

## XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

# APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORMIDADE AO ENQUADRAMENTO (ICE) NO RIO DOCE TENDO EM VISTA O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO

*Marianne Schaefer França Sieciechowicz<sup>1</sup>; Ana Carolina Canossa Becker<sup>2</sup>; Bruna Arcie Polli<sup>3</sup>;  
Ana Carolina Wosiack<sup>4</sup>; Nicole Machuca Brassac de Arruda<sup>5</sup>; Alcides Conte Neto<sup>6</sup>  
& Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes<sup>7</sup>*

**Palavras-Chave** – Índice de Qualidade de Água, Desastre Ambiental.

### RESUMO

A maioria dos cursos d'água da bacia do rio Doce não se encontra enquadrada em classes atualmente. Na região, há grande supressão da cobertura vegetal, pastagens degradadas e fragilidade quanto à susceptibilidade à erosão. Outra problemática se refere à existência de minerações em regiões de cabeceira de drenagens, bem como a falta de tratamento de esgotos sanitários. Além de todos esses fatores que já exerciam pressão no ambiente, em novembro/2015, ocorreu o rompimento da barragem de Fundão, responsável pela liberação de mais de 40 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos minerários de ferro. Com isso, a qualidade da água dos rios atingidos pela lama de rejeitos foi severamente impactada. Tendo esse panorama em vista, o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) foi aplicado nas estações de monitoramento avaliadas, antes e após o evento, considerando-se ainda a influência da sazonalidade na região. Foram constatados valores baixíssimos do ICE nos primeiros meses pós-rompimento, sendo que com o passar do tempo esses valores foram se elevando. Além dos efeitos provocados pelo rompimento, ficou evidente também a influência negativa que períodos chuvosos exercem sobre a qualidade da água da região, bem como a necessidade de enquadramento da bacia considerando tanto parâmetros relacionados à carga orgânica e de nutrientes bem como a elementos potencialmente tóxicos.

### INTRODUÇÃO

O rompimento da barragem de Fundão, na tarde do dia 05 de novembro de 2015, foi responsável pela liberação de 44 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos de mineração de ferro no meio ambiente (BRASIL(MPF)/LACTEC, 2020a), o equivalente a 5,5 estádios do Mineirão transbordando. A barragem operada pela Samarco Mineração localizava-se no distrito de Bento Rodrigues, no município de Mariana, no estado de Minas Gerais. Nessa região, a altura da lama chegou a atingir 20 m de altura (BRASIL(MPF)/LACTEC, 2020a). Segundo ANA (2016), a onda de lama resultante da ruptura da barragem avançou sobre a planície de inundação dos rios tributários, levando consigo

1) Afiliação: Lactec. Av. Comendador Franco, nº 1341. Curitiba, Paraná. E-mail: marianne.franca@lactec.org.br

2) Afiliação: Lactec. Av. Comendador Franco, nº 1341. Curitiba, Paraná. E-mail: ana.becker@lactec.org.br

3) Afiliação: Lactec. Av. Comendador Franco, nº 1341. Curitiba, Paraná. E-mail: bruna.polli@lactec.org.br

4) Afiliação: Lactec. Av. Comendador Franco, nº 1341. Curitiba, Paraná. E-mail: ana.wosiack@lactec.org.br

5) Afiliação: Lactec. Av. Comendador Franco, nº 1341. Curitiba, Paraná. E-mail: nicole.brassac@lactec.org.br

6) Afiliação: Lactec. Av. Comendador Franco, nº 1341. Curitiba, Paraná. E-mail: alcidesconteneto@gmail.com

7) Afiliação: Universidade Federal do Paraná (UFPR). Av. Cel. Francisco H. dos Santos, nº 100. Curitiba, Paraná. E-mail: cris.dhs@ufpr.br

parte da vegetação e do substrato. Esses materiais somaram-se à própria lama de rejeitos, agravando os danos nos trechos de cabeceira.

Inicialmente, os rejeitos atingiram os córregos Fundão e Santarém, e então alcançaram os rios Gualaxo do Norte e do Carmo, até o encontro deste com o rio Doce, o qual está localizado na bacia hidrográfica de mesmo nome. No total, a lama de rejeitos foi transportada ao longo de 675 km de rios até chegar à foz do rio Doce (Figura 1), no Oceano Atlântico, no dia 21 de novembro, tendo passado por 40 municípios.

Com a passagem da lama de rejeitos minerários pelos corpos hídricos, a qualidade de suas águas foi severamente impactada. Nos primeiros dias após o rompimento, a turbidez da água atingiu valores elevadíssimos, diminuindo significativamente a transparência da água. No rio Doce, na altura do município de Marliéria/MG, a turbidez da água superou o valor de 600.000 UNT, segundo medição realizada pelo Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM) em 07/11/2015. Também foram constatadas concentrações elevadas de elementos potencialmente tóxicos na água e baixíssimas concentrações de oxigênio dissolvido, com valores inclusive próximos a zero (BRASIL(MPF)/LACTEC, 2020b).

Os danos à qualidade da água dos rios atingidos pela lama acabaram impactando em diversos usos que se faziam desse recurso. Houve a interrupção do abastecimento da água e da geração de energia elétrica pelas hidrelétricas atingidas, morte da biodiversidade aquática, proibição da pesca (IBAMA, 2015), além de implicações na dessedentação animal e na irrigação, por exemplo.

