



geoeng

AEDAS – ASSOCIAÇÃO ESTADUAL DE DEFESA AMBIENTAL E SOCIAL

**PROJETO: LEVANTAMENTO DE DANOS AMBIENTAIS - BACIA DO RIO
PARAOPEBA – REGIÃO 2 (MÁRIO CAMPOS, SÃO JOAQUIM DE
BICAS, BETIM, IGARAPÉ E JUATUBA - MG)**

TÍTULO: SÍNTESE DO LEVANTAMENTO DE DANOS AMBIENTAIS

Nº PROJETO: ATI-R2-001

Nº GEOENG: RT-R2-03A

FOLHA 01/19

REV. 1

Sumário

1) Introdução	1
2) Levantamento de danos	2
2.1. Alterações no Rio Paraopeba e nas áreas próximas	3
2.2. Alterações nas águas superficiais	6
2.3. Alterações nas águas subterrâneas	10
2.4. Consequências da contaminação das águas nos usos, flora e fauna	13
2.5. Consequências regionais no meio ambiente e saúde pública	15
3) Considerações Finais	17

Lista de Siglas e Abreviaturas

COPPE – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia

CPI – Comissão Parlamentar de Inquérito

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

ONG – Organização Não-Governamental

SES – Secretaria Estadual de Saúde

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

VMP – Valores Máximos Permitidos

1) Introdução

Este relatório tem como objetivo apresentar de forma sintética os resultados do levantamento de danos ambientais decorrentes do rompimento da Barragem B1, da Vale S.A., em Brumadinho, com foco na Região 2 (R2). Os danos levantados são listados na tabela a seguir e foram constatados a partir de estudos realizados por pesquisadores universitários, monitoramento de órgãos públicos (ex.: IGAM, CPRM), relatórios de investigações (ex.: CPIs da Câmara dos Deputados e da Assembleia Legislativa de Minas Gerais), estudos realizados por ONGs (ex.: Fundação SOS Mata Atlântica) e mesmo estudos encomendados pela Vale S.A. (como o da Fundação Coppetec), entre outros. Ainda são poucos os estudos aprofundados para entender a dimensão dos danos ambientais provocados pelo desastre sociotecnológico do rompimento da barragem B1 da Vale em Brumadinho. Por isso, aqui são apresentados, de forma resumida, os danos constatados até o momento, tendo em mente que ainda é preciso investigações e pesquisas complementares para uma melhor compreensão de como o meio ambiente foi impactado. Os danos mais evidentes podem ser constatados por simples observação, outros demandaram a utilização de equipamentos, análises em laboratórios, utilização de imagens de satélite ou programas específicos de computador para serem caracterizados. O presente relatório diz respeito aos danos ambientais levantados na Região 2, que compreende os municípios de Mário Campos, São Joaquim de Bicas, Betim, Igarapé e Juatuba.

2) Levantamento de danos

A tabela a seguir indica os diferentes danos constatados ao longo do projeto. Eles foram organizados de acordo com seus aspectos e região de ocorrência. Alguns, mesmo possuindo a mesma origem, são mais relacionados ao meio físico [ambiente] e outros mais relacionados ao meio biótico [seres vivos]. Os nomes utilizados na Tabela 1 serão utilizados também ao longo do relatório, como forma de apresentar aos atingidos termos que se referem aos danos experienciados por eles em seu cotidiano. Eles estão destacados em negrito no texto e serão mais bem explicados no decorrer do relatório, facilitando sua compreensão dentro do contexto do desastre.

Tabela 1: Síntese dos danos ambientais na Região 2

MEIO FÍSICO¹	<i>Alteração das feições fluviais</i>
	<i>Modificação do fluxo do rio</i>
	<i>Redução da descarga fluvial</i>
	<i>Assoreamento do curso d'água</i>
	<i>Aumento das trocas químicas nos solos e águas</i>
	<i>Contaminação das águas superficiais</i>
	<i>Contaminação das águas subterrâneas</i>
	<i>Perda de qualidade das águas</i>
	<i>Contaminação dos solos/ sedimentos</i>
	<i>Intensificação dos processos erosivos</i>
	<i>Mudança no padrão de sedimentação fluvial</i>
	<i>Alteração do microclima</i>
	<i>Aumento da possibilidade de inundações</i>
	<i>Diminuição da estabilidade das margens fluviais</i>
	<i>Aumento da pressão sobre os recursos hídricos</i>
<i>Aumento de particulados na atmosfera</i>	
MEIO BIÓTICO²	<i>Modificação de habitat</i>
	<i>Alteração de microbiota aquática</i>
	<i>Efeitos toxicológicos em diferentes níveis tróficos</i>
	<i>Dano à fauna silvestre</i>
	<i>Dano à fauna doméstica</i>
	<i>Mortalidade de fauna silvestre</i>
	<i>Dano à flora silvestre</i>
	<i>Dano à flora cultivada</i>
	<i>Proliferação de vetores e doenças</i>
	<i>Perda de biodiversidade</i>
<i>Biodisponibilização, bioacumulação e distribuição regional de metais pesados</i>	

¹ O meio físico, ou ambiente físico, é o espaço que acomoda os seres humanos e demais seres vivos. Se referem aos aspectos não-bióticos, não vivos, como as águas, os solos, o ar, a radiação solar etc.

² O meio biótico diz respeito ao conjunto de seres vivos em determinado território e as relações que estes estabelecem entre si e com o meio físico. A combinação de fatores bióticos e abióticos resulta nos ecossistemas.

2.1. Alterações no Rio Paraopeba e nas áreas próximas

Como se sabe, o rompimento da barragem B1 causou o lançamento de uma imensa quantidade de rejeito de mineração no ambiente, formando uma onda que adquiriu alta velocidade e levou consigo tudo o que estava a sua frente.

