/risk/risk-assessment-guidance-superfund-volume-i-human-health-evaluation-manual-supplemental>>.
- EPA. **1996 modeled ambient concentration for nickel compounds**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency
- EPA. **Air quality criteria for lead**. Research Triangle Park, NC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Office of Health and Environmental Assessment, Environmental Criteria and Assessment Office. EPA 600/8-83-028F.
- EPA. **Air quality data for metals 1977 through 1979 from the National Air Surveillance Networks**. Research Triangle Park, NC: U.S. Environmental Protection Agency. 1984. EPA-600/S-483053.
- EPA. **Ambient water quality criteria for zinc**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards. 1987. EPA440/5-87-003.
- EPA. **An exposure and risk assessment for lead**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards, Monitoring and Data Support Division. 1982. EPA 440/4-85/010.
- EPA. **Cadmium contamination of the environment: An assessment of nationwide risk**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards. 1985a. EPA-440/4-85-023.
- EPA. **Exposure and risk assessment for zinc**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards (WH-553). 1980. EPA-440/4-81-016.
- EPA. **Prioritized Chronic Dose-Response Values for Screening Risk Assessments**. United States Environmental Protection Agency. Acesso em fev 2019. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-05/documents/table1.pdf>> 2018.
- EPA. **Risk Assessment for Carcinogenic Effects**. United States Environmental Protection Agency. Acesso em fev 2019. Disponível em: <<https://www.epa.gov/fera/risk-assessment-carcinogenic-effects>> 2019a.
- EPA. **Treatability manual. Volume 1: Treatability data**. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. 1983b. EPA-600/2-82001a.

- EPA. **Water-related environmental fate of 129 priority pollutants. Volume 1: Introduction and technical background, metals and inorganic pesticides and PCBs.** 1979. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency. EPA-440/4-79-029a, 13-1 - 43-19.
- EPISUS, 2018. **Dois anos pós-desastre da barragem do Fundão: perfil epidemiológico e toxicológico da população de Barra Longa, MG, 2018.** Relatório Final. Secretaria de Vigilância em Saúde/MS. Documento restrito.
- EPISUS. **Estudo sobre o Perfil Epidemiológico da População de Barra Longa – MG, Pós-Desastre, 2016.** Relatório Final. Secretaria de Vigilância em Saúde/MS. Documento restrito.
- EVANS, L. J. **Chemistry of metal retention by soils.** Environmental Science & Technology, v. 23, n. 9, p. 1046-1056, 1989.
- EXAME. **Tragédia de Mariana ainda afeta economia da cidade.** Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/economia/tragedia-de-mariana-ainda-afeta-economia-da-cidade/>>. 2017.
- FAO & WHO. **CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION.** Disponível em:<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-735-10%252FWD%252Fcf10_INF1e.pdf> acesso em novembro de 2018.
- FAO/WHO, Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization. 2006. **Working document for information and use in discussions on the GSCTF (CX/FAC 06/38/18).** Joint FAO WHO food standards programme, codex committee on food additives and contaminants, 38th Session, The Hague, the Netherlands, 24 - 28 April 2006.
- FAURG. Fundação de apoio à Universidade do Rio Grande. Relatório Técnico-Científico. **Análise de Contaminantes (metais).** etapa 1, p 63, contrato 105, 2016a.
- FAURG. Fundação de apoio à Universidade do Rio Grande. Relatório Técnico-Científico. **Análise de comparativa sobre os resultados entre as expedições soloncy moura I e II e as amostras coletadas antes do evento.** etapa 5, p 16, contrato 105, 2016b.
- FAUSTMAN E.M.; OMENN G.S. **Risk Assessment.** In: Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons. Klaassen C. Mc Graw-Hill, San Francisco: USA, 6a Ed, p. 83-104, 2001.
- FAWELL, J.K.; OHANIAN, E.; GIDDINGS, M.; TOFT, P.; MAGARA, Y.; JACKSON, P. **Cadmium in Drinkingwater. Environmental Healthy Criteria** 134, Geneva, 1992.
- FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Inventário estadual de barragens do estado de Minas Gerais.** Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte: FEAM, 2012.
- FEIJTEL, T. C.; DELAUNE, R. D.; PATRICK, W. H. **Biogeochemical control on metal distribution and accumulation in Louisiana sediments.** J Environ Qual, v. 17, n. 1, p. 88-94, 1988.
- FISHBEIN, L. **Sources, transport and alterations of metal compounds: an overview. I. Arsenic, beryllium, cadmium, chromium, and nickel.** Environ Health Perspect, v. 40, p. 43-64, 1981.
- FLORENCE, T. Mark. **Speciation of Zinc in Natural Waters.** : John Wiley and Sons, p. 199-227, 1980.
- FORSTNER, U. & MÜLLER, G. **Schwermetalle in Flüssen und Seen als Ausdruck der**

- Umweltverschmutzung.** Springer-Verlag. New York. 1974.
- FORSTNER, U. & PATCHINEELAM, S.R. **Bindung und Remobilisierung von Schwermetallen in fluviatilen Sedimenten.** Chemikerzeitung . n° 100, 49-57 p. 1976.
- FORSTNER, U. & WITTMANN, G.T. **Metal pollution in aquatic environment.** Berlin, Springer-Verlag. 1983.
- FREITAS, C. M.; SILVA, M. A.; MENEZES, F. C. **O desastre na barragem de mineração da Samarco: fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres.** Cienc. Cult. [online]. 2016, vol.68, n.3, p. 25-30.
- FUHRER, G.J. **Extractable cadmium, mercury, copper, lead, and zinc in the lower Columbia River Estuary, Oregon and Washington.** US Geo Sur Water Res Inv Rep, v. 86, p. 4088, 1986.
- FUNDAÇÃO COPPETEC. (2016). **Avaliação dos impactos da ruptura da barragem de rejeitos de fundão em mariana nove meses após o desastre.** Disponível em:<<http://www.lima.coppe.ufrj.br/images/documentos/projetos/relatorio-vale/1-Cap1COPPE.20275.Cap1.Infraestrutura.Relat%C3%B3rio.Final.04.01.2017.pdf>>, 2016.
- FURNESS, R. W.; RAINBOW, P. S. **Heavy Metals in the Marine Environment.** Boca Raton; Boston: CRC Press, 256 p, 1990.
- GAMBRELL, R. P. **Trace and toxic metals in wetlands—a review.** J Env Qual, v. 23, n. 5, p. 883-891, 1994.
- GAO, S.; WALKER, W.J.; DAHLGREN, R.A. **Simultaneous sorption of Cd, Cu, Ni, Zn, Pb, and Cr on soils treated with sewage sludge supernatant.** Water, air, and soil pollution, v. 93, n. 1-4, p. 331-345, 1997.
- GARCIA, E.; CARIGNAN, R. **Mercury concentration in northern pike (Esox lucius) from boreal lakes with logged, burned, or undisturbed catchments.** Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57 (2), 129–135, 2000
- GERRITSE, R. G.; VAN DRIEL, W. **The relationship between adsorption of trace metals, organic matter, and pH in temperate soils 1.** Journal of Environmental Quality, v. 13, n. 2, p. 197-204, 1984.
- GETZ, L. L. *et al.* **Transport and distribution in a watershed ecosystem. Lead in the Environment.** In: *Bogess WR, ed. Lead in the environment*, Chapter 6. 1977.
- GIUSQUIANI, P. L.; GIGLIOTTI, G.; BUSINELLI, D. **Mobility of heavy metals in urban waste-amended soils.** J Environ Qual, v. 21, n. 3, p. 330-335, 1992.
- GIUSTI, L. *et al.* **The solubility and partitioning of atmospherically derived trace metals in artificial and natural waters: a review.** Atmospheric Environment. Part A. General Topics, v. 27, n. 10, p. 1567-1578, 1993.
- GOCHFELD, M.; BURGER, J. **Biological concentration of cadmium in estuarine birds of the New York Bight.** Colonial Waterbirds, p. 116-123, 1982.
- GOLDER. Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. **Concentrações de arsênio, zinco e selênio na costa próximas à foz do rio Doce.** p 17, maio/2016b.

