

Análise da conformidade para a classe 2 de enquadramento de corpos hídricos segundo o indicador IQA_{CCME}: O caso do Rio Bezerra em Arraias/Tocantins**Conformity analysis for class 2 of Water Bodies Classification according to the IQA_{CCME} indicator: the case of the Bezerra River in Arraias/Tocantins**Emanoel Santos da Silva ¹Fernán Enrique Vergara Figueroa ²**Resumo**

O presente estudo teve por objetivo analisar o índice IQA_{CCME} de qualidade da água para o rio Bezerra, município de Arraias/Tocantins (Brasil), sob a influência de um empreendimento minerário de fosfato. Esse indicador aponta o grau de conformidade dos parâmetros monitorados a um determinado padrão ou critério preestabelecido, neste caso a classe 2 de enquadramento de corpos hídricos da resolução CONAMA 357/2005. Para tanto, este trabalho promoveu uma consolidação de dados históricos do monitoramento da qualidade da água na bacia do rio Bezerra. O índice aplicado na análise apontou, de uma forma geral, condições ainda satisfatórias da qualidade da água dos mananciais em relação aos padrões da classe 2, apesar de observações relevantes detectadas em relação a alguns dos parâmetros analisados, com destaque para as concentrações de Fósforo Total. Concluindo-se então pelo estudo realizado que houve interferência do empreendimento sobre a qualidade das águas da região, contudo, os recursos hídricos monitorados encontram-se ainda em condições aceitáveis quanto a qualidade de suas águas para o período amostral avaliado, quando comparados aos padrões da classe 2.

Palavras-Chave: Qualidade da água; atividade minerária; indicador de qualidade.**Abstract**

The present study aimed to analyze the IQA_{CCME} water quality index for the Bezerra river, in the municipality of Arraias/Tocantins (Brazil), under the influence of a phosphate mining enterprise. This indicator points out the degree of conformity of the monitored parameters to a certain standard or pre-established criterion, in this case, class 2 of classification of water bodies of CONAMA resolution 257/2005. Therefore, this work promoted a consolidation of historical data

¹ Mestre em Engenharia Ambiental – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) da Universidade Federal do Tocantins (UFT). E-mail: emanoel.santos@mail.uft.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2400-5549>.

² Professor do curso de Engenharia Ambiental e dos cursos de Pós-graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) e de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional (PPGDR) da Universidade Federal do Tocantins (UFT), campus de Palmas/TO. Doutor em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – Universidade de Brasília (UNB). E-mail: vergara@uft.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1643-2564>.

from the monitoring of water quality in the Bezerra river basin. The index applied in the analysis showed, in general, still satisfactory conditions of water quality in the springs in relation to the standards of class 2, despite relevant observations detected in relation to some of the parameters analyzed, with emphasis on the concentrations of Total Phosphorus. Therefore, the study concluded that there was interference by the enterprise on the quality of the waters in the region, however, the monitored water resources are still in acceptable conditions regarding the quality of their waters for the evaluated sample period, when compared to the standards of the class 2.

Keywords: Water quality; mining activity; quality indicator.

Introdução

Os empreendimentos minerários dependem diretamente do consumo de recursos naturais para se desenvolverem, configurando-se, portanto, como uma atividade antrópica fortemente impactante (LEITE et al., 2017), entretanto, ao mesmo tempo são considerados como essenciais ao desenvolvimento econômico e social.

A demanda por fósforo é cada vez mais crescente no Brasil e no mundo, tendo em vista a segurança alimentar, já que o uso deste mineral é relacionado diretamente à produção agrícola, o que torna a mineração de fosfato uma atividade de “utilidade pública”, conforme Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Uma atividade econômica de grande relevância, portanto (SILVA, 2020).

A mineração de fosfato é voltada especialmente para a produção de fertilizantes agrícolas, compreendendo a comercialização do bem mineral em sua forma natural - envolvendo apenas o beneficiamento físico do minério, e/ou em sua forma enriquecida - após processo de beneficiamento químico, em que se eleva os níveis de fósforo disponíveis (IBRAM, 2011).

Na zona rural do município de Arraias, Estado do Tocantins (Brasil), encontra-se em operação um dos principais empreendimentos de exploração minerária de fosfato existentes no Estado, contando com uma planta industrial (etapa de beneficiamento e etapa química) e dois barramentos instalados no leito natural do rio Bezerra, sendo uma barragem destinada ao recebimento dos rejeitos minerais oriundos da etapa de beneficiamento da planta industrial e a segunda, localizada em porção a jusante da primeira, referente a uma barragem de acumulação empregada para a captação de água bruta voltada ao processo industrial do empreendimento.

O rio Bezerra, corpo hídrico afluente do rio Paranã, tem suas nascentes na zona rural do município de Arraias, Estado do Tocantins, e alguns de seus trechos servem de limite entre os Estados do Tocantins e Goiás.

Alterações da qualidade da água foram percebidas após concepção deste empreendimento minerário, culminando na elevação de alguns constituintes, especialmente em relação às concentrações de fósforo total, relacionando-se ao lançamento dos rejeitos minerários na barragem de disposição no leito natural do rio, tendo sido realizado um monitoramento de qualidade da água entre 2011 e 2020.

Segundo a resolução CONAMA 357/2005, todo corpo hídrico superficial que não tenha sido submetido a um processo de enquadramento, deve ser considerado, *a priori*, classe 2. Este trabalho teve como objetivo aplicar o índice IQACCME para verificar a conformidade à classe 2 de enquadramento de corpos hídricos, com dados de monitoramento de quase 10 anos comparando dados antes e depois da implantação de um empreendimento minerário.