Nos municípios da Região 2 não houve deposição de rejeito diretamente sobre o solo, já que a lama de rejeito ficou depositada principalmente no leito do Rio Paraopeba, espalhando-se pelas águas do rio. Assim, a área que compreende a Região 2 foi impactada por muitos danos ambientais. Como os danos estão interligados e partem do mesmo desastre, para compreender muitos dos danos que atingiram a Região 2 será preciso mencionar danos que atingiram Brumadinho (Região 1).

Durante a movimentação da lama de rejeito, a vegetação que estava no caminho foi completamente arrancada e/ou soterrada, ocasionando a destruição de áreas úmidas. Essas áreas são locais que têm grande importância para os ecossistemas locais que delas dependem, além de auxiliar na regulação do clima local. Mesmo que a remoção da vegetação e o soterramento de áreas úmidas tenha ocorrido somente na chamada Zona Quente, em Brumadinho, esses danos podem ter efeitos na Região 2. Considerando, ainda, a degradação da qualidade das águas do Rio Paraopeba, pode-se apontar a **Alteração do microclima**³ e a **Modificação de habitats**⁴ como danos do desastre sobre a Região 2. Esses danos são consequência da modificação da paisagem e da alteração das condições ambientais anteriores ao desastre.

O peso da grande quantidade de rejeitos depositados e movimentados sobre o solo na Zona Quente causou uma pressão muito grande sobre o solo, o que fez com que seus espaços vazios (porosos) fossem reduzidos, tornando o solo menos permeável. Com isso, a água não consegue penetrar no solo da mesma forma que antes, então ela passa a escoar pelo solo em maiores quantidades, em direção aos locais mais baixos. Por isso, quando chove, a água tende a se infiltrar menos no solo e se acumular em maior quantidade nos locais mais baixos, provocando o **Aumento da possibilidade de inundações**. A remoção de vegetação na Zona Quente também contribuiu com tal dano, uma vez que as árvores

³ Os microclimas se referem a condições específicas em geral relacionadas a elementos da paisagem local, como rios ou áreas altamente urbanizadas.

⁴ Habitats são espaços ou áreas habitados por organismos vivos. Na Região 2, os habitats aquáticos foram os mais afetados.

cumprem o papel de diminuir a velocidade de escoamento da água. Os efeitos do aumento da possibilidade de inundações se estendem até as áreas mais baixas da Região 2.

Estudo da Fundação Coppetec [COPPE/UFRJ], encomendado pela Vale, constatou que o rejeito depositado na Zona Quente contém altos teores de ferro, manganês e alumínio, além de outros elementos em menores quantidades: chumbo, estrôncio, cobre, zinco, sódio, potássio, magnésio, cálcio, bário, lítio, berílio, cádmio, prata, arsênio, selênio, titânio e cromo. Alguns destes elementos são naturais em solos da região. Contudo, as quantidades encontradas na lama de rejeito, o revolvimento do solo provocado pela onda de lama e a deposição da lama sobre o solo, permitem concluir que houve contaminação do solo na Zona Quente.

Pela relação de interdependência entre solo e água, e pela própria movimentação da lama de rejeitos, que também se misturou às águas do ribeirão Ferro-Carvão, é evidente que os sedimentos do rio também foram contaminados pelo rejeito. E o transporte de sedimentos contaminados pela lama de rejeito desde o ribeirão Ferro-Carvão até o leito do Rio Paraopeba faz com que esse dano (**Contaminação do solo/sedimentos**) se estenda para a Região 2, especialmente em locais vulneráveis a inundações.

A condição de equilíbrio de um curso d'água se refere, entre outros aspectos, a um certo padrão de movimento das partículas que compõe a camada de solo depositada no fundo dos rios, os sedimentos. Com a deposição de lama de rejeitos no leito do Rio Paraopeba, tanto a composição desses sedimentos que ficam no leito do rio quanto o padrão de movimento foram modificadas.

A intensificação de processos erosivos, especialmente quando chove, faz com que mais partículas de solo cheguem até o leito dos rios. Como todo o entorno do ribeirão Ferro-Carvão foi modificado, isso resulta em alteração tanto das partículas que passarão a compor a camada de solo no fundo do rio, quanto na sua movimentação ao longo do tempo. Esse processo é denominado de **Mudança no padrão de sedimentação fluvial**. Pela relação entre o ribeirão Ferro-Carvão e o Rio Paraopeba, essa alteração também se estende ao Paraopeba especialmente nos primeiros quilômetros após a confluência⁵.

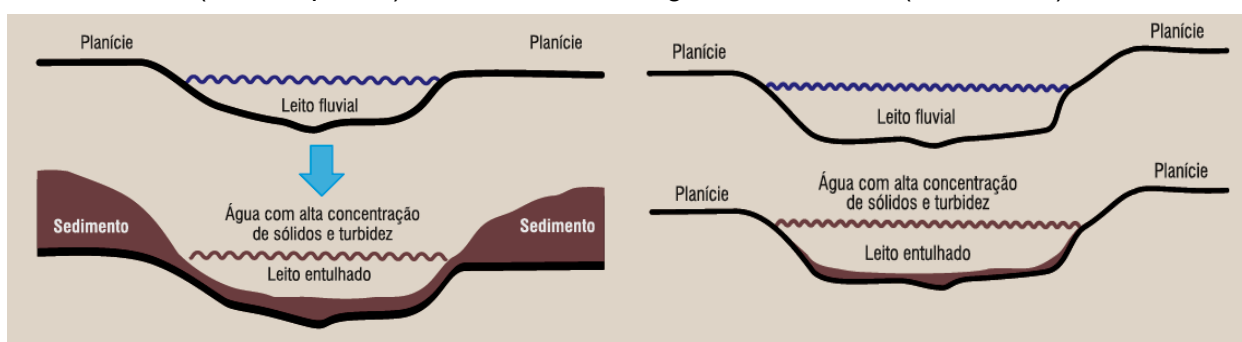
De acordo com os relatórios I e IV da CPRM (abril/2019 e julho/2019), a concentração máxima de sedimentos em suspensão na água, obtidas no ponto de Mário Campos entre

⁵ Termo utilizado para indicar a junção de dois corpos d'água. No caso do presente estudo, a confluência diz respeito à área onde o Ribeirão Ferro-Carvão encontra o Paraopeba. A lama de rejeitos chegou ao Rio Paraopeba justamente neste ponto.