- GOLDER. Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. **Relatório Técnico: Qualidade da Água e do Sedimento na Zona Costeira Próxima à Foz do Rio Doce e na APA Costa das Algas. Atualização de Maio/2017a.**
- GOLDER. Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. **Relatório Técnico: Rompimento da barragem de rejeitos de fundão: Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos. Atualização de Outubro/2017b.**
- GOLDER. Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. **Relatório Técnico: Qualidade da água, qualidade do sedimento, e resultados dos testes de ecotoxicologia no rio Doce, referente aos dados reportados até 2016. Janeiro/2016a.**
- GOLDER. Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. **Relatório Técnico: Avaliação dos resultados de qualidade de água e sedimento do Rio Doce. Atualização de Julho/2017c.**
- GOLDER. Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. **Relatório Técnico: Qualidade de água e do sedimento na zona costeira próxima à foz do rio Doce e na APA Costa das Algas.** p 216, julho/2016a.
- GOLDER. Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. **Relatório Técnico: Atualização da qualidade da água e sedimento na zona costeira após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão.** Maio, 2016d.
- GOLDER. Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda. **Resumo sobre qualidade da água e sedimentos relativos aos limites das Resoluções CONAMA na zona costeira após rompimento da barragem de rejeitos de Fundão.** Julho 2016c.
- GOLDER. **Programa de Caracterização Geoquímica de Rejeitos, Solos e Sedimentos – Relatório RT-015_159-515-2282_03-J**, elaborado pela Golder Associates Brasil Consultoria e Projetos Ltda, 2015.
- GOMES, M. A. **Caracterização tecnológica no aproveitamento do rejeito de minério de ferro.** Ouro Preto: UFOP. 77p. Dissertação (Mestrado). 2009.
- GONÇALVES, I.S. **Relação Solo-Vegetação em Mata Ciliar do Rio Gualaxo do Norte, Município de Mariana, Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Pós-Graduação em Ciência Florestal. 2009.
- GOTHBERG, A. **Intensive fishing, a way to reduce the mercury level in fish.** *Ambio* 12, 259–261, 1983.
- GRANEY, J. R.; LANDIS, M. S.; NORRIS, G. A. **Concentrations and solubility of metals from indoor and personal exposure PM2.5 samples.** *Atmos Environ*, v. 38, n. 2, p. 237-247, 2004.
- GREENFIELD, B.K.; HRABIK, T.R.; HARVEY, C.J.; CARPENTER, S.R. **Predicting mercury levels in yellow perch: use of water chemistry, trophic ecology, and spatial traits.** *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* v. 58, p. 1419–1429, 2001.
- GUILHERME, L.R.G. *et al.* **Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos.** *Tóp Ciên Solo*, v. 4, p. 345-390, 2005.
- GUNDERSEN, P.; STEINNES, E. **Influence of pH and TOC concentration on Cu, Zn, Cd, and Al speciation in rivers.** *Water Research*, v. 37, n. 2, p. 307-318, 2003.
- HAINES, T.A. *et al.* **Perch mercury is related to acidity and color of 26 Russian lakes.** *Water Air Soil Pollut.* v. 85, p. 823–828, 1995.

- HÄKANSON, L. **Mercury in some Swedish lake sediments.** *Ambio*. v.3, n^o1, p.37-41, 1974.
- HANDY, R. D. **The assessment of episodic metal pollution. I. Uses and limitations of tissue contaminant analysis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) after short waterborne exposure to cadmium or copper.** *Arch environ contam toxicol*, v. 22, n. 1, p. 74-81, 1992a.
- HANDY, R. D. **The assessment of episodic metal pollution. II. The effects of cadmium and copper enriched diets on tissue contaminant analysis in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*).** *Arch Environ Contam Toxicol*, v. 22, n. 1, p. 82-87, 1992b.
- HARGITAI, L. **The role of humus status of soils in binding toxic elements and compounds.** *Sci Total Environ*, v. 81, p. 643-651, 1989.
- HARRISON, F. L.; BISHOP, D. J. **A review of the impact of copper released into freshwater environments.** US Nuclear Regulatory Commission. Livermore, CA: Lawrence Livermore National Laboratory. NUREG/CR-3478. Cited In: ATSDR, 1984.
- HE, Q. B.; SINGH, B. R. **Crop uptake of cadmium from phosphorus fertilizers: I. Yield and cadmium content.** *Water air soil pollut*, v. 74, n. 3-4, p. 251-265, 1994.
- HEGSTROM, L. J.; WEST, S. D. **Heavy metal accumulation in small mammals following sewage sludge application to forests.** *J Environ Qual*, v. 18, n. 3, p. 345-349, 1989.
- HEIT, M.; KLUSEK, C.; BARON, J. **Evidence of deposition of anthropogenic pollutants in remote Rocky Mountain lakes.** *Water Air Soil Pollut*, v. 22, n. 4, p. 403-416, 1984.
- HELZ, G. R.; HUGGETT, R. J.; HILL, J. M. **Behavior of Mn, Fe, Cu, Zn, Cd and Pb discharged from a wastewater treatment plant into an estuarine environment.** *Water Res*, v. 9, n. 7, p. 631-636, 1975.
- HERNANDEZ, L. M. *et al.* **Presence and biomagnification of organochlorine pollutants and heavy metals in mammals of Doñana National Park (Spain), 1982–1983.** *J Environ Sci Health B*, v. 20, n. 6, p. 633-650, 1985.
- HOUBA, C. *et al.* **Factors affecting the concentrations of cadmium, zinc, copper and lead in the sediments of the Vesdre River.** *Water Res*, v. 17, n. 10, p. 1281-1286, 1983.
- HU, X. *et al.* **Distributions of heavy metals in maternal and cord blood and the association with infant birth weight in China.** *The Journ of rep med*, v. 60, n. 1-2, p. 21, 2015.
- HUDSON-EDWARDS, K.A.; MACKLIN, M.G.; CURTIS, C.D.; VAUGHAN, D.J. **Processes of formation and distribution of Pb-, Zn-, Cd-, and Cu-bearing minerals in the Tyne Basin, Northeast England: Implications for metal contaminate driver systems.** *Env Sci and Tech* v. 30, p. 72-80, 1996.
- IARC. **Cadmium and certain cadmium compounds.** In: IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Beryllium, cadmium, mercury and exposures in the glass manufacturing industry. IARC monographs, Vol. 58. Lyon, France: World Health Organization. International Agency for Research on Cancer, 119-146, 210-236, 1993.
- IARC. **IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans: Cadmium and cadmium compounds.** International Agency for Research on Cancer, v. 100C, acesso em fev 2019. Disponível em: <<https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono100C-8.pdf>>, 2009.

