

# **Avaliação de risco à saúde humana pelo consumo de água de abastecimento alternativo em municípios ao longo do Rio Paraopeba**

## **Human health risk assessment in municipalities located along the Paraopeba River by groundwater consumption**

**Lillian Maria Borges Domingos**  
Bolsista PCI, Química Industrial MSc.

**Zuleica Carmen Castilhos**  
Supervisora, Bioquímica, D.Sc.

### **Resumo**

Em quase metade dos 16 municípios estudados ao longo do Rio Paraopeba, a ingestão de águas de poços localizados a menos de 100m do Rio Paraopeba representa risco de efeitos não cancerígenos à saúde humana. Os teores de contaminantes em águas foram gerados pela Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, no decorrer de dois anos após o rompimento da Barragem I, da VALE S.A, em Brumadinho. Estes dados foram associados a cenário de exposição ambiental e integrados pela metodologia de avaliação de riscos à saúde humana (USEPA). A partir de Brumadinho o risco decresce de montante para a jusante, com um aumento considerável no município de Três Marias. Antimônio, Arsênio e Cromo são os elementos que mais contribuem para o risco. Adicionalmente, os teores de Chumbo se mostraram acima do valor máximo permitido nas águas de poços em 10 municípios, o que deve incrementar tais riscos. Considerando o rompimento de barragem de rejeitos de mineração de ferro como fonte de contaminação, Alumínio, Ferro e Manganês são contaminantes de interesse, devem ser monitorados e inseridos na avaliação de riscos não cancerígenos. Os riscos cancerígenos também precisam ser avaliados, principalmente pela confirmada presença de arsênio, reconhecido cancerígeno humano.

**Palavras chave:** Rompimento de barragem de mineração; Mineração de Ferro, Exposição Ambiental.

### **Abstract**

The ingestion of water from wells located less than 100m from the Paraopeba River represents a risk of non-carcinogenic effects to human health in almost 50% of the 16 municipalities studied, and from Brumadinho, the risk decreases from upstream to downstream, with an increase considerable in the municipality of Três Marias. Antimony, Arsenic and Chromium are the elements that contribute most to the risk. Additionally, in 10 municipalities, the Lead contents were above the maximum allowed value, which should increase such risks. Considering the contamination source (the iron mining tailings dam failure), the elements Aluminum, Iron and Manganese must be included in the non-carcinogenic risk assessment and the carcinogenic risks must also be

evaluated, mainly due to the Arsenic presence, a recognized human carcinogenic. The contaminants levels in water were generated by the Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais, around for more than two years after the failure Dam I, owned by VALE SA, in Brumadinho. It is recommended that the detection limits of the methods are also informed, to allow improvements in the human health risk assessment under the traceability approach.

**Key words:** Iron Mining, Environmental Exposure.

## 1. Introdução

Em 2021 vivemos o marco de dois anos do rompimento da barragem de rejeitos de minério de ferro B1 da mina do Córrego do Feijão, da Vale S.A, ocorrido às 12h28min25s de sexta-feira dia 25 de janeiro de 2019 e que provocou o soterramento/rompimento de mais duas barragens, a B-IV e a B-IV-A, com a liberação para o meio ambiente de cerca de 12 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos. Estas três barragens eram classificadas como de risco baixo e com dano potencial alto (ANM,2017). A violência deste evento causou a morte por soterramento e/ou desmembramento de 272 pessoas, incluindo duas mulheres grávidas, sendo que os corpos ou fragmentos de corpos de 8 pessoas ainda não foram encontrados. O rejeito liberado destas barragens se espalhou sobre o solo, atingiu mata nativa e de reflorestamento, e os rios, soterrando o córrego ferro-carvão e atingindo o Rio Paraopeba. Os rejeitos, ainda sobre os solos, podem continuamente atingir as águas superficiais e subterrâneas, contaminando estas águas, inclusive de poços que servem a comunidades.

As comunidades precisam ser informadas de maneira clara e de fácil entendimento sobre os riscos de estar, ao longo destes dois anos, sob potencial exposição a este material que permanece depositado sobre o solo e que pode alterar a qualidade do ar, a dinâmica da contaminação dos sedimentos dos rios e a qualidade das águas, com potenciais efeitos sobre a vida aquática e principalmente, que possam estar sendo expostas a agentes tóxicos por ingestão de águas contaminadas. Para tal, é necessário que se faça um monitoramento de maneira transparente e independente, gerando resultados com qualidade sobre parâmetros e elementos de interesse, informando a periodicidade e os locais a serem monitorados e permitindo o acompanhamento. Finalmente, os resultados deste monitoramento devem ser amplamente divulgados à população e à comunidade científica. É importante conhecer se o rompimento da barragem pode representar risco crônico por exposição ambiental à saúde humana e à biota (terrestre e aquática).