26/01/2019 e 10/03/2019, foi de 10.000 mg/L, o dobro dos valores máximos registrados na série histórica (5.000 mg/L). Nesse ponto e nesse período foram transportadas cerca de 369 mil toneladas (175.000 m³) de sólidos em suspensão. Nota-se, portanto, o imenso aporte de sedimentos possivelmente contaminantes no Paraopeba em decorrência do desastre.

A **Mudança no padrão de sedimentação fluvial** continuará no ribeirão Ferro-Carvão e no Rio Paraopeba por tempo indeterminado, devido a todas as alterações decorrentes do desastre. A figura a seguir nos ajuda a entender este dano. Do lado esquerdo está um esquema que demonstra os locais onde houve maior deposição de lama de rejeito (ribeirão Ferro-Carvão e confluência com o Rio Paraopeba). Do lado direito está a representação do que aconteceu com o Rio Paraopeba mais à frente da confluência com o ribeirão Ferro-Carvão. Nota-se que mesmo nas partes do Rio Paraopeba em que não houve acúmulo de rejeito em suas margens, houve acúmulo de sedimentos no fundo de seu leito

Figura 1: Esquema da deposição de sedimentos provenientes da lama de rejeitos na Zona Quente (lado esquerdo) e demais áreas atingidas da R1 e R2 (lado direito)



Fonte: Lemos (2019 *apud* Polignano; Lemos, 2019).

É importante compreender que o acúmulo de lama no rio não acontece apenas de maneira uniforme como mostram as figuras. Ao longo do curso do ribeirão Ferro-Carvão e no local de sua confluência com o Rio Paraopeba, uma grande quantidade de lama ficou retida de maneira a causar o acúmulo de água em locais específicos do leito dos corpos d'água e a redução do volume de água em outros locais. Esse fenômeno é denominado **Assoreamento dos cursos d'água**, um dano ambiental que, a depender dos efeitos de degradação dos solos dos períodos de chuva e do padrão de sedimentação, pode afetar o Rio Paraopeba mesmo em pontos distantes da região do desastre.

Conforme nos mostra a Figura 1, ao longo do curso do Rio Paraopeba não se observa generalizado recobrimento das margens por rejeito, porém a quantidade e movimento dos sedimentos foram significativamente alterados. Essas modificações na camada de solo que fica ao fundo alteram a própria forma dos rios (**Alteração das feições fluviais**), mesmo que

não possamos observar essa alteração a olho nu. Também podem modificar o padrão de escoamento das águas (**Modificação do fluxo do rio**). Essas modificações também são consideradas danos ambientais

A grande quantidade de lama de rejeito lançada sobre o Ribeirão Ferro-Carvão e seu entorno, chegando até o Rio Paraopeba, fizeram com que a água corrente se dispersasse, diminuindo o volume escoado pelo Ribeirão Ferro-Carvão. Consequentemente, há uma diminuição do volume de água do Rio Paraopeba logo após a confluência (**Redução da descarga fluvial**⁶).

Em condições normais, em que não há abalos ambientais significativos no rio e no seu entorno, o corpo d'água e suas margens se encontram em situação de equilíbrio. O material das margens e a cobertura vegetal são fatores que influenciam na estabilidade de margens de rios. Por isso, alterações decorrentes do desastre, como a contaminação e modificação dos sedimentos e a contaminação da água do Rio Paraopeba, podem causar a **Diminuição da estabilidade das margens fluviais**. Esse dano ambiental torna o rio mais vulnerável a processos de erosão provocados pela chuva, ou por outros eventos de origem natural ou, ainda, decorrentes de atividade humana (**Intensificação de processos erosivos**⁷).

2.2. Alterações nas águas superficiais

A lama de rejeito de minério possui três camadas: uma densa, que fica no fundo do leito dos rios; uma mais fina, que boia na superfície; e uma camada química, que se mistura à água e tem alto poder de contaminação. Portanto, a mistura do rejeito da barragem B1 às águas do ribeirão Ferro-Carvão, combinada ainda com os diversos materiais arrastados pela própria onda da lama de rejeitos, resultou em um aumento da concentração de metais e outros contaminantes nas águas dos rios, provocando um desequilíbrio no sistema água-solo-sedimento. Esse desequilíbrio pode desencadear reações químicas, possivelmente fazendo com que substâncias químicas que antes não apresentavam risco à saúde se tornem mais perigosas, como é o caso da dissolução de determinados metais. Assim, entre os danos ao meio físico encontrados em estudos divulgados até então consta o **Aumento das trocas químicas nos solos e nas águas**, em função das alterações físicas, químicas e biológicas.

⁶ Se refere à quantidade (volume) de água que passa em um canal fluvial por unidade de tempo.

⁷ Erosão indica a ação de processos que movimentam solo, rochas ou material dissolvido de um local para o outro. Podem resultar em desgaste das margens de rios, com efeitos na paisagem e na dinâmica do próprio curso d'água.