- IARC. **IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans: Nickel and Nickel compounds Monograph.** Agency for Research on Cancer, v. 100C, acesso em fev 2019, 2017. Disponível em: <<https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono100C-10.pdf>>.
- IARC. **IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Volume 49: Chromium, nickel and welding.** Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, WorldHealth Organization, 257-445, 1990.
- IARC. **Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans: PREAMBLE.** International Agency for Research on Cancer, v. 100, acesso em fev 2019. Disponível em: <<https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2019/01/Preamble-2019.pdf>> 2019a.
- IBGE. **Brasil em síntese.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/mariana/panorama>>. 2018.
- IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Guia para planejamento do fechamento de mina.** 1ª Edição. 224 p. 2013. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00004091.pdf>>. Acesso do em: 24 jul 2014.
- IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e análises da economia mineral brasileira.** 7ª Edição, 2012.
- ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Relatório do cruzeiro de avaliação de efeitos da pluma de sedimentos oriunda da foz do rio doce sobre a biota marinha, a partir do norte do Espírito Santo ao sul da Bahia.** Vitória, fevereiro, 2016a.
- ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Relatório da segunda expedição para avaliação dos efeitos da pluma de sedimentos oriunda da foz do Rio Doce sobre o ambiente marinho no Estado do Espírito Santo ao sul da Bahia.** Vitória, maio, 2016b.
- ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **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 CEPESUL/ICMBio.** Brasília, abril, p 62, 2016c.
- IIMURA, K. 1981. **Heavy metal problems in paddy soils.** In: KITAGISHI K., YAMANE I., eds. Heavy metal problems in soils of Japan. Japan Scientific Societies Press, p. 42-50, 1981.
- IJC. **Report on Great Lakes water quality.** Presented at Hamilton, Ontario, October 1989. Windsor, Ontario: International Joint Commission, Great Lakes Water Quality Board, 1972.
- INESC. Instituto de Estudos Socioeconômicos. **O modelo mineral. Brasileiro visto a partir de. questões fiscais e tributárias.** Nota Técnica nº 191. Disponível em http://www.inesc.org.br/biblioteca/publicacoes/notas-tecnicas/nts-2017/nota-tecnica-191-o-modelo-mineral-brasileiro-visto-a-partir-de-questoes-fiscais-e-tributarias/at_download/file, 2017.
- INESC. Instituto de Estudos Socioeconômicos. **Royalties da Mineração: reduzido, mal distribuído e mal aproveitado.** Nota Técnica nº 181. Disponível http://www.inesc.org.br/biblioteca/publicacoes/notas-tecnicas/nts-2013/nota-tecnica-n.-181-royalties-da-mineracao/at_download/file, 2014.

- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Comitê Interfederativo – CIF. 2019. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/cites-e-comercio-externo/cites?id=699>> acesso em 10 de março de 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. 2015. **Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais.** DIRETORIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL - DIPRO Coordenação Geral de Emergências Ambientais – CGEMA.
- INSTITUTO SAÚDE E SUSTENTABILIDADE. **Avaliação dos riscos em saúde da população de Barra Longa / MG afetada pelo desastre. Pesquisa Avaliação de Saúde da População de Barra Longa afetada pelo Desastre de Mariana, Brasil.** São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.saudeesustentabilidade.org.br/wp-content/uploads/2017/04/RELAT%C3%93RIO_GREENPEACE_18.04.17_FINAL.pdf>.
- INSTITUTO SAUDE E SUSTENTABILIDADE. Fundação Renova. **Estudo bibliográfico e dos dados do DATASUS sobre a saúde mental nos municípios afetados pelo rompimento da barragem de fundão em mariana, minas gerais,** p 445, abril de 2018.
- IPCS. **Inorganic lead.** International Programme on Chemical Safety. Environmental Health Criteria 165 ed. Geneva, Switzerland: WHO (World Health Organization), 1995.
- IPHAN. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. 2018. Disponível em: <http://www.ipatrimonio.org/?p=19749#!/map=38329&loc=-20.18057947151198,-43.38256359100342,14> , acesso em agosto de 2018.
- JACK, R.; ROOSE, M. **Analysis of Fish Tissue from Long Lake (Spokane River) for PCBs and Selected Metals.** Washington State Department of Ecology. Publication # 02-03-049, 2002.
- JANSSEN, R.P.T. *et al.* 1997. **Equilibrium partitioning of heavy metals in Dutch field soils: I. Relationship between metal partition coefficients and soil characteristics.** Environ Toxicol Chem v. 16, n. 12, p. 2470-2478, 1997.
- JOHAS, F. D. **Análise do passivo socioeconômico do rompimento da barragem de fundão (Mariana, MG) em novembro de 2015 na bacia do Rio Doce.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Fluminense – UFF, Niterói, Julho de 2017.
- JOHN, J. *et al.* **Influence of aquatic humus and pH on the uptake and depuration of cadmium by the Atlantic salmon (Salmo salar L.).** Sci Total Environ v. 62, p. 253-265, 1987.
- JOHNSTON, J. E. *et al.* **Maternal cadmium levels during pregnancy associated with lower birth weight in infants in a North Carolina cohort.** PLoS One, v. 9, n. 10, p. e109661, 2014.
- KABALA, Cezary; SINGH, Bal Ram. **Fractionation and mobility of copper, lead, and zinc in soil profiles in the vicinity of a copper smelter.** J Environ Qual, v. 30, n. 2, p. 485-492, 2001.
- KALAC, P. *et al.* **Concentrations of mercury, copper, cadmium and lead in fruiting bodies of edible mushrooms in the vicinity of a mercury smelter and a copper smelter.** Sci Total Environ, v. 177, n. 1-3, p. 251-258, 1996.