Metodologia

A área de estudo objeto possui cerca de 233 km² e compreende trecho do rio Bezerra localizado na porção sudeste do Estado do Tocantins, na zona rural do município de Arraias. O rio Bezerra tem suas nascentes no território estadual, compondo o sistema hidrográfico do rio Paranã, bacia do rio Tocantins.

Para a caracterização da qualidade da água da área de interesse, foram empregados os ensaios analíticos físico-químicos e biológicos conduzidos pelo empreendimento minerário instalado na bacia do rio Bezerra, oriundos do seu monitoramento regular, com dados de monitoramento que compreendem os anos de 2011 a 2020, exceção ao ano de 2015 que representou período de paralização do empreendimento na região, tendo um total 23 campanhas de amostragem da água executadas. A malha amostral contempla o rio Bezerra e seus tributários envolvendo a área de estudo estabelecida, conforme Quadro 1 e Figura 1.

O presente estudo considerou a avaliação dos resultados de 17 pontos de amostragem, sendo um estratificado (coletas superficial e profunda) – na barragem de acumulação de água bruta.

Além do barramento citado, compõem ainda o empreendimento minerário uma planta industrial, jazidas de exploração e uma barragem de disposição de rejeitos minerários. Os dois barramentos existentes na área de estudo foram construídos em leito natural do rio Bezerra, estando a barragem de disposição de rejeitos em região a montante da segunda estrutura. Os pontos de amostragem estão nomeados em ordem crescente e distribuídos na bacia de montante a jusante.

No intuito de atuar como uma referência geral para caracterização da água do rio Bezerra e seus afluentes, foi adotado no presente trabalho o indicador IQACCME: Índice de Qualidade da Água Canadense (CCME, 2017). Foram considerados os resultados médios gerais obtidos em relação a cada ponto amostral e entre as campanhas de coletas realizadas com a finalidade de avaliar a relação espacial e temporal dos dados em função dos indicadores empregados. A análise ponderou ainda a separação entre as fases do empreendimento (prévia e operacional) para fins de avaliação e discussão quanto à caracterização da qualidade da água.

Os resultados analíticos foram comparados às condições de uso preconizadas por meio da Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, tendo como referência os parâmetros com limites definidos para as águas doce de Classe 2, uma vez que o corpo hídrico em estudo não foi submetido a um processo de enquadramento

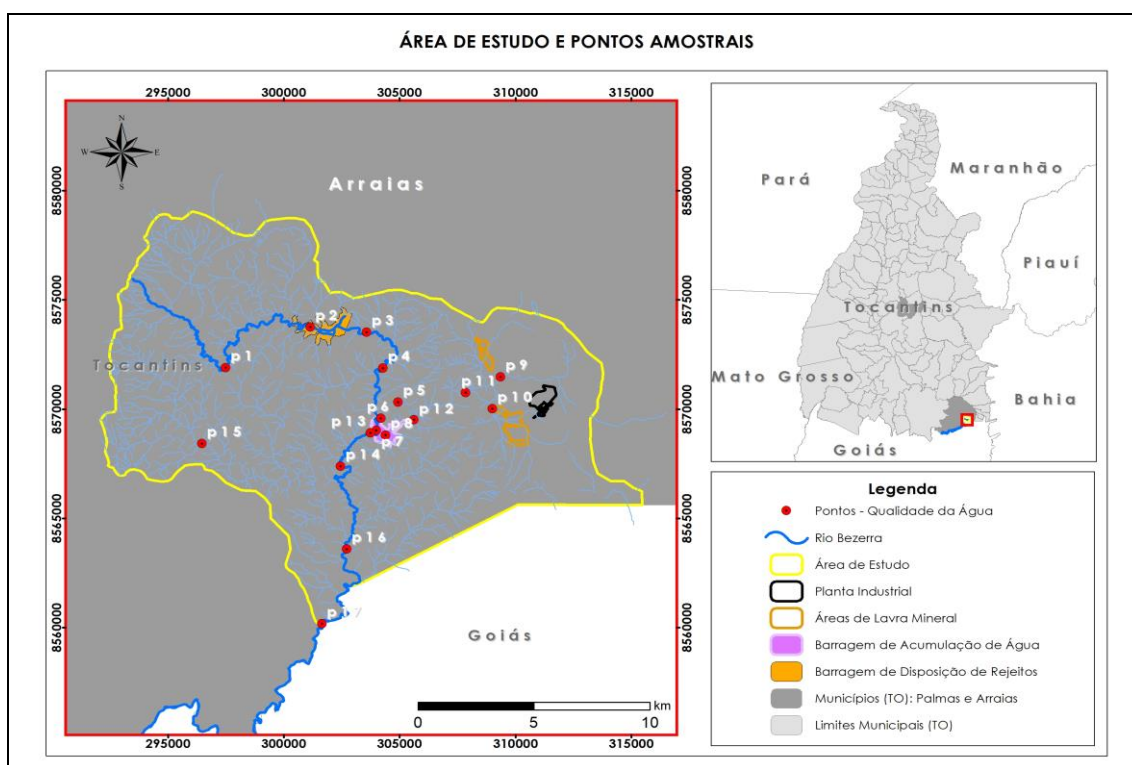
Quadro 1. Pontos de amostragem e características dos ambientes.