Nesse contexto, a compatibilização entre as condições de qualidade da água e os usos de recursos hídricos é iminente, tendo em vista a necessidade do atendimento dos fundamentos e objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) e os danos ambientais decorrentes do rompimento da barragem de Fundão. Para isto, as condições atuais da qualidade da água devem ser avaliadas de forma integrada com os usos dos recursos hídricos que visam ser atendidos.

No Brasil, em termos de legislação, os usos da água são contemplados pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005). Esta dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos de acordo com os usos da água (atuais ou pretendidos), de modo que águas de melhor qualidade sejam destinadas a usos mais exigentes, enquanto águas de pior qualidade sejam destinadas a usos menos exigentes. Para que seja definida a classe a que pertence um corpo hídrico, aplica-se um dos instrumentos previstos na Lei nº 9.433/1997, denominado “enquadramento dos corpos de água”. O mesmo deve ser realizado considerando os usos preponderantes mais restritivos de acordo com a Resolução CNRH nº 91/2008 (BRASIL, 2009). O instrumento em questão é de planejamento e consiste no estabelecimento de objetivo de qualidade a ser alcançado através de metas progressivas intermediárias visando o atendimento final da meta de qualidade da água, pactuada e aprovada no âmbito do Comitê de Bacia. Isto é, mesmo que o corpo hídrico esteja enquadrado em determinada classe, aceita-se que este objetivo seja atendido ao longo do horizonte de planejamento e não imediatamente.

Deste modo, o enquadramento é um instrumento que visa a gestão de recursos hídricos e é compatível com o planejamento ambiental, tendo em vista a sustentabilidade dos usos definidos na bacia hidrográfica. Portanto, não tem por objetivo inicial ser um instrumento de comando e controle, pois planejamento não coaduna com “penalização” e/ou “interdição/proibição” de usos da água. Sendo assim, os padrões de qualidade de água apresentados na Resolução CONAMA nº 357/2005 são fundamentalmente referências para o estabelecimento do enquadramento. Entretanto, na resolução em questão indica-se a referência de qualidade da água para determinado conjunto de usos do recurso hídrico e a definição do padrão de qualidade de água aceitável visando seu atendimento.

Em relação à bacia do rio Doce, a maioria dos seus cursos d'água não se encontra enquadrada atualmente. No ano de 2010, chegou a ser realizado um estudo de enquadramento para o rio Doce, contudo, a proposta de enquadramento não foi aprovada.

Nessa conjuntura, no presente estudo, foi aplicado o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) (CCME, 2001), que permite avaliar o comportamento de diferentes parâmetros de qualidade de água em relação aos limites legislados de forma integrada. As referidas avaliações foram realizadas tanto para o período anterior à data de rompimento da barragem de Fundão quanto para o período pós-rompimento, considerando dados registrados até março/2020.

De acordo com o artigo 42 da Resolução CONAMA n° 357/2005, enquanto não aprovado o enquadramento do corpo hídrico, as águas doces serão consideradas de classe 2, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores. Assim, todas as avaliações apresentadas neste documento foram consideradas em relação à classe 2.

## METODOLOGIA

No presente estudo, foi aplicado o ICE aos rios que fizeram parte da área da passagem da lama de rejeitos minerários provenientes do rompimento da barragem de Fundão. O ICE permite avaliar de forma integrada o comportamento de diferentes parâmetros de qualidade de água em relação aos limites legislados.

Com vistas a se identificar a influência do rompimento da barragem de Fundão sobre a qualidade da água, as avaliações foram realizadas tanto para o período pré-desastre (anterior à data de rompimento da barragem de Fundão) quanto para o período pós-desastre (posterior à data de rompimento). Na sequência, são apresentadas as etapas necessárias para o cálculo do referido índice.

### *Cálculo do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE)*

O ICE é um índice desenvolvido pelo *Canadian Council of Ministers of the Environmental* (CCME), com o intuito de apresentar ao público não técnico, de maneira simples, a condição de conformidade da qualidade da água do corpo hídrico com os padrões instituídos pela legislação (CCME, 2001). O ICE é calculado conforme (CCME, 2001):

$$ICE = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732}$$

na qual os fatores F1, F2 e F3 referem-se a abrangência, frequência e amplitude, respectivamente. A abrangência refere-se à porcentagem de variáveis (parâmetros de qualidade da água) em que há alguma desconformidade no período sob estudo (CCME, 2001). A frequência, refere-se à porcentagem de observações em desconformidade com o limite legal (CCME, 2001). A amplitude representa o quão afastado o valor observado do parâmetro de qualidade da água está do valor legislado (CCME, 2001). Os resultados do ICE variam de 0 a 100, sendo que valores próximos a 100 indicam que, para grande parte dos parâmetros de qualidade da água e observações avaliadas, a situação do corpo hídrico está em conformidade com o enquadramento (CCME, 2001).

Amaro e Porto (2009) propuseram uma divisão em três classes para os valores do ICE, para os casos em que o corpo hídrico está conforme, afastado ou não conforme com relação ao enquadramento. A Tabela 1 apresenta esta divisão em classes e intervalos do índice.