Quando ocorre o aumento da concentração de metais ou qualquer outra substância química nas águas e sedimentos dos rios, de tal forma que a sua utilização deve ser suspensa para proteger a saúde humana, quer dizer que há contaminação. Para avaliar se as substâncias químicas no rio resultam em contaminação, amostras da água são feitas para que sejam medidas as concentrações de alguns parâmetros de interesse. Os limites desses parâmetros são definidos de acordo com as características dos corpos d'água e dos contaminantes em questão.

Para o monitoramento dos corpos hídricos, eles são classificados de acordo com suas características e com o uso que se faz de suas águas. Existem documentos oficiais que determinam os padrões e limites de cada parâmetro de acordo com o uso que se faz daquele rio. Por exemplo, segundo Resolução 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, se um rio possui concentração de chumbo total maior que 0,033 mg/L, ele não poderá ser utilizado para consumo humano, nem para irrigação e nem para pesca. Assim como a concentração de chumbo total, uma série de outros metais, substâncias químicas e características das águas são observadas para determinar a qualidade das águas. Portanto, quando se diz que determinada substância está fora dos padrões ou limites, isto significa que sua concentração está acima dos valores determinados para aquela classe de rio, ou seja, para aqueles determinados usos.

Antes do desastre sociotecnológico, o Rio Paraopeba era caracterizado como Classe 2, ou seja, suas características permitiam que suas águas fossem utilizadas para consumo humano (após tratamento simplificado), para proteção das comunidades aquáticas, para recreação e para irrigação de hortaliças e frutas consumidas cruas. Após o rompimento da barragem B1, foi constatado o aumento da concentração de diversos metais e outras substâncias acima dos padrões oficiais para a Classe 2. Isso quer dizer que o Rio Paraopeba não pode mais ser utilizado da mesma forma que antes, já que suas características não permitem que ele seja classificado como Classe 2. Ou seja, o rio está contaminado (***Contaminação das águas superficiais***).

Para acompanhar a contaminação, o IGAM faz medições periódicas de diversos parâmetros. A partir dessas medições o IGAM avalia se o uso das águas do Rio Paraopeba deve ou não continuar suspenso. Além do IGAM, outras instituições realizaram medições, ainda que de forma pontual, de diversos parâmetros nas águas do Rio Paraopeba, como a Fundação Coppetec (por encomenda da Vale) e a Fundação SOS Mata Atlântica. O quadro

abaixo indica todos os parâmetros⁸ medidos que violaram o limite⁹ para Classe 2 em cada período.

Tabela 2: Parâmetros fora do limite da legislação - Rio Paraopeba (R1 e R2)

2019		
Janeiro - Abril	Maio - Agosto	Setembro - Dezembro
Arsênio total, Bário, Cádmio total, Berílio, Cromo total, Selênio, Urânio, Zinco total, Cobalto, Cobre dissolvido, Chumbo e Níquel totais, Cobre dissolvido, Sólidos em Suspensão Totais, Turbidez, Manganês, Ferro dissolvido, Alumínio Dissolvido, Mercúrio total, Antimônio total, pH <i>in loco</i>	Manganês, Ferro Dissolvido, Alumínio Dissolvido, Fósforo total, Nitrato	Sólidos em Suspensão Totais, Turbidez, Manganês, Ferro Dissolvido, Alumínio Dissolvido, Chumbo total, pH <i>in loco</i>
2020		
Janeiro - Abril	Maio - Agosto	Setembro - Dezembro
Sólidos em Suspensão Totais, Turbidez, Manganês, Ferro Dissolvido, Alumínio Dissolvido, Chumbo total, Cobre dissolvido, Cromo total, Níquel total, Oxigênio Dissolvido, Cor verdadeira, Cianeto, Fósforo total, Sulfeto	Manganês, Ferro Dissolvido, Alumínio Dissolvido, Oxigênio Dissolvido	Sólidos em Suspensão Totais, Turbidez, Manganês, Ferro Dissolvido, Alumínio Dissolvido, Chumbo total, Oxigênio Dissolvido

Fonte: Dados obtidos a partir dos boletins IGAM (2020 e 2021); COPPE/UFRJ (2020); Fundação SOS Mata Atlântica (2020) e Relatório CPIBruma (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2019).

Pela Tabela 2, vemos que o período logo após o desastre (janeiro a abril de 2019) foi o que apresentou mais parâmetros fora do limite da legislação. Em 2020, o período entre janeiro e abril foi também aquele com mais parâmetros fora do limite, seguido pelo período de setembro a dezembro.

Nos períodos de chuva as concentrações de metais e outras substâncias químicas aumentam, e no período de seca diminuem. Isso porque há contaminantes tanto no solo quanto nos sedimentos no fundo do rio, e mesmo na água. Quando chove, a água da chuva arrasta camadas de solo contaminado para dentro do rio e o agita, fazendo com que os

⁸ Os parâmetros de qualidade da água representam as suas características físicas, químicas e biológicas. São indicadores de qualidade e constituem impurezas quando alcançam valores superiores aos limites estabelecidos para determinado uso.

⁹ Os limites representam o valor/concentração máxima de determinado parâmetro para determinado uso. Os valores máximos, ou limites, são definidos na [Resolução CONAMA 357/2005](#).

sedimentos então parados no fundo no rio se misturem novamente à água. Esses dois fenômenos fazem com que a concentração de contaminantes aumente em períodos chuvosos. Portanto, mesmo que em períodos de seca o Rio Paraopeba possa dar indícios de estar se aproximando de condições próprias para uso da população, no período de chuvas vemos que não se pode afirmar isso.