- KALBASI, M.; RACZ, G. J.; LEWEN-RUDGERS, L. A. **Reaction products and solubility of applied zinc compounds in some Manitoba soils.** Soil Sci, v. 125, n. 1, p. 55, 1978.
- KAMINSKI, M. D.; LANDSBERGER, S. **Heavy metals in urban soils of East St. Louis, IL, part I: total concentration of heavy metals in soils.** J Air Waste Manage Assoc, v. 50, n. 9, p. 1667-1679, 2000.
- KEHRIG, H.A., FERNANDES, K.W.G., MALM, O., SEIXAS, T.G., DI BENEDITTO, A.P.M., SOUZA, C.M.M. 2009. **Transferência trófica de mercúrio e selênio na costa norte do Rio de Janeiro.** Química Nova, v.32, p.1822-1828.
- KEITZ, E. L. **Atmospheric cycles of cadmium and lead: emissions, transport, transformation and removal.** McLean VA–The Mitre Corporation, Washington, 1980.
- KEMPTON, S.; STERRITT, R. M.; LESTER, J. N. **Heavy metal removal in primary sedimentation I. The influence of metal solubility.** Sci Total Environ, v. 63, p. 231-246, 1987.
- KEOGH, J.P.; BOYER, L.V. **Lead – Specific Health Hazards and Toxins.** In: : Clinical Environmental Health and Toxic Exposures. Sullivan, J.B. and Krieger, G.R. (eds). Williams & Wilkins, Philadelphia, USA, 2001.
- KINNEY, P. L. *et al.* **Exposures to multiple air toxics in New York City.** Environ Health Perspect, v. 110, n. suppl 4, p. 539-546, 2002.
- KIPPLER, M. *et al.* **Maternal cadmium exposure during pregnancy and size at birth: a prospective cohort study.** Env health persp, v. 120, n. 2, p. 284, 2012.
- KUNIYOSHI, L. S.; BRAGA, E. S.; FAVARO, D. I. T. 2002. **Uso do arsênio na avaliação da qualidade do pescado: necessidade de adequação da legislação ambiental.** In: V SIMPOSIO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 5.,2011, Santos. Resumos. Sao Paulo: IOUSP, 2011.
- KUROSHIMA, R. **Cadmium accumulation in the mummichog, *Fundulus heteroclitus*, adapted to various salinities.** Bull Environ Contam Toxicol, v. 49, n. 5, p. 680-685, 1992.
- LACAZ, F.A.C.; PORTO, M.F.S.; PINHEIRO, T.M.M.; **Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco.** Rev. bras. saúde ocup. [online]. 2017, vol.42, e9.
- LACERDA, L.D.; FITZGERALD, W.F. **Biogeochemistry of mercury in wetlands.** Wetlands Ecol. Manage. v. 9, p. 291–293, 2001.
- LANDRIGAN P.H.; ETZEL R.A. **Textbook of Children’s Environmental Health.** Oxford University Press (Ed) New York: 2013.
- LEENAERS, H. **The transport of heavy metals during flood events in the polluted river Geul (the Netherlands).** Hydrological Processes, December. 1989.
- LEVINE, M. B. *et al.* **Heavy metal concentrations during ten years of sludge treatment to an old-field community.** J Environ Qual, v. 18, n. 4, p. 411-418, 1989.
- LEVY, D. B. *et al.* **Distribution and partitioning of trace metals in contaminated soils near Leadville, Colorado.** J Environ Qual, v. 21, n. 2, p. 185-195, 1992.

- LEWIN, J.; MACKLIN, M.G. **Sediment transfer and transformation of an alluvial valley floor: the River South Tyne, Northumbria, UK.** - Earth Surface Processes and Landforms v. 14, p. 233-246, 1989.
- LIN, C. M. *et al.* **Does prenatal cadmium exposure affect fetal and child growth?** Occup env med, v. 68, n. 9, p. 641-646, 2011.
- LIVSMEDELSVERKET. **Swedish Market Basket Survey 2015, – per capita-based analysis of nutrients and toxic compounds in market baskets and assessment of benefit or risk**, Uppsala, Sweden, 2017.
- LUCAN-BOUCHE, M. L. *et al.* **The simultaneous influence of pH and temperature on binding and mobilization of metals in sand: 1- Copper.** Fresenius Environ Bull., v. 6, n. 11, p. 711-718, 1997.
- LUCASSEN, E.; SMOLDERS, A. J. P.; ROELOFS, J. G. M. **Potential sensitivity of mires to drought, acidification and mobilisation of heavy metals: the sediment S/(Ca+ Mg) ratio as diagnostic tool.** Environ Pollut, v. 120, n. 3, p. 635-646, 2002.
- LUCOTTE, M. *et al.* **Mercury in natural lakes and unperturbed terrestrial ecosystems of northern Québec.** In: Lucotte, M., Schetagne, R., Thérien, N., Langlois, C., Tremblay, A. (Eds.), Mercury in the Biogeochemical Cycle: Natural Environments and Hydroelectric Reservoir of Northern Quebec (Canada). Springer, Berlin, pp. 55–87, 1999.
- LUSTBERG, M.; SILBERGELD, E. **Blood lead levels and Mortality.** Arch Int Med, 162 (21): p. 2443 – 2449, 2002.
- MA, L. Q.; RAO, G. N. **Chemical fractionation of cadmium, copper, nickel, and zinc in contaminated soils.** J Environ Qual, v. 26, n. 1, p. 259-264, 1997.
- MACKLIN, M.G.; HUDSON-EDWARDS, K.A.; DAWSON, E.J. 1997. **The significance of pollution from historic metal mining in the Pennine ore field on river sediment contaminant fluxes to the North Sea.** - The Science of the Total Environment 194/195: 391-397, 1997.
- MARINHA DO BRASIL. **Relatório Final: Levantamento ambiental expedito em Regência/ES”. Relatório de levantamento Hidroceanográfico - Navio de pesquisa hidroceanográfico “Vital de Oliveira”.** LH-035/15, p 38, Vitória/ES, 2015.
- MARTINO, M.; TURNER, A.; MILLWARD, G. E. **Influence of organic complexation on the adsorption kinetics of nickel in river waters.** Environ Sci Technol, v. 37, n. 11, p. 2383-2388, 2003.
- MASUTTI, M. B. 2004. **Distribuição e efeitos de cromo e cobre em ecossistemas aquáticos: uma análise laboratorial e “In Situ” (experimentos em micro e mesocosmos).** Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo.
- MATOS, T. B.; CARVALHO, C. E. V. (2011). **Relação entre Parâmetros Reprodutivos e Sazonalidade com a Acumulação de Mercúrio em Xiphopenaeus kroyeri (Heller, 1862) da Plataforma Continental SE do Brasil.** Rev. Virtual Quim. 2011, 3 (2), 138-143.
- MAY, T. W. *et al.* **Influence of mining-related activities on concentrations of metals in water and sediment from streams of the Black Hills, South Dakota.** Arch Environ Contam Toxicol v. 40, n. 1, p. 1-9, 2001.