A avaliação de risco à saúde humana é uma metodologia quantitativa que utiliza modelos biológicos e estatísticos e resulta em estimativas numéricas, ou índices, que relacionam a intensidade da poluição aos riscos à saúde humana e ao ambiente (USEPA,1989). A metodologia é composta por 4 etapas: caracterização da fonte, avaliação da exposição, avaliação da toxicidade e caracterização de risco. Esta metodologia é utilizada para estruturar a dinâmica da presente pesquisa. Assim, a primeira etapa se referiu à caracterização da fonte / formulação do problema, ou seja, à caracterização dos rejeitos da mineração de ferro que se encontravam dentro da Barragem I, que se rompeu e que atualmente, encontram-se sobre os solos e córregos de uma região

rural produtiva e habitada. A partir da caracterização da fonte foi concebido o modelo conceitual (DOMINGOS e CASTILHOS, 2020), etapa chave para as fases posteriores da metodologia, por indicar os potenciais contaminantes de interesse e as principais vias de exposição humana. A via de exposição por ingestão de águas subterrâneas é uma das rotas indicadas para investigação, e é uma situação real de diversas comunidades que não contam com o abastecimento doméstico de águas tratadas pela COPASA, mas de soluções alternativas de abastecimento, por água de poços, sob responsabilidade das prefeituras.

## **2. Objetivos**

Apresentar o Índice de Risco de Efeitos não cancerígenos pelo consumo de água de poços de abastecimento alternativo localizados em até 100m ao longo do Rio Paraopeba em 16 municípios a partir de Brumadinho até Morada Nova de Minas, identificando os contaminantes que mais contribuem para estes riscos e sugerindo novas abordagens para subsidiar as discussões técnicas sobre os impactos crônicos do rompimento da Barragem I.

## **3. Material e Métodos**

A avaliação de risco à saúde humana sob abordagem de rastreamento foi realizada com base nos procedimentos descritos em USEPA (1989). Nesta abordagem são assumidas condições de exposição humana em cenário de pior caso, como forma de precaução e proteção da saúde humana, identificando-se os contaminantes de maior preocupação. O monitoramento da qualidade de águas subterrâneas gerado pela Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (2020) apresentou resultados de cerca de 4.000 amostras de águas que foram coletadas de 141 poços distantes em até 100 metros das margens do Rio Paraopeba, pertencentes a 16 municípios: Betim; Brumadinho; Esmeraldas; Florestal; Juatuba; Mário Campos; São Joaquim de Bicas; Curvelo; Felixlândia; Morada Nova de Minas; Papagaios; Paraopeba; Pompéu; Três Marias; São José da Varginha e Pará de Minas. A distância entre as cidades de Brumadinho e Morada Nova de Minas é de cerca de 290 Km. As coletas e análises foram realizadas no período de janeiro de 2019 a novembro de 2020, abrangendo dois anos a partir da data do rompimento da Barragem I. A ingestão de água foi a única via de exposição considerada e foram utilizados os valores máximos encontrados para os contaminantes analisados. O cálculo da dose diária de contaminantes resulta da concentração do contaminante na água e da quantidade de água ingerida por dia, por peso corporal, ( $D=C*Co/P$ ), onde: C: concentração do elemento em água; Co: consumo diário de água (2 L); P: peso corporal (70 kg para adultos).

Para a avaliação de risco de efeitos não cancerígenos, calcula-se o Quociente (QP) de Perigo, que é a razão entre a dose diária e as respectivas doses de referência RfD de cada contaminante, obtidas junto ao Integrated Risk Information System (IRIS, USEPA 2014). A dose de referência oral (RfD; (mg/kg) /dia) é uma estimativa de exposição diária da população humana (incluindo subgrupos sensíveis) que provavelmente não apresentará um risco apreciável de efeitos deletérios durante a vida em função daquela específica exposição. Para os cálculos

foram considerados os teores de Antimônio (Sb), Arsênio (As), Bário (Ba), Cádmiio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni), Selênio (Se) em águas subterrâneas. Estes elementos foram selecionados porque são os únicos disponíveis no monitoramento que também possuem RfD oral derivado. Para o Cr foi utilizado o RfD do Cr (VI), porque é o mais tóxico, caracterizando assim o pior cenário de exposição, adequado para o nível de rastreamento. Não há RfD disponível para Pb, que recebeu, aqui considerações qualitativas em função de sua importante toxicidade e da disponibilidade de dados no monitoramento.