Pontos	Ambiente	Região	Característica	Latitude	Longitude
P1	Rio Bezerra	Montante	Lótico	-12,912	-46,866
P2	BR	BR	Lêntico	-12,895	-46,833
P3	Rio Bezerra	Jusante-BR	Lótico	-12,898	-46,810
P4	Rio Bezerra	Jusante-BR	Lótico	-12,912	-46,804
P5	Tributário	Jusante-BR	Lêntico	-12,927	-46,798
P6	BA	BA	Lêntico	-12,933	-46,805
P7 (P e S)*	BA	BA	Lêntico	-12,938	-46,807
P8	BA	BA	Lêntico	-12,940	-46,803

P9	Tributário	Montante-BA	Lótico	-12,916	-46,757
P10	Tributário	Montante-BA	Lótico	-12,929	-46,760
P11	Tributário	Montante-BA	Lótico	-12,923	-46,771
P12	Tributário	Montante-BA	Lótico	-12,934	-46,792
P13	Rio Bezerra	Jusante- BR/BA	Lótico	-12,939	-46,809
P14	Rio Bezerra	Jusante- BR/BA	Lótico	-12,953	-46,821
P15	Tributário	Jusante- BR/BA	Lótico	-12,943	-46,876
P16	Rio Bezerra	Jusante- BR/BA	Lótico	-12,987	-46,819
P17	Rio Bezerra	Jusante- BR/BA	Lótico	-13,018	-46,829

Legenda: BR – Barragem de Rejeitos; BA – Barragem de Água. *Ponto Estratificado (Profundo e Superficial).
Elaborado pelo autor.

Figura 1. Área de estudo e localização dos pontos de qualidade das águas superficiais.



Elaborado pelo autor.

Índice de Qualidade da Água Canadense - IQA_{CCME}

O IQA_{CCME}, desenvolvido pelo Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 2017), analisa a abrangência do impacto causado pela não conformidade como padrão do enquadramento durante o período avaliado (F1) (Equação 1); a frequência com que as não

conformidades como padrão do enquadramento ocorrem (F2) (Equação 2); e a amplitude da não conformidade (F3), ou seja, o desvio da variável em relação ao seu limite do enquadramento (INEA, 2019).

$$F1 = \left(\frac{n^{\circ} \text{ de Parâmetros não conformes}}{n^{\circ} \text{ total de parâmetros}} \right) * 100 \quad (1)$$

$$F2 = \left(\frac{n^{\circ} \text{ de análises não conformes}}{n^{\circ} \text{ total de análises}} \right) * 100 \quad (2)$$

A obtenção do F3 envolve o cálculo das variações, isto é, o número de vezes em que a concentração de um parâmetro é superior ou inferior ao limite estabelecido. A Equação 3 é aplicada nos casos em que o parâmetro não deve exceder o valor de referência, e a Equação 4 é utilizada quando o parâmetro não deve ser inferior ao valor de referência.

A soma normalizada das variações (nse), representando o peso das não conformidades em relação a cada parâmetro analisado, é dada pela Equação 5; já a padronização da soma normalizada é obtida pela Equação 6.

$$\text{Variação } i = \left(\frac{\text{Concentração do parâmetro não conforme } j}{\text{Valor de referência } j} \right) - 1 \quad (3)$$

$$\text{Variação } i = \left(\frac{\text{Valor de referência } j}{\text{Concentração do parâmetro não conforme } j} \right) - 1 \quad (4)$$

$$nse = \frac{\sum_{n=1}^n \text{variação } i}{n^{\circ} \text{ total de análises}} \quad (5)$$

$$F3 = \frac{nse}{0,01 * nse + 0,01} \quad (6)$$

O IQA_{CCME} é então obtido por meio da seguinte Equação 7:

$$IQA_{CCME} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2}}{1,732} \right) \quad (7)$$

Segundo CCME (2017), o IQA_{CCME} tem como resultado um valor entre 0 (pior qualidade de água) e 100 (melhor qualidade de água), para um determinado conjunto de parâmetros pré-estabelecidos, mas ao calcular esse índice em função da conformidade de uma classe qualidade da água segundo a resolução CONAMA 357/2005, não faz sentido dizer que 100 é a melhor qualidade

de água e 0 é a pior qualidade da água, neste caso pode-se dizer que 100 é o maior grau de conformidade àquela classe e 0 é o menor grau de conformidade àquela classe que se tomou como referência de adequação.

Por exemplo, quando se usa a classe 4 como referência de conformidade, é de se esperar que haja mais pontos classificados em categorias de alta conformidade do que quando, os mesmos dados de monitoramento, forem confrontados a valores de referência da classe 1. O Quadro 2 apresenta as categorias de conformidade segundo SILVA (2021), adaptado de CCME (2017).

Quadro 2. Categoria dos resultados do IQA_{CCME} e descrição das classes.

Categorias	IQA_{CCME}	Significado
Ótima	95 < IQA _{CCME} ≤ 100	Indica uma baixa ou ausência de não conformidades com os limites de referência adotados.
Boa	80 < IQA _{CCME} ≤ 95	Condições de qualidade da água raramente se desviam dos níveis pré-estabelecidos ou desejáveis, indicando alta conformidade dos parâmetros aos limites de referência adotados.
Regular	65 < IQA _{CCME} ≤ 80	As condições de qualidade da água por vezes se desviam dos níveis pré-estabelecidos ou desejáveis, indicando que a maioria dos parâmetros estão em conformidade com limites de referência adotados.
Ruim	45 < IQA _{CCME} ≤ 65	As condições de qualidade da água frequentemente se desviam dos níveis pré-estabelecidos ou desejáveis, indicando para a maioria dos parâmetros não atendem aos limites de referência adotados.
Péssima	IQA _{CCME} ≤ 45	As condições de qualidade da água geralmente se desviam dos níveis pré-estabelecidos ou desejáveis. Esta categoria indica uma baixa conformidade com os limites de referência adotados.

