



Ministério da Educação – Brasil
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM
Minas Gerais – Brasil
Revista Vozes dos Vales: Publicações Acadêmicas
Reg.: 120.2.095 – 2011 – UFVJM
ISSN: 2238-6424
QUALIS/CAPEs – LATINDEX
Nº. 17 – Ano IX – 05/2020
<http://www.ufvjm.edu.br/vozes>

Qualidade da água tratada dos municípios atingidos após o rompimento da barragem de Fundão

Alice Rodrigues de Matos
Mestranda em Tecnologia, Ambiente e Sociedade - UFVJM - Brasil
Servidora efetiva da Secretaria do Estado da Saúde de Minas Gerais.
<http://lattes.cnpq.br/3312473368722250>
E-mail: liceqv@hotmail.com

André Fonseca Viegas
Engenheiro Agrícola e Ambiental - UFV - Brasil
Mestrando em Tecnologia, Ambiente e Sociedade na UFVJM – Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/5151686080292610>
E-mail: andre.viegas@ufvjm.edu.br

Alisson Martins Ramos
Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – UFMG – Brasil
Servidor efetivo da Secretaria do Estado da Saúde de Minas Gerais.
<http://lattes.cnpq.br/4180829976307660>
E-mail: amramosbh@yahoo.com

Marina Imaculada Ferreira Caldeira
Graduação em Medicina Veterinária - UFMG – Brasil
Especialista em Avaliação em Saúde – ENSP/FIOCRUZ
Servidora efetiva da Secretaria do Estado da Saúde de Minas Gerais.
E-mail: marina.vet.mg@gmail.com

Prof. Dr. Rafael Alvarenga Almeida
Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa –UFV –Brasil
Docente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri Minas
Gerais-UFVJM-Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/8152873933826249>

E-mail: rafael.almeida@ufvjm.edu.br

Prof. Dr. Daniel Brasil Ferreira Pinto
Doutor em Engenharia de Água e Solo pela Universidade Federal de Lavras - UFLA
Docente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri Minas
Gerais-UFVJM-Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/3334660549386178>

E-mail: daniel.brasil@ufvjm.edu.br

Resumo: No dia 5 de novembro de 2015, ocorreu o maior desastre ambiental no Brasil provocado pelo rompimento da barragem de Fundão, em Mariana-MG. As análises da qualidade da água no Rio Doce, região de Minas Gerais, ao longo de duas décadas, demonstraram que existia contaminação de alguns metais, mas que foi potencializada no período imediato após o rompimento da barragem. Este estudo busca apresentar e avaliar dados de amostras de água para consumo humano realizado por estruturas de Vigilância em Saúde Ambiental nas Estações de Tratamento de Água de Aimorés, Alpercata, Galiléia, Governador Valadares, Itueta, Resplendor e Tumiritinga, impactadas pelo rompimento da barragem entre os anos de 2015 a 2019. Foram analisados os parâmetros alumínio, antimônio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo, cobre, ferro, manganês, mercúrio, níquel, selênio, sódio, zinco, coliformes totais, *Escherichia coli*, cloro residual livre e turbidez, com resultados de não conformidade para cloro residual livre, turbidez, manganês total, alumínio e ferro total, coliformes totais e *Escherichia coli*. Complementarmente, os dados foram discutidos e comparados com a série histórica do monitoramento da qualidade da água do Rio Doce realizado pelo IGAM/MG. Considerando-se o período de quatro anos após o rompimento, os resultados sugerem eficiência do tratamento, entretanto, recomenda-se maior planejamento e adequação dos processos de tratamento e gestão, tendo em vista as características dinâmicas da água após um desastre ambiental.

Palavras-chave: Desastre Ambiental. Rompimento de barragem. Qualidade da água. Abastecimento público de água.

Introdução

A bacia hidrográfica do Rio Doce compreende 225 municípios, sendo 200 municípios no Estado de Minas Gerais e 25 municípios no Espírito Santo, com uma população residente de aproximadamente 3,6 milhões de habitantes (ANA, 2016).

Em 5 de novembro de 2015 ocorreu o rompimento da barragem de Fundão, da mineradora Samarco, pertencente ao complexo minerário de Germano, em Mariana (MG) que continha 50 milhões m³ de rejeitos. Como consequências do desastre, 34 milhões m³ de rejeitos percorreram rios e afetaram 40 municípios, naquele que se tornou o maior desastre ambiental da história do Brasil (IBAMA, 2015). Segundo o Ministério Público Federal, tratou-se de um crime sócio-ocupacional-ambiental (MINASGERAIS, 2015).

Após a lama passar pelo distrito de Bento Rodrigues, os rejeitos alcançaram o rio Gualaxo do Norte que desagua no rio do Carmo na cidade de Barra Longa. Este, por sua vez, recebe as águas do rio Piranga, formando o Rio Doce, na cidade de Rio Doce. A pluma formada pela água e pelos rejeitos continuou seu fluxo pelo Rio Doce, atingindo sua foz, no distrito de Regência, município de Linhares (ES), em 21 de novembro de 2015, totalizando 663,2 km de corpos hídricos diretamente impactados (IBAMA, 2015).

O desastre causou a morte de 19 pessoas e diversos danos socioambientais como isolamento de áreas habitadas; desalojamento de comunidades pela destruição de moradias e estruturas urbanas; restrições à pesca; dificuldade de geração de energia elétrica pelas usinas atingidas; sensação de perigo e desamparo da população em diversos níveis. Além disso, atingiu Áreas de Preservação Permanente (APP), provocando alteração na qualidade dos cursos d'água e a mortandade de organismos aquáticos, principalmente peixes e invertebrados (IBAMA, 2015).

A série histórica de análises da qualidade da água no Rio Doce, região de Minas Gerais, ao longo de duas décadas, demonstra a presença de determinados metais, potencializada no período imediato após o rompimento da barragem, principalmente em relação a elementos como alumínio, ferro, manganês e arsênio. Os valores de referência são os da classe 2 da Resolução CONAMA 357, de 2005, o qual o Rio Doce está enquadrado (IGAM, 2018).

Partes destes elementos minerais provavelmente foram incorporadas nos ciclos biológicos aquáticos pelos processos de bioacumulação e biomagnificação, onde tem o homem no topo desta cadeia trófica (DIAS *et al.*, 2018). Quanto maior a disponibilidade, maior será o potencial tóxico e a bioacumulação da substância no organismo, cuja extensão dependerá da espécie do metal (OLGA, 2008).

A exposição às substâncias químicas pode provocar tanto efeitos tóxicos quanto alterações no estado de saúde dos indivíduos que vivem ou tem contato com ambientes dessa natureza de forma que é crescente a preocupação com as populações expostas ocupacionalmente (FERREIRA; WERMELINGER, 2013; FLORES; YAMAGUCHI, 2008). Já o risco à saúde é considerado através da existência de elementos tóxicos no ambiente, aumentada pela quantidade total do elemento, a biodisponibilidade e, por fim, a sua toxicidade (BROWN; FOSTER; OSTERGREN, 1999).

Alterações físico-químicas da água pelo ferro, manganês e metais tóxicos, apresentam riscos consideráveis de contaminação por parte do abastecimento para consumo humano e animal, para irrigação de lavouras e dessedentação de animais, porque não se degradam e permanecem solubilizados nas águas ou precipitados como sedimentos de fundo (MINASGERAIS, 2015). Em relação às consequências ambientais, pode haver comprometimento dos serviços de saneamento ambiental, tais como a quantidade e a qualidade da água, o solo e oferta de alimentos, bem como comprometimento da rede e fontes alternativas de abastecimento de água (FREITAS *et al.*, 2014).