Quando o valor do QP for maior do que a unidade, é caracterizado perigo de ocorrência de efeitos não cancerígenos por exposição ambiental ao contaminante considerado. Os resultados de QP foram publicados em Domingos, 2021.

O Índice de Perigo (IP) integra a exposição ambiental simultânea a diversos contaminantes e é obtido pelo somatório dos valores de QP. Quando o IP excede a unidade, é caracterizado perigo à saúde humana, decorrente dos efeitos aditivos de exposição aos diversos agentes tóxicos considerados.

#### 4. Resultados e Discussão

A Tabela 1 apresenta o IP calculados a partir da metodologia de avaliação de riscos que integrou os resultados publicados sobre os contaminantes considerados (Sb, As, Ba, Cd, Cr, Hg, Ni e Se) e condições de exposição humana. Os valores de QP foram publicados anteriormente em Domingos, 2021 e foram aqui integrados.

Os resultados mostram que dos 16 municípios que foram avaliados ao longo de dois anos, sete (7) apresentaram a ocorrência de coeficientes de perigo acima da unidade, o que significa risco à saúde humana por ingestão de águas de poços localizados a menos de 100m do Rio Paraopeba. Adicionalmente, em 11 municípios, as águas de poços mostraram teores de chumbo, e em 10, os teores estavam acima do valor máximo permitido (VMP) determinado pelo Ministério da Saúde, 2017, o que deve ser considerado um dado importante para incremento dos riscos à saúde humana. Entretanto, o Pb não consta na avaliação de risco porque os estudos mostram alta variabilidade de respostas tóxicas em função de diferentes níveis de exposição na população humana, o que não permite derivar RfD (USEPA,1989). Por esta razão, a avaliação da exposição a Pb deve levar em consideração as condições locais, os sinais e sintomas e níveis Pb em sangue e em urina da população.

Tabela 1 Índice de Perigo de ingestão de águas subterrâneas em diferentes municípios ao longo do Rio Paraopeba.

Município	Bumadinho	Campos Mário Ribeiro	Joaquim de São Belim	Juatuba	Esmeraldas	Florestal	Para de Minas	São José da Varginha	Paraopeba	Papagaios	Curvelo	Pompéu	Felixlândia	Tês Marias	Nova de Minas	Morada
IP	3,1	2,7	0,8	0,6	0,8	1,5	0,4	2	2,1	1,1	0,65	0,61	0,23	0,92	5,2	0,78

A Tabela 2 mostra que o Antimônio, o Arsênio e o Cromo são os elementos que mais contribuem para o índice de perigo acima da unidade. É interessante notar que a distribuição do nível de risco a partir de Brumadinho decresce de montante para a jusante, com um aumento considerável no município de Três Marias, a 307,9 Km de Brumadinho. Outros elementos devem ser inseridos na avaliação de risco, como por exemplo, Al, e Mn, que são elementos indicados como importantes pela caracterização da fonte (rompimento de barragem de mineração de ferro) (DOMINGOS e CASTILHOS, 2019), sobretudo o Mn, por ser neurotóxico (USEPA, 1995). Resultados de concentração destes elementos não estão disponíveis no Boletim da Secretaria de Saúde do Estado de MG.

Tabela 2 Contribuição percentual dos diferentes contaminantes para o Índice de Perigo acima da unidade, em cada município.

Elementos	Brumadinho	Mário Campos	Esmeraldas	Pará de Minas	São José da Varzinha	Paraopeba	Três Marias
Sb	22,6	81,1	13,9	7,1	10,3	38,3	53,4
As	33,1	14	12,3	66,2	27,6	51,1	45,6
Ba	3,5	0,8	6,2	7,4	6,4	2	0,3
Cd	-	-	7,4	5,7	8,3	-	-
Pb	-	-	-	-	-	-	-
Cu	-	-	-	-	-	-	-
Cr	36,2	3,5	55,5	9,5	45,9	8,5	-
Hg	0,2	-	0	0	0,1	-	-
Ni	2,1	-	4,6	3,5	1,4	-	0,3
Se	2,4	0,6	-	0,6	-	-	0,4
IP	3,1	2,7	1,5	2	2,1	1,1	5,2

Para melhorias na avaliação de risco à saúde humana, é importante também que possa ser calculado teores médios ou de 95% da distribuição e para tanto, é necessário que sejam disponibilizados os valores de limite de detecção dos métodos analíticos utilizados. Porém, atualmente, esta informação não está disponibilizada no Boletim da Secretaria de Saúde de Minas Gerais (2020). Entretanto, conforme informado no próprio boletim, o laboratório contratado segue a norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017, tendo, portanto, obrigatoriamente, determinado esse valor quando validou o método.