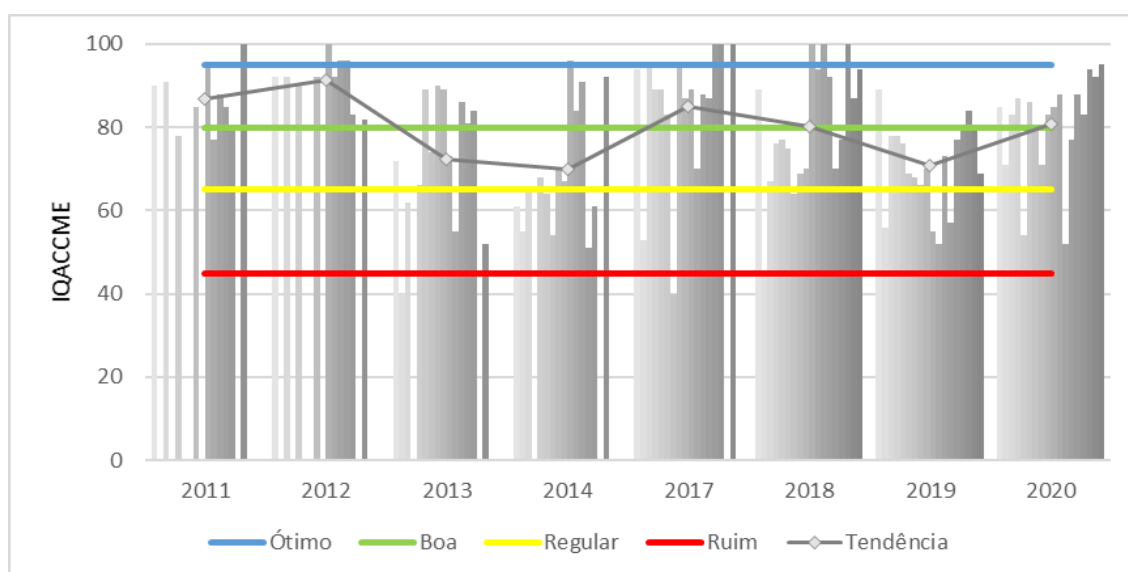
Fonte: SILVA (2021), adaptado de CCME (2017).

Para o presente estudo, o emprego do IQA_{CCME} verificou a conformidade dos parâmetros analisados em relação à classe 2 de enquadramento estabelecida pela Resolução CONAMA nº 357/2005, ponderando as características observadas antes e após a implantação do empreendimento minerário de interesse. Foram empregados apenas os parâmetros de qualidade cujos limites de referência encontram-se estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005.

Resultados e Discussões

Ao analisar cada sítio de amostragem ao longo dos anos, é apontada uma maior frequência da categoria “boa”, seguida da “regular”, “ruim”, “ótima” e “péssima”. Indicando, no geral, condições satisfatórias de qualidade da água dos ambientes monitorados na área de estudo por esse nível de avaliação (Figura 2 e Tabela 1).

Figura 2. Resultados do IQA_{CCME} por ano componente do monitoramento.



Elaborado pelo autor.

Tabela 1. Resultados do IQA_{CCME} por ano componente do monitoramento.

Pontos	2011	2012	2013	2014	2017	2018	2019	2020
P1	90	92	72	61	94	89	89	85
P2	NA	NA	40	55	53	44	56	71
P3	91	92	62	65	95	67	78	83
P4	NA	NA	NA	NA	89	76	78	87
P5	78	90	66	68	89	77	76	54
P6	NA	NA	89	64	83	75	69	86
P7P	NA	NA	74	54	40	64	68	80
P7S	85	92	90	70	95	69	66	71
P8	NA	NA	89	67	87	70	70	83
P9	95	100	73	96	89	100	55	85
P10	77	92	55	84	70	94	52	88
P11	88	96	86	91	88	100	73	52
P12	85	96	81	51	87	92	57	77

P13	80	83	84	61	100	70	77	88
P14	NA	NA	NA	NA	100	77	80	83
P15	100	82	52	92	NA	100	84	94
P16	NA	NA	NA	NA	100	87	79	92
P17	NA	NA	NA	NA	NA	94	69	95

Legenda: Ótima Boa Regular Ruim Péssima
Elaborado pelo autor.

Destaque é dado às condições de qualidade obtidas para os anos de 2011 e 2012 (Tabela 2), relacionado os ambientes aquáticos inserido na área de estudo com as classes “regular” a “ótima” durante as campanhas de 2011 e “boa” e “ótima” para as coletas realizadas no ano de 2012, período esse caracterizado como preliminar do empreendimento.

Tabela 2. Frequência das categorias de qualidade e classes predominantes por ano.

Categorias	2011	2012	2013	2014	2017	2018	2019	2020
Ótima	10%	30%	0%	8%	19%	16%	0%	0%
Boa	60%	70%	43%	21%	63%	28%	11%	67%
Regular	30%	0%	29%	21%	6%	44%	67%	22%
Ruim	0%	0%	21%	50%	6%	6%	22%	11%
Péssima	0%	0%	7%	0%	6%	6%	0%	0%
Fases	Fase prévia		Início e fase ativa		Retorno	Fase ativa		Fase ativa, sem lançamento

Elaborado pelo autor.