Alguns dos metais e substâncias que estão contaminando as águas do Rio Paraopeba são mais fáceis de serem relacionados ao rompimento da barragem B1. O ferro e o manganês, por exemplo, são componentes comuns de rejeito de minério de ferro. Outros metais como o chumbo e o mercúrio, por exemplo, tradicionalmente não fazem parte do rejeito de minério de ferro, porém a sua alta concentração detectada após o rompimento da barragem B1 indica uma relação. Desde que o IGAM iniciou as medições cotidianas no Rio Paraopeba, há décadas, nunca havia sido registrada a presença de mercúrio, que foi encontrado em concentrações acima do limite da legislação logo após o rompimento da barragem.

Na Tabela 2 estão todos os parâmetros que foram encontrados em concentrações que violam o limite da legislação, porém há aqueles que apresentaram violações mais frequentes ao longo do ano e aqueles que apresentaram violações em análises pontuais. Os parâmetros turbidez, sólidos em suspensão totais, manganês total, chumbo total e mercúrio total, apresentaram muitos resultados acima do limite da legislação, especialmente nos períodos de chuva, tanto no ano de 2019, como no ano de 2020. No caso do mercúrio total, tal elemento não foi encontrado em concentração acima do limite da legislação no ano de 2020. Apesar de não haver limite na legislação para o ferro total, sua concentração nas águas do Rio Paraopeba se comportou seguindo o mesmo padrão dos demais parâmetros.

Os parâmetros alumínio dissolvido e ferro dissolvido também chamam atenção pela grande quantidade de análises que apontam valores acima do limite. A diferença em relação aos parâmetros mencionados anteriormente é que a concentração desses dois metais na forma dissolvida oscila mais ao longo do ano. Há muitos registros de ferro dissolvido e alumínio dissolvido em concentração acima do limite da legislação durante todo o ano de 2019 e 2020 no Rio Paraopeba, também intensificados em períodos chuvosos.

No final do ano de 2020, os parâmetros acima do limite encontrados nas águas do Rio Paraopeba apresentaram valores preocupantes e o IGAM avaliou que as alterações se relacionavam às atividades de dragagem do rejeito realizada pela Vale em áreas logo após a confluência entre o ribeirão Ferro-Carvão e o Rio Paraopeba. A dragagem faz com que o

sedimento do fundo do rio seja revolvido, provocando a mistura com a água e o consequente aumento da concentração de contaminantes nas águas.

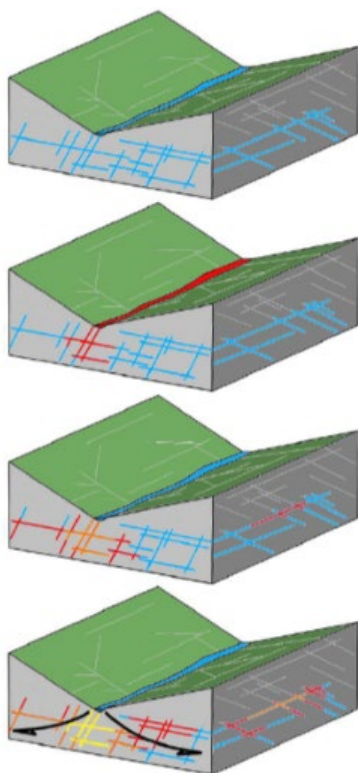
Cabe apontar, ainda, que existem algumas diferenças entre os resultados dos estudos consultados. O parâmetro ferro dissolvido, por exemplo, no relatório da Fundação Coppetec, encomendado pela Vale, não apresentou nenhum resultado com concentração acima do limite da legislação, com coletas realizadas em abril, maio, junho e agosto de 2019 e março de 2020. Por outro lado, o monitoramento do IGAM encontrou violações nas concentrações de ferro dissolvido ao longo de todo o ano de 2019, com exceção dos meses de junho a setembro, e ao longo de todo o ano de 2020. Olhando mais atentamente os dados dos dois estudos, encontramos uma grande diferença de medições realizadas em pontos de coleta muito próximos (poucos metros de distância) e em datas também muito próximas, como mostra o quadro 2.

Tabela 3: Comparação de resultados de concentração de ferro dissolvido

Estudo	Identificação do ponto	Data da coleta	Concentração de ferro dissolvido
IGAM	BPE2	03/03/2020	0,26 mg/L
COPPE/UFRJ	PT-02	05/03/2020	0,027 mg/L

Fonte: Dados obtidos a partir dos boletins IGAM (2020 e 2021) e COPPE/UFRJ (2020).

2.3. Alterações nas águas subterrâneas



Além dos próprios danos associados à contaminação das águas superficiais, os contaminantes podem caminhar em direção às águas subterrâneas, comprometendo também a sua qualidade. O aquífero predominante na região é o chamado aquífero Fraturado Centro-Sul. Por ser um aquífero fraturado, isso quer dizer que os contaminantes podem se espalhar pelas águas subterrâneas de duas formas: por meio de infiltração pelo solo; ou da forma como mostra a Figura 2, por meio de dispersão entre as fraturas. Os contaminantes estão representados pela cor vermelha e se dispersam do rio para as fraturas do aquífero, mesmo após a contaminação não estar mais presente nas águas superficiais. As cores amarelo e laranja representam menores concentrações de contaminantes, que foram se diluindo.

Elaboração: CAMF - PUC/Minas, 2020.

Para verificar se a população pode estar exposta a algum risco à saúde ao consumir água da região, desde o rompimento da barragem B1, o SUS está realizando a análise da água de poços e cisternas que estejam localizados em até 100 metros das margens do Rio Paraopeba desde Brumadinho até Três Marias. Segundo a SES, esta distância foi definida em função da “baixa mobilidade dos contaminantes”, sem qualquer discussão adicional que sustente a hipótese assumida. As coletas foram iniciadas com frequência semanal e atualmente ocorrem a cada quinze dias.