- MCBRIDE, M. B. **Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective?** J Environ Qual, v. 24, n. 1, p. 5-18, 1995.
- MCCOMISH, M.F.; ONG, J.H. **Trace metals.** In: BODEK I., LYMAN W.J., REEHL W.F., *et al.* (eds). Environmental inorganic chemistry: Properties, processes, and estimation methods. New York: Pergamon Press, n. 7, 1988.
- MCGEER, J. C. *et al.* **Inverse relationship between bioconcentration factor and exposure concentration for metals: implications for hazard assessment of metals in the aquatic environment.** Environ Toxicol Chem, v. 22, n. 5, p. 1017-1037, 2003.
- MÉRANGER, J. C.; SUBRAMANIAN, K. S.; CHALIFOUX, C. **Survey for cadmium, cobalt, chromium, copper, nickel, lead, zinc, calcium, and magnesium in Canadian drinking water supplies.** J AOAC, v. 64, n. 1, p. 44-53, 1981.
- MILANEZ, B. & LOSEKANN, C. **Desastre no Vale do Rio Doce: Antecedentes, impactos e ações sobre a destruição.** Letra e Imagem Editora e Produções LTDA, 2016.
- MINAS GERAIS. **Relatório: avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG.** Secretaria de Estado de Desenvolvimento Regional, Política Urbana e Gestão Metropolitana, Belo Horizonte: Sedru; 2016. 289 p.
- MIRENDA, R. J. **Acute toxicity and accumulation of zinc in the crayfish, *Orconectes virilis* (Hagen).** Bull Environ Contam Toxicol, v. 37, n. 1, p. 387-394, 1986.
- MUNDELL, J. A.; HILL, K. R.; WEAVER, J. W. **In situ case history: leachable lead required precipitation immobilization.** Hazard Waste Manage, v. 12, p. 23-27, 1989.
- MUNTAU, H.; BAUDO, R. **Sources of cadmium, its distribution and turnover in the freshwater environment.** IARC Sci pub, n. 118, p. 133-148, 1992.
- N. Mirlean, S. Medeanic, F.A. Garcia, M.P. Travassos, P. Baisch. (2012). **Arsenic enrichment in shelf and coastal sediment of the Brazilian subtropics.** Continental Shelf Research 35 (2012) 129–136.
- NAQVI, S. M.; HOWELL, R. D. **Cadmium and lead uptake by red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) of Louisiana.** Bull Environ Contam Toxicol, v. 51, n. 2, p. 296-302, 1993.
- NAS. **Drinking water and health--inorganic solutes.** National Academy of Sciences. Washington, DC: National Academy Press, 1:205-229, 299-304, 315-316, 447-460, 1977.
- NEWHOOK, R. *et al.* **Releases from copper smelters and refineries and zinc plants in Canada: human health exposure and risk characterization.** Sci Total Environ, v. 301, n. 1-3, p. 23-41, 2003.
- NOAL, Débora. *et al.* **A atuação do psicólogo em situação de desastres: algumas considerações baseadas em experiências de intervenção.** Revista Entre Linhas, 2013, ano XII, n 62, p 24, Porto Alegre - RS.
- NRIAGU, J. O. *et al.* **Dissolved trace metals in lakes Superior, Erie, and Ontario.** Environ Sci Technol, v. 30, n. 1, p. 178-187, 1995.
- NRIAGU, J. O.; DAVIDSON, C. I. **Zinc in the atmosphere.** In: NRIAGU J.O., (ed) *Zinc in the Environment*, New York, NY: John Wiley and Sons, Inc. v. 1, p. 113-159, 1980.

- NRIAGU, J.O.; PACYNA, J.M. **Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals.** Nature, v. 33, p. 134-139, 1988.
- NSF. **Lead in the environment.** In: BOGGESE, W.R. (ed.) Washington, DC: National Science Foundation. NSFIRA-770214, 1977.
- NWOSU, J. U.; HARDING, A. K.; LINDER, G. **Cadmium and lead uptake by edible crops grown in a silt loam soil.** Bull Environ Contam Toxicol, v. 54, n. 4, p. 570-578, 1995.
- O'NEIL, M.J.; SMITH, A.; HECKELMAN, P.E. **Merck index.** Rahway, NJ: Merck & Co., Inc, 10th ed., 2001.
- OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E. **Mobilidade de metais pesados em um latossolo amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar.** Scien Agri, v. 58, n. 4, p. 807-812, 2001.
- OLIVEIRA, T.S.; COSTA, L.M. **Metais pesados em solos de uma topolitossequência do Triângulo Mineiro.** Rev Bra Ciên Solo, v. 28, p. 785-796, 2004.
- OLSON, K. W.; SKOGERBOE, R. K. **Identification of soil lead compounds from automotive sources.** Env Sci Tech, v. 9, n. 3, p. 227-230, 1975.
- OMS. **Copper.** Geneva: International Programme on Chemical Safety, World Health Organization. Environmental Health Criteria 200, 1998.
- ONGLEY, E.D. **Influence of season, source and distance on physical and chemical properties of suspended sediment.** IAHS Publication v. 137, p. 371-383, 1982.
- OPAS. Organización Panamericana de la Salud. **Protección de la salud mental em situaciones de desastres y emergencias.** Pan American Health Org. Washington, DC.: OPS. 2002
- ORNES, W. H.; SAJWAN, K. S. **Cadmium accumulation and bioavailability in coontail (Ceratophyllum demersum L.) plants.** Water Air Soil Pollut, v. 69, n. 3-4, p. 291-300, 1993.
- OZKAN, S.; & IPEKOGLU, B. **Investigation of environmental impacts of tailings dams.** 2002. Env Man Health, v. 13. N°3, p. 242- 248, 2002.
- PACYNA, J. M. *et al.* **Modelling of long-range transport of trace elements. A case study.** Atmos Environ (1967), v. 23, n. 1, p. 107-114, 1989.
- PACYNA, J. M.; OTTAR, B. **Transport and chemical composition of the summer aerosol in the Norwegian Arctic.** Atmos Environ (1967), v. 19, n. 12, p. 2109-2120, 1985.
- PARAJULI, R. P. *et al.* **Association of cord blood levels of lead, arsenic, and zinc with neurodevelopmental indicators in newborns: a birth cohort study in Chitwan Valley, Nepal.** Env res, v. 121, p. 45-51, 2013.
- PERWAK, J. *et al.* **An exposure and risk assessment for copper.** Washington, DC: EPA. EPA-440/4-81-015, 1980.
- PETRUZZELLI, G. *et al.* **Soil sorption of heavy metals as influenced by sewage sludge addition.** J Environ Sci Health Part A, v. 29, n. 1, p. 31-50, 1994.
- PHILIPPI J.R. A.; ROMERO, M.A; BRUNA, G.C. **Curso de Gestão Ambiental,** Coleção Ambiental, USP, São