A água utilizada para consumo humano é um bem essencial que garante saúde e qualidade de vida à população, que deve ser distribuída em quantidade suficiente e com qualidade que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido na legislação vigente.

Desta forma, as estruturas de Vigilância em Saúde Ambiental (VSA) municipais e estadual, com apoio da esfera federal, ampliaram as coletas e análises de amostras de água das Estações de Tratamento de Água (ETA) que foram impactadas pelo desastre, desde os dias imediatamente posteriores ao evento.

Assim, objetivou-se com este trabalho, apresentar dados das análises de qualidade da água para consumo humano na saída de tratamento das ETAs das cidades que foram impactadas pelo rompimento da barragem de Fundão, sob

jurisdição da Superintendência Regional de Saúde de Governador Valadares (SRS/GV).

Metodologia

No Estado de Minas Gerais, o monitoramento da qualidade da água para consumo humano é realizado mensalmente pelas vigilâncias e baseado no Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua) (BRASIL, 2019). Diante do recebimento do Ofício do Ministério da Saúde nº127/2015- DSAST/SVS/MS, logo após o desastre houve ampliação no quantitativo e frequência das coletas e análises de água na saída do tratamento das ETAs que captavam água no Rio Doce nos municípios da SRS/GV (Aimorés, Alpercata, Galiléia, Governador Valadares, Itueta, Resplendor e Tumiritinga), conforme a Tabela 1. Os laboratórios de águas da SRS/GV e a Fundação Ezequiel Dias (FUNED) atuaram como referências para análise de água das amostras coletadas. Atualmente, dos municípios impactados, somente Aimorés, Itueta e Resplendor possuem como fonte alternativa de captação o rio Manhuaçu. Os demais seguem utilizando captações diretamente no Rio Doce.

Tabela 1: Frequência, parâmetros e laboratórios utilizados nos municípios da SRS/GV após o rompimento da barragem de Fundão.

Laboratório	SRS/GV	FUNED
Parâmetros analisados diariamente	Coliformes totais, <i>Escherichia coli</i> , cloro residual livre, turbidez.	-
Parâmetros analisados semanalmente	-	Alumínio, antimônio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cromo, cobre, ferro, manganês, mercúrio, níquel, selênio, sódio, zinco.

Fonte: Elaboração do autor

Com o passar dos anos, a frequência das coletas foi reduzida. No período imediatamente posterior ao desastre, os parâmetros analisados pela SRS/GV foram diariamente, passando posteriormente para semanais, quinzenais, até os dias de hoje em que são mensais. Os parâmetros analisados pela FUNED passaram respectivamente de semanais para quinzenais, mensais e até os dias de hoje, em que as amostras são trimestrais.

A VSA municipal alimenta o Sistema de Informações sobre a Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA). Programa em que são preenchidos os formulários online, em atendimento ao planejamento amostral determinado pela própria vigilância. O SISAGUA é um importante instrumento do processo, onde são registradas de forma padronizada informações referentes à qualidade da água distribuída à população pelos responsáveis pelos sistemas e outras formas de abastecimento (atividade denominada controle) e aquelas geradas pela ação da VSA (BRASIL, 2019).

Foram coletadas no período entre novembro de 2015 e outubro de 2019, um total de 890 amostras de água na saída de tratamento das ETAs dos municípios de Aimorés, Alpercata, Galiléia, Governador Valadares, Itueta, Resplendor e Tumiritinga, das quais 890 amostras foram analisadas para os parâmetros microbiológicos no laboratório da SRS/GV e 207 amostras foram analisadas para metais na FUNED. Os pontos de amostragem foram georreferenciados utilizando equipamento GPS conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Coordenadas geográficas dos pontos de amostragem.

Estação de Tratamento de Água	Latitude	Longitude
ETA Aimorés	-19,4997	-41,0156
ETA Alpercata	-18,9902	-41,9878
ETA Galiléia	-19,0065	-41,5390
ETA Central - Governador Valadares	-18,8625	-41,9462
ETA Itueta	-19,4216	-41,1702
ETA Resplendor	-19,3179	-41,2572
ETA Tumiritinga	-19,0110	-41,5445

Fonte: Elaboração do autor

As coletas das amostras foram realizadas por técnicos da VSA municipais devidamente treinados conforme procedimentos dos laboratórios. Para análise microbiológica, as amostras foram coletadas em frascos plásticos estéreis de 100mL, contendo um comprimido de tiosulfato de sódio para neutralizar a ação do cloro residual, mantidas a 2 - 8°C e analisadas dentro de 24 horas.

Para coleta, procedeu-se a limpeza da torneira com um pedaço de algodão embebido com álcool 70%. Após a higienização, abriu a torneira e deixou-se escoar a água por um ou dois minutos, para que fosse eliminada toda a coluna de líquido da canalização. Durante a coleta determinou-se o teor de cloro residual livre (CRL) através do colorímetro portátil marca Policontrol ou através do Genkit.

Após a coleta, a amostra foi homogeneizada por inversão do frasco, de forma que o tiosulfato de sódio entrasse em contato com toda a água presente no frasco. Em seguida, as amostras foram identificadas, acondicionadas em caixa de isopor a fim de manter a temperatura para que, posteriormente, fossem transportadas até o laboratório de águas da SRS/GV para a realização das análises.

Inicialmente, realizou-se a assepsia com álcool 70% da bancada em que ocorreram as análises. Durante todo o procedimento a chama do bico de bunsen esteve acesa para manipulação asséptica das amostras. A metodologia empregada para análise da qualidade de água foi a determinação através da metodologia Substrato Cromogênico/Enzimático SMEWW, 22ª Ed. 9223 B, utilizando o produto comercial Colilert. Os resultados foram lidos como presença ou ausência de coliformes totais e *Escherichia coli*.

Para análise de pH e turbidez as amostras foram coletadas em recipientes de água mineral de 500mL logo após a coleta para análise microbiológica. Para avaliação do pH foi utilizado o equipamento pH meter lutron, e para análise de turbidez foi empregada o Método Nefelométrico SMEWW, 22ª Ed. 2130 B através do equipamento turbidímetro da marca Policontrol.

Posteriormente, foi coletado um litro da amostra de água em frasco específico cedido pela FUNED para análise de metais. As amostras foram acondicionadas em caixa de isopor, juntamente com as outras amostras de água coletadas, a fim de manter a temperatura para que, posteriormente, fossem transportadas até o laboratório da FUNED em Belo Horizonte para a realização das análises. Os parâmetros alumínio, antimônio, arsênio, bário, cobre, cromo, ferro, manganês,

níquel, sódio, zinco, foram analisados através do Método de Plasma Indutivamente Acoplado (ICP) SMEWW, 23ª Ed. 3120 B. Para o cádmio, chumbo e selênio foram analisados através do método Espectrométrico de Absorção Atômica Eletrotérmico SMEWW, 23ª Ed. 3113 B. Por fim, o mercúrio foi analisado através do método Perkin Elmer. Hg-2: Recommended analytical parameters for mercury with NaBH₄. Flow injection mercury/hydride analyses - Recommended analytical conditions and general information. PN: B050-1820, Release 4.0. Germany, chapter 2, 14-15p. 1996.

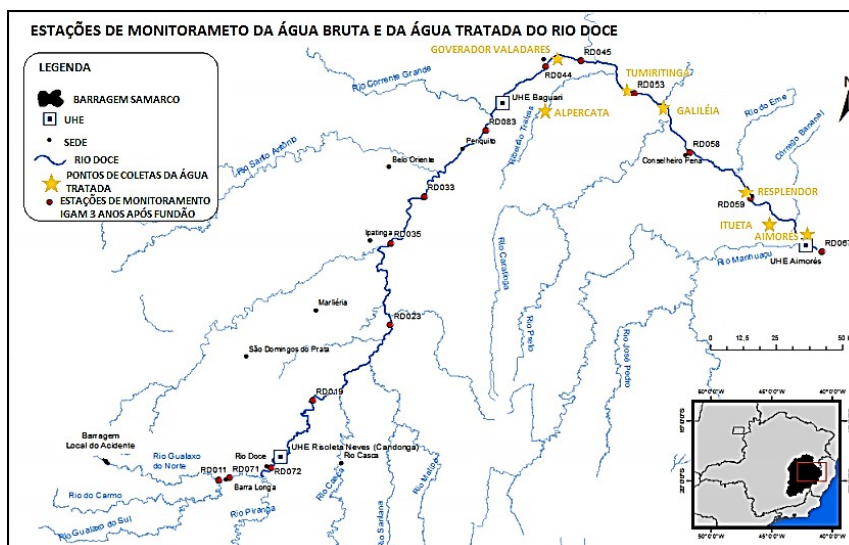
Os resultados obtidos foram comparados com os limites estabelecidos na Portaria MS nº 2.914/2011 (atualmente, Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017).

Resultados e discussão

Após o rompimento da barragem, a qualidade das águas do Rio Doce sofreu alteração em diversos parâmetros monitorados, como turbidez, cor, sólidos em suspensão totais, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica, ferro dissolvido, manganês total, alumínio dissolvido, arsênio total, cobre dissolvido, níquel total, cromo total, cádmio total e chumbo total (SEMAD-IGAM, 2016). De acordo com (IGAM, 2018) no trecho de Governador Valadares a Aimorés os limites máximos atingidos (mg/L) entre novembro/2015 a outubro/2016 foram: arsênio total 0,0363; cádmio total 0,0346; chumbo total 0,4420; cobre dissolvido 0,0157; cromo total 0,3200; mercúrio total 0,5290; níquel total 0,2500; zinco total 0,574; sólidos totais dissolvidos 2.110. Todos esses resultados violaram limites da classe 2 de acordo com a Resolução Conama 357/2005.

Os dados retirados do “Encarte especial sobre a qualidade das águas do Rio Doce após 3 anos do rompimento da barragem de fundão” (IGAM, 2018) equivalentes aos trechos 3 e 4 (código RD044 a RD065, como mostra a Figura 1) da água bruta do Rio Doce analisada pelo IGAM foram comparadas qualitativamente com as amostras coletas dos sete municípios (Figura 1) de água tratadas, nos mesmos períodos de 2015-2018, com exceção das amostras de água tratada do ano de 2019.

Figura 1: Bacia Hidrográfica do Rio Doce - Estações de Monitoramento da Água Bruta (IGAM, 2018) e amostras coletadas da Água tratada nos sete municípios.



Fonte: Elaboração do autor

As ETAs para abastecimento público dos sete municípios apresentaram índice satisfatório para as amostras coletadas referentes aos parâmetros inorgânicos de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº5/2017, com exceção do alumínio e ferro total, manganês total e do CRL. E das condições de qualidade da água (turbidez) e parâmetros microbiológicos (Coliformes Totais e *Escherichia coli*), apresentaram índices insatisfatórios após o tratamento. Contudo, destes parâmetros somente o alumínio, ferro, manganês e a turbidez apresentaram alterações tanto na água bruta (captação direta do Rio Doce) no Encarte do IGAM (2018) e na água tratada coletada dos sete municípios.

Os CT (Coliformes Totais) são micro-organismos em forma de bacilos gram-negativos, capazes de fermentar lactose com produção de ácido, gás e aldeído, e podem ser encontrados em solos e águas não poluídos o que não devem ser utilizados como indicadores de contaminação fecal (BRASIL, 2013; SPERLING, 2017).

De acordo com a legislação vigente, a água para consumo humano deve estar ausente de CT (BRASIL, 2017). Na água tratada, se houver a presença de CT sugere que o tratamento foi inadequado ou ocorreu contaminação posteriormente ao tratamento, porém não quer dizer que representa perigo à saúde (DERISIO, 2012).

A *Escherichia coli* é utilizada como indicador de qualidade da água, tanto para água bruta como tratada. Na água bruta as análises de detecção têm como objetivo avaliar a possibilidade da presença de protozoários ou outros patógenos para as águas da estação de tratamento, e na água tratada avalia sua qualidade e eficiência do tratamento, e auxilia na avaliação da integridade da rede de distribuição (LIBÂNIO, 2010). Dessa forma, o anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 determina que a água para consumo humano deve estar ausente de *Escherichia coli* (BRASIL, 2017).

Na Tabela 3, os sete municípios obtiveram resultados insatisfatórios para Coliformes Totais, no total de 68 das 890 amostras tratadas e coletadas na saída das ETAs, observando um indicativo relativamente alto de contaminação biológica de 7,64%, pode ser explicada por ocorrência de rupturas na rede de distribuição, infiltração ou formação de biofilmes, que podem ocasionar a contaminação da água (CARMO et al. 2008). E dessas amostras tratadas os municípios de Galiléia e Alpercata apresentaram índices insatisfatório de *Escherichia coli*, em 5 e 11 amostras respectivamente, o que nos períodos relatados poderia influir diretamente nos índices de doenças de vinculação hídrica. A presença de *Escherichia coli* na água indica contaminação fecal e, conseqüentemente, essa água passa a ser uma fonte perigosa à saúde, por esse micro-organismo ser um indicador da possível presença de patógenos, além dessa bactéria também apresentar diferentes sorotipos capazes de provocar doenças no homem (MARCHETTI; CALDAS, 2011; PEIL et al., 2015).

A quantidade de matéria suspensa de diferentes tamanhos leva a dispersão e absorção da luz e confere a água uma aparência turva, inadequada ao consumo, este fato está relacionado a turbidez que é fundamental para garantir a desinfecção da água. (MACEDO; REMPEL; MACIEL, 2018). Desastres naturais, como o rompimento de barragens, aumento do escoamento superficial devido ao aumento dos períodos chuvosos, são fatores que aumentam a quantidade de partículas suspensas, tornando a água mais turva e com cor aparente elevada (ALMEIDA; SILVA; DE PAULA, 2017).

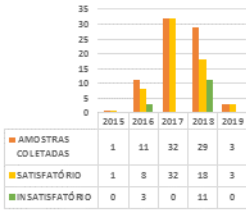
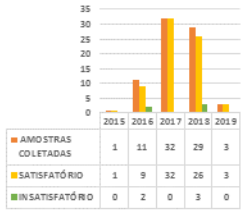
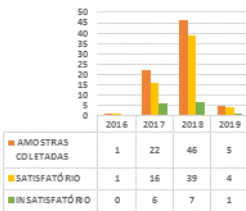
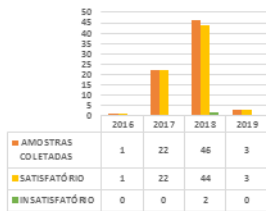
O aumento da turbidez exige das ETAs a utilização de uma quantidade maior de produtos químicos, como por exemplo, o sulfato de alumínio, aumentando os custos do tratamento, por dificultar o processo de clareamento da água. A turbidez

afeta também a preservação dos organismos aquáticos, o uso industrial e as atividades de recreação (ANA, 2016). Enquanto para turbidez o limite para a classe 2 é de 100 unidades nefelométricas de turbidez (UNT), para água tratada seu valor máximo é vinte vezes menor, de 5 UNT para água após o tratamento, em qualquer ponto da distribuição.

Os resultados de turbidez no primeiro ao quarto ano após o rompimento da barragem de Fundão, para as amostras coletadas de águas tratadas nas saídas do ETAs foram insatisfatórios nos municípios de Aimorés, Alpercata e Governador Valadares, com 2, 6 e 3 amostras respectivamente, do total, apresentando valores máximos de 8,62 (em 2018), 9,6 (em 2015) e 19 (em 2015) UNT.

Ao avaliar o comportamento geral, o trecho 3 (a qual Alpercata e Governador Valadares se enquadram) e o trecho 4 (Aimorés), de acordo com IGAM (2018) observou-se um aumento expressivo da mediana no 1º ano após o rompimento: de 14,6 UNT (pré-rompimento) para 137 UNT. Durante 2017, a mediana reduziu-se para 53,0 UNT e em 2018, outro aumento, que de acordo com IGAM (2018), deu-se pelo fator da sazonalidade e manuseio corretivo no Rio Doce. Com isso, registrou-se a mediana de 66,8 UNT. Assim, observa-se que tanto os valores máximos insatisfatórios das amostras de água para consumo humano e dos estimados da água bruta coletada, foram semelhantes nos anos de 2015 e 2018.

Tabela 3: Análise gráfica das amostras coletadas de água tratada dos sete municípios do Rio Doce, para Coliformes Totais, *Escherichia Coli* e turbidez dados anuais.

	COLIFORMES TOTAIS	ESCHERICHIA COLI	TURBIDEZ																																				
SAÍDA ETA GALILÉIA	 <table border="1"> <tr> <td>AMOSTRAS COLETADAS</td> <td>1</td> <td>11</td> <td>32</td> <td>29</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>SATISFATÓRIO</td> <td>1</td> <td>8</td> <td>32</td> <td>18</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>INSATISFATÓRIO</td> <td>0</td> <td>3</td> <td>0</td> <td>11</td> <td>0</td> </tr> </table>	AMOSTRAS COLETADAS	1	11	32	29	3	SATISFATÓRIO	1	8	32	18	3	INSATISFATÓRIO	0	3	0	11	0	 <table border="1"> <tr> <td>AMOSTRAS COLETADAS</td> <td>1</td> <td>11</td> <td>32</td> <td>29</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>SATISFATÓRIO</td> <td>1</td> <td>9</td> <td>32</td> <td>26</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>INSATISFATÓRIO</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>3</td> <td>0</td> </tr> </table>	AMOSTRAS COLETADAS	1	11	32	29	3	SATISFATÓRIO	1	9	32	26	3	INSATISFATÓRIO	0	2	0	3	0	TODAS AMOSTRAS FORAM SATISFATÓRIAS.
AMOSTRAS COLETADAS	1	11	32	29	3																																		
SATISFATÓRIO	1	8	32	18	3																																		
INSATISFATÓRIO	0	3	0	11	0																																		
AMOSTRAS COLETADAS	1	11	32	29	3																																		
SATISFATÓRIO	1	9	32	26	3																																		
INSATISFATÓRIO	0	2	0	3	0																																		
SAÍDA ETA SANTO ANTÔNIO DO RIO DOCE AIMORÉS	 <table border="1"> <tr> <td>AMOSTRAS COLETADAS</td> <td>1</td> <td>22</td> <td>46</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>SATISFATÓRIO</td> <td>1</td> <td>16</td> <td>39</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>INSATISFATÓRIO</td> <td>0</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>1</td> </tr> </table>	AMOSTRAS COLETADAS	1	22	46	5	SATISFATÓRIO	1	16	39	4	INSATISFATÓRIO	0	6	7	1	TODAS AMOSTRAS FORAM SATISFATÓRIAS.	 <table border="1"> <tr> <td>AMOSTRAS COLETADAS</td> <td>1</td> <td>22</td> <td>46</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>SATISFATÓRIO</td> <td>1</td> <td>22</td> <td>44</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>INSATISFATÓRIO</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> </table>	AMOSTRAS COLETADAS	1	22	46	3	SATISFATÓRIO	1	22	44	3	INSATISFATÓRIO	0	0	2	0						
AMOSTRAS COLETADAS	1	22	46	5																																			
SATISFATÓRIO	1	16	39	4																																			
INSATISFATÓRIO	0	6	7	1																																			
AMOSTRAS COLETADAS	1	22	46	3																																			
SATISFATÓRIO	1	22	44	3																																			
INSATISFATÓRIO	0	0	2	0																																			