Os parâmetros medidos pelo SUS para a água de consumo humano devem obedecer ao que se chama de valores máximos permitidos (VMPs), estabelecidos por um documento do Ministério da Saúde (Portaria de Consolidação N° 5 de 28/09/2017). Entre esses parâmetros estão os microbiológicos (Coliformes Totais e *E. coli*), que indicam o risco da presença de organismos nocivos à saúde; os organolépticos (alumínio, ferro, manganês, zinco, cor aparente e turbidez), que podem não ter efeitos diretos sobre a saúde, mas deixam a água mais turva, com cor, gosto ou odor desagradável; e as substâncias químicas que representam riscos à saúde (antimônio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e selênio). É importante compreender que, mesmo para alguns dos parâmetros organolépticos, como o alumínio, ferro e o manganês, existem valores de risco à saúde que estão acima do padrão determinado pela Portaria.

Os quadros 3 e 4 mostram os resultados de amostras de água em que os valores limites foram violados nos municípios da R2, ou seja, que não estão em condições de serem consumidas. Esses dados correspondem às análises realizadas em 2019 e 2020 como um todo.

Tabela 4: Amostras fora dos padrões de potabilidade, por município, na Região 2: parâmetros microbiológicos e organolépticos (%)

	Mário Campos	S. J. de Bicas	Juatuba	Betim
Coliformes Totais	100%	96%	97%	99%
E. Coli	70%	56%	70%	66%
Turbidez	38%	12%	25%	21%
Cor aparente	18%	2%	11%	7%
Alumínio	17%	5%	8%	11%
Ferro	21%	5%	26%	9%
Manganês	9%	5%	23%	10%

Fonte: Dados obtidos a partir dos boletins SES (2020 e 2021).

Tabela 5: Amostras fora dos padrões de potabilidade, por município, na Região 2: substâncias químicas de risco à saúde (n)

	Mário Campos	S. J. de Bicas	Betim
Antimônio	2	-	-
Níquel total	-	2	-
Mercúrio total	-	1	-
Chumbo total	-	2	1

Fonte: Dados obtidos a partir dos boletins SES (2020 e 2021).

Apesar de Igarapé fazer parte da Região 2, não foram identificadas no município formas de abastecimento de água em distância de até 100 metros do Rio Paraopeba. Ou seja, Igarapé não atendeu ao critério estabelecido para o monitoramento, e, portanto, não foram feitas análises de água de poços e cisternas no município. O município de Juatuba não aparece na Tabela 5 porque não foi encontrada nenhuma amostra com valor acima do limite para substâncias químicas que representam riscos à saúde.

Pela Tabela 4 podemos ver que muitas das amostras coletadas em Mário Campos, São Joaquim de Bicas, Juatuba e Betim apresentam parâmetros microbiológicos e organolépticos acima do limite permitido para consumo. Já a presença de substâncias químicas que apresentam risco à saúde foi encontrada acima do valor limite em poucas amostras, porém geram preocupação devido ao risco de dano grave à saúde. Esses resultados indicam a **Contaminação de águas subterrâneas** nos municípios de Mário Campos, São Joaquim de Bicas, Juatuba e Betim e justificam que a utilização da água desses poços e cisternas permaneça suspensa, de modo a preservar a saúde da população.

O cenário de contaminação das águas superficiais e subterrâneas nas áreas atingidas pelo desastre sociotecnológico fez com que grande parcela da população da região ficasse sem acesso à água. Além disso, as atividades de recuperação ambiental aumentam a demanda por água na região. Desde o desastre, uma grande quantidade de poços (outorgas de uso de água subterrânea) foi concedida, o que pode superar a capacidade de recarga dos aquíferos. Assim, nota-se um **aumento da pressão sobre os recursos hídricos**¹⁰ na região, tanto pela maior demanda, quanto pelo comprometimento de fontes utilizadas anteriormente.

¹⁰ Indica o maior consumo de água na região, tanto pelas atividades de reparação quanto pelo comprometimento de fontes utilizadas anteriormente. A pressão sobre os recursos hídricos expressa um aumento do consumo que pode vir a superar a capacidade do ambiente, retirando água em quantidade superior àquela que o ambiente repõe. Se relaciona aos cenários de escassez hídrica e de risco de desabastecimento.

2.4. Consequências da contaminação das águas nos usos, flora e fauna

A contaminação constatada nas águas do Rio Paraopeba, combinada com os demais danos causados ao rio e aos ecossistemas que dele dependem, resultou em **Modificação de habitats** e **Perda da qualidade das águas**, que ainda não podem ser utilizadas pela população mesmo mais de 2 anos após o rompimento da barragem B1.

Diferente da Zona Quente, os municípios da Região 2 não possuem áreas recobertas pela lama de rejeitos. Contudo, a contaminação das águas do Paraopeba pode resultar, especialmente em regiões vulneráveis a enchentes, na contaminação de solos e possíveis danos à flora. A condição das águas do Rio Paraopeba também gerou preocupação quanto a sua utilização na irrigação por pivô central ou outros métodos de menor porte em cultivos agrícolas. Dependendo da cultura e das características do solo, o uso da água pode causar contaminação dos produtos agrícolas (**Danos à flora silvestre e cultivada**).

A contaminação das águas e sedimentos alterou as condições naturais gerando efeitos negativos para os ecossistemas aquáticos, inclusive com **Danos sobre a fauna silvestre**. Por exemplo, valores altos de turbidez significam que a água está turva. As partículas que causam a turbidez interferem na entrada de luz na água. Assim, a quantidade de luz disponível para os seres que fazem fotossíntese é reduzida. Essa interferência na fotossíntese afeta a produção de alimentos para outros seres e prejudica toda a cadeia alimentar desse ecossistema. Além da turbidez alta, a redução do oxigênio dissolvido compromete a respiração dos peixes e dificulta a oxidação de matéria orgânica. Quando não há suficiente oxigênio dissolvido, a vida aquática é prejudicada e a oxidação do material orgânico começa a ser realizada por bactérias que não utilizam oxigênio, gerando maus odores.