- Paulo, 2004.
- PIRES, J.M.M. *et al.* **Potencial poluidor de resíduo sólido da Samarco Mineração: estudo de caso da barragem de Germano.** Rev Árv, v. 27, n. 3, p. 393-397, 2003.
- PITA, F. W.; HYNE, N. J. **The depositional environment of zinc, lead and cadmium in reservoir sediments.** Water Res, v. 9, n. 8, p. 701-706, 1975.
- PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil 2018.** Disponível em: <http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/mariana_mg>.
- POULTON, D.J. **Trace contaminant status of Hamilton Harbor.** J Great Lakes Res v. 13, p. 193-202, 1987.
- PRAES, P. E.; ALBUQUERQUE, R. O.; LUZ, A. F. O. **Recovery of iron ore tailings by column flotation.** Journal Min Mat Char Eng, v.1. p. 212-216, 2013.
- PREFEITURA DE MARIANA. 2018. Disponível em: <http://www.mariana.mg.gov.br/>, acesso em setembro de 2018b.
- PREFEITURA DE MARIANA. **Distrito de Monsenhor Horta comemora festa do padroeiro,** 2015. Disponível em: <http://www.mariana.mg.gov.br/noticia/2681/distrito-de-monsenhor-horta-comemora-festa-do-padroeiro?print=1>, acesso em agosto de 2018.
- PREFEITURA DE MARIANA. **Histórico do Distrito de Monsenhor Horta,** 2018. Disponível em: <http://www.mariana.mg.gov.br/distritos/monsenhor-horta>, acesso em agosto de 2018a.
- PRISMMA. **Pesquisa sobre a saúde mental das famílias atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão em Mariana.** Belo Horizonte, p 74, 2018.
- QIAN, S.S. *et al.* **A predictive model of mercury fish tissue concentration for the South Eastern United States.** Environ Sci Technol, v. 35, p. 941-947, 2001.
- RAI, D. *et al.* **Chemical attenuation rates, coefficients, and constants in leachate migration. Volume 1: A Critical Review.** Electric Power Research Institute, 1984.
- RAMELOW, G. J. *et al.* **Variations of heavy metals and arsenic in fish and other organisms from the Calcasieu River and Lake, Louisiana.** Arch Environ Contam Toxicol, v. 18, n. 6, p. 804-818, 1989.
- REDDY, K. J.; WANG, L.; GLOSS, S. P. **Solubility and mobility of copper, zinc and lead in acidic environments.** Plant and Soil, v. 171, n. 1, p. 53-58, 1995.
- REED, B. E.; MOORE, R. E; CLINE, S. R. **Soil flushing of a sandy loam contaminated with Pb(II), PbSO₄ (s), PbCo₃ (3) or Pb-Naphthalene: Column results.** J Soil Contamination v. 4, p. 243-267.
- RENOVA. Fundação Renova, **A construção de Bento Rodrigues.** Disponível em: <https://www.fundacaorenova.org/reassentamentos/bento-rodrigues/?gclid=Cj0KCQjwidPcBRCGARIsALM--eOVywlvYmrdALvecDpcG214bkgmYj1sl1Y9oQZFWOLq8RWxG_g8rkYaAsMiEALw_wcB> acesso em 10 de março 2019a.
- RENOVA. Fundação Renova, **sobre o termo.** Disponível em: <<https://www.fundacaorenova.org/sobre-o-termo/>> acesso em 10 de março 2019b.

- RENOVA. Fundação Renova. **Relatório descritivo: perfil de morbimortalidade dos agravos e doenças, dos últimos 10 anos, antes da ocorrência do rompimento da Barragem de Fundão**, Belo Horizonte, p 242. 2017a.
- RENOVA. Fundação Renova. Relatório Executivo da 1ª Campanha do Cadastro Integrado socioeconômico, **Agricultura e Pecuária**, edição 1, p 107, setembro de 2017b.
- RENOVA. Fundação Renova. Relatório Executivo da 1ª Campanha do Cadastro Integrado socioeconômico, **Comércio e Serviços**, edição 1, p 81, setembro de 2017c.
- RENOVA. Fundação Renova. Relatório Executivo da 1ª Campanha do Cadastro Integrado socioeconômico, **Extrativismo**, edição 1, p 81, setembro de 2017d.
- RENOVA. Fundação Renova. Relatório Executivo da 1ª Campanha do Cadastro Integrado socioeconômico, **Pesca**, edição 1, p 108, junho de 2017e.
- RENOVA. Fundação Renova. **Relatório Executivo da 1ª Campanha do Cadastro Integrado socioeconômico, Saúde e Assistência Social Emprego e Renda, Educação**, edição 1, p 182, agosto de 2017f.
- RENOVA. Fundação Renova. **Relatório Técnico: Perfil dos serviços de saúde nos municípios da área impactada pelo rompimento da barragem de fundão**, p 265, novembro de 2017g.
- RENOVA. Fundação Renova. **Relatório: Quantificação de metais e arsênio nos organismos coletados durante o programa de monitoramento da ictiofauna do Rio Doce nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo**, Belo Horizonte, p 662, 1 revisão. 2018.
- RICHARDS, B. K.; STEENHUIS, T. S.; PEVERLY, J.H. **Metal mobility at an old, heavily loaded sludge application site**. *Environ Pollut* v. 99, n. 3, p. 365-377, 1998.
- RICHTER, R. O.; THEIS, T. L. **Nickel speciation in a soil/water system**. In: NRIAGU, J.O. *Nickel in the Environment*. John Wiley & Sons, New York, p. 189–202, 1980.
- RIEUWERTS, J. S. *et al.* **Factors influencing metal bioavailability in soils: Preliminary investigations for the development of a critical loads approach for metals**. *Chem Speciat Bioavail* v. 10, p. 61-75, 1998.
- RITTER, W. F.; EASTBURN, R. P. **Leaching of heavy metals from sewage sludge through coastal plain soils**. *Com Soil Sci Plant Ana*, v.9, p.785-798, 1978.
- RODRIGUES, A. S. L. **Caracterização da bacia do rio Gualaxo do Norte, MG, Brasil [manuscrito]: avaliação geoquímica ambiental e proposição de valores de background / Aline Sueli de Lima Rodrigues – 2012a**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais.
- RODRIGUES, A. S. L. *et al.* **Adequação e avaliação da aplicabilidade de um Protocolo de Avaliação Rápida na bacia do rio Gualaxo do Norte, Leste-Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil**. *Rev. Amb. Água, Taubaté*, v. 7, n. 2, p. 231-244, 2012b.
- RÖLLIN, H. B. *et al.* **Prenatal Exposure to Cadmium, Placental Permeability and Birth Outcomes in Coastal Populations of South Africa**. *PLoS ONE*, San Francisco, CA USA, v. 10, n. 11, p. e0142455, 2015. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4636426/>>.

