

**VALORAÇÃO DOS DANOS AOS RECURSOS HÍDRICOS DECORRENTES DOS RESÍDUOS DA BARRAGEM DE MINERAÇÃO EM BRUMADINHO-MG**

Alexandra Fátima Saraiva Soares (\*), Paula Santana Diniz, Luís Fernando de Moraes Silva

\*Ministério Público do Estado de Minas Gerais. Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix. E-mail: alexandra@mpmg.mp.br

**RESUMO**

O presente trabalho apresenta metodologia de valoração de dano ambiental ocasionado por rompimento de barragem de rejeito de mineração, com comprometimento da qualidade da água superficial para fins de abastecimento público. Trata-se de pesquisa aplicada com estudo de caso para demonstrar a metodologia sugerida para o caso em tela. O trabalho apresenta valoração dos danos à qualidade da água ocasionados pelo rompimento da barragem B1, situada no Complexo da Mina Córrego do Feijão, situada em Brumadinho, Minas Gerais, Brasil, que se rompeu em 25 de janeiro de 2019. Desde o rompimento da estrutura, que propiciou o extravasamento dos rejeitos de mineração, que atingiu o Rio Paraopeba e comprometeu a qualidade das águas pelo aporte de poluentes, foram suspensas as captações nesse manancial para fins de abastecimento público. Dessa forma, neste trabalho, procedeu-se à caracterização, quantificação e valoração dos danos advindos dessa poluição. O método consistiu na aplicação da formulação do Valor Econômico do Recurso Ambiental, incluída pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 14.653-6:2008 e considerou o valor de uso direto e o valor de uso indireto dos recursos hídricos afetados. Para o cálculo do valor de uso direto utilizou como referência o valor de mercado (tarifa média) do serviço público de fornecimento de água potável, referente ao ano 2019 e apresentado pelas empresas prestadoras de serviços de abastecimento na região atingida. Já para o cálculo do valor de uso indireto, considerou-se o conceito de Emergia, que considera serviços ecossistêmicos e corresponde à energia solar que foi previamente requerida, de forma direta ou indireta para produzir o recurso hídrico afetado. O método de valoração utilizado resultou em um *quantum debeatur* equivalente a R\$ 4.791.573,53 por dia. A sugestão é que esse valor seja acumulado, até que se retomem as captações no Rio Paraopeba para fins de abastecimento público.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo de mineração. Valoração ambiental. Poluição hídrica. Dano ambiental.

**ABSTRACT**

The present work presents a methodology for assessing environmental damage caused by the rupture of the mining tailings dam, with a compromise of surface water quality for public supply purposes. It is applied research with a case study to demonstrate the methodology suggested for the case on screen. The work presents an assessment of the water quality damages caused by the rupture of the B1 dam, located in the Córrego do Feijão Mine Complex located in Brumadinho, Minas Gerais, Brazil, which broke on January 25, 2019. Since the rupture of the structure, which caused the extravasation of mining tailings, which reached the Paraopeba River and compromised the quality of the water by the contribution of pollutants, the funding was suspended in this source for purposes of public supply. Thus, in this work, the characterization, quantification and valuation of the damage resulting from this pollution were carried out. The method consisted in applying the formulation of the Economic Value of the Environmental Resource, included by the Brazilian Association of Technical Standards - NBR 14.653-6: 2008 and considered the value of direct use and indirect use value of the affected water resource. For the calculation of the value of direct use, it used the market value (average tariff) of the public service of potable water supply, referring to the year 2019 and presented by the companies supplying services in the affected region. For the calculation of the indirect use value, the concept of Emergia was considered, which considers ecosystem services and corresponds to the solar energy that was previously required, directly or indirectly to produce the affected water resource. The valuation method used resulted in a quantum maturity of R\$ 4,791,573.53 per day. The suggestion is that this amount be accumulated, until they return to abstractions in the Rio Paraopeba for purposes of public supply.

**KEY WORDS:** Mining waste. Environmental valuation. Water pollution. Environmental damage.



## INTRODUÇÃO

O município de Brumadinho possui população estimada para 2018 de 39.520 habitantes (IBGE, 2019), localiza-se na Região Metropolitana de Belo Horizonte, no estado de Minas Gerais, Brasil e possui como principal atividade econômica a mineração de ferro, que gera resíduos no processamento. No caso de Brumadinho, esses resíduos são acondicionados a úmido em barragens, com risco de rompimento, especialmente devido ao método construtivo com técnicas de alteamentos *a montante*.

Assim, no dia 25 de janeiro de 2019, a barragem de rejeitos B1 do Complexo da Mina Córrego Feijão, situada em Brumadinho, rompeu, liberando para o ambiente grande volume de lama. A mencionada barragem possuía volume de 12,7 milhões de metros cúbicos na ocasião do acidente. Diversas edificações foram afetadas pelos resíduos, conforme ilustrado na Figura 1, resultando em grande número de óbitos (233 mortos até 25/04/2019 e 37 desaparecidos) e dano ambiental de elevada dimensão e repercussão.