A **Mortalidade da fauna** é um dano irreversível, causado principalmente pela contaminação dos ecossistemas aquáticos. Os animais aquáticos foram especialmente afetados e passaram por dois picos de mortes, primeiro nas semanas após o desastre e mais tarde, ainda em 2019, por causa do aumento das chuvas. No entanto, é necessário ainda um levantamento detalhado de adoecimento e mortes de animais silvestres e domésticos que ocorreram depois do contato com água contaminada pelos rejeitos em outras regiões. Houve registro de mortalidade de animais domésticos após a ingestão de água de cisternas abastecidas pelo Rio Paraopeba em São Joaquim de Bicas, o que indica que isso pode estar acontecendo em outras regiões. Essas informações são fundamentais para adequada caracterização dos danos sobre a fauna.

Quando determinadas substâncias, naturais ou sintéticas, causam efeitos tóxicos na flora e fauna, incluindo nos seres humanos, chamamos esses efeitos de ecotoxicológicos. Os efeitos ecotoxicológicos representam alguns dos danos irreparáveis levantados. Os monitoramentos desses efeitos identificaram que diferentes organismos já estão sendo prejudicados pelas substâncias que estavam no rejeito: microrganismos, algas, microcrustáceos e peixes já foram afetados (***Efeitos ecotoxicológicos em diferentes níveis tróficos¹¹***).

Não se conhecia muito sobre os organismos microscópicos da água do Rio Paraopeba, mas é possível afirmar que, por causa da intensa mudança no ecossistema aquático, os microrganismos também foram afetados. As populações de organismos microscópicos que conseguem conviver com alta concentração de ferro estão crescendo no rio e outras tiveram redução na população (***Alteração de microbiota¹² aquática***).

As algas que tiveram contato com a água da Região 2, mostraram alta sensibilidade e inibição do crescimento. A inibição do crescimento das algas afeta os animais que as consomem, como os crustáceos e peixes. Os peixes que tiveram contato com a água contaminada pela lama de rejeito, tanto os adultos como os embriões, foram afetados pelas substâncias tóxicas. Os efeitos vão desde deformidade em embriões à morte de indivíduos. Um estudo constatou que a musculatura dos peixes que tinham contato com a água ou sedimento contaminado do Paraopeba apresentava acúmulo de ferro, alumínio e manganês. Isso é relevante pois mostra que os peixes estão carregando metais em seu corpo e, se consumidos, podem transferir esses metais para quem os consumiu.

Alguns comentários são importantes sobre as análises ecotoxicológicas. Primeiro, deve-se realizar o monitoramento de mais espécies, especialmente aquelas mais utilizadas pelas comunidades da região. Além disso, considerar só a mortalidade dos indivíduos no monitoramento não é suficiente. Precisamos saber os efeitos tóxicos dessas substâncias no desenvolvimento dos seres vivos e se o consumo dos peixes pelas pessoas é seguro. Quando muitos indivíduos são prejudicados, toda a cadeia alimentar pode ser alterada. Os desequilíbrios na cadeia alimentar podem afetar, por exemplo, o controle biológico de

¹¹ Os níveis tróficos dizem respeito aos níveis da cadeia alimentar, que vão desde os organismos mais simples até aqueles mais complexos. Os níveis tróficos mais altos incluem seres vivos que se alimentam de organismos de níveis mais baixos.

¹² Microbiota indica os seres vivos microscópicos, como bactérias e protozoários, com funções importantes de suporte ao meio ambiente.

doenças e pragas, e prejudicar as fontes de alimento de animais com importância econômica.

Entre os **Danos à fauna silvestre e doméstica**, foram constatados: o afastamento de animais terrestres e pássaros, falta de água para beber e falta de alimentos. A Ação Civil Pública do MPMG ressaltou que cerca de 237 produtores rurais deixaram de ter acesso à água para uso na dessedentação animal. Além desses danos, tanto os animais silvestres como os domésticos estão sob risco de efeitos tóxicos das substâncias encontradas no rejeito através do consumo de água e vegetais irrigados de regiões contaminadas por rejeitos de mineração. Os danos na fauna aquática incluem: dificuldades na reprodução dos peixes, obstrução das brânquias, impacto no estado de conservação de espécies já listadas como ameaçadas de extinção, soterramento dos ovos e alevinos [peixes recém-nascidos], impedimento da movimentação e interferência na ingestão de alimentos. Um agravante para os peixes é que o desastre ocorreu em período de piracema, o que causou mais prejuízo para a reprodução desses animais.

2.5. Consequências regionais no meio ambiente e saúde pública

Alguns danos possuem uma dimensão mais regional, são complexos e serão mais bem compreendidos com o passar do tempo. Entre eles estão, a **Proliferação de vetores e doenças**, **Perda de biodiversidade** e **Biodisponibilização, bioacumulação e distribuição regional de metais pesados**. Por isso, diferentes setores mobilizaram esforços para a atenuação dos efeitos desses danos, como os responsáveis pela saúde pública e meio ambiente.

A intensa modificação física e biológica decorrente do desastre tem causado a **Proliferação de vetores e doenças**. Isso ocorre pelo desequilíbrio no controle biológico e deslocamento de fauna, com animais debilitados, mais susceptíveis a doenças transmissíveis ou possivelmente infectados com doenças existentes na região, como febre amarela e raiva. A necessidade de armazenamento de água pela população após o desastre, somada às alterações de condições sanitárias e ao manuseio de água no enchimento e uso de reservatórios por caminhões pipa, também favorece a proliferação de insetos vetores de doenças (ex. Mosquitos do gênero *Aedes*) bem como o aumento de doenças de veiculação hídrica.

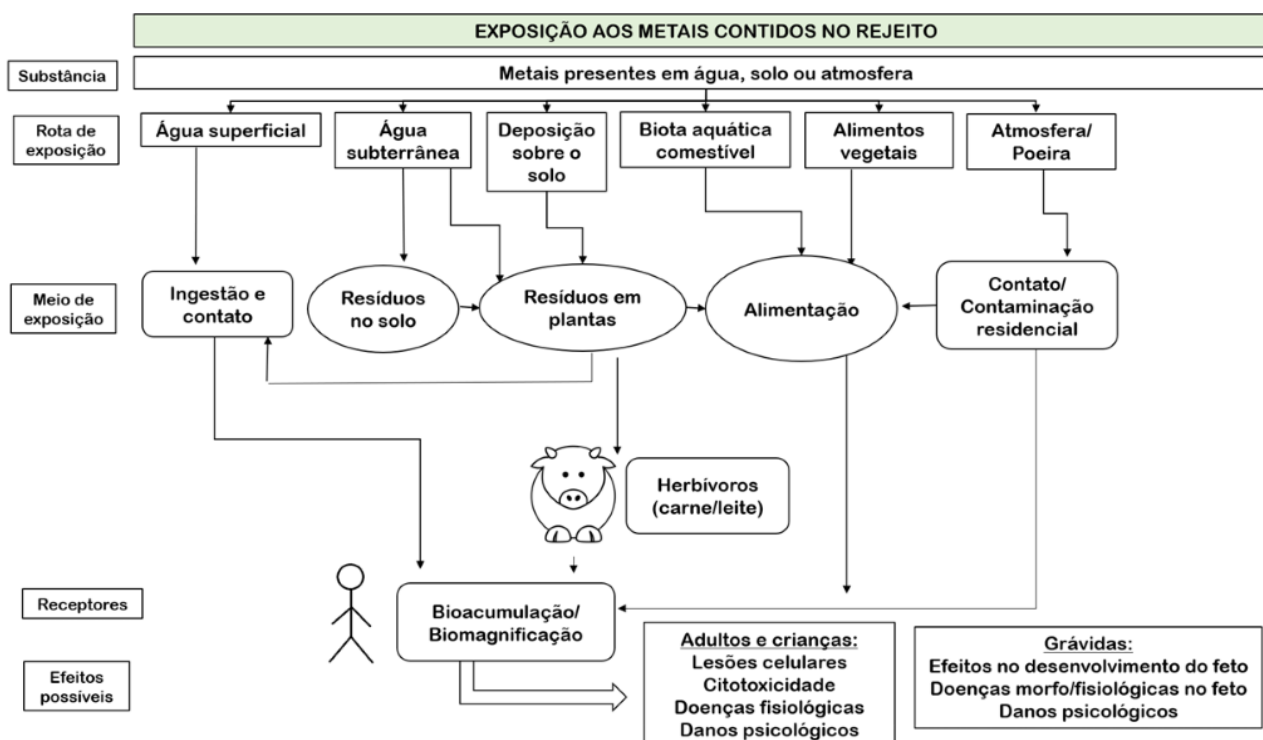
A **Perda de biodiversidade** é irreversível e gera grande impacto na região. A biodiversidade [diversidade ecológica] abrange os seres vivos e as funções por eles

desempenhadas. A perda de biodiversidade inclui a mortalidade de fauna silvestre e doméstica, o soterramento de flora nativa e cultivada, bem como as modificações de habitats aquáticos e terrestres e os danos à fauna e flora.

As substâncias presentes na lama de rejeito geraram contaminação do solo, água e sedimentos. Essas substâncias nos ecossistemas geram **Biodisponibilização, bioacumulação e distribuição regional de metais pesados**. Esses processos envolvem a absorção e acúmulo de substâncias químicas pelos organismos e a passagem deles de presas para predadores, podendo atingir diversos grupos de organismos, inclusive os humanos. Esses processos são irreversíveis e são intensificados pela alta concentração de substâncias tóxicas no rejeito, sua persistência no ambiente e pela ressuspensão nos períodos chuvosos.

A Figura 3 mostra, a partir de um fluxograma, possíveis consequências da exposição aos metais liberados pelo rompimento da barragem da mina do Córrego do Feijão, considerando os efeitos de longo prazo. O ser humano faz parte do complexo ciclo inserido no contexto do desastre, e é considerado um dos receptores finais de elementos potencialmente tóxicos. O fluxograma também inclui outros danos gerados como consequência à contaminação ambiental.

Figura 3: Fluxograma mostrando as possíveis rotas, meios de exposição, e efeitos causados pela exposição aos metais liberados no ambiente



Podemos observar no fluxograma que os metais contidos no rejeito podem ser recebidos por pessoas e animais através de ingestão e contato com a água e poeira, resíduos no solo e plantas e via alimentação. Estão listadas também algumas consequências dessa exposição em crianças, adultos e mulheres grávidas.

3) Considerações Finais

Os danos apresentados neste relatório esboçam a dimensão e intensidade das consequências ambientais provocadas pelo crime da Vale sobre os municípios da Região 2: Mário Campos, São Joaquim de Bicas, Betim, Igarapé e Juatuba. Buscando reparar integralmente os danos decorrentes do desastre, é fundamental aprofundar as pesquisas e monitoramentos dos ambientes atingidos, de forma a caracterizar adequadamente a real extensão dos danos causados sobre o meio ambiente e as comunidades atingidas.