SAÍDA ETA TUUETA	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>2016</th> <th>2017</th> <th>2018</th> <th>2019</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AMOSTRAS COLETADAS</td> <td>2</td> <td>41</td> <td>48</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>SATISFATÓRIO</td> <td>2</td> <td>30</td> <td>35</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>INSATISFATÓRIO</td> <td>0</td> <td>11</td> <td>13</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		2016	2017	2018	2019	AMOSTRAS COLETADAS	2	41	48	7	SATISFATÓRIO	2	30	35	7	INSATISFATÓRIO	0	11	13	0	TODAS AMOSTRAS FORAM SATISFATÓRIAS.	TODAS AMOSTRAS FORAM SATISFATÓRIAS.																																																				
	2016	2017	2018	2019																																																																							
AMOSTRAS COLETADAS	2	41	48	7																																																																							
SATISFATÓRIO	2	30	35	7																																																																							
INSATISFATÓRIO	0	11	13	0																																																																							
SAÍDA ETA CENTRAL/ GOVERNADOR VALADARES	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>2015</th> <th>2016</th> <th>2017</th> <th>2018</th> <th>2019</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AMOSTRAS COLETADAS</td> <td>2</td> <td>45</td> <td>150</td> <td>51</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>SATISFATÓRIO</td> <td>2</td> <td>39</td> <td>147</td> <td>50</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>INSATISFATÓRIO</td> <td>0</td> <td>6</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		2015	2016	2017	2018	2019	AMOSTRAS COLETADAS	2	45	150	51	9	SATISFATÓRIO	2	39	147	50	9	INSATISFATÓRIO	0	6	3	1	0	TODAS AMOSTRAS FORAM SATISFATÓRIAS.	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>2015</th> <th>2016</th> <th>2017</th> <th>2018</th> <th>2019</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AMOSTRAS COLETADAS</td> <td>3</td> <td>45</td> <td>149</td> <td>51</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>SATISFATÓRIO</td> <td>0</td> <td>43</td> <td>149</td> <td>51</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>INSATISFATÓRIO</td> <td>3</td> <td>3</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		2015	2016	2017	2018	2019	AMOSTRAS COLETADAS	3	45	149	51	8	SATISFATÓRIO	0	43	149	51	8	INSATISFATÓRIO	3	3	0	0	0																								
	2015	2016	2017	2018	2019																																																																						
AMOSTRAS COLETADAS	2	45	150	51	9																																																																						
SATISFATÓRIO	2	39	147	50	9																																																																						
INSATISFATÓRIO	0	6	3	1	0																																																																						
	2015	2016	2017	2018	2019																																																																						
AMOSTRAS COLETADAS	3	45	149	51	8																																																																						
SATISFATÓRIO	0	43	149	51	8																																																																						
INSATISFATÓRIO	3	3	0	0	0																																																																						
SAÍDA ETA RESPLENDOR	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>2015</th> <th>2016</th> <th>2017</th> <th>2018</th> <th>2019</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AMOSTRAS COLETADAS</td> <td>2</td> <td>8</td> <td>23</td> <td>42</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>SATISFATÓRIO</td> <td>2</td> <td>7</td> <td>22</td> <td>38</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>INSATISFATÓRIO</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		2015	2016	2017	2018	2019	AMOSTRAS COLETADAS	2	8	23	42	5	SATISFATÓRIO	2	7	22	38	5	INSATISFATÓRIO	0	1	1	4	0	TODAS AMOSTRAS FORAM SATISFATÓRIAS.	TODAS AMOSTRAS FORAM SATISFATÓRIAS.																																																
	2015	2016	2017	2018	2019																																																																						
AMOSTRAS COLETADAS	2	8	23	42	5																																																																						
SATISFATÓRIO	2	7	22	38	5																																																																						
INSATISFATÓRIO	0	1	1	4	0																																																																						
SAÍDA ETA TUMIRITINGA	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>2016</th> <th>2017</th> <th>2018</th> <th>2019</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AMOSTRAS COLETADAS</td> <td>11</td> <td>59</td> <td>38</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>SATISFATÓRIO</td> <td>11</td> <td>54</td> <td>37</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>INSATISFATÓRIO</td> <td>0</td> <td>5</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		2016	2017	2018	2019	AMOSTRAS COLETADAS	11	59	38	4	SATISFATÓRIO	11	54	37	3	INSATISFATÓRIO	0	5	1	1	TODAS AMOSTRAS FORAM SATISFATÓRIAS.	TODAS AMOSTRAS FORAM SATISFATÓRIAS.																																																				
	2016	2017	2018	2019																																																																							
AMOSTRAS COLETADAS	11	59	38	4																																																																							
SATISFATÓRIO	11	54	37	3																																																																							
INSATISFATÓRIO	0	5	1	1																																																																							
SAÍDA ETA ALPERCATA	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>2015</th> <th>2016</th> <th>2017</th> <th>2018</th> <th>2019</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AMOSTRAS COLETADAS</td> <td>1</td> <td>86</td> <td>72</td> <td>31</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>SATISFATÓRIO</td> <td>0</td> <td>64</td> <td>60</td> <td>23</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>INSATISFATÓRIO</td> <td>1</td> <td>22</td> <td>12</td> <td>8</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		2015	2016	2017	2018	2019	AMOSTRAS COLETADAS	1	86	72	31	3	SATISFATÓRIO	0	64	60	23	3	INSATISFATÓRIO	1	22	12	8	0	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>2015</th> <th>2016</th> <th>2017</th> <th>2018</th> <th>2019</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AMOSTRAS COLETADAS</td> <td>1</td> <td>87</td> <td>72</td> <td>31</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>SATISFATÓRIO</td> <td>0</td> <td>83</td> <td>67</td> <td>30</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>INSATISFATÓRIO</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		2015	2016	2017	2018	2019	AMOSTRAS COLETADAS	1	87	72	31	3	SATISFATÓRIO	0	83	67	30	3	INSATISFATÓRIO	1	4	5	1	0	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>2015</th> <th>2016</th> <th>2017</th> <th>2018</th> <th>2019</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>AMOSTRAS COLETADAS</td> <td>1</td> <td>81</td> <td>71</td> <td>31</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>SATISFATÓRIO</td> <td>1</td> <td>79</td> <td>70</td> <td>31</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>INSATISFATÓRIO</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		2015	2016	2017	2018	2019	AMOSTRAS COLETADAS	1	81	71	31	3	SATISFATÓRIO	1	79	70	31	3	INSATISFATÓRIO	0	2	1	0	0
	2015	2016	2017	2018	2019																																																																						
AMOSTRAS COLETADAS	1	86	72	31	3																																																																						
SATISFATÓRIO	0	64	60	23	3																																																																						
INSATISFATÓRIO	1	22	12	8	0																																																																						
	2015	2016	2017	2018	2019																																																																						
AMOSTRAS COLETADAS	1	87	72	31	3																																																																						
SATISFATÓRIO	0	83	67	30	3																																																																						
INSATISFATÓRIO	1	4	5	1	0																																																																						
	2015	2016	2017	2018	2019																																																																						
AMOSTRAS COLETADAS	1	81	71	31	3																																																																						
SATISFATÓRIO	1	79	70	31	3																																																																						
INSATISFATÓRIO	0	2	1	0	0																																																																						

Fonte: Elaboração do autor

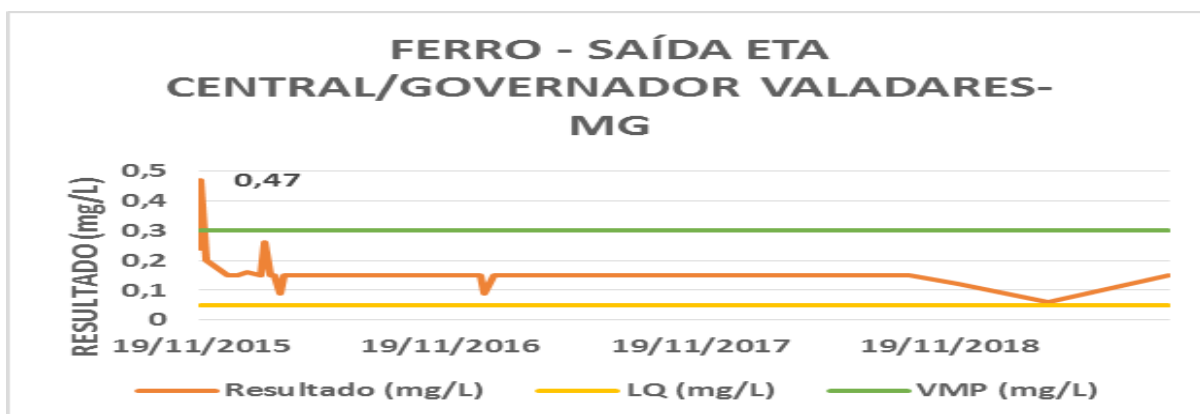
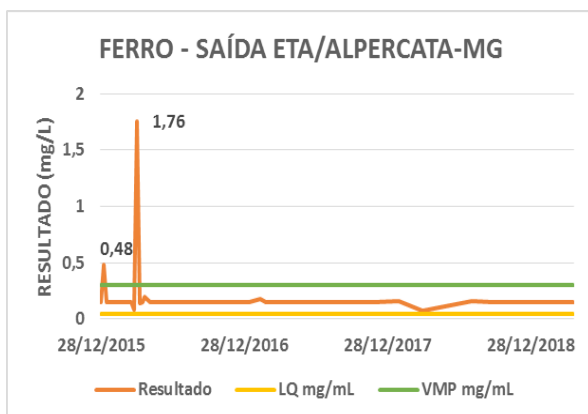
Alterações na turbidez das amostras coletadas podem indicar a necessidade de uma verificação das condições de manutenção na ETAs, limpeza da rede de distribuição e/ou da caixa d'água (FREITAS *et al.*, 2002) e dosagem do agente coagulante (LIBÂNIO, 2008).

Os parâmetros inorgânicos, especificamente o excesso de ferro na água tratada, provoca mau cheiro, deixa sabor metálico na água e propicia a proliferação de bactérias nocivas, além de danos à saúde de quem consome (HELLER; DE PÁDUA, 2006).

Na figura 2, referentes as cidades de Alpercata e Governador Valadares são representados os resultados amostrais do ferro analisados no período após o rompimento da barragem de Fundão, com valor máximo permitido (VMP) para água tratada (consumo humano) de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº5/2017 de 0,3 mg/L. Somente essas cidades apresentaram resultados acima do permitido, sendo que foi encontrado em Alpercata duas amostras insatisfatórias no ano de 2016 (0,48mg/L e 1,76mg/L) e em Governador Valadares uma amostra em 2015 insatisfatória com valor 0,47mg/L.

Na comparação entre os períodos das águas não tratadas no Encarte do IGAM (2018) com os dados da água tratada dos setes municípios, observa-se que os valores de ferro dissolvido sofreram pouca variação nos dois anos após o rompimento, sendo que 90% dos resultados estiveram em conformidade com o limite de classe. Entretanto, em 2018, 50% dos resultados da água não tratada estiveram acima de 0,3 mg/L, indicando que os resultados da água bruta não influenciaram nos resultados após o tratamento para o mesmo período, já que não teve nenhum resultado insatisfatório após 2018.

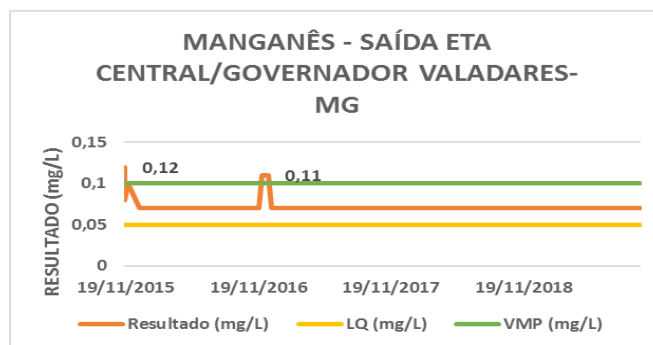
Figura 2: Análises amostrais de ferro na saída da ETA Alpercata-MG e da ETA Central Governador Valadares-MG, 2015 a 2019.



Fonte: Elaboração do autor

O manganês também é um elemento importante na composição do rejeito, sendo considerado tóxico para os seres humanos e animais. Mesmo sendo essencial para o ser humano, o acúmulo deste metal no corpo humano em excesso, pode causar graves problemas de saúde, doenças pulmonares prejudicam o fígado e o sistema nervoso central provocando sintomas como rigidez muscular, tremores das mãos e fraqueza (MANZINI; DE SÁ; DE ALMEIDA PLICAS, 2010). Somente Governador Valadares (Gráfico 1) apresenta a análise dos resultados de manganês total acima de 0,1mg/L para o período 2015-2019. Dentre os dados dos IGAM (2018) observou-se valor mediano alto no 1º ano, de 0,18 mg/L após o rompimento e uma redução, principalmente em 2017, para 0,08 mg/L.

Gráfico 1: Análises amostrais de manganês total na saída da ETA Central Governador Valadares-MG, 2015 a 2019.

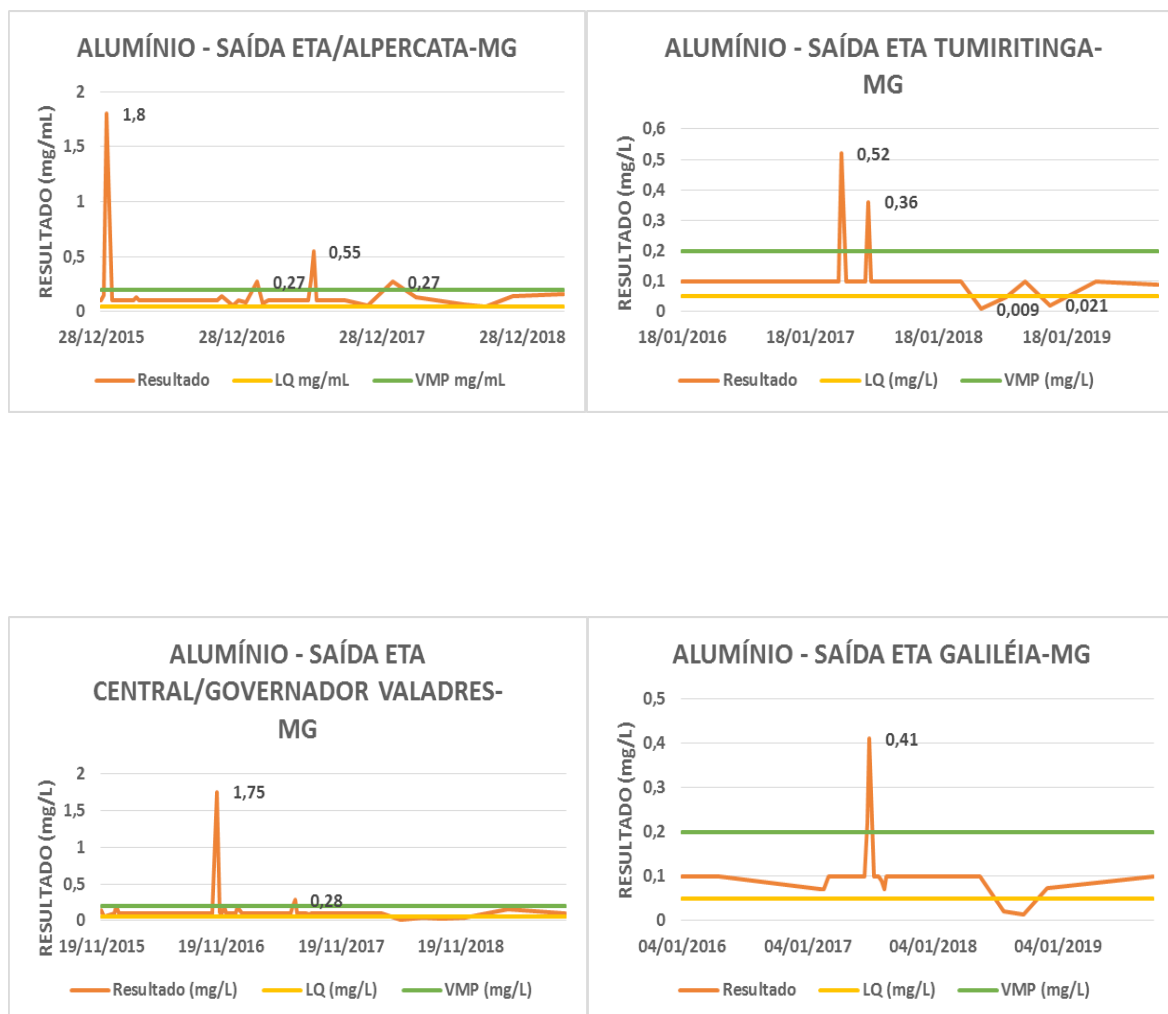


Fonte: Elaboração do autor

O alumínio tem sido objeto de inúmeros estudos científicos, uma vez que pode estar implicado em diversas doenças do foro neurológico, frequentemente associado à etiologia ou patogênese da doença de Alzheimer, não sendo, no entanto, ainda possível referi-lo como elemento causal da doença (ROSALINO, 2011).

No encarte especial do IGAM (2018) são apresentados os valores de mediana e máximo de alumínio dissolvidos obtidos nos anos de 2016, 2017 e 1º semestre de 2018. Na comparação entre os períodos avaliados observou-se que os valores de alumínio já se apresentavam em desconformidade com o limite de classe 2 (0,1 mg/L para água doce CONAMA 357/05 e 0,2 mg/L para água potável Anexo XX da Portaria de Consolidação nº5/2017) em todos os pontos avaliados. Ressalta-se que no terceiro ano após o rompimento (resultados do 1º semestre de 2018), as maiores medianas foram registradas no trecho entre Governador Valadares e Aimorés, sendo que todos os valores se situaram acima do limite legal, para os corpos d'água e para água tratada, como mostra a Figura 3, referentes aos municípios de Alpercata, Tumiritinga, Governador Valadares e Galiléia respectivamente. Na Figura 3, apresenta quatro amostras insatisfatórias da ETA Alpercata após rompimento, com valores de 1,8 mg/L em 2015, 0,27mg/L e 0,55 mg/L em 2016 e 0,27 mg/L em 2017.

Figura 3: Análises amostrais de alumínio na saída das ETA's de Alpercata e da Central Governador Valadares – MG (2015 a 2019), e das ETA's de Tumiritinga e de Galiléia –MG (2016 a 2019).



Fonte: Elaboração do autor

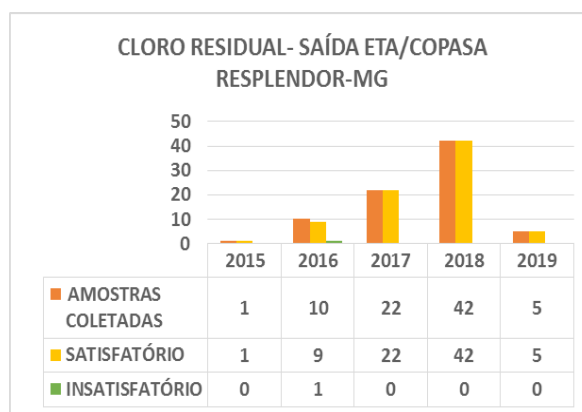
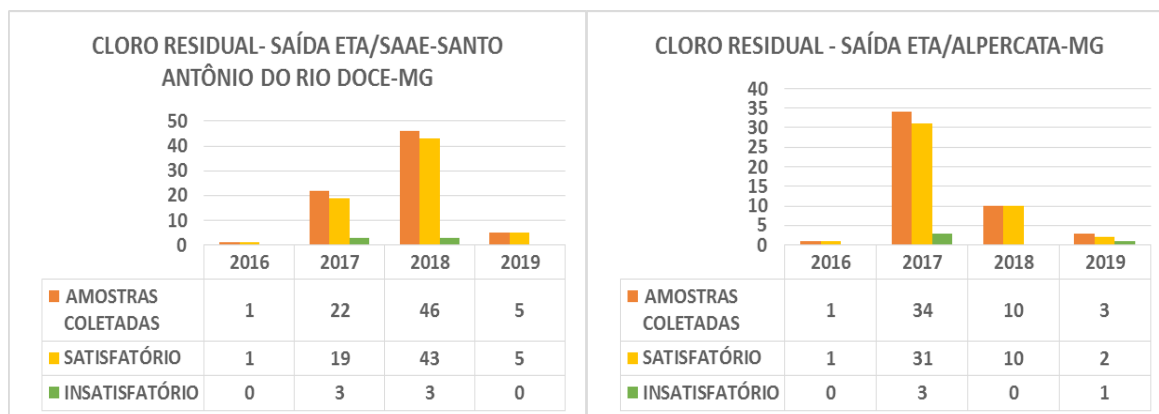
Situações semelhantes ocorreram em Tumiritinga, Governador Valadares e Galiléia (Figura 3), que apresentaram valores acima de 0,2 mg/L até o terceiro ano após o rompimento da barragem.

O último parâmetro inorgânico analisado que apresentou alteração após o tratamento foi o CRL. Este é utilizado para a inativação e eliminação de microorganismos patogênicos e oxidação de matéria orgânica e inorgânica, que por meio de infiltrações entram no sistema de distribuição (NETO et al., 2013; LIBÂNIO, 2008). As altas concentrações de cloro podem causar sabor e odor desagradáveis à água e têm a possibilidade de formação de subprodutos carcinogênicos (CARVALHO et al., 2017).

Nas análises de amostras de água tratada, o parâmetro com maior número de não conformidades após os parâmetros de qualidade da água biológicos (Coliformes Totais e *Escherichia coli*), foi a concentração de CRL, a qual apresentou no intervalo dos três primeiros anos do presente estudo pelo menos uma amostra abaixo do limite mínimo estabelecido pelo Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017 (BRASIL, 2017).

A sua presença é uma exigência na água potável em qualquer ponto da rede de distribuição, desde a saída das ETAs até o consumidor final. A água deve conter um teor mínimo de CRL de 0,2 mg/L para garantir a potabilidade da água durante a sua distribuição (BRASIL, 2017). Se uma amostra de água apresenta uma concentração de CRL maior que o VMP (5,0 mg/L), ela não atende ao padrão de potabilidade e oferece riscos à saúde da população. Por exemplo, os municípios de Aimorés e Alpercata (Figura 4), das 74 amostras coletadas na saída da ETA Santo Antônio do Rio Doce (Aimorés), seis amostras foram insatisfatórias, abaixo de 0,2mg/L e das 48 amostras coletas na saída da ETA Alpercata, quatro amostras foram abaixo da legislação vigente. Somente o município de Resplendor (Figura 4), teve uma amostra acima do VMP de 5 mg/L, de 14,2 mg/L em 4 de janeiro de 2016.

Figura 4: Análises amostrais de cloro residual livre na saída da ETA Santo Antônio do Rio Doce –MG e da ETA Alpercata –MG (2016 a 2019) e na saída da ETA Resplendor –MG (2015 a 2019).



Fonte: Elaboração do autor

Segundo Libânio (2010), os resultados inferiores ou superiores aos limites legais indicam a possibilidade de problemas no tratamento dessas águas na etapa de desinfecção, a qual pode estar relacionada com o tempo de contato da água com o agente de desinfecção, com a dosagem aplicada do agente ou com a homogeneização que não dispersa o desinfetante uniformemente por toda a água.

Considerações Finais

Na totalidade de amostras de água para consumo humano na saída das ETAs, um valor baixo, porém significativo (7,64%) apresentou não conformidade com os padrões legais vigentes, o que compromete a utilização dessa água para o consumo humano e indica falhas nas estruturas de tratamento da água.