## 5. Conclusão e Recomendações

A ingestão de águas de poços localizados a menos de 100m do Rio Paraopeba representa risco de efeitos não cancerígenos à saúde humana em 7 dos 16 municípios estudados, sendo que tais riscos devem ser incrementados pela presença também de Pb nas águas. A partir de Brumadinho o risco decresce de montante para a jusante, com um aumento considerável em Três Marias. Sb, As e Cr são os elementos que mais contribuem para os riscos estimados, mas recomenda-se que Al e Mn sejam monitorados e inseridos na

avaliação de risco não cancerígenos e que os riscos cancerígenos sejam também avaliados, especialmente devido à presença de As em águas, reconhecido agente cancerígeno humano. Finalmente, recomenda-se que os valores de limite de detecção sejam incorporados ao Boletim da Secretaria de Saúde para permitir melhorias na avaliação de risco à saúde humana por exposição ambiental a contaminantes, e assim cumprir com o objetivo de facilitar o entendimento das populações sobre os impactos do rompimento da Barragem I.

## 6. Agradecimentos

A autora agradece ao Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) pela infraestrutura, ao Programa Institucional de Bolsa de Capacitação Institucional – PCI/CNPq pela concessão da bolsa, à supervisora Dra. Zuleica Carmen Castilhos e a todas e todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

## 7. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 17025:2017 – **Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração**. Rio de Janeiro: ABNT 2017, 38p.

ANM, Agência Nacional de Mineração. **CADASTRO NACIONAL DE BARRAGENS\_2016\_FINAL 06-01-2017**. Disponível em: <[http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/CADASTRO%20NACIONAL%20DE%20BARRAGENS\\_2016%20\\_FINAL%2006-01-2017.pdf/view](http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/arquivos-barragens/CADASTRO%20NACIONAL%20DE%20BARRAGENS_2016%20_FINAL%2006-01-2017.pdf/view)> Acesso em: 23 set 2019.

DOMINGOS, L. M. B.; CASTILHOS, Z. C. **Avaliação de riscos à saúde humana e ecológicos por rompimento da Barragem I da Vale em Brumadinho - MG** In: Jornada do Programa de Capacitação Interna do CETEM, 8. Rio de Janeiro, Anais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2019.

DOMINGOS, L. M. B.; CASTILHOS, Z. C. **Avaliação de riscos à saúde humana e ecológicos por rompimento da Barragem I da Vale em Brumadinho - MG** In: Jornada do Programa de Capacitação Interna do CETEM, 8. Rio de Janeiro, Anais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2020.

DOMINGOS, L. M. B. **Avaliação de riscos à saúde humana e ecológicos por rompimento da Barragem I da Vale em Brumadinho-MG**: Rio de Janeiro/CNPQ, 2021 (Relatório de atividades - RRB00310021).

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017** disponível em <[https://bvsmis.saude.gov.br/bvsmis/saudelegis/gm/2017/prc0005\\_03\\_10\\_2017.html#ANEXOXX](https://bvsmis.saude.gov.br/bvsmis/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html#ANEXOXX) > acessado em maio 2021.

SECRETARIA DE ESTADO DE SAÚDE DE MINAS GERAIS, **Qualidade da água para consumo humano em soluções alternativas de abastecimento em municípios atingidos pelo desastre da Vale S.A. em Brumadinho, Minas Gerais** (2019 – 2020), Boletim informativo. 2021 disponível em <[https://saude.mg.gov.br/images/Boletim\\_Brumadinho.pdf](https://saude.mg.gov.br/images/Boletim_Brumadinho.pdf)> acessado em 10/06/2021.

USEPA. **Manganese**, 1995. Disponível em <[https://iris.epa.gov/static/pdfs/0373\\_summary.pdf](https://iris.epa.gov/static/pdfs/0373_summary.pdf)> Acessado em junho 2021.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. 2014. **Integrated Risk Information System**. Disponível em: <http://www.epa.gov.br/iris>. Acessado em junho 2021.

USEPA; United States Environmental Protection Agency. **Risk Assessment Guidance for Superfund**, 1989. V.I: Human Health Evaluation Manual.