

## **XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**

# **ANÁLISE DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA E CRITÉRIOS DE QUALIDADE DE SEDIMENTO DOS MANANCIAS DA BACIA DO RIO DOCE (MG) COMO INDICADORES DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL E DE SAÚDE PÚBLICA**

*Israel Henrique Ribeiro Rios<sup>1</sup> Alexsandro Fiscina de Santana<sup>2</sup> Iara Brandão de Oliveira<sup>3</sup>*

**RESUMO** – O presente trabalho visou analisar a variação dos índices de qualidade de água e critérios de qualidade de sedimento em mananciais da Bacia do Rio Doce, no estado de Minas Gerais, no período de 2014 a 2016, observando a influência do acidente ocorrido no final de 2015. O derrame e o transporte de rejeito de mineração sobre os mananciais deterioraram a qualidade da água dos rios, além de consequências econômicas, ambientais e sociais devastadoras. No âmbito desse trabalho, foi utilizada a planilha de dados parâmetros de qualidade da água do órgão ambiental de Minas Gerais para cálculo dos índices envolvidos: IQA-CETESB, IVA-CETESB e IQA-CCME para parâmetros organolépticos e para substâncias tóxicas. Além disso, os dados de parâmetros químicos e granulometria do sedimento foram analisados a partir de trabalhos acadêmicos e do monitoramento emergencial realizado pelo órgão ambiental do Estado de Minas Gerais. O uso dos índices de qualidade da água e a implementação dos critérios de qualidade de sedimento no monitoramento ambiental de um corpo hídrico pode ser uma ferramenta eficiente para detectar problemas e elaborar metas mais embasadas.

**ABSTRACT**– The present work aimed to analyze the variation of water quality indices and sediment quality criteria in the Rio Doce Basin, in the state of Minas Gerais, from 2014 to 2016, observing the influence of the accident occurred at the end of 2015. The spillage and transport of mining tailings over the springs has deteriorated river water quality, as well as devastating economic, environmental and social consequences. In the scope of this work, the water quality parameters of the environmental agency of Minas Gerais were used to calculate the indices involved: IQA-CETESB, IVA-CETESB and IQA-CCME for organoleptic parameters and toxic substances. In addition, the data of chemical parameters and sediment granulometry were analyzed from academic studies and from the emergency monitoring done by the environmental agency of Minas Gerais. The use of water quality indexes and the implementation of sediment quality criteria in the environmental monitoring of a water body can be an efficient tool to detect problems and elaborate more grounded goals.

**Palavras-Chave** – Rio Doce, índices de qualidade da água, qualidade do sedimento.

<sup>1</sup>) Discente do curso de mestrado profissional em Gestão e Regulação de Águas (Prof.Água), pólo UFBA. E-mail: [israelhenriquerr@gmail.com](mailto:israelhenriquerr@gmail.com)

<sup>2</sup>) Docente do DEA-UFBA. E-mail: [alfiscina@yahoo.com.br](mailto:alfiscina@yahoo.com.br)

<sup>3</sup>) Docente titular do DEA-UFBA e do mestrado profissional em Gestão e Regulação de Águas (Prof.Água), pólo UFBA. E-mail: [oliveira@ufba.br](mailto:oliveira@ufba.br)

## **INTRODUÇÃO**

A água é um recurso natural fundamental à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem estar social, possuindo múltiplos usos, dos mais simples aos mais complexos. Já os sedimentos, segundo

Baird(2002), são as camadas de partículas minerais e orgânicas, com frequência finamente granuladas, que se encontram em contato com a parte inferior dos corpos d'água natural, como lagos, rios e oceanos. Os sedimentos têm grande importância ambiental já que neles se depositam muitos produtos químicos, especialmente metais pesados e compostos orgânicos. A partir deles, os produtos tóxicos podem ser transferidos para os organismos que habitam essa região.

Os parâmetros envolvidos no monitoramento de qualidade das águas dos mananciais são muitos, o que dificulta a divulgação de uma informação mais resumida e consolidada de um determinado ambiente hídrico. Como alternativa, tem-se a agregação dos parâmetros através de índices de qualidade da água, a fim de mostrar as condições de qualidade dos corpos d'água. Já a qualidade do sedimento, é classificada segundo critérios, cujos padrões e classificações gerais para cada poluente se diferenciam de modelo para modelo adotado por agências ambientais mundiais.

Nesse âmbito das problemáticas envolvendo o meio ambiente, a extração do minério de ferro contribui para impactos ambientais negativos que são, às vezes, irreversíveis. Dentre as exportações de minérios no país, o ferro tem grande destaque, estando entre os minerais mais explorados no território; e o estado de Minas Gerais é o principal produtor do minério. Para Andrade et al(2016), um desses aspectos ambientais relacionados à extração do ferro é o gerenciamento das grandes quantidades de rejeitos advindas do processo de beneficiamento do minério, em que a principal forma de disposição final é a barragem de rejeito. As barragens de rejeito são usadas para depositar os resíduos e a água gerados a partir do beneficiamento do minério.

No final do ano de 2015, ocorreu no estado de Minas Gerais um desastre ambiental considerado por muitos o maior da história do país. A lama do rejeito de minério proveniente do rompimento da barragem de Fundão, localizada na unidade Germano da Samarco, município de Mariana, atingiu mananciais de água doce do Estado, chegando até o oceano. Além dos prejuízos na qualidade e no ecossistema dos rios, no abastecimento de água para consumo humano das localidades, as questões econômicas, sociais e culturais do problema também são colocadas como fator importante. A deterioração dos corpos d'água encarece as tecnologias de tratamento de água, prejudica a atividade pesqueira, enfraquece a autonomia das populações difusas, aumenta os riscos de problemas de saúde pública, interfere nos processos ecossistêmicos importantes no ciclo da vida, entre outros fatores. O objetivo desse trabalho foi avaliar o impacto no meio ambiente e na saúde pública do desastre na bacia do Rio Doce através de indicadores de qualidade da água e critérios de qualidade de sedimento.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Costa et al (2012), o uso de indicadores de qualidade ambiental é uma importante estratégia em programas de monitoramento e gestão ambiental por permitir que um

número elevado de informações técnicas seja convertido em um conceito de qualidade de fácil compreensão. Tipicamente, um número, um símbolo, uma cor ou uma descrição verbal são utilizados para descrever um nível de qualidade.

Contudo, é importante salientar que um índice de qualidade não deve ser adotado como única forma de avaliação ambiental, e sim utilizado para complementar as informações produzidas na avaliação individual de cada parâmetro, incluindo a observância dos padrões de qualidade determinados nas legislações específicas. (COSTA et al apud PARADA & ORTEGA, 2005).

O índice usado pela Companhia Estadual do Estado de São Paulo foi adaptado do IQA da National Sanitation Foundation (Estados Unidos). São considerados nove parâmetros relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para o abastecimento público. Os parâmetros são: coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, pH, sólidos totais dissolvidos, temperatura e turbidez.

O Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas (IVA) tem o objetivo de avaliar a qualidade das águas para fins de proteção da fauna e flora em geral, diferenciado, portanto, de um índice para avaliação da água para o consumo humano e recreação de contato primário. (PNMA II, 2005)

Outro índice utilizado foi o da agência ambiental canadense. O CCME Water Quality Index (IQA-CCME) foi desenvolvido por uma comissão de especialistas em qualidade de água do Canadian Council of Ministers of the Environment em 1997 (MENEZES et al, 2013). A metodologia matemática de aplicação do IQA-CCME é estatística, baseada na frequência das falhas relativas às condições de qualidade da água, indicadas pela legislação vigente, através dos padrões de qualidade da água. O IQA-CCME, além de ser flexível no que diz respeito ao tipo e número máximo de parâmetros de qualidade da água a ser analisado, também é flexível quanto ao período de aplicação e o tipo do corpo de água. (ALMEIDA, 2014).

Além dos parâmetros de qualidade da água no monitoramento dos ecossistemas aquáticos, o sedimento tem sido utilizado por sua importância na compreensão dos processos que envolvem contaminantes na coluna de água. A Agência Ambiental do estado de São Paulo (CETESB) faz uso de 34 variáveis de qualidade de sedimento - divididas em físicas, químicas, hidrobiológicas e toxicológicas - considerando-se aqueles mais representativos. As variáveis físicas englobam granulometria, pH e umidade; já nas químicas estão inclusas alumínio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel e zinco; pesticidas organoclorados e bifenilas policloradas. Com relação à variáveis físicas, a granulometria dos sedimentos tem relação com o diâmetro das partículas que os envolve – as frações podem ser divididas em cascalho, areia, silte e argila, em geral. A granulometria é importante na análise de contaminantes no sedimento, pois a

tendência observada é que quando o grão diminui, as concentrações de nutrientes e contaminantes aumentam.

Já o grau de contaminação química do sedimento, um dos critérios utilizados são os valores guias baseados num consenso, proposto por MacDonald et al. (2000). Nesse critério de qualidade, temos valores indicando aqueles teores cuja concentração situa-se no limiar entre os valores que não causam danos aos organismos residentes em sedimentos (TEC – Threshold Effect Concentration) e os que causam provável efeito negativo (PEC - Probable Effect Concentrations) nos organismos.

## METODOLOGIA

A região da Bacia do Rio Doce foi escolhida devido à ocorrência do acidente na Mina da Alegria no final do ano de 2015, em Mariana-MG, que alterou a qualidade da água dos mananciais da bacia, acidente este considerado por muitos o maior de cunho ambiental da história do país.

Para a análise da qualidade da água e sedimento nesse trabalho foram utilizados alguns pontos de amostragem na bacia do Rio Doce. Os pontos utilizados foram os treze pontos amostrados no monitoramento emergencial (Figura 1). Os trechos de rio envolvidos no monitoramento do IGAM (Instituto de Gestão das Águas de Minas Gerais) em ordem e proximidade com o local do acidente são RD071(Rio do Carmo no município de Barra Longa), RD072 (Rio Doce em Rio Doce e Santa Cruz do Escavaldo), RD019( Rio Doce em Rio Casca e São Domingos da Prata) , RD023 (Rio Doce em Marliéria e Pingo D'água) , RD035( Rio Doce em Ipatinga), RD033 (Rio Doce em Belo Oriente e Bugre), RD083 (Rio Doce em Fernandes Tourinho e Periquito) , RD044 (Rio Doce em montante de Governador Valadares), RD045 (Rio Doce em jusante de Governador Valadares) , RD053 (Rio Doce em Galiléia e Tumiritinga), RD058 (Rio Doce em Conselheiro Pena), RD059( Rio Doce em Resplendor) e RD067 (Rio Doce em Aimorés e Baixo Guandu).

Foram utilizadas as planilhas de monitoramento do Instituto Mineiro de Gestão das Águas dos anos de 2014 à 2016. Calculou-se o IQA (Índice de Qualidade das águas), IVA (Índice de qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas) para cada um dos pontos e frequências de acordo com a disponibilidade dos dados e com o índice utilizado.



Figura 1 – Diagrama unifilar dos mananciais

Além destes, foram calculados índices utilizando o IQA-CCME( Índice do órgão ambiental do Canadá) além dos critérios de qualidade de sedimento canadense e no baseado em consenso.

No caso do IQA-CCME, foram calculados dois índices estatísticos: um índice envolvendo o padrão organoléptico de qualidade da água; e um índice envolvendo substâncias tóxicas à saúde humana e à vida aquática. Além disso, para confiabilidade dos resultados, foram utilizadas análises trimestrais ou semestrais por trecho de rio – um trecho com o RD071, RD072, RD019 e RD023; outro trecho com o RD035, RD033, RD083, RD044 e RD045; e o último trecho considerando o RD053, RD058, RD059 e RD067. As análises de 2014 até o terceiro trimestre de 2015 e de 2016 foram obtidas através das planilhas de monitoramento frequentemente feitas pelo IGAM.

O critério para a escolha dos parâmetros do IQA-CCME para padrão organoléptico foi pelo o uso de padrões organolépticos de potabilidade da Portaria 2914/11, e envolveu os seguintes parâmetros:

- Alumínio; Ferro; Manganês; Sólidos Totais Dissolvidos; Turbidez

Já o IQA-CCME para substâncias tóxicas à saúde humana à vida aquática foi estabelecido pelo critério de uso dos parâmetros da CONAMA 357/05 para classe 2, e envolveu os seguintes parâmetros:

- Arsênio total; Cádmiu total; Chumbo total; Cobre dissolvido; Cromo total; Mercúrio total; Níquel total.

Com relação aos critérios de qualidade de sedimento, os parâmetros químicos analisados no critério de qualidade baseado num consenso foram:

- Arsênio, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Níquel e Zinco.

O cálculo do IQA-CETESB foi realizado através do software Qualigraf, desenvolvido pela Funceme. Já os outros índices e critérios foram calculados através de planilhas Excel confeccionadas pelo próprio autor deste trabalho seguindo instruções da CETESB e órgãos ambientais em questão.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Pode-se observar abaixo os IQA's no período de 2014-2016 estimados para cada um dos pontos de monitoramento, divididos em gráficos por grupo de pontos. Com a maioria dos pontos com análises sendo mensais (exceção de RD071), vê-se a variação dos Índices de Qualidade da Água por ponto num determinado no tempo.



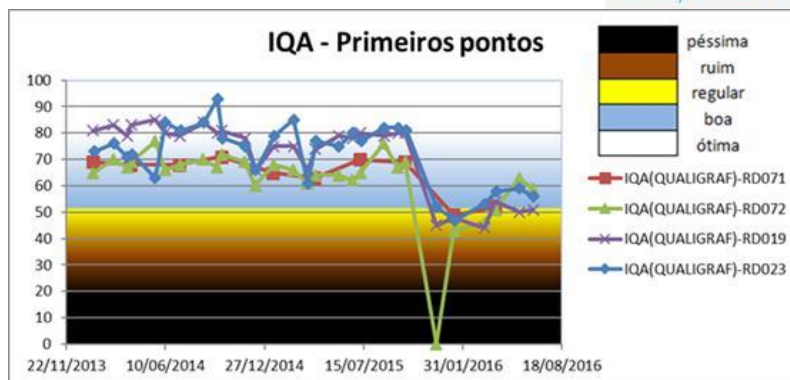


Figura 2 -Variação do IQA-CETESB

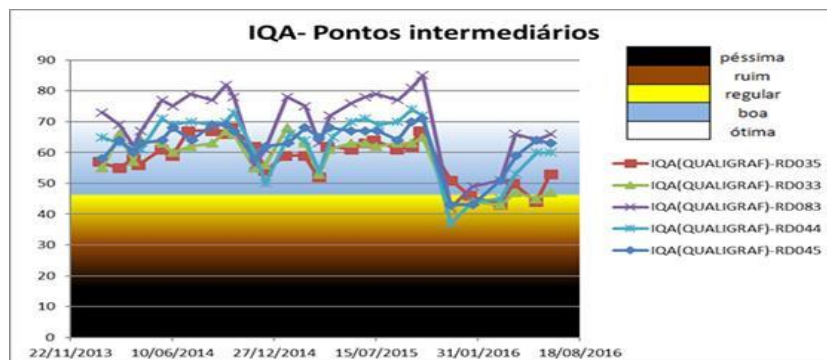


Figura 3 –Variação do IQA-CETESB(2)

Observa-se através dos três gráficos que em todos os pontos houve uma perturbação no quarto trimestre de 2015, uma mudança brusca no valor do Índice de Qualidade da Água – decrescendo em faixas que variam de 20% a 40%, em geral. Além disso, observa-se uma recuperação lenta, voltando a ficar em situação boa apenas em meados de abril ou maio de 2016.

Para a Cetesb, um manancial com IQA no valor de 51 já passa a ser regular. Com isso, através dos valores encontrados podemos observar que todos os mananciais de junho a outubro de 2015 seguiam um padrão relativamente constante de qualidade (bom a ótimo), e a partir de dezembro a qualidade se tornou regular. Isso pode mostrar a deterioração dos mananciais com a ocorrência do acidente de Mariana. Os parâmetros que mais influenciaram no valor do índice no período de perturbação (últimos meses de dezembro de 2015 e primeiros meses de 2016) foram turbidez e sólidos totais, que foram muito acima dos valores normais. Nesse contexto, é notável a capacidade do índice de mostrar a situação dos pontos de forma geral, sendo um bom indicador.

A grande concentração de turbidez não traz inconvenientes sanitários diretos, porém é esteticamente desagradável na água potável. Além disso, a alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas, fato este que possivelmente ocorreu nos mananciais analisados. Com relação aos sólidos totais, a parcela de sólidos dissolvidos totais é um parâmetro de potabilidade da Portaria 2914/2011. Para o recurso hídrico, os sólidos podem sedimentar no leito dos

rios destruindo organismos que fornecem alimentos ou, também, danificar os leitos de desova de peixes.

Já para o cálculo do IVA, é necessária a análise de toxicidade. Entretanto, apenas seis pontos de monitoramento apresentaram o ensaio de toxicidade, sendo estes considerados na análise:

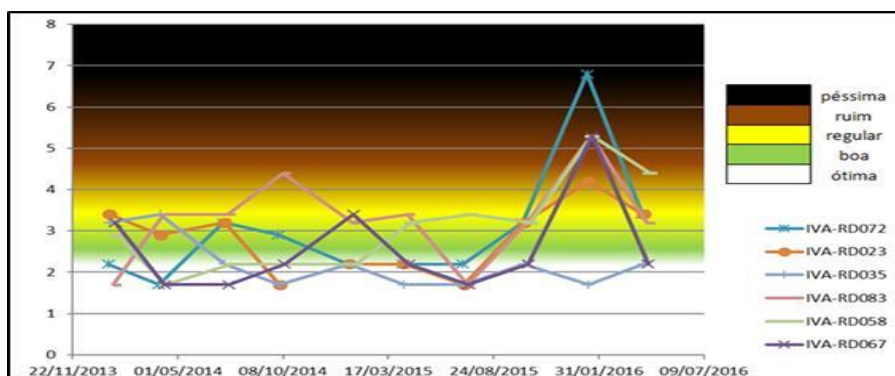


Figura 4 – Variação do IVA

Podemos observar que o Índice de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas na maioria dos mananciais têm uma variação considerável a partir da data do acidente. No caso do IVA, variando de boa ou regular para ruim a péssima. Em geral, os parâmetros que mais influenciaram no aumento desse índice foram o chumbo, o cromo e o ensaio ecotoxicológico. Já com relação ao IQA-CCME, adotou-se duas abordagens: um para substâncias organolépticas e outro para substâncias tóxicas. Os pontos de amostragem foram agrupados por trimestre e por trecho de rio. O gráfico abaixo apresenta os resultados para o índice IQA-CCME para parâmetros organolépticos.

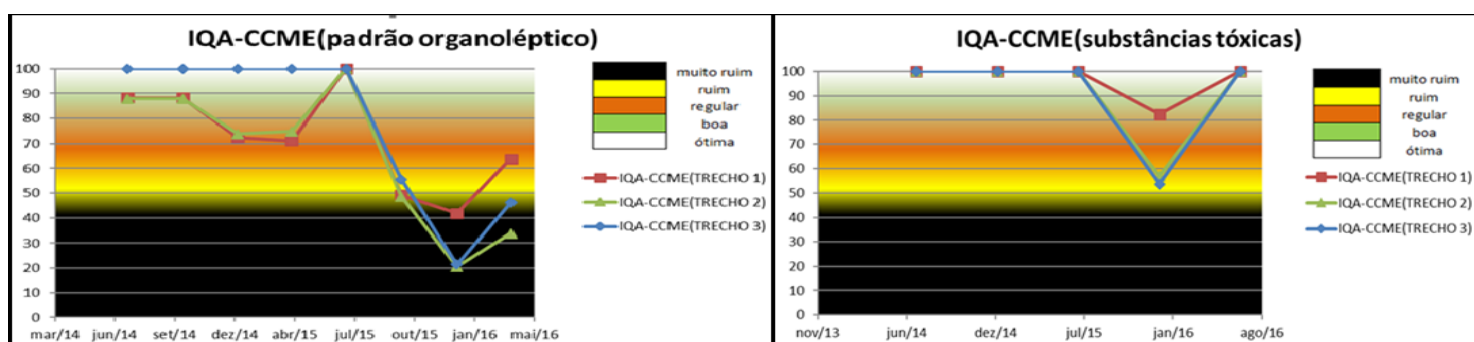


Figura 5–Variação do IQA-CCME(org) e IQA-CCME(Subst tox)

O trecho 1 é definido pelos quatro primeiros pontos dos mananciais; o trecho 2 pelos cinco pontos intermediários; enquanto que o trecho 3 pelos quatro últimos pontos do manancial. Com isso, o gráfico do índice organoléptico foi elaborado considerando intervalos trimestrais e por trecho de rio. Quanto ao padrão organoléptico, em todos os trechos mencionados observou-se que a mesma

tendência de decréscimo no último trimestre de 2015, o que indica a deterioração da qualidade do manancial quanto a esses tipos de substâncias. O parâmetro que mais influenciou nesse decréscimo foi a turbidez, que aumentou a níveis muito altos.