Tabela 1 – Classificação do ICE. Adaptado de Amaro e Porto (2009)

Classificação	ICE	Significado
Conforme	$80 \leq ICE \leq 100$	A maioria ou todas as medições estão dentro dos padrões de qualidade da água no período de monitoramento.
Afastado	$45 \leq ICE < 80$	As observações estão frequentemente em desacordo com os padrões de qualidade da água.

Classificação	ICE	Significado
Não conforme	ICE < 45	A maioria ou a totalidade das observações está violando os limites da classe de enquadramento correspondente ao trecho do rio naquele período de monitoramento.

### Área de Estudo e Base de Dados

Foram utilizados dados de estações de monitoramento de qualidade de água que fizeram parte do trajeto percorrido pela lama de rejeitos proveniente do rompimento da barragem de Fundão, localizadas no estado de Minas Gerais e do Espírito Santo, apresentadas na Tabela 2 e na Figura 1.

Nesse contexto, foram avaliados dados de monitoramento de qualidade de água de fontes distintas visando maior cobertura espacial e temporal, quais sejam: (i) do Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM), responsável pelo monitoramento dos rios da bacia hidrográfica do rio Doce no trecho mineiro desde 1997, com coleta em 13 estações de monitoramento; (ii) do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), que monitorou o rio Doce no estado do Espírito Santo entre 1999 e 2010 e entre novembro/2015 e agosto/2016; (iii) do Serviço Colatinense de Saneamento Ambiental (Sanear Colatina), que também faz a avaliação da qualidade da água bruta do rio Doce (antes de seu tratamento visando o abastecimento público) no município de Colatina/ES, cujos dados avaliados para constituição de linha-base foram obtidos entre 2012 e 2015; (iv) da Samarco, que fez o monitoramento emergencial na região, cujos dados relativos a novembro/2015 foram utilizados para preencher lacunas na estação do IGAM “RD071” (rio do Carmo) e (v) da Fundação Renova, entidade responsável pela mobilização para a reparação dos danos causados pelo rompimento da barragem de Fundão, que realiza o monitoramento de diversos corpos hídricos na bacia do rio Doce, cujos dados das estações “RDO 12” e “RDO 15” foram utilizados para o preenchimento da série de dados das estações “P2” e “P4” do IEMA, respectivamente, visto que a partir de agosto/2016, o IEMA encerrou suas atividades de monitoramento no rio Doce.

A Tabela 2 apresenta as estações de monitoramento estão localizadas, as fontes de dados e os períodos de monitoramento avaliados. Na Figura 1, é apresentada a localização das estações de amostragens ao longo do caminho percorrido pela lama de rejeitos.

Tabela 2 – Detalhamento das estações de amostragem de qualidade de água

Estação amostral	Corpo hídrico	Município	Latitude	Longitude	Fonte	Período de monitoramento (linha-base)	Período de monitoramento (pós-desastre)
RD071	Rio do Carmo	Barra Longa/MG	20° 16' 58.0"	43° 01' 56.00"	IGAM	out/08 - out/15	nov/15 - mar/20
RD072	Rio Doce	Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado/MG	20°14'52.19"	42°53'7.84"	IGAM	out/08 - out/15	nov/15 - mar/20
RD019	Rio Doce	São Domingos do Prata/MG	20° 0'52.78"	42°44'40.67"	IGAM	set/97 - out/15	nov/15 - mar/20
RD023	Rio Doce	Marliéria e Pingo d'Água/MG	19°44'57.12"	42°28'41.52"	IGAM	set/97 - out/15	nov/15 - mar/20
RD035	Rio Doce	Santana do Paraíso/MG	19°29'24.00"	42°29'24.00"	IGAM	ago/97 - out/15	nov/15 - mar/20
RD033	Rio Doce	Belo Oriente e Bugre/MG	19°19'14.88"	42°21'52.20"	IGAM	jul/97 - out/15	nov/15 - mar/20
RD083	Rio Doce	Fernandes Tourinho e Periquito/MG	19° 5'44.16"	42° 9'18.00"	IGAM	jul/08 - out/15	nov/15 - mar/20
RD044	Rio Doce	Governador Valadares/MG	18°52'58.44"	41°57'3.60"	IGAM	fev/00 - out/15	nov/15 - mar/20
RD045	Rio Doce	Governador Valadares/MG	18°51'39.60"	41°49'39.72"	IGAM	jul/97 - out/15	nov/15 - mar/20
RD053	Rio Doce	Galiléia e Tumiritinga/MG	18°58'28.56"	41°38'31.20"	IGAM	set/97 - out/15	nov/15 - mar/20
RD058	Rio Doce	Conselheiro Pena/MG	19° 9'55.44"	41°28'0.12"	IGAM	fev/00 - out/15	nov/15 - mar/20
RD059	Rio Doce	Resplendor/MG	19°20'60.00"	41°14'24.00"	IGAM	set/97 - out/15	nov/15 - mar/20
RD067	Rio Doce	Aimorés/MG e Baixo Guandu/ES	19°30'21.78"	41° 0'50.11"	IGAM	mar/98 - out/15	nov/15 - mar/20
P2/RDC1E010 <sup>a</sup>	Rio Doce	Colatina/ES	19°31'41.02"	40°48'46.01"	IEMA	mai/99 - nov/15	nov/15 - ago/16