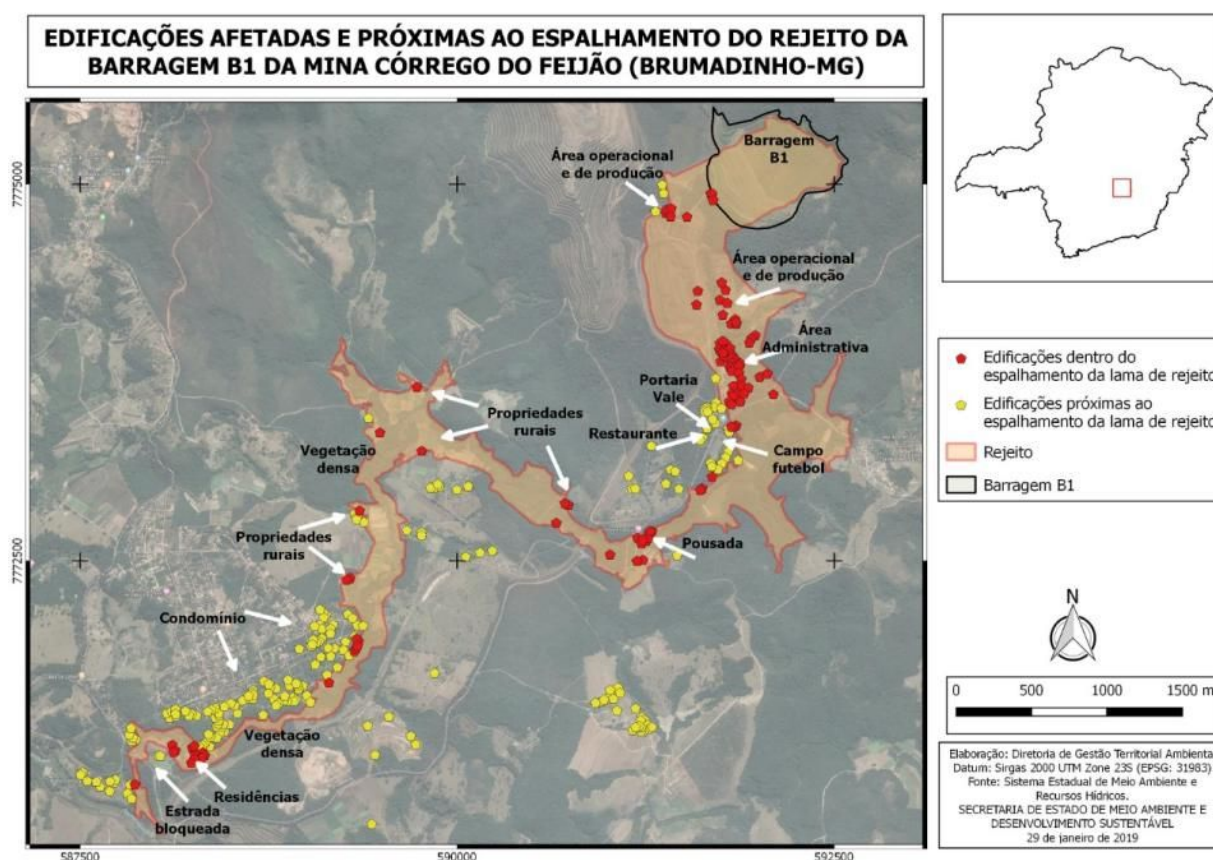
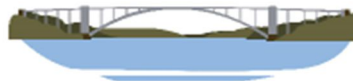
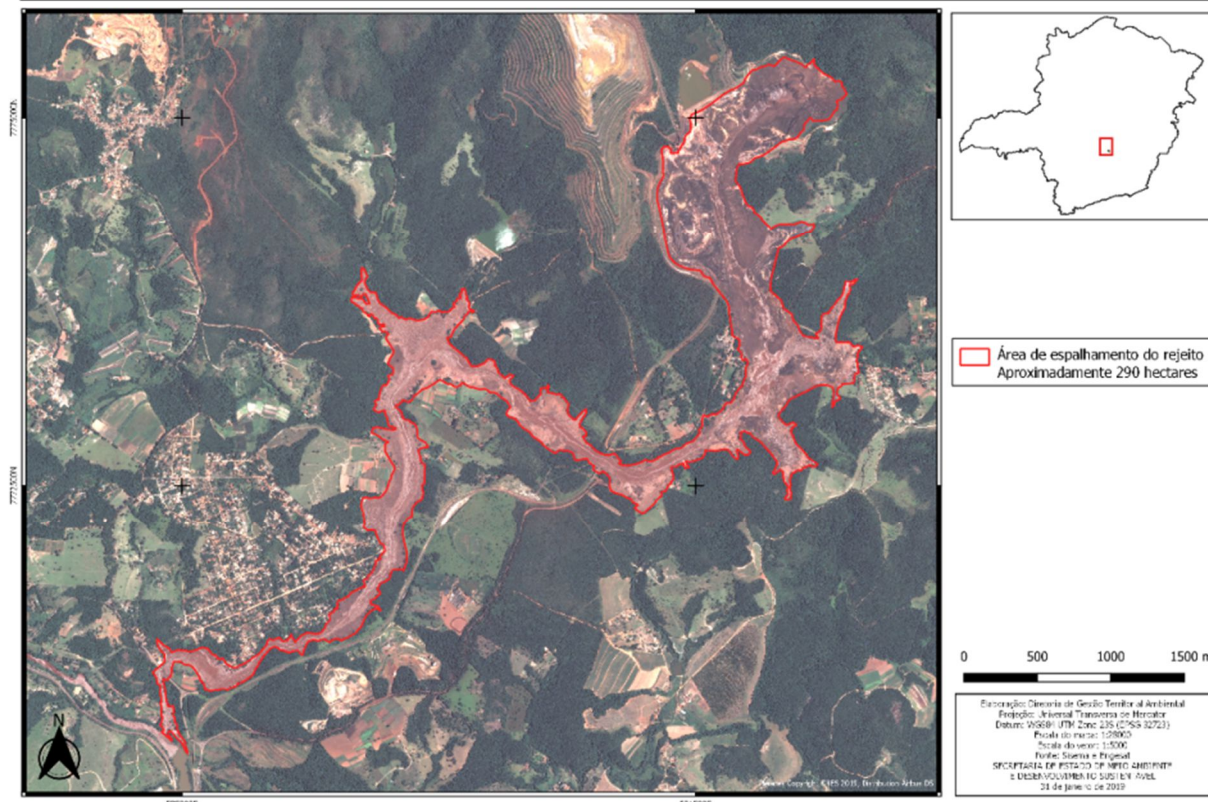