Já o para substâncias tóxicas, devido à frequência de dados dos parâmetros envolvidos, a análise do índice foi semestral. O gráfico foi elaborado considerando intervalos semestrais e por trecho de rio. No primeiro semestre de 2016, há um decréscimo considerável do valor do índice, principalmente devido às altas concentrações de chumbo, denotando a perda de qualidade do manancial nesse período com relação às substâncias tóxicas, mostrando ser um bom indicador.

Já com relação ao sedimento, o gráfico (Figura 7) apresenta a granulometria de alguns dos pontos de monitoramento estudados, no mês de abril de 2012. Podemos observar a predominância das frações de areia nos mananciais de bacia do Rio Doce utilizados na análise, indicando que a adsorção de contaminantes pelo sedimento não é muito alta.

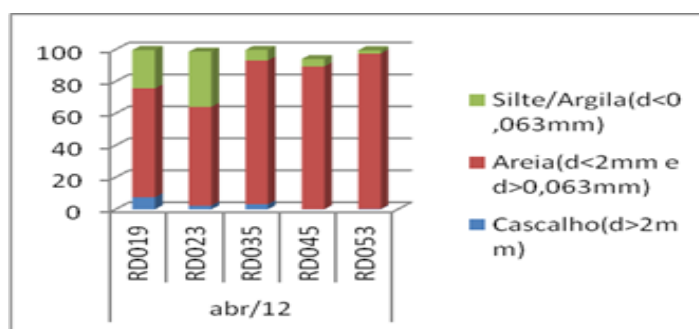


Figura 6 – Granulometria

Com relação às variáveis químicas, alguns dos resultados de critérios de qualidade baseados num consenso (Figura 8), baseados no monitoramento emergencial e do monitoramento realizado em 2010 estão apresentadas nas Tabelas de 1 a 4.

Tabela 1 – Classificação da qualidade do sedimento baseada num consenso em abril de 2012

Contaminante	RD019	RD023	RD035	RD045	RD053
Arsênio	37.9	29.9	3.89	22.1	5.85
Cromo	207	203	151	129	101
Cobre	48.6	43.1	38	23.1	26
Ferro	12500	5500	99800	23700	14100
Manganês	781	1667	1189	1293	1186
Mercurio	0.156	0.104	0.133	0.059	0.059
Níquel	57.2	57.4	45.2	20.3	13.6
Zinco	112	112	86.4	80.8	83.8

Tabela 2 - Classificação da qualidade do sedimento baseada num consenso em julho de 2012

Contaminante	RD019	RD023	RD035	RD045	RD053
Arsênio	11.5	10	7.99	3.8	-
Cromo	129	139	186	139	-
Cobre	40.8	24.3	37.7	33.2	-
Ferro	6060	9170	27400	10000	-
Manganês	915	171	169	9395	-
Mercurio	0.103	0.049	0.094	0.095	-



Níquel	48.2	23.1	50.7	21.1	-
Zinco	81.7	135	108	111	-

Tabela 3 – Classificação da qualidade do sedimento baseada num consenso em 15/11/2015

Contaminante	RD019	RD023	RD035	RD045	RD053
Arsênio	11	15	12	28	35
Cromo	62	40	50	146	157
Cobre	20	22	15	53	60
Ferro	325000	4.00E+05	340000	2.00E+05	2.00E+05
Manganês	1000	800	1000	2200	1750
Mercúrio	0,12	0,16	0,075	0,125	0,08
Níquel	29	36	26	77	81
Zinco	49	30	40	90	80

Tabela 4- Classificação da qualidade do sedimento baseada num consenso em maio de 2016

Contaminante	RD019	RD023	RD035	RD045	RD053
Arsênio	12	13	16	14	12
Cromo	40	46	85	75	91
Cobre	17	20	20	30	28
Ferro	265000	260000	220000	140000	135000
Manganês	600	600	750	900	1101
Mercúrio	0,07	0,05	0,16	0,171	0,165
Níquel	12	12	28	28	19
Zinco	20	23	65	60	75

Foram considerados cinco pontos para a análise química do sedimento, tendo em vista que estes são pontos com dados anteriores ao acidente. O nível 4(laranja escuro) corresponde a concentração maior que o PEC(causa provável efeito negativo).