Estação amostral	Corpo hídrico	Município	Latitude	Longitude	Fonte	Período de monitoramento (linha-base)	Período de monitoramento (pós-desastre)
RDO 12 <sup>a</sup>	Rio Doce	Colatina/ES	19°29'57.44"	40°45'31.46"	Fundação Renova	SD	ago/16 - mar/20
ETA I <sup>1</sup>	Rio Doce	Colatina/ES	19°32'13.62"	40°38'32.21"	Sanear Colatina	jun/12 – out/15	não utilizado
ETA II <sup>1</sup>	Rio Doce	Colatina/ES	19°31'48.50"	40°38'12.16"	Sanear Colatina	jun/12 – out/15	não utilizado
ETA IV <sup>1</sup>	Rio Doce	Colatina/ES	19°31'54.49"	40°42'24.66"	Sanear Colatina	dez/13 – out/15	não utilizado
P4/RDC1D025 <sup>b</sup>	Rio Doce	Linhares/ES	19°24'38.02"	40° 3'54.00"	IEMA	mai/99 – nov/15	nov/15 - ago/16
RDO 15 <sup>b</sup>	Rio Doce	Linhares/ES	19°24'28.08"	40° 3'52.45"	Fundação Renova	SD	ago/16 - mar/20

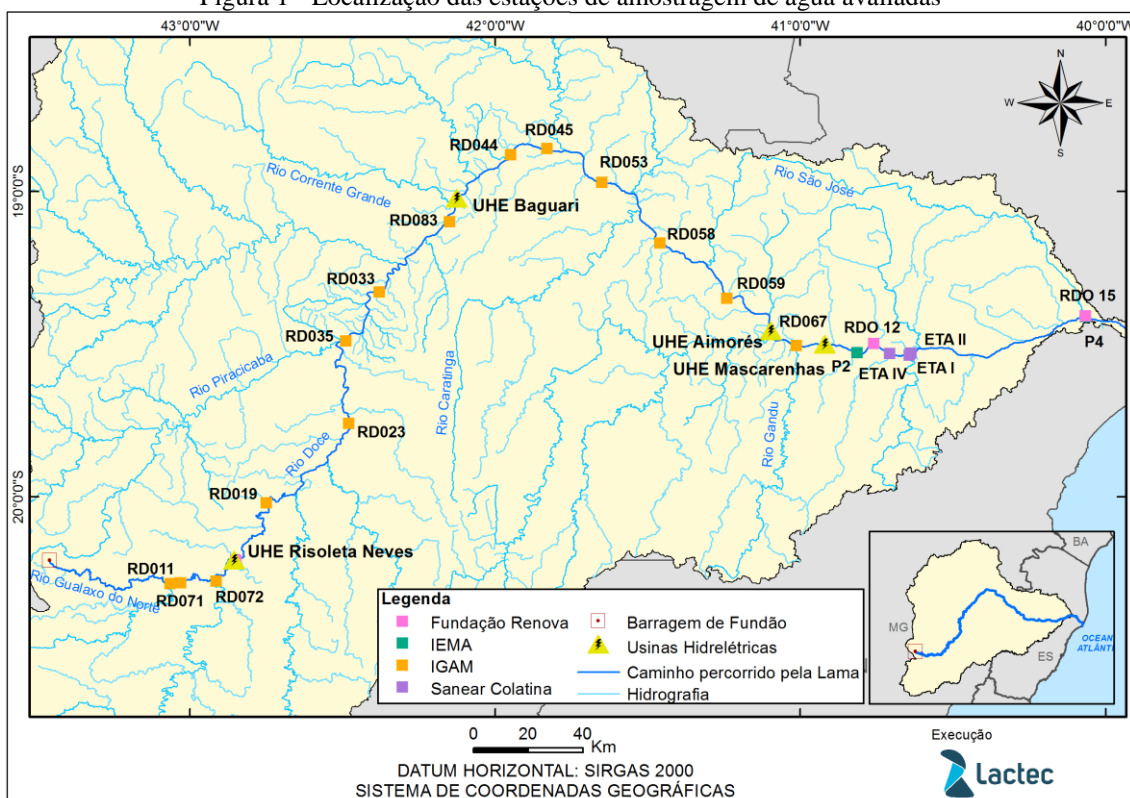
a e b: estações que possuem a mesma letra foram analisadas em conjunto dada sua proximidade.

1: os dados dessas estações foram utilizados em conjunto para o estabelecimento de referencial de linha-base para o estado do Espírito Santo, no tocante à concentração de EPTs e sólidos dissolvidos totais.

SD: sem dados. As estações amostrais só começaram a ser avaliadas após o rompimento da barragem de Fundão, de modo que não possuem dados históricos.

Obs.: Para as estações da Fundação Renova, nem todas as variáveis de qualidade de água começaram a ser monitoradas no mesmo momento.

Figura 1 - Localização das estações de amostragem de água avaliadas



### Parâmetros de Qualidade de Água avaliadas

Dadas as características do rejeito de Fundão (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2018), na presente avaliação foi priorizada a análise de parâmetros de qualidade de água relacionados às contribuições de sólidos e elementos potencialmente tóxicos (EPTs), que são espécies químicas metálicas ou semimetálicas, persistentes no meio, ou seja, que não se degradam facilmente e que permanecem por longo período de tempo no ambiente, podendo ser ou não elementos essenciais à biota (BRASIL(MPF)/LACTEC, 2019b). Usualmente, o ICE é calculado para parâmetros relacionados a aportes de carga orgânica e nutrientes, como por exemplo em Bortolin *et al.* (2013), Carvalho (2017) e Oliveira, I. S. *et al.* (2018). Entretanto, tendo em vista as características da região, alguns estudos aplicados a bacias no estado de Minas Gerais passaram a incluir tais variáveis para cálculo do índice, tais como: Silva (2017), Pessoa (2017), Oliveira, M. *et al.* (2018).

Os parâmetros de qualidade da água avaliados foram: coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais e turbidez, além dos Elementos Potencialmente Tóxicos – EPTs (alumínio dissolvido, arsênio total, cádmio total, chumbo total, cobre dissolvido, cromo total, ferro dissolvido, manganês total, mercúrio total e níquel total). Foram considerados os seus respectivos limites para a classe 2, conforme a Resolução CONAMA n° 357/2005. O limite para sólidos suspensos totais é o estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 1, de 05 de maio de 2008 (MINAS GERAIS, 2008).

Para a aplicação do ICE, dois grupos de parâmetros de qualidade da água foram utilizados. O primeiro grupo consistiu em todos os parâmetros de qualidade da água citados no parágrafo anterior. O segundo grupo consistiu na avaliação do ICE somente considerando os parâmetros relacionados aos EPTs para verificação da conformidade ao enquadramento referente apenas a parâmetros que tenham potencialidade tóxica. Ressalta-se que as variáveis selecionadas para o cálculo do índice permaneceram as mesmas tanto antes quanto após o desastre.

#### *Período avaliado*

Dada a influência negativa que períodos chuvosos exercem sobre a qualidade da água na região (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2017; 2019a), as avaliações do ICE foram realizadas levando em consideração a época em que a coleta das amostras e as medições em campo foram realizadas. De acordo com IGAM (2016), na região, o período chuvoso ocorre normalmente entre outubro e março, e o período seco, entre abril e setembro.

Assim, para aplicação do ICE, os períodos foram segmentados em períodos seco (meses de abril a setembro) e chuvoso (meses de outubro a março). Portanto, o período de pré-desastre, o qual incluiu todas as observações nas estações de monitoramento até a data do rompimento da barragem de Fundão, foi subdividido em período seco e chuvoso. O mês de novembro/2015 foi separado dos demais, tendo em vista que a ocorrência do rompimento da barragem de Fundão se deu no referido mês. A partir deste período, os períodos pós-desastre foram subdivididos em períodos seco e chuvoso, para se avaliar uma possível tendência de aumento ou queda no ICE. Vale ressaltar que o número de amostragens em cada período foi diferente, por isso os resultados são interpretados em termos percentuais.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

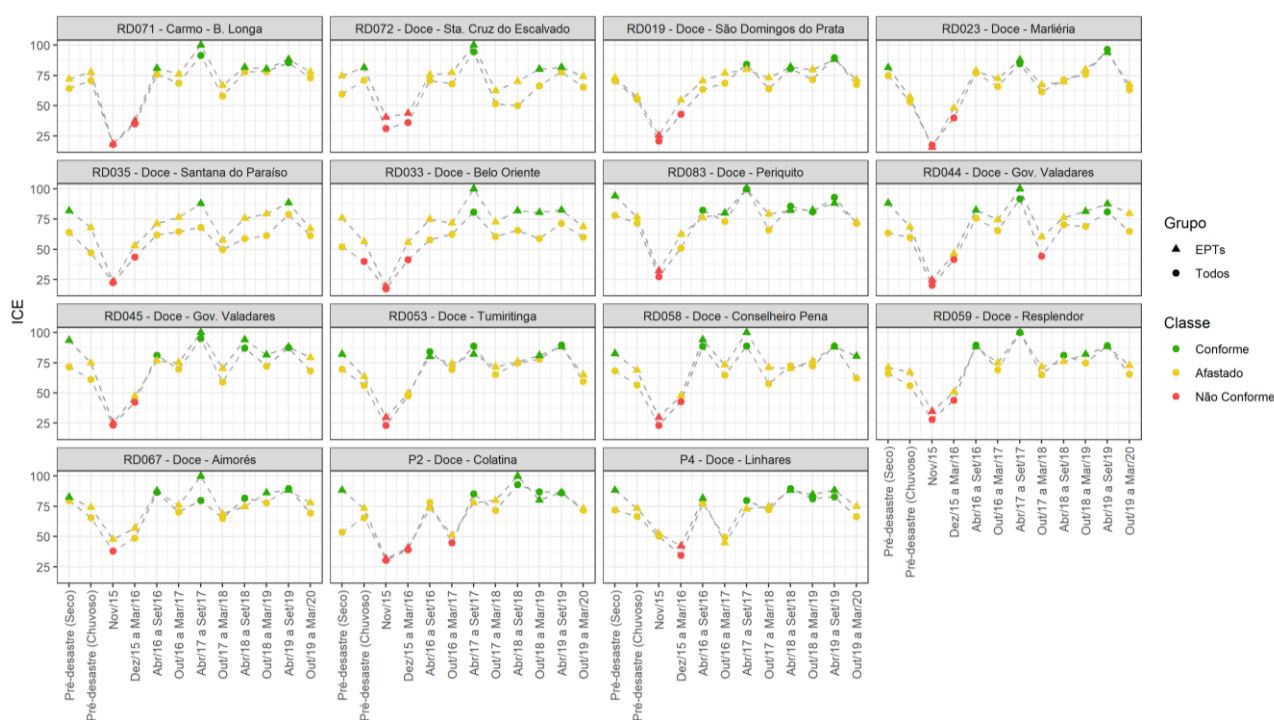
A Figura 2 apresenta o ICE calculado considerando-se os grupos “Todos” e “EPTs” por estação de monitoramento, acompanhadas do nome do rio e do município em que estão localizadas. No período seco do pré-desastre (Figura 2), a classificação do ICE considerando o grupo formado por “todos” os parâmetros foi de *afastado* ao longo das estações analisadas. Já quando considerado especificamente os “EPTs”, a classificação variou de *afastado* à *conforme*. É importante mencionar que mesmo para as estações que tiveram o ICE classificado como *conforme*, o valor do índice nunca atingiu o valor de 100, ou seja, para um ou mais parâmetros foram verificadas não conformidades com relação aos limites legislados. No período chuvoso do pré-desastre, a classificação do ICE foi *afastado* para os dois grupos avaliados na maioria das estações. Cabe destacar que os níveis de tratamento de esgoto na bacia do rio Doce são baixos, de um modo geral, o que implica em valores por vezes elevados de coliformes termotolerantes na água e consequentemente em valores baixos do ICE.