- ROSEMAN, E. F. *et al.* **Absorption of cadmium from water by North American zebra and quagga mussels (*Bivalvia dreissenidae*).** Chemosphere v. 28, p. 737-743, 1994.
- ROSSMANN, R. **Estimation of trace metal storage in Lake St. Clair post-settlement sediments using composite samples.** J Great Lakes Res, v. 14, p. 66-75, 1988.
- RUDD, T. *et al.* **Characterization of metal forms in sewage sludge by chemical extraction and progressive acidification.** Sci Total Environ v. 74, p. 149-175, 1988.
- RUTZKE, M. *et al.* **Cadmium and selenium absorption by swiss chard grown in potted composted materials.** Bull Environ Contam Toxicol v. 31, p. 416-420, 1993.
- SADIQ, M.; ENFIELD, C. G. **Solid phase formation and solution chemistry of nickel in soils. 1.Theoretical.** Soil Sci v. 138, p. 262-270, 1984a.
- SADIQ, M.; ENFIELD, C. G. **Solid phase formation and solution chemistry of nickel in soils. 2.Experimental.** Soil Sci v. 138, p. 335-340, 1984b.
- SAEED, M.; FOX, R. L. **Relations between suspension pH and zinc solubility in acid and calcareous soils.** Soil Sci v. 124, p. 199-204, 1977.
- SALOMONS, W. **Environmental impact of metals derived from mining activities: Processes, predictions, prevention.** – Jour Geo Exp, v. 52, p. 5-24, 1995.
- SAMARCO. **Paracatu de baixo será reconstruída,** 2018. Disponível em: <https://www.samarco.com/fato/paracatu-de-baixo-sera-reconstruida/>, acesso em agosto de 2018.
- SANCHES FILHO, P.J.; FONSECA, V.K. & HOLBIG, L. 2013. **Avaliação de metais em pescado da região do Pontal da Barra, Laguna dos Patos, Pelotas-RS.** Ecotoxicol. Environ. Contam., v. 8, n. 1, 2013, 105-111
- SANDERS, J. R.; EL KHERBAWY, M. I. **The effect of pH on zinc adsorption equilibria and exchangeable zinc pools in soils.** Environ Pollut v. 44, p. 165-176, 1987.
- SANTOS, E. P. **Alternativas para o tratamento de ultrafinos de minério de ferro da Mina do Pico/MG por flotação em coluna.** Dissertação (Mestrado). Rio Grande do Sul: UFRGS. 113 p., 2010.
- SCHARENBERG, W.; EBELING, E. **Distribution of heavy metals in a woodland food web.** Bull Environ Contam Toxicol v. 56, p. 389-396, 1996.
- SCHERBATSKOY, T.; SHANLEY, J.B.; KEELER, G.J. **Factors controlling mercury transport in an upland forested catchment.** Water Air Soil Pollut. v. 105, p. 427-438, 1998.
- SCHETAGNE, R.; VERDON, R. **Mercury in fish of natural lakes of northern Que´bec.** In: Lucotte, M., Schetagne, R., The´rien, N., Langlois, C., Tremblay, A. (Eds.), Mercury in the Biogeochemical Cycle: Natural Environments and Hydroelectric Reservoir of Northern Que´bec (Canada). Springer, Berlin, pp. 115-130, 1999.
- SCHEUHAMMER, A.M.; GRAHAM, J.E., **The bioaccumulation of mercury in aquatic organisms from two similar lakes with differing pH.** Ecotoxicology v. 8, p. 49-56, 1999.
- SCHROEDER, W. H.; DOBSON, M.; KANE, D. M. **Toxic trace elements associated with airborne particulate matter: A review.** Air Pollut Control Assoc v. 11, p. 1267-1287, 1987.

- SCUDLARK, J. R.; CONKO, K. M.; CHURCH, T. M. **Atmospheric wet deposition of trace elements to Chesapeake Bay: CBAD Study year 1 results.** Atmos Environ v. 28, p. 1487-1498, 1994.
- SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE DE MINAS GERAIS - SES, SUBSECRETARIA DE VIGILÂNCIA E PROTEÇÃO A SAÚDE, Programa Estadual de Controle da Dengue, Chikungunya e Zika, **Boletim epidemiológico de monitoramento dos casos de Dengue, Febre Chikungunya e Febre Zika. Nº 31, Semana Epidemiológica 38, 20/09/2016.**
- SEDLAK, D. L.; PHINNEY, J. T.; BEDSWORTH, W. W. **Strongly complexed Cu and Ni in wastewater effluents and surface runoff.** Environ Sci Technol v. 31, p. 3010-3016, 1997.
- SES-MG. **Boletim epidemiológico de monitoramento dos casos de Dengue, Febre Chikungunya e Febre Zika** Programa Estadual de Controle da Dengue, Chikungunya e Zika. Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais – SES/MG, SUBSECRETARIA DE VIGILÂNCIA E PROTEÇÃO A SAÚDE. Nº 20, Semana Epidemiológica 21, 23/05/2016.
- SILEO, L.; BEYER, W. N. **Heavy metals in white-tailed deer living near a zinc smelter in Pennsylvania.** J Wildlife Diseases v. 21, p. 289-296, 1985.
- SILVA, A.P.; CÂMARA, V.M.; NASCIMENTO, C.M.; OLIVEIRA, L.J.; SILVA, E.; PIVETTA, F.; MARROCAS, P.R.G. **Emissões de mercúrio na queima de amálgama: estudo da contaminação de ar, solos e poeira em domicílios de Poconé – M.** Tecnologia Ambiental, RJ: CETEM/CNPq, Volume 13:3-35, 1996.
- SIMONATO, Thiago *et al.* **Projeção dos impactos econômicos regionais do desastre de Mariana-MG.** Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.
- SMITH, S. R. **Effect of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludge-treated soils. I. Nickel, copper and zinc uptake and toxicity to ryegrass.** Environ Pollut v. 85, p. 321-327, 1994.
- SMITH, S. R. **Effect of soil pH on availability to crops of metals in sewage sludge-treated soils. II. Cadmium uptake by crops and implications for human dietary intake.** Environ Pollut v. 86, p. 5-13, 1994.
- SMS. **Plano Municipal de Planejamento e Gerenciamento de Ações de Recuperação em Saúde após o Rompimento da Barragem de Rejeitos da Samarco em Bento Rodrigues, Mariana-MG.** Secretaria Municipal de Saúde de Mariana, Prefeitura de Mariana, Mariana-MG. 61 p. 2015.
- SMS. **SECRETARIA MUNICIPAL DE BARRA LONGA.** Disponível em: <http://www.barralonga.mg.gov.br/index.php/administracao/secretarias-municipais/saude>>2018b
- SMS. **Secretaria Municipal de Mariana.** Disponível em: <<http://www.mariana.mg.gov.br/secretaria-de-saude>>. 2018a
- SNODGRASS, J.W., *et al.* **Effects of trophic status and wetland morphology, hydroperiod, and water chemistry on mercury concentration in fish.** Can. J. Fish. Aquat. Sci. v. 57, p. 171–180, 2000.
- SONESTEN, L. **Catchment area composition and water chemistry heavily affects mercury levels in perch (*Perca fluviatilis*) in circumneutral lakes.** Water Air Soil Pollut. v. 144, p. 117–139, 2003b.
- SONESTEN, L. **Fish mercury levels in lakes—adjusting for Hg and fish-size covariation.** Environ. Pollut. v. 125 (2), p. 255–265, 2003a.

- SPRAGUE, J. B. **Toxicity and tissue concentrations of lead, zinc, and cadmium for marine mollusks and crustaceans.** International Lead Zinc Research Organization, Inc. I-74, 1986.
- STEPHENSON, T. *et al.* **Mechanism of metal removal in activated sludge.** J Environ Eng v. 113, p. 1074-1087, 1987.
- STOESSEL, R. P.; MICHAELIS, W. **Wet and dry deposition of heavy metals.** In: Proceedings of the 2nd International Conference on Environmental Contamination, Amsterdam, Netherlands: CEP Consultants, Ltd., p. 85-88, 1986.
- SUEDEL, B. C. *et al.* **Trophic transfer and biomagnification potential of contaminants in aquatic ecosystems.** Rev Environ Contam Toxicol v. 136, p. 21-89, 1994.
- SURESH, A.; SIVARAMAKRISHNA, B.; RADHAKRISHNAIAH, K. **Patterns of cadmium accumulation in the organs of fry and fingerlings of freshwater fish *Cyprinus carpio* following cadmium exposure.** Chemosphere v. 26, p. 945-953, 1993.
- SWEENEY, M. D.; NAIDU, A. S. **Heavy metal in sediments of the inner shelf of the Beaufort Sea, northern arctic Alaska.** Mar Poll Bull v. 20, p. 140-143, 1989.
- TETRA TECH INC. **Dynamic mercury cycling model for Windows 95/NT—a model for mercury cycling in lakes — D-MCM version 1.0, User’s Guide and Technical Reference, Prepared for EPRI.**
- TETRA TECH. **Doenças transmitidas por vetores - Relatório Final,** Fundação Renova, Belo Horizonte, p 56. Março de 2018.
- THORNTON, I. **Sources and pathways of cadmium in the environment.** In: NORDBERG G. F., HERBER R. F. M., ALESSIO L., (eds.) *Cadmium in the human environment: Toxicity and carcinogenicity.* IARC Scientific Publications No. 118. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, p. 149-162, 1992.
- TREMBLAY, G. *et al.* **The use of polynomial regression analysis with indicator variables for interpretation of mercury in fish data.** Biogeochemistry v. 40, p. 189–201, 1998.
- TTAC. **Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC) entre União/Estados de MG e ES/Samarco/Vale/BHP.** p. 119 Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/phocadownload/cif/ttac/cif-ttac-completo.pdf>>, 2016.
- TYLER, L. D.; MCBRIDE, M. B. **Mobility and extractability of cadmium, copper, nickel, and zinc in organic and mineral soil columns.** Soil Sci v. 134, p. 198-205, 1982.
- UERJ. **Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Estudo preliminar sobre a detecção da pluma de sedimentos do Rio Doce sobre o Parque Nacional dos Abrolhos-BA, para o evento de 5-6 de Janeiro 2016,** p 24, 2016.
- UFES. **Universidade Federal do Espírito Santo. 1º Relatório: Processamento, Interpretação e Consolidação de Dados da área Estuarina e Marinha na Foz do Rio Doce-ES.** fevereiro, p 59, 2016.
- UNICAMP. **Jornal da Unicamp. O município de Mariana.** Disponível em: <<https://www.unicamp.br/unicamp/ju/noticias/2018/01/17/o-municipio-de-mariana>>. 2018.

- USEPA, SW 846 Method 3051, **Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils**. U.S. Environmental Protection Agency. Available online at: <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/3051.pdf>. 1994a.
- USEPA. **Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories. Vol. 1. Fish Sampling and Analysing**. U.S. Environmental Protection Agency. EPA 823-B-00-007, 2000.
- USEPA. Method 200.7. ICP-OES. **Methods for the Determination of Metals in Environmental Samples Supplement I**. U.S. Environmental Protection Agency. EPA-600/R-94/11, 1994b.
- USGS, P. - U.S. Geological Survey .2018. **Mineral commodity summaries (2018)**: U.S. Geological Survey. 196 p. Disponível em: <<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> Acesso em: 26 fev 2019.
- USGS. **Concentrations of selected trace elements in fish tissue and streambed sediment in the Clark Fork-Pend Oreille and Spokane River Basins, Washington, Idaho, and Montana, 1998**. US Geological Survey, 2000.
- VALÊNCIO, N. *et al.* **Sociologia dos Desastres: Construção, interfaces e perspectivas no Brasil**. São Carlos. Rima editora, 2009. Disponível em: <http://www.crpssp.org.br/portal/comunicacao/diversos/mini_cd_oficinas/pdfs/Livro-Sociologia-Dos-Desastres.pdf. > Acesso em: nov./2018.
- VAN HATTUM, B. *et al.* 1989. **Bioaccumulation of cadmium by the freshwater isopod *Asellus aquaticus* (L.) from aqueous and dietary sources**. Environ Pollut v. 62, p. 129-152, 2000.
- VIEIRA, M. G. **Produção de um pellet feed a partir da concentração do rejeito da flotação mecânica da Samarco**. Belo Horizonte: UFMG. 90 p. Dissertação (Mestrado), 2008.
- VORMITTAG, E. **Município de Barra Longa. Resultados de Exames Toxicológicos. Proposta de Novos Estudos. Contextualização sobre os Metais encontrados**. Instituto Saúde e Sustentabilidade.
- VOS, G.; LAMMERS, H.; KAN, C.A. **Cadmium and lead in muscle tissue and organs of broilers, turkeys and spent hens, and in mechanically deboned poultry meat**. Food Addit Contam v. 7, p. 83-92, 1990.
- WARWICK, P. *et al.* **Zinc and cadmium mobility in sand: Effects of pH, speciation, cation exchange capacity (CEC), humic acid and metal ions**. Chemosphere v. 36, p. 2283-2290, 1998.
- WOLFF, A. P. **Caracterização de rejeitos de minério de ferro de minas da VALE**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 107 p. Dissertação (Mestrado), 2009.
- WU, J.; LAIRD, D. A.; THOMPSON, M. L. **Sorption and desorption of copper on soil clay components**. J Environ Qual v. 28, p. 334-338, 1999.
- ZAROOGIAN, G. E.; JOHNSON, M. **Nickel uptake and loss in the bivalves *Crassostrea virginica* and *Mytilus edulis***. Arch Environ Contam Toxicol v. 13, p. 411-418, 1984.
- ZHU, M. *et al.* **Maternal low-level lead exposure and fetal growth**. Env health persp, v. 118, n. 10, p. 1471, 2010.
- ZONTA, M.; TROCATE, C. **Antes fosse mais leve a carga: reflexões sobre o desastre da Samarco/Vale/BHP**. Marabá: Editorial Iguana, p 237, vol. 2, 2016.

Anexos

Anexo 01: Termo de Consentimento livre e esclarecido

Anexo 02: Questionário individual

Anexo 03: questionário para profissionais de saúde

Anexo 04: Plano de amostragem de Mariana

Anexo 05: Plano de amostragem de Barra Longa

Anexo 06: Laudos analíticos Mariana

Anexo 07: Laudos analíticos Barra Longa

Anexo 08: Tabelas descritivas cálculos de exposição