Como contraponto, as campanhas realizadas em 2013 e 2014 foram as que obtiveram uma maior frequência das categorias de qualidade “ruim” e “péssima”, denotando possivelmente uma relação com o início das operações da atividade minerária, culminando na indicação provável de um momento de maior instabilidade aos ambientes aquáticos locais em função das pressões ambientais relacionadas à fase de implantação e início operacional do projeto.

Para o ano de 2017, nota-se no geral um indicativo de reestabelecimento das condições de qualidade da água para os ambientes amostrados, com maior predomínio das categorias regular e boa – melhora que pode ser justificada pela paralisação operacional entre os anos de 2015 e 2016. Novo decréscimo dos níveis de qualidade da água foram observados nos anos de 2018 e 2019 – o que reforça um entendimento de possível relação dos níveis de qualidade da água

ao processo operacional, já que as oscilações das classes de qualidade do IQA_{CCME} acompanham no geral as etapas de operação do projeto.

Tendo como base as campanhas de 2020 empregadas para o cálculo do IQA_{CCME}, nova melhora em relação às classes de qualidade foi notada, contexto possivelmente justificado pela interrupção do lançamento dos rejeitos minerários na barragem sobre o rio Bezerra, mesmo ainda em fase operacional, baseando-se em mudança estratégica realizada pelo empreendimento, contexto que pode mostrar-se de forma positiva para as condições futuras do ambiente, já que se indica a provável relação do empreendimento sobre a qualidade das águas da região estudada, sobretudo, em função do lançamento de rejeitos na barragem construída em leito do rio Bezerra.

Contudo, reforça-se que, apesar de indicados decréscimos dos níveis de qualidade apontados pelo índice ao longo das fases ativas do projeto, essa influência notada permitiu ainda a indicação de condições de qualidade satisfatórias para os ambientes aquáticos monitorados no geral.

Análise dos resultados em relação aos limites referenciais

Tomando como base a quantidade de não conformidades registradas para os parâmetros de referência em relação ao que preconiza a Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de classe 2, observados por meio do IQA_{CCME}, em função de cada ano do monitoramento, nota-se uma maior frequência quanto à ocorrência de não conformidades entre as amostras por ano para o parâmetro Fósforo Total (P), seguido do parâmetro Cor Verdadeira (Cor) e Coliformes Termotolerantes (CT), conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3. Frequência das não conformidades em relação a cada parâmetro por ano.

Anos	pH	OD	Turb	AI	CI	Cla	CT	Cor	DBO	P	Mn	NO3	NO2	N-NH3	STD	SO4
2011	6%	18%	6%	0%	0%	0%	35%	24%	0%	53%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2012	3%	0%	3%	0%	0%	7%	14%	22%	3%	28%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2013	0%	5%	34%	0%	0%	0%	22%	63%	0%	26%	21%	0%	0%	3%	0%	0%
2014	18%	5%	22%	0%	0%	11%	5%	49%	4%	55%	24%	0%	0%	38%	18%	0%
2017	0%	25%	0%	21%	0%	0%	6%	0%	50%	44%	19%	0%	0%	6%	0%	0%
2018	12%	9%	6%	12%	0%	0%	3%	15%	26%	56%	32%	0%	0%	12%	21%	0%
2019	4%	9%	6%	4%	0%	4%	31%	41%	0%	80%	6%	0%	0%	19%	0%	0%

2020 4% 2% 2% 4% 0% 4% 17% 25% 2% 81% 0% 0% 2% 8% 0% 0%

Legenda: OD - Oxigênio Dissolvido; Turb – Turbidez; Al – Alumínio Dissolvido; Cl – Cloreto; Cla – Clorofila-a; CT – Coliformes Termotolerantes; DBO – Demanda Bioquímica do Oxigênio; P – Fósforo Total; Mn – Manganês Total; NO3 - Nitrato; NO2 – Nitrito; N-NH3 – Nitrogênio Amoniacal; STD – Sólidos Totais Dissolvidos; SO4 – Sulfato.

Elaborado pelo autor.

Em todas as campanhas de coleta foram observadas não conformidades para P, mesmo para aquelas relacionadas ao período prévio a fase operacional do empreendimento na região, o que corrobora para um entendimento de que esse mineral é relevante na área de estudo de forma natural, influenciando nas características observadas nos corpos hídricos locais, conforme evidenciado pelos resultados de P obtidos nas campanhas prévias ao empreendimento.

Contudo, ao considerar a soma das variações dos testes individuais por parâmetro obtidos pelo cálculo do IQACCME, percentual cumulativo, ou seja, determinando uma ponderação de distância dos resultados das amostragens em relação ao limite da norma referencial para águas doces de classe 2, percebe-se uma maior influência para o P nas campanhas de monitoramento executadas após o início operacional do empreendimento minerário na região, conforme demonstrado na Tabela 4 e Figura 3.