De maneira geral, quando avaliado o ICE do período do pré-desastre, no período seco foram verificados valores mais elevados do índice em relação ao período chuvoso, ou seja, mais desconformidades foram verificadas no período chuvoso, indicando uma qualidade de água mais degradada. Ressalta-se, no entanto, que em ambos os períodos, na maior parte das estações, a

classificação do ICE foi *afastado*, ou seja, as observações estiveram frequentemente em desacordo com os padrões de qualidade da água.

No mês de novembro/2015, em virtude do grande aporte de rejeitos provenientes da barragem de Fundão, o ICE atingiu os menores valores na série temporal. Para a maioria das estações, o ICE foi classificado como *não conforme*. Ou seja, a maioria dos dados registrados nos corpos hídricos atingidos pela lama de rejeitos ultrapassou os limites da classe 2. Para o referido mês, foi constatado o menor valor para o ICE, que atingiu 15,5 em Marliéria/MG (RD023) para “EPTs” e 17,3 em Belo Oriente/MG (RD033) para “Todos”.

Figura 2 – Índice de conformidade ao enquadramento (ICE) em relação à classe 2, avaliado para os períodos secos e chuvosos, considerando os períodos de pré e pós-desastre



No primeiro período chuvoso após o desastre, entre dezembro/2015 e março/2016, ainda foram observadas classificações do ICE na categoria *não conforme*, mas também houve resultados classificados na categoria *afastado* (Figura 2). Nesse período, foi constatado o primeiro evento de cheia pós-rompimento, o qual ocorreu no mês de janeiro (BRASIL(MPF)/LACTEC, 2020c). A ocorrência de precipitações mais volumosas e frequentes promovem o aporte de sólidos das margens para os rios, bem como a ressuspensão do material sedimentado no leito dos rios. Nesse contexto, no mencionado período, as chuvas facilitaram um novo carreamento de rejeitos para o corpo hídrico bem como a sua ressuspensão para a coluna d’água, piorando a qualidade da água.

No primeiro período seco após o desastre, entre abril/2016 e setembro/2016, os valores de ICE se elevaram, indicando melhores condições da qualidade da água. Com isso, as classificações do ICE variaram de *afastado* à *conforme* nas estações avaliadas (Figura 2), todavia, o índice não chegou a atingir a nota 100 em nenhum local avaliado. No período chuvoso compreendido entre outubro/2016 e março/2017, a classificação do ICE para os dois grupos (EPTs e Todos) avaliados foi de *afastado* na maioria das estações.

No período seco compreendido entre abril/2017 e setembro/2017, de maneira geral, foram registrados os maiores valores de ICE ao longo dos locais na série temporal avaliada. Assim, a classificação nos dois grupos avaliados foi *conforme* na maior parte das estações. Para o grupo EPTs, inclusive, foi verificado o ICE igual a 100 em nove estações, o que significa que não foram verificadas desconformidades com a legislação no grupo EPTs. Para o grupo Todos, foi verificado ICE igual a

100 em duas estações: RD083 (Periquito) e RD059 (Resplendor). Há de se destacar, entretanto, que o número de observações relativo ao período em questão foi inferior aos demais períodos, visto que entre abril/2017 e junho/2017, o IGAM teve seu programa de monitoramento pausado.

No período chuvoso compreendido entre outubro/2017 a março/2018, a classificação do ICE na maioria das estações foi *afastado*. É interessante mencionar que mesmo esse tendo sido o terceiro período chuvoso pós-rompimento, foram registrados valores do índice inferiores aos do segundo período chuvoso, especialmente no trecho mineiro da bacia. Isso demonstra a influência da intensidade da sazonalidade sobre a piora da qualidade da água.