Figura 1: Mapa das edificações afetadas pelo rompimento. Fonte: SEMAD, 2019.

Além de perdas de vidas humanas, os rejeitos da barragem ocasionaram impactos negativos nos âmbitos sociais e ambientais, devido principalmente à perda de vegetação e à alteração da qualidade das águas da bacia do rio Paraopeba, que constitui importante manancial de abastecimento da capital do estado mineiro e outras cidades.

A Figura 2 ilustra o espalhamento do rejeito em Brumadinho até a confluência com o Rio Paraopeba.


**ESPALHAMENTO DO REJEITO ATÉ A CONFLUÊNCIA COM O RIO PARAOPEBA - 29/01 (BRUMADINHO - MG)**


**Figura 2: Mapa do espalhamento do rejeito em Brumadinho. Fonte: SEMAD, 2019.**

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar metodologia de valoração de dano à qualidade das águas superficiais ocasionado pelos resíduos provenientes de rejeitos de atividade minerária. O trabalho apresenta estudo de caso da valoração dos danos provenientes do rompimento da barragem B1 no Complexo da Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale/SA no município de Brumadinho – Minas Gerais.

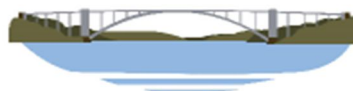
## METODOLOGIA

Trata-se de pesquisa aplicada com apresentação de estudo de caso para demonstrar a metodologia sugerida para o caso em tela. Procedeu-se a caracterização dos danos, quantificação e valoração dos mesmos. A caracterização dos danos foi realizada com base nos dados, disponibilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, referentes aos resultados dos parâmetros de qualidade das águas monitorados, no período de 25/01/2019 a 03/02/2019, ao longo do Rio Paraopeba, após o rompimento da barragem B1 (IGAM, 2019).

A rede de monitoramento de qualidade das águas e sedimento do IGAM possui 10 (dez) estações de monitoramento, cuja localização é apresentada no Quadro 1.

**Quadro 1 – Localização das estações automáticas de monitoramento. Fonte: IGAM, 2019.**

PONTO	LOCALIZAÇÃO
BP-036	Rio Paraopeba na localidade de Melo Franco
BPE-1	Córrego Ferro e Carvão na confluência com o Rio Paraopeba
BPE-2	Rio Paraopeba na captação da COPASA
BP-068	Rio Paraopeba, 5 km a jusante da captação da COPASA em Brumadinho
BP-070	Sarzedo, próximo à cidade de São Joaquim de Bicas, no Rio Paraopeba a jusante da foz do Ribeirão
BP-072	Rio Paraopeba a jusante da foz do Rio Betim, na divisa dos municípios de Betim e Juatuba



PONTO	LOCALIZAÇÃO
BP-082	Rio Paraopeba na localidade de São José, em Esmeraldas
BP-083	Rio Paraopeba logo após a foz do Ribeirão São João em Paraopeba
BP-078	Rio Paraopeba a jusante da foz do Rio Pardo em Pompéu
BP-099	Rio Paraopeba a montante de sua foz na barragem de Três Marias

Na avaliação e quantificação dos danos, ocasionados pela contaminação dos recursos hídricos, foram desconsiderados os resultados dos parâmetros monitorados na Estação BP-036, vez que se encontra a montante da área onde ocorreu o lançamento dos rejeitos (lama).

Os resultados do monitoramento das águas superficiais foram comparados aos padrões de referência, estabelecidos para Classe 2, na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N.º 1, de 05 de maio de 2008 e Resolução CONAMA N.º 357/2005, que dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, para a identificação dos poluentes responsáveis pelos impactos negativos, ocasionados no Rio Paraopeba, após o rompimento da barragem B1 (MINAS GERAIS, 2008; CONAMA, 2005).

### Valoração Econômica dos Danos

A metodologia para a valoração dos danos utilizou a formulação do VERA (Valor Econômico do Recurso Ambiental), incluída pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, na Norma Brasileira – NBR 14653 – Parte 6, que versa sobre métodos e procedimentos para avaliação de recursos naturais, os quais são baseados em metodologias para a aferição da disposição de consumidores a pagar por serviços ecológicos e funções ambientais (ABNT, 2009).

Segundo Seroa da Motta (1998), a tarefa de valorar economicamente um recurso ambiental consiste em determinar quanto melhor ou pior estará o bem-estar das pessoas, devido a mudanças na quantidade de bens e serviços ambientais, seja na apropriação por uso ou não. Assim, de acordo com esse autor, o valor econômico de um recurso ambiental (VERA) compreende a soma dos valores de uso e de não uso, podendo ser expresso da seguinte forma:

$VERA = VUD + VUI + VO + VE$ , onde:

VUD = Valor de Uso Direto

VUI = Valor de Uso Indireto

VO = Valor de Opção

VE = Valor de Existência ou Valor de Não Uso

O Decreto n.º 4339, de 22 de agosto de 2002, que institui princípios e diretrizes para a implantação da Política Nacional da Biodiversidade, também estabelece em seu Anexo (Inciso XIV) que o valor da biodiversidade inclui valor de uso direto e indireto, de opção de uso futuro e, ainda, valor intrínseco, incluindo os valores ecológico, genético, social, econômico, científico, educacional, cultural, recreativo e estético (BRASIL, 2002).

No presente trabalho, foram utilizados no cálculo da valoração apenas o Valor de Uso Direto – VUD e o Valor de Uso Indireto – VUI dos recursos hídricos afetados.

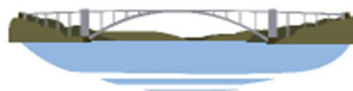
### Cálculo do VUD

O Valor de Uso Direto – VUD foi estimado com base no valor de mercado estabelecido para o benefício advindo da utilização das águas do Rio Paraopeba, após tratamento, como manancial de abastecimento.

Tendo em vista que a água constitui um importante insumo econômico, foi calculado, inicialmente, com base em dados de projeto da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA e concessionária Águas de Pará de Minas, o volume diário, em m<sup>3</sup> por dia, de água do Rio Paraopeba que ficou indisponível para a população abastecida por este manancial desde a interrupção de sua captação em 25/01/2019.

Posteriormente, o VUD foi obtido por meio da tarifa média, expressa em R\$/m<sup>3</sup>, estabelecida, para o serviço de abastecimento, pela COPASA em 2019.

### Cálculo do VUI



Para a estimativa do Valor de Uso Indireto – VUI foi utilizado o conceito de Emergia. A Emergia corresponde à energia solar que foi previamente requerida, de forma direta ou indireta, para produzir um certo produto ou serviço (ODUM, 1996).

Dessa forma, o valor monetário dos serviços ambientais, afetados pelo lançamento da lama de rejeitos no Rio Paraopeba, foi quantificado pela metodologia, denominada no meio científico, de metodologia Emergética ou Ecoenergética (ODUM, 1996; PILLET, 1997).

Esta metodologia consiste em um método de avaliação do fluxo de matéria e energia, permitindo analisar o nível biofísico de estresse ambiental a partir de vetores de produção e demanda por ativos e serviços ecossistêmicos (MOTA, 2010).

A metodologia emergética utiliza a energia solar incorporada (Emergia) aos recursos ambientais para expressar a contribuição da natureza na produção de insumos, matérias-primas, produtos e serviços. Dessa forma, a contabilidade ambiental é realizada utilizando o Joule de energia solar (SeJ), que corresponde à unidade de medida da Emergia (ODUM, 1996), permitindo, ao contrário do que ocorre na economia convencional, atribuir um valor real aos recursos naturais pelo bem-estar que eles proporcionam, em virtude de suas funções ecossistêmicas e serviços ambientais realizados.

Assim, neste trabalho, para a determinação do Valor de Uso Indireto – VUI, foi enfatizado e analisado o serviço ambiental associado ao recurso natural, água superficial, contaminada pelo lançamento dos rejeitos (lama) oriundos da barragem B1.

A emergia do serviço ambiental e seu respectivo valor monetário foram quantificados, inicialmente, por meio da estimativa das emissões no Rio Paraopeba de sólidos em suspensão totais (SST), em kg/dia, presentes na lama. Em seguida, foi determinada a massa de água, em kg/dia, utilizada para a diluição do parâmetro SST até o padrão de referência, estabelecido para Classe 2, na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008 e Resolução CONAMA Nº 357/2005, que dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento (MINAS GERAIS, 2008; CONAMA, 2005).

Calculou-se, então, a energia potencial (serviço ecossistêmico), em Joule (J)/dia, associada ao escoamento gravitacional da massa de água durante a diluição do poluente (sólidos em suspensão totais), a qual foi convertida, posteriormente, em uma medida emergética equivalente (SeJ/dia), por meio do fator de conversão de energia em emergia (energia solar incorporada), denominado Transformidade Solar ou Índice de Transformidade, expresso em emergia por Joule (SeJ/J). Os índices de transformidade são calculados por pesquisadores em todo o mundo (ODUM, 1996), sendo amplamente divulgados em periódicos científicos e endereços eletrônicos especializados (ORTEGA, 2000).

Finalmente, a emergia do serviço ambiental associado à massa de água foi obtida, em termos monetários (dólar), utilizando o índice de equivalência emergia/dólar ( $3,0 \times 10^{12}$  SeJ/US\$), determinado para o Brasil por Ortega (2000). Este índice permite comparar a emergia do serviço afetado à emergia do dinheiro que circula no país em determinado ano, possibilitando a conversão dos valores de energia solar em dinheiro. Posteriormente, para a determinação dos valores em Reais (R\$), foi utilizado o câmbio atual.

## RESULTADOS

### Caracterização Dos Danos – Contaminação Dos Recursos Hídricos

Serão discutidos, a seguir, os resultados dos principais parâmetros analisados nas Estações de Monitoramento do IGAM que ultrapassaram os padrões ambientais no período considerado, os quais permitem avaliar as possíveis alterações do corpo d'água, Rio Paraopeba, em função das características do rejeito e do volume de material sólido transportado pela lama.

No dia 26 de janeiro de 2019, primeiro dia após o desastre, foram observadas as maiores concentrações para os parâmetros turbidez, sólidos em suspensão totais, cor verdadeira, ferro dissolvido, manganês total, alumínio dissolvido, mercúrio total e chumbo total. De maneira geral, esses valores apresentaram redução ao longo dos dias. Contudo, ainda são constatadas violações ao limite de Classe 2 estabelecido na legislação vigente.

### Turbidez

A turbidez é uma característica física da água decorrente da presença de substâncias em suspensão, ou seja, de sólidos suspensos finamente divididos ou em estado coloidal e de organismos microscópicos. Esses sólidos ocasionam



interferências na penetração da luz no meio aquático, conferindo uma aparência turva à água e, conseqüentemente, reduzem a zona eufótica dos cursos d'água, prejudicando o processo de fotossíntese e a sobrevivência da biota aquática (BAIRD, 2002).

A turbidez pode ser expressa por meio de unidades de turbidez (uNT), sendo considerada um dos principais parâmetros para a seleção da tecnologia de tratamento da água bruta e controle operacional dos processos de tratamento destinados à produção de água potável.

Na água potável, a turbidez é esteticamente desagradável e o seu principal inconveniente sanitário está associado à natureza química de certos sólidos em suspensão que podem estar presentes.

Salienta-se que, em virtude do rompimento da barragem B1, como os rejeitos de minério de ferro que atingiram o Rio Paraopeba contêm grande quantidade de lama e sedimentos de coloração marrom avermelhada, a qualidade da água dos municípios que captavam nesse curso d'água foi comprometida, principalmente, devido aos elevados índices de turbidez, impossibilitando o tratamento e acarretando, portanto, desde o dia 25/01/2019, a total interrupção do uso deste manancial para qualquer finalidade.

### **Sólidos em Suspensão Totais**

Conforme mencionado anteriormente, os sólidos em suspensão podem ocasionar a turbidez das águas, dificultando a passagem dos raios solares, comprometendo a atividade fotossintética e, conseqüentemente, o ecossistema aquático. Os sólidos também contribuem para o assoreamento dos cursos d'água e podem causar asfixia nos peixes por entupimento das vias respiratórias. Salienta-se que este parâmetro constitui o poluente que mais impactou negativamente a qualidade da água do Rio Paraopeba em virtude do rompimento da barragem B1.

### **Manganês**

As concentrações de manganês violaram, no período analisado, o padrão ambiental (0,1 mg/L), bem como ultrapassaram o máximo valor da série histórica de monitoramento (Projeto Águas de Minas) do Rio Paraopeba nas Estações de Monitoramento atingidas pela lama de rejeitos. Ressalta-se que este parâmetro é um dos componentes do rejeito que era armazenado na barragem B1 e sua presença, em quantidades excessivas, é indesejável em mananciais de abastecimento público, como o Rio Paraopeba, por conferir cor e sabor às águas.

### **Chumbo Total**

As concentrações de chumbo total ultrapassaram os limites estabelecidos pela legislação vigente nos primeiros dias após o rompimento. Entretanto, de acordo com os resultados obtidos no monitoramento, referentes ao dia 03/02/2019, já estão atendendo aos padrões ambientais.

### **Alumínio e Ferro Dissolvidos**

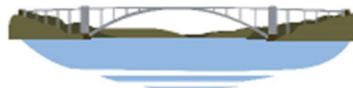
As violações das concentrações de alumínio e ferro dissolvidos foram observadas em todas as estações no trecho entre Esmeraldas e Pompéu (estações BP082, BP083, BP078 e BP099). Entretanto, alterações desses parâmetros já eram observadas na série histórica de monitoramento do IGAM por estarem presentes na constituição do solo da região.

### **Mercúrio Total**

O mercúrio foi o único metal pesado detectado em 03/02/2019, na Estação BPE2 (rio Paraopeba na captação da COPASA), em concentrações acima do padrão ambiental. Segundo a caracterização do rejeito da barragem B1, apresentada na documentação do licenciamento ambiental da Mina do Córrego do Feijão, o mercúrio não está presente na composição da lama e, de um modo geral, contaminações desse metal estão relacionadas à extração secular e recente do ouro, incluindo a atividade garimpeira.

### **Valoração Econômica – Recursos Hídricos**

#### **Valor de Uso Direto – VUD**



O valor de uso direto consiste no valor que os indivíduos atribuem a um recurso ambiental em função do bem-estar que ele proporciona, por meio do uso direto. Por exemplo, na forma de extração de recurso, de visitação ou outra atividade de produção ou consumo.

Em consonância com o Comunicado à Imprensa divulgado pelas Secretarias de Estado de Saúde (SES), de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD); e de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SEAPA), baseado no monitoramento de qualidade de água bruta realizada pelo Governo de Minas, após o rompimento da Barragem I (Mina do Feijão em Brumadinho), foi suspensa a captação de água para abastecimento público no Rio Paraopeba pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA e pela empresa Águas de Pará de Minas.

Em face do exposto, pode-se dizer que, além de fundamental para a vida, a água também constitui um importante insumo econômico. Portanto, o seu Valor de Uso Direto – VUD foi estimado com base no valor de mercado estabelecido para o benefício advindo da sua utilização, após tratamento.

Considerando as informações da COPASA e dados de projeto da concessionária Águas de Pará de Minas, o cálculo do volume diário que ficou indisponível para a população abastecida por este manancial, em virtude da interrupção de sua captação, encontra-se na Tabela 1.

**Tabela 1 – Volume indisponível após a interrupção da captação do Rio Paraopeba. Fonte: MPMG, 2019.**

EMPRESA	CAPTAÇÃO - RIO PARAOPEBA (L/s)	VOLUME INDISPONÍVEL (m <sup>3</sup> /dia)
COPASA	5000	432.000
ÁGUAS DE PARÁ DE MINAS	3000	259.200
<b>TOTAL</b>	<b>8000</b>	<b>691.200</b>

Utilizando-se o valor de mercado, ou seja, a tarifa média de R\$ 5,42 por m<sup>3</sup>, referente ao serviço público de abastecimento de água, estabelecida em 2019 pela COPASA, foi obtido o VUD (Tabela 2).

**Tabela 2 – Valor de Uso Direto (VUD). Fonte: MPMG, 2019.**

EMPRESA	VOLUME INDISPONÍVEL (m <sup>3</sup> /dia)	TARIFA (R\$/m <sup>3</sup> )	CUSTO (R\$/dia)
COPASA	432.000	5,42	2.341.440,00
ÁGUAS DE PARÁ DE MINAS	259.200	5,42	1.404.864,00
<b>TOTAL</b>	<b>691.200</b>	<b>-</b>	<b>3.746.304,00</b>

Portanto, o Valor de Uso Direto - VUD corresponde a R\$ 3.746.304,00 por dia.

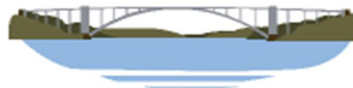
#### Valor de Uso Indireto – VUI

O valor de uso indireto é definido como o valor atribuído a um recurso ambiental em virtude de suas funções ecossistêmicas.

Bens e serviços são oferecidos pelos ecossistemas e garantem o bem-estar de toda a sociedade. Esses serviços estão intimamente relacionados ao equilíbrio ecológico, especificamente na estrutura e funções do ecossistema, que podem ficar comprometidos pela entrada de poluentes.

Dessa forma, os desequilíbrios ecológicos são diretamente relacionados às degradações dos serviços ecossistêmicos que, por sua vez, resultam em prejuízos a toda sociedade. São essas perdas que a sociedade tenta evitar ao estabelecer medidas de controle das emissões e ao monitorar a qualidade dos diferentes meios da biosfera (ULGIATI, S. & BROWN, M.T., 2002).

Assim, a avaliação dos efeitos de poluentes nos serviços ecossistêmicos corresponde a uma avaliação do desequilíbrio ecológico, que pode ser expressa em termos biofísicos (unidades de energia ou massa) e/ou em termos monetários. Neste trabalho, os serviços ecossistêmicos analisados são aqueles relacionados ao lançamento dos rejeitos da barragem B1 da Mina do Córrego do Feijão nas águas do Rio Paraopeba.



Considerando os impactos negativos dos poluentes lançados no Rio Paraopeba, verifica-se que seus principais impactos estão relacionados ao aporte de sólidos no ambiente aquático. Portanto, no que diz respeito às interferências sobre os recursos hídricos, os serviços ecossistêmicos afetados podem ser quantificados, conforme mencionado anteriormente, em termos da energia necessária para a diluição dos rejeitos até o nível máximo permitido para o parâmetro Sólidos em Suspensão Totais (SST) nas águas do rio, enquadrado na Classe 2.

Para fins da quantificação do dano ambiental à qualidade das águas, considerou-se o trecho do Rio Paraopeba compreendido entre o ponto onde o rejeito (lama) atingiu o Rio Paraopeba e o local de captação de água para abastecimento público do município de Pará de Minas-Minas Gerais.

### Quantificação da carga de rejeitos (lama) que atingiu o Rio Paraopeba

Para fins da quantificação da carga poluidora que atingiu o Rio Paraopeba, considerou-se que 50% dos rejeitos atingiram o rio Paraopeba e que 50% ficaram retidos no solo<sup>1</sup>.

Ademais, adotou-se para fins de cálculo:

- a média das concentrações de SST apresentadas pelo IGAM no período de 25/01/2019 a 03/02/2019, aferidas em 9 estações de amostragem situadas a jusante do ponto onde os rejeitos atingiram o Rio Paraopeba (Quadro 1).
- o limite máximo admissível de 100 mg/L (Águas de Classe 2 – art. 14, I, 3. f - DN COPAM/CERH 01/2008).
- vazão: 30 m<sup>3</sup>/s (medida antes do rompimento, conforme CPRM, 2019).

Dessa forma, a carga diária de rejeito lançada nas águas do Rio Paraopeba foi:

Carga diária = Concentração de SST x Vazão

Carga diária = 6,17E+06 kg SST/dia

### Determinação da massa de água necessária para diluição dos rejeitos que atingiram o Rio Paraopeba

A massa total de água, comprometida na diluição de SST até a concentração máxima permitida pela legislação em vigor, foi obtida por meio da Equação 1:

$$M = d \frac{W_{SST}}{c} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

M = massa de água

d = densidade da água (1 g/cm<sup>3</sup>)

W<sub>SST</sub> = carga média de SST, lançada no Rio Paraopeba (Concentração x Vazão)

c = concentração máxima permitida na legislação em vigor para SST para águas Classe 2

Então:

M = 1E+06 mg/L [(2.381,09 mg/L x 2.592.000.000,00 L/dia)/(100 mg/L)]

M = 61.717.912.615,38 kg/dia de SST

**M = 6,17E+10 kg/dia**

### Cálculo da energia potencial da massa de água

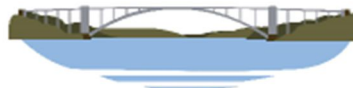
A energia potencial (Ep) da massa de água utilizada na diluição dos poluentes foi calculada, em Joules, por meio da Equação 2:

$$Ep = M \cdot g \cdot h \quad \text{Equação 2}$$

<sup>1</sup> Área atingida pela lama: 289,80 ha

Volume de rejeitos extravasados para o ambiente: 12,7 milhões de m<sup>3</sup>





Onde,

M = massa de água para diluir os SSTs até os níveis permitidos, em kg (Equação 1)

g = aceleração da gravidade = 9,8 m/s<sup>2</sup>

h = diferença de altitude entre o Ponto P1 (Altitude: 738 m) e o Ponto P2 (Altitude: 688 m), que corresponde a 50 metros (Google Earth)<sup>2</sup>

Então:

$$E_p = 6,17E+10 \text{ kg/dia} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 50,0 \text{ m}$$

$$E_p = 3,02E+13 \text{ J/dia}$$

### Cálculo do Valor de Uso Indireto – VUI

A valoração monetária dos serviços ecossistêmicos e, portanto, o cálculo diário do Valor de Uso Indireto – VUI é apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3 – Valoração dos serviços ecossistêmicos. Fonte: Autores do Trabalho.**

Serviços Ambientais afetados	Carga Total (kg/dia) <sup>(a)</sup>	Massa de água para diluição (kg/dia) <sup>(b)</sup>	Energia Potencial (J/dia) <sup>(c)</sup>	Transformidade (Sej/J) <sup>(d)</sup>	Energia (Sej)	EMdólar (US\$/dia) <sup>(e)</sup>	Reais (R\$/dia) <sup>(f)</sup>
Diluição SST	6,17E+06	6,17E+10	3,02E+13	2,8E+04	8,43E+17	280.986,43	1.045.269,53

a – Carga: produto da concentração de SST e vazão do rio

b – Equação 1

c – Equação 2

d – Ortega, 2000

e - EMDólar = dólares emergéticos = energia / Transformidade

Energia-Dólar, onde: Transformidade Energia-Dólar = 3,0 x 10<sup>12</sup> sej/US\$

f – US\$1,00 = R\$3,72 (câmbio - cotação em 07/02/2019)

Portanto, o Valor de Uso Indireto - VUI corresponde a R\$ 1.045.269,53 por dia.

Dessa forma, somando o VUD (Tabela 2) com o VUI (Tabela 3) tem-se o valor diário dos danos ocasionados ao Rio Paraopeba, desde o rompimento da barragem B1 em 25/01/2019. Sendo assim, este valor corresponde a R\$ 4.791.573,53 por dia.

### CONCLUSÃO

Em face do exposto neste trabalho, o parâmetro Sólidos em Suspensão Totais (SST) constitui o poluente que mais contribuiu para ocasionar o dano à qualidade da água do Rio Paraopeba em virtude do rompimento da barragem B1 no complexo da Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale S/A.

Considerando o Valor de Uso Direto – VUD, bem como o Valor de Uso Indireto – VUI, a valoração dos danos no caso em tela apresentou *quantum debeatur* correspondente a R\$ 4.791.573,53 por dia. A sugestão é que esse valor diário seja acumulado até que se retomem as captações no Rio Paraopeba, para fins de abastecimento público.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUA E ESGOTO (ARSAE-MG). **Resolução ARSAE-MG 96**, de 29 de junho de 2017. Autoriza a Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Copasa a aplicar aos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário prestados as tarifas constantes do Anexo I desta Resolução, aprova as regras a serem observadas pela Copasa para o próximo ciclo tarifário e dá outras providências. Disponível em:

<sup>2</sup> A diferença da altitude nos dois pontos forneceu o valor (h), para calcular a energia potencial necessária ao escoamento gravitacional da massa de água requisitada, a fim de diluir os SSTs até atingir o limite estabelecido pela legislação vigente (SST igual a 100,00 mg/L – Classe 2).



[http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/audiencia\\_publica/15/Resolucao\\_96\\_RevisaoCopasa\\_2017.pdf](http://arsae.mg.gov.br/images/documentos/audiencia_publica/15/Resolucao_96_RevisaoCopasa_2017.pdf). Acesso em: fev. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14.653-6:2008** Versão corrigida: 2009. Avaliação de bens: parte 6: recursos naturais e ambientais. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BAIRD, C. Química ambiental – 2ª edição. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora Ltda; 2002. 622p.

BRASIL. Decreto nº 4.339, de 22 de agosto de 2002. **Institui princípios e diretrizes para a implementação da Política Nacional da Biodiversidade**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2002/d4339.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4339.htm). Acesso em fev. 2019.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 357**, 17 de março de 2005. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamentos de efluentes nos corpos receptores e dá outras providências.

CPRM, **Serviço Geológico do Brasil. Boletim de monitoramento compartilhado do Rio Paraopeba**. Ruptura da barragem do Complexo do Feijão em Brumadinho – MG. Documento de 06/02/2019. Figura 3 – Fluviograma das estações Ponte Nova do Paraopeba e Ponte da Taquara. Disponível em: <file:///C:/Users/alexandra/Desktop/Laudos\_c%C3%B3pia\_8\_fev/Brumadinho/Barragem\_Vale/Valora%C3%A7%C3%A3o/20190206\_19-20190206%20-%20191433.pdf>. Acesso em 08/02/2019.

DA MOTTA, R. S. **Manual de Valoração**. Brasília: MMA, 1998. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/publica/mvalora/sumario.html> (acesso em 30-01-2019).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados do Brasil**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: fev. 2019.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Informativo Especial Avaliação da série histórica entre 2000 e 2018**. Informativo dos parâmetros de qualidade das águas nos locais monitorados ao longo do Rio Paraopeba antes do desastre na barragem B1 no complexo da Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale/SA no município de Brumadinho – Minas Gerais. Belo Horizonte, 12 de fevereiro de 2019. Disponível em: [http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2019/DESASTRE\\_BARRAGEM\\_B1/informativos\\_qualidade\\_agua/Informativo\\_Especial\\_Serie\\_Hist%C3%B3rica\\_2000\\_a\\_2018\\_140219.pdf](http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2019/DESASTRE_BARRAGEM_B1/informativos_qualidade_agua/Informativo_Especial_Serie_Hist%C3%B3rica_2000_a_2018_140219.pdf). Acesso em fev. 2019.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa conjunta COPAM/CERH nº 01**, de 5 de maio de 2008. 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. Publicação – Diário do Executivo – “Minas Gerais” – 13/05/2008.

MINISTÉRIO PÚBLICO DE MINAS GERAIS (MPMG). **Parecer Técnico Preliminar**, elaborado por Alexandra Fátima Saraiva Soares e Paula Santana Diniz. Central de Apoio Técnico/Setor de Meio Ambiente (CEAT/MA). SGDP 2928573. SISCEAT 33652769 de 11 de fevereiro de 2019.

MOTA, J. A. **A valoração da biodiversidade: conceitos e concepções metodológicas**. In: MAY, Peter H. Economia do Meio Ambiente: teoria e prática. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

ODUM, H. T. **Environmental Accounting**, Emery and Decision Making. New York: Wiley, 1996. 370 p.

ORTEGA, E. **Contabilidade e Diagnóstico de Sistemas Usando os Valores dos Recursos Expressos em Emergência**. Campinas: UNICAMP/DEA, 2000. 38 p.

PILLET, G. **Economia Ecológica: Introdução à economia do ambiente e dos recursos naturais**. Lisboa: Instituto Piaget, 1997.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (SEMAD). **Mapas de Espalhamento do Rejeito**. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/component/content/article/13-informativo/3748-mapa-espalhamento-do-rejeito-27-de-janeiro->. Acesso em fev. 2019.

ULGIATI, S. & BROWN, M.T. 2002. **Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions** – The Case of Electricity Production. Journal of Cleaner Production 10 (2002). 335-348.