Os critérios de sedimento baseados num consenso mostram que os elementos arsênio, cromo e níquel são contaminantes que, via de regra, estão constantemente com valores altos no sedimento. Além disso, as concentrações de ferro e manganês são as mais preocupantes, já que quase sempre estão acima do valor limite para nível 4. Vê-se também que os valores de concentração de ferro logo após o rompimento da barragem de rejeito são muito maiores que a concentração normal no ano de 2012 (no mínimo duas vezes maior), ressaltando a influência que a lama de rejeitos, rica em ferro, pode ter exercido sobre a concentração deste nos sedimentos do rio, apesar de grande parte da concentração de ferro ainda estar nos sedimentos em suspensão. O manganês, espécie química de pequena porcentagem no rejeito, tem concentrações acima do recomendado em toda a faixa de tempo. O alumínio, parâmetro de grande porcentagem no rejeito, não foi alvo de análise no sedimento pelo órgão ambiental.

## CONCLUSÃO

A passagem da lama de rejeito de mineração de ferro acarretou nos mananciais subsequentes, principalmente, um aumento na turbidez, sólidos totais e na concentração de ferro. A frequência de dados e a diversidade de parâmetros são fatores importantes para o melhor diagnóstico da qualidade ambiental do meio aquático, porém muitas vezes no país isso não é feito na devida importância.

Foi observado que o valor do Índice de Qualidade da Água (IQA-CETESB) teve uma grande diminuição no final do ano de 2015, voltando a melhorar no primeiro semestre de 2016. O Índices de Qualidade das Águas para Proteção da Vida Aquática e de Comunidades Aquáticas (IVA) teve um aumento em cinco dos seis pontos avaliados, denotando a deterioração dos ecossistemas aquáticos dos mananciais. O IQA-CCME para parâmetros organolépticos também obteve um grande decréscimo no último trimestre de 2015 e primeiro trimestre de 2016. Já o IQA-CCME para substâncias tóxicas teve uma pequena diminuição do índice no primeiro semestre de 2016.

A qualidade do sedimento foi averiguada através da metodologia baseada por um consenso. A partir desta, foi possível observar que o nível de ferro após o acidente da barragem aumentou consideravelmente em comparação com análises anteriores. Observou-se também, os elevados níveis de manganês, denotando que o ambiente aquático pode estar em níveis altos de toxicidade, que trazem malefícios para ecossistemas aquáticos..

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Indicadores de qualidade - índice de qualidade das águas (IQA)**. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>> . Acessado em: 23 mai. 2017.

ALMEIDA, Geane Silva de. **Avaliação da aplicação do IQA-CCME na divulgação da qualidade de água de bacias hidrográficas**. Estudo de caso: bacia hidrográfica do Rio Joanes. Salvador: UFBA, 2014.

CETESB. **Critério de Avaliação da Qualidade dos Sedimentos**. Disponível em :< <http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/10.pdf>>. Acessado em: 17 mai. 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Apêndice A - Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. São Paulo, 2009.

FUNCEME. Qualigraf. Disponível em:<<http://www3.funceme.br/qualigraf/>>. Acessado em 19 jul. 2017.

IGAM. Dados de monitoramento – série histórica. Disponível em: < <http://portalinf hidro.igam.mg.gov.br/serie-historica>>. Acessado em : 18 mai. 2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Monitoramento da qualidade das águas superficiais do Rio Doce no estado de Minas Gerais. Relatório técnico.2016.

MENEZES, Juliana Magalhães; SILVA JR, Gerson Cardoso da;PRADO, Raquel Bardy. Índice de qualidade de água (IQACCME) aplicado à avaliação de aquíferos do Estado do Rio de Janeiro. 2013. PNMA II. Índice e indicadores de qualidade da água – revisão de literatura. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>. Acessado em: 17 mai. 2017.

PNMA II. SISTEMA DE CÁLCULO DA QUALIDADE DA ÁGUA (SCQA) Estabelecimento das Equações do índice de Qualidade das Águas(IQA). Relatório 1, 2005.

SANTOLIN, Camila Vidal Alves. **Quantificação e avaliação ambiental da contaminação por metais e arsênio em sedimentos da Bacia do Rio Doce – MG**. Belo Horizonte, 2015.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.