No período seco compreendido entre abril/2018 e setembro/2018, a classificação do ICE foi de *afastado* à *conforme* ao longo das estações, sendo que houve aumento das conformidades em relação ao período anterior em todas as estações. No período chuvoso compreendido entre outubro/2018 e março/2019, a classificação do ICE também variou entre *afastado* e *conforme* nas estações. Observou-se que no referido período o declínio dos valores em virtude do período chuvoso ocorreu em menor escala, ou até mesmo deixou de ocorrer para algumas estações. De abril/2019 a setembro/2019, o índice também apresentou classificações entre *afastado* e *conforme*, de modo geral, sendo que a partir da estação RD083 prevaleceu a classificação *conforme* para os dois grupos de parâmetros.

No último período chuvoso avaliado (outubro/2019 a março/2020), tanto para o grupo “Todos” como “EPTs”, na maior parte das estações, o índice foi classificado como *afastado*, demonstrando uma condição de qualidade da água inferior aos últimos períodos comentados. No primeiro trimestre de 2020, foi verificado o maior episódio de vazões na calha do rio Doce (BRASIL(MPF)/LACTEC, 2020c), o que refletiu em uma qualidade da água mais degradada.

Os resultados apresentados demonstraram a dependência da qualidade da água em relação à ocorrência de chuvas e ao aumento de vazões. Essa condição já era notada mesmo antes do rompimento, contudo, com o desastre da Samarco foram aportados mais de 40 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos minerários ao ambiente, que passaram a contribuir de modo adicional para a degradação dos cursos d'água.

Em relação à conformidade com o enquadramento, considerando-se os rios avaliados como de classe 2, de uma maneira geral, nos períodos secos foram observados valores do ICE mais elevados, chegando a atingir a classe *conforme*. Todavia, uma preocupação que surgiu foi quanto à eficácia do índice em relação aos elementos potencialmente tóxicos, que podem causar efeitos deletérios na saúde da biota e até mesmo na saúde humana. Isto porque nem sempre a classificação *conforme* significa que todos os parâmetros estão abaixo dos valores máximos permitidos da legislação. Nessa condição, o ambiente está frequentemente exposto a concentrações mais elevadas do que as recomendadas em Resolução, de modo que os possíveis efeitos devem ser melhor investigados.

Por fim, comparando-se o último período chuvoso pós-desastre com o período chuvoso pré-desastre, notam-se valores semelhantes para o ICE. Entretanto, seria necessária uma avaliação mais aprofundada por parâmetro de qualidade de água para averiguar corretamente o retorno às condições de linha-base (condições pretéritas ao rompimento). Ainda mais tendo-se em vista que os resultados do pré-desastre foram compilados em apenas dois períodos, nesse sentido, uma avaliação por gráficos de caixa com a apresentação de diferentes medidas estatísticas poderia contribuir mais assertivamente a esse tipo de avaliação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O rio Doce e a maioria dos rios da bacia de mesmo nome não se encontram enquadrados em classes atualmente. Contudo, tendo em vista o artigo 42 da Resolução CONAMA n° 357/2005, os rios foram considerados como de classe 2 para fins de aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento. Antes do rompimento da barragem de Fundão, os resultados do ICE para a maioria



das estações avaliadas ao longo da área de passagem da lama de rejeitos já indicavam uma situação de não atendimento aos limites da classe 2. De acordo com ANA (2016), a bacia apresenta diversos fatores como supressão da cobertura vegetal, pastagens degradadas, fragilidade no tocante à susceptibilidade à erosão, minerações nas cabeceiras das drenagens e falta de tratamento de esgotos domésticos, que contribuem para esse quadro de degradação da água.

Após o rompimento da barragem de Fundão, em novembro/2015, além de todas as pressões já relatadas, a bacia recebeu ainda o aporte de 44 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos minerários. Com isso, houve queda expressiva nos valores do ICE em relação às condições pré-desastre, sendo que valores baixos para o ICE ainda foram registrados entre dezembro/2015 e março/2016. Com o passar do tempo, os valores do índice foram aumentando gradualmente, indicando que o ambiente estava iniciando um processo de recuperação. Contudo, ficou nítida a influência negativa que o período chuvoso exerce sobre a qualidade da água bem como em sua recuperação em relação aos danos provenientes do desastre. De um modo geral, foram obtidos valores mais elevados do índice nos períodos secos e valores mais baixos no período chuvoso, indicando que nessas condições a água se encontra mais degradada. A ocorrência de precipitações mais volumosas e frequentes promovem o aporte de sólidos das margens para os rios, bem como a ressuspensão do material sedimentado no leito dos rios, piorando a qualidade da água.

Outra questão levantada foi sobre a eficácia do índice em relação a elementos potencialmente tóxicos, visto que mesmo na classificação *conforme* o ICE aceita desconformidades com a legislação. Dado seu potencial tóxico e possíveis efeitos deletérios sobre a biota aquática e até mesmo em relação aos usos da água, o índice deve ser utilizado com parcimônia em relação aos EPTs não eximindo a avaliação de cada um desses parâmetros individualmente. Os parâmetros para compor o ICE podem, ainda, variar para aplicação em diferentes casos, conforme as características da bacia em questão.

Além disso, para uma abordagem mais assertiva no que tange ao retorno das condições de linha-base, seria necessária também uma avaliação mais aprofundada por parâmetro de qualidade de água, considerando-se a variação pré-desastre, a influência da sazonalidade, o percentual de atendimento da classe de enquadramento no tempo e a existência de valores que ainda podem estar superando máximos históricos de linha-base, entre outros. O possível aperfeiçoamento da legislação vigente para englobar valores de referência sazonais também seria de grande importância para esse tipo de análise.

Nesse contexto, é de fundamental importância que a bacia do rio Doce seja efetivamente enquadrada, considerando seus diferentes trechos, que podem apresentar usos preponderantes da água diversos e outras peculiaridades, sendo necessário conhecer a realidade dos fatos. Além disso, diferentemente da primeira proposta de enquadramento da bacia do rio Doce, que considerou somente os parâmetros coliformes, fósforo, turbidez e DBO, deve ser considerada também a presença de espécies químicas metálicas ou semimetálicas. Mesmo o ferro e o manganês, que possuem relação com a geologia e o solo da região, podem apresentar potencial tóxico em determinadas concentrações.

## REFERÊNCIAS

- AMARO, C. A., PORTO, M. F. A. (2009). “Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento” in Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande – MS, Brasil.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 9 fev. 1997.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução do CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 mar. 2005.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Resolução nº 91, de 05 de novembro de 2008. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 06 fev. 2009.

- BRASIL. Ministério Público Federal (MPF). LACTEC. (2017). Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. *Relatório de Linha-Base: Volume I – Meio Físico*. Curitiba: Lactec.
- \_\_\_\_\_. (2018). Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. *Caracterização Parcial do Rejeito de Mineração do Complexo de Germano*. Curitiba: Lactec.
- \_\_\_\_\_. (2019a). Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. *Atualização Linha-Base – Ambientes Aquáticos Continentais*. Curitiba: Lactec.
- \_\_\_\_\_. (2019b). *Parecer técnico sobre a qualidade da água bruta e da água para o consumo humano*. Curitiba: Lactec.
- \_\_\_\_\_. (2020a). Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. *TOMO I – Contextualização. Diagnóstico de Danos*. Curitiba: Lactec.
- \_\_\_\_\_. (2020b). Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. *TOMO II – Ambientes Aquáticos Continentais. Diagnóstico de Danos*. Curitiba: Lactec.
- \_\_\_\_\_. (2020c). Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. *3º Relatório Parcial de Resultados: Cheia de 2020*. Curitiba: Lactec.
- BORTOLIN, T. A.; GUERRA, G. S.; PERESIN, D.; MENDES, L. A.; SCHNEIDER, V. E. (2013). “Avaliação do Índice de Conformidade ao Enquadramento em um Trecho da Bacia do Rio São Marcos”. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves – RS, Brasil.
- CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. (2001). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, Technical Report. In: “Canadian environmental quality guidelines”, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- CARVALHO, A. P. (2017). “Utilização do Índice de Qualidade da água (IQA-CCME) para verificação de conformidade ao enquadramento no Ribeirão São João em Porto Nacional – TO”. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas - TO.
- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. (2015). “Laudo técnico preliminar dos impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais”. Disponível em: <[http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo\\_tecnico\\_preliminar\\_ibama.pdf](http://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_ibama.pdf)>
- IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. (2016). “Encarte especial sobre a qualidade das águas do rio Doce após 1 ano do rompimento de barragem de fundão”. Relatório Técnico.
- MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008. *Diário Oficial do Executivo*, Belo Horizonte, MG, 20 maio 2008.
- OLIVEIRA, I. S.; PANTA, L. M. L. S.; BARBOSA, I. M. B. R.; SILVA, S. R. (2018). “Índice de Conformidade ao Enquadramento nos Reservatórios Jucazinho, Bituri, Botafogo e Pirapama, em Pernambuco, Brasil”. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 11, n. 04, p. 1575-1584.
- OLIVEIRA, M.; ROCHA, C. H. B.; VELEZ, J. G. A.; SOUZA, L. V. (2018). “Qualidade da água e índice de conformidade ao Enquadramento da Represa Dr. João Penido, Juiz de Fora (MG), Brasil” in *Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, Juiz de Fora – MG, Brasil*.
- PESSOA, G. M. (2017). “Estudo de Conformidade ao Enquadramento dos Corpos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Preto e Paraibuna”. 31 p. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia da UFJF, Juiz de Fora - MG.
- SILVA, M. T. L. (2017). Aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) de cursos d’água. 2017. 114 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG.

## AGRADECIMENTOS

Todo material aqui divulgado integra o Diagnóstico Socioambiental dos Danos Decorrentes do Rompimento da Barragem de Fundão na Bacia do Rio Doce, e seus produtos técnicos podem ser acessados pelo *site* <http://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco>. Os autores agradecem ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) pelo suporte e ao Ministério Público Federal (MPF), Ministério Público do Estado de Minas Gerais (MPMG) e Ministério Público do Estado do Espírito Santo (MPES) pela oportunidade de atuar no Caso Samarco e contribuir cientificamente com um projeto desta magnitude, bem como pelo apoio contínuo, além das instituições responsáveis pelo fornecimento dos dados utilizados: Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM), Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), Serviço Colatinense de Saneamento Ambiental (Sanear Colatina) e Fundação Renova.