Os principais parâmetros físico-químicos em não conformidade foram cloro residual livre, turbidez, manganês, alumínio e ferro, e em relação aos parâmetros microbiológicos, coliformes totais e *Escherichia coli*.

Ao considerar o período de quatro anos após o rompimento, os resultados sugerem eficiência do tratamento, porém há falta de preparação e adequação do processo de acordo com as mudanças da água bruta, por exemplo, após um desastre ambiental.

Por outro lado, a qualidade dos corpos d'água do Rio Doce nos trechos 3 e 4 analisados pelo Encarte Especial elaborado pelo IGAM em 2018, evidenciou valores crescentes no primeiro e terceiro ano em todos parâmetros inorgânicos após o rompimento da barragem, que pode ser devido a ação direta e/ou pelas ações corretivas pela Fundação Renova em 2018. Os altos índices na água bruta obtidos estão correlacionados diretamente com os índices de qualidade da água tratada pelas Estações de Tratamento de Água. Tratam-se de fatores de influência diretos nas amostras coletadas da água tratada nos sete municípios pertencentes aos trechos 3 e 4 descritos no Encarte do IGAM de 2018. Nesse contexto, devido à maior utilização de produtos químicos, houve reflexos sobre custos relativos aos processos de tratamento.

Contudo, recomenda-se aos responsáveis pelo serviço de abastecimento de água dos municípios de Aimorés, Alpercata, Galiléia, Governador Valadares, Itueta, Resplendor e Tumiritinga a ampliação do seu plano de amostragem relativos às substâncias analisadas nesse trabalho, a fim de avaliar as variações das características da água. Com isso, espera-se maior controle e adequação do tratamento e, desse modo, contribuir para a identificação de riscos e respostas relacionados à dinâmica operacional do tratamento de água realizados em suas ETAs. Assim, espera-se a redução de riscos à saúde das populações abastecidas, contribuindo para sua qualidade de vida.

Agradecimentos

À FUNED pela análise da qualidade da água quanto aos parâmetros metais; às Secretarias Municipais de Saúde de Aimorés, Alpercata, Galiléia, Governador Valadares, Itueta, Resplendor e Tumiritinga pelas coletas de água; à Coordenação de Fatores de Riscos não Biológicos da Secretaria do Estado de Saúde de Minas Gerais e o Ministério da Saúde pelo apoio técnico e disponibilidade para realização desta ação conjunta.

Referências

ALMEIDA, M.C.; SILVA, M.M.; DE PAULA, M. **Avaliação do desempenho de uma estação de tratamento de água em relação à turbidez, cor e pH da água**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, v. 5, n. 1, p. 25-40, 2017.

ANA. Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce: Rompimento da Barragem em Mariana/MG. 2016. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf>. Acesso em: 29 set 2019.

BRASIL, M. D. S. Vigiagua. 2019. Disponível em: <<http://www.saude.gov.br/vigilancia-em-saude/vigilancia-ambiental/vigiagua>>. Acesso em: 28 out 2019.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 4 ed. Brasília, DF, 150 p. 2013.

BRASIL. Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, 2017.

BROWN, G. E.; FOSTER, A. L.; OSTERGREN, J. D. Mineral surfaces and bioavailability of heavy metals: a molecular-scale perspective. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 96, n. 7, p. 3388-3395, 1999.

CARVALHO, A.P.M.; SILVA, J.N.; DOS SANTOS, V.S.; FERRAZ, R.R. Avaliação dos parâmetros de qualidade da água de abastecimento alternativo no distrito de Jamacaru em Missão Velha -CE. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, São Paulo, v. 7, n.1, p. 35-51, 2017.

DERISIO, J.C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 4 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012.

DIAS, C. A. et al. Impactos do rompimento da barragem de Mariana na qualidade da água do Rio Doce. **Revista Espinhaço| UFVJM**, p. 21-35, 2018.

FERREIRA, A. P.; WERMELINGER, E. D. Concentrações séricas de metais e suas implicações para a saúde pública. **J. Health Sci. Inst**, v. 31, n. 1, 2013.

FLORES, M.; YAMAGUCHI, M. U. Teste do micronúcleo: uma triagem para avaliação genotóxica. **Saúde e Pesquisa**, v. 1, n. 3, p. 337-340, 2008.

FREITAS, C. M. D. et al. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 9, p. 3645-3656, 2014.

FREITAS, V. P. et al. Padrão físico-químico da água de abastecimento público da região de Campinas. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, v. 61, n. 1, p. 51-58, 2002.

HELLER, L.; DE PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Editora UFMG, 2006. ISBN 8570415168.

IBAMA. Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais. 2015. Disponível em: <
https://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_ibama.pdf>. Acesso em: 2 set 2019.

IGAM. Encarte Especial: Qualidade das águas do Rio Doce após 3 anos do rompimento da Barragem de Fundão 2015/2018. p. 64, 2018. Disponível em: <
http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/2018/QUALIDADE_DA_AGUA/ENCARTE_Tres_ANOS.pdf>. Acesso em: 15 set 2019.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Átomo, 2008. ISBN 8576700832.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3 ed. Campinas: Átomo, 2010.

MACEDO, T. de L.; REMPEL, C.; MACIEL, M.J. **Análise Físico-Química e Microbiológica de água de poços artesianos em um município do Vale do Taquari - RS**. Tecno-Lógica, Santa Cruz do Sul, v. 22, n.1, p.58-65, 2018.

MANZINI, F. F.; DE SÁ, K. B.; DE ALMEIDA PLICAS, L. M. Metais pesados: fonte e ação toxicológica. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 6, n. 12, 2010.

MINASGERAIS. **Relatório: Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG**. Responsável: Grupo da Força-Tarefa, Decreto 2015.

NETO, R.M.R.; BEZERRA, H.P.; CAMPOS, V.B.; SIQUEIRA, K.F.; ALMEIDA, W.L. Avaliação do sistema de tratamento e da qualidade das águas de abastecimento público em Laranjal do Jari, AP. **Scientia plena**, Amapá, v. 9, n.11, 2013.

OLGA, S. **Fundamentos da Toxicologia**. 3ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2008.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano**. 2011. Faculdade de Ciências e Tecnologia

SEMAD-IGAM. Encarte especial sobre a qualidade das águas do Rio Doce após 1 ano do rompimento da Barragem de Fundão - 2015/2016. 2016. Disponível em: < http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/2016/QUALIDADE/ENCARTE_ESPECIAL_SOBRE_A_QUALIDADE_DA_%C3%81GUA_DO_RIO_DOCE_AP_%C3%93S_O_ROMPIMENTO_DE_BARRAGEM_DA_SAMARCO_NO_DISTRITO_DE_BENTO_RODRIGUES.pdf >. Acesso em: 07 set 2019.

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2017.

Processo de Avaliação por Pares: (*Blind Review* - Análise do Texto Anônimo)

Publicado na Revista Vozes dos Vales - www.ufvjm.edu.br/vozes em: 05/2020

Revista Científica Vozes dos Vales - UFMG - Minas Gerais - Brasil

www.ufvjm.edu.br/vozes

www.facebook.com/revistavozesdosvales

UFVJM: 120.2.095-2011 - QUALIS/CAPES - LATINDEX: 22524 - ISSN: 2238-6424