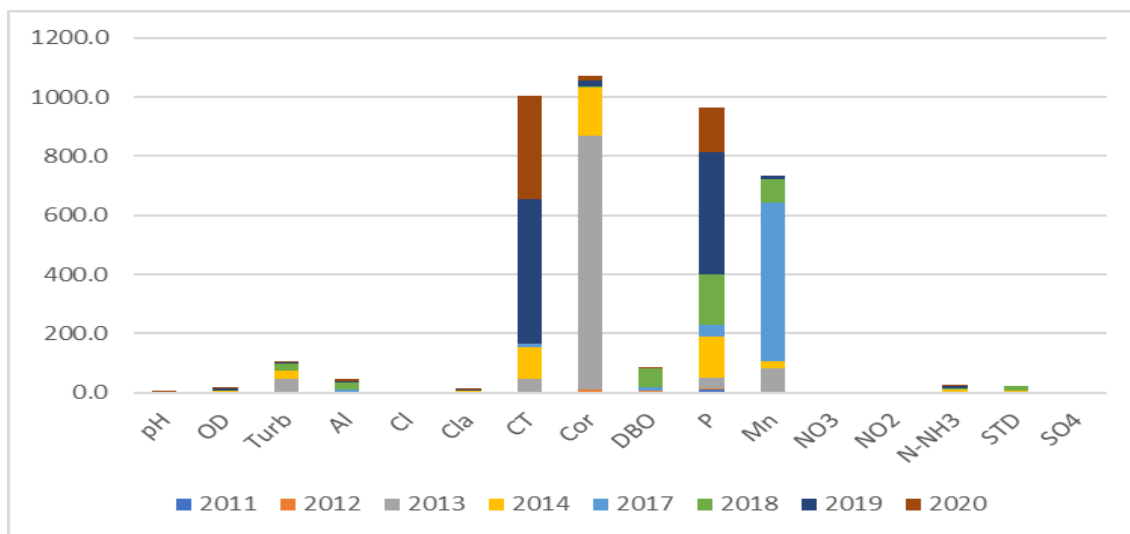
Tabela 4. Peso cumulativo (%) das não conformidades registradas por ano monitorado.

Anos	pH	OD	Turb	Al	Cl	Cla	CT	Cor	DBO	P	Mn	NO3	NO2	N-NH3	STD	SO4
2011	0.0	1.0	2.9	0.0	0.0	0.0	1.9	3.9	0.0	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	0.1	0.0	0.7	0.0	0.0	0.1	0.5	6.7	7.4	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013	0.0	0.8	41.1	0.0	0.0	0.0	44.8	857.7	0.0	32.7	82.6	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
2014	1.0	3.3	30.0	0.0	0.0	7.7	104.6	164.1	0.3	140.4	23.6	0.0	0.0	9.5	4.7	0.0
2017	0.0	0.3	0.0	9.4	0.0	0.0	12.0	0.0	10.0	40.8	538.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
2018	0.2	0.9	22.1	24.7	0.0	0.0	0.3	2.8	64.0	171.1	76.1	0.0	0.0	4.4	18.8	0.0
2019	0.1	9.5	5.5	3.1	0.0	1.0	489.2	20.0	0.0	414.4	12.3	0.0	0.0	8.9	0.0	0.0
2020	0.1	1.4	0.9	7.1	0.0	0.1	351.5	19.2	0.1	148.2	0.0	0.0	0.4	0.6	0.0	0.0

Legenda: OD - Oxigênio Dissolvido; Turb – Turbidez; Al – Alumínio Dissolvido; Cl – Cloreto; Cla – Clorofila-a; CT – Coliformes Termotolerantes; DBO – Demanda Bioquímica do Oxigênio; P – Fósforo Total; Mn – Manganês Total; NO3 - Nitrato; NO2 – Nitrito; N-NH3 – Nitrogênio Amoniacal; STD – Sólidos Totais Dissolvidos; SO4 – Sulfato.

Elaborado pelo autor.

Figura 3. Peso cumulativo (%) das não conformidades registradas por ano monitorado.



Elaborado pelo autor.

As variações em relação aos parâmetros CT, Cor e Mn também se mostraram relevantes para a análise, especialmente para as campanhas seguintes às de 2011 e 2012, contudo, apresentando um comportamento mais pontual em relação aos anos monitorados, como é o caso dos valores de Cor com maiores pesos dando-se nas campanhas de 2013 e de 2014; e Mn com maior relevância no ano de 2017.

Para CT, apesar de mostrar-se em níveis relevantes para as campanhas após o ano de 2013, não se credita a sua influência ao lançamento dos rejeitos minerários oriundos do beneficiamento mineral, já que é uma característica alheia ao do rejeito lançado.

Von Sperling (2014) cita como principal fonte de CT na água o lançamento de efluentes sanitários, atuando o grupo coliformes como um bioindicador de contaminação fecal, por estar presente no intestino de animais de sangue quente.

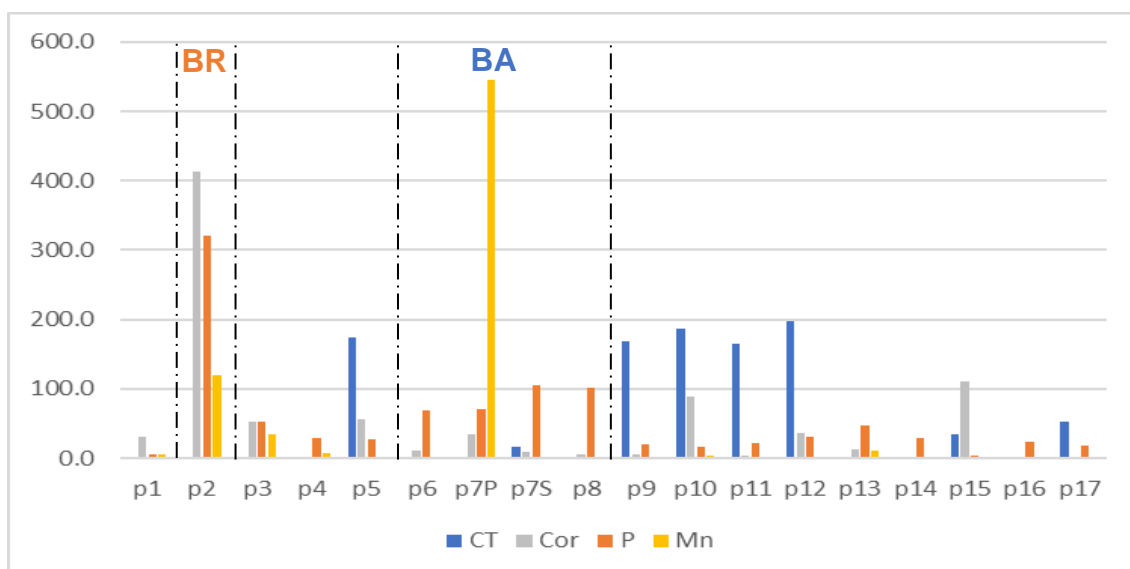
Assim, apesar de não se relacionar ao rejeito lançado no barramento sobre o rio Bezerra, a presença de CT no meio pode ter relação indireta a presença da empresa na região, seja por intermédio das estruturas de apoio relacionadas ou mesmo por influir sobre a dinâmica de uso e ocupação do solo da bacia, aumento das comunidades de entorno, tendo com isso o conseqüente lançamento indiscriminado de efluentes nos corpos hídricos.

A atividade de pecuária pode ser importante fator que justifique as alterações percebidas para CT, já que esse organismo é presente no intestino de animais de sangue quente, uma vez que a principal atividade na região é agropecuária em caráter extensivo.

Considerando os pontos de amostragem empregados no monitoramento, e em observação aos pesos/distâncias das alterações dos parâmetros em relação a sua referência, nota-se que para os parâmetros P e Cor há um maior peso das alterações para o ponto amostral P2 – localizado na barragem de disposição de rejeitos, no rio Bezerra. Já para Mn envolve o ponto amostral P7P (barragem de acumulação de água – fundo, no rio Bezerra); e CT ocorrendo em proporções mais relevantes no ponto P5, P9, P10, P11 e P12 – localizados em tributários do rio Bezerra.

Apesar de um maior peso quanto às não conformidades relatadas para P envolvendo o ponto amostral relacionado à barragem de disposição de rejeitos, notam-se também para os demais pontos níveis consideráveis do parâmetro acima do que prevê a Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de Classe 2, especialmente na barragem de acumulação de água (Figura 4).

Figura 4. Peso cumulativo (%) das não conformidades registradas nos pontos monitorados.



Legenda: BR – Barragem de Rejeitos; BA – Barragem de Água.

Tabela 5. Peso cumulativo (%) das não conformidades nos pontos monitorados.

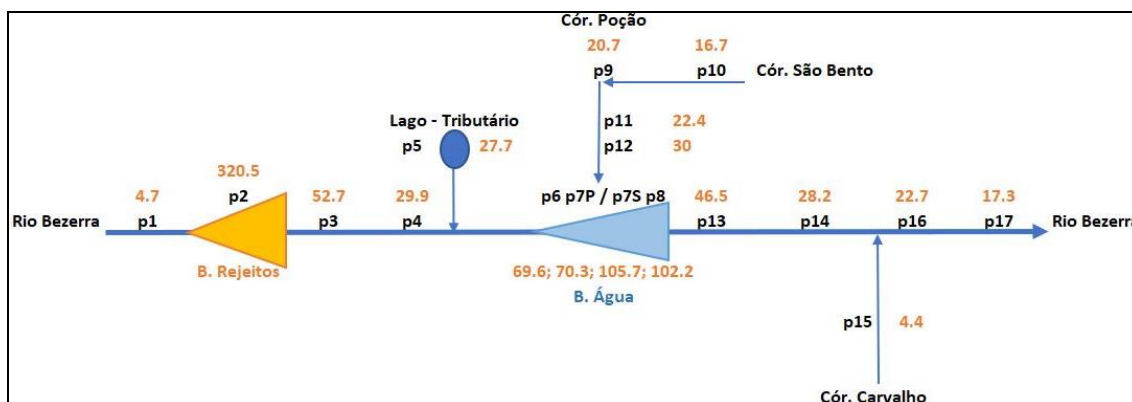
Pontos	pH	OD	Turb	Al	Cl	Cla	CT	Cor	DBO	P	Mn	NO3	NO2	N-NH3	STD	SO4
p1	0.1	0.1	3.0	5.2	0.0	2.1	0.0	30.9	0.1	4.7	5.0	0.0	0.0	0.2	3.3	0.0
p2	0.0	0.1	34.2	26.4	0.0	0.0	0.4	413.3	1.0	320.5	119.1	0.0	0.0	0.2	5.3	0.0
p3	0.0	0.2	11.5	5.4	0.0	0.0	1.6	52.3	11.1	52.7	34.8	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0
p4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.8	2.5	2.3	29.9	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
p5	0.0	5.3	5.2	5.3	0.0	0.0	174.5	55.7	3.7	27.7	1.4	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
p6	0.3	0.0	0.6	0.0	0.0	1.5	0.0	10.2	4.5	69.6	0.0	0.0	0.0	6.1	0.1	0.0
p7P	0.1	8.6	16.0	0.0	0.0	0.0	1.8	35.0	13.2	70.3	544.9	0.0	0.0	1.5	0.1	0.0
p7S	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.7	16.6	9.9	15.5	105.7	0.0	0.0	0.0	5.9	0.1	0.0
p8	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	3.5	0.0	5.2	2.0	102.2	1.4	0.0	0.0	4.6	4.1	0.0
p9	0.0	0.1	7.7	0.0	0.0	0.0	169.0	5.1	0.8	20.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
p10	0.1	0.6	8.6	0.0	0.0	0.0	186.2	89.3	0.0	16.7	3.8	0.0	0.0	1.1	0.4	0.0
p11	0.0	0.0	1.7	1.2	0.0	0.0	165.2	3.9	0.6	22.4	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0
p12	0.0	0.0	8.9	0.0	0.0	0.0	197.3	36.3	2.0	30.0	1.0	0.0	0.4	2.2	2.6	0.0
p13	0.1	0.0	3.9	0.0	0.0	1.0	0.6	12.9	11.9	46.5	11.1	0.0	0.0	0.2	0.5	0.0
p14	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.6	5.7	28.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
p15	0.0	0.0	2.0	0.2	0.0	0.1	35.1	111.2	7.4	4.4	2.5	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0
p16	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.3	2.7	0.0	22.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
p17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.0	0.0	0.0	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Legenda: OD - Oxigênio Dissolvido; Turb – Turbidez; Al – Alumínio Dissolvido; Cl – Cloreto; Cla – Clorofila-a; CT – Coliformes Termotolerantes; DBO – Demanda Bioquímica do Oxigênio; P – Fósforo Total; Mn – Manganês Total; NO3 - Nitrato; NO2 – Nitrito; N-NH3 – Nitrogênio Amoniacal; STD – Sólidos Totais Dissolvidos; SO4 – Sulfato.

Elaborado pelo autor.

Depreende-se que o lançamento dos rejeitos minerários no barramento sobre o rio Bezerra pode atuar como a principal fonte de P, justificando as altas concentrações registradas do parâmetro para os ambientes aquáticos locais objetos de monitoramento, sobretudo, para aqueles inseridos na porção a jusante da estrutura, mesmo ao levar em conta uma presença substancial do P de forma natural na região, conforme representado pelo diagrama unifilar demonstrado pela Figura 5.

Figura 5. Diagrama unifilar – Pesos das não conformidades de P para os pontos amostrais.



Elaborado pelo autor.

Apesar de apontados pesos relevantes do P nos pontos localizados em tributários do rio Bezerra, o que em tese permitiria reforçar um entendimento de influência natural deste constituinte no ambiente, na verdade pode indicar influência das lavras minerárias localizadas nessas sub-bacias compreendendo o córrego Poção/Salobro e o córrego São Bento, tributários do rio Bezerra, auxiliando para o carreamento de solo para os recursos hídricos locais, favorecendo para o enriquecimento de P no ambiente.

Outro contexto que justifique a presença relevante de P para a região dos tributários compreendendo os pontos amostrais P9 a P12, pode também relacionar-se as demais formas de uso e ocupação da bacia nessa região, tendo a presença de comunidades ou aglomerados rurais, realizando o lançamento de efluentes sanitários indiscriminados sobre os recursos hídricos ou ainda pelo desempenho de atividades agropecuárias, promovendo o uso de fertilizantes e herbicidas, criação de gado, entre outras práticas.

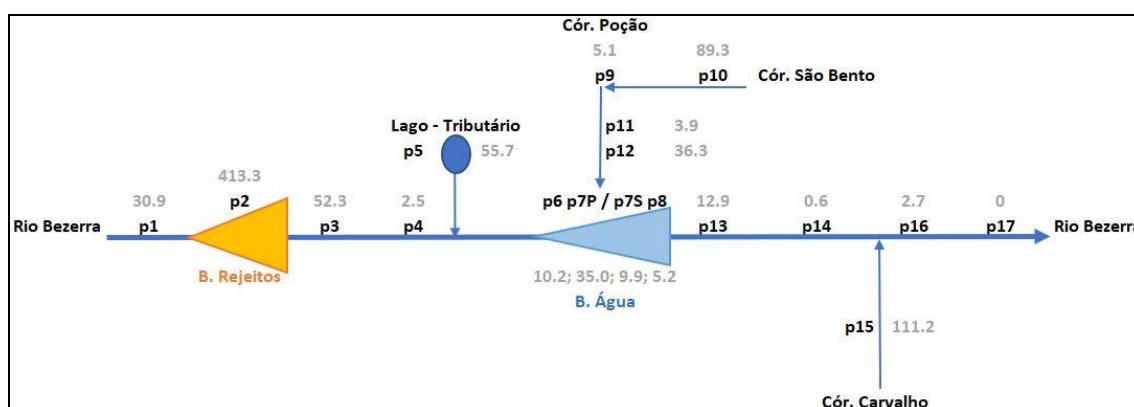
Atuando esses apontamentos separadamente ou em conjunto, possivelmente influenciando para as concentrações de P no ambiente monitorado, sobretudo, para a região dos tributários do rio Bezerra.

Assim, podem ser apontados como ambientes sem influência direta do empreendimento as regiões monitoradas compreendidas pelos pontos P1, montante, e P15, em tributário – córrego

Carvalho, que podem vir a denotar uma característica natural do ambiente em relação à presença do P.

Para o parâmetro Cor uma maior proporção é observada nos pontos P2 e P15 (Figura 6), estando o primeiro relacionado à barragem de disposição de rejeitos e o segundo à tributário do rio Bezerra em região fora de atuação da empresa na bacia.

Figura 6. Diagrama unifilar – Pesos das não conformidades de Cor para os pontos amostrais.



Elaborado pelo autor.

É possível denotar uma condição natural já relevante para o ambiente ou que as demais atividades executadas na região também atuem para interferir sobre a concentração deste parâmetro nos ambientes aquáticos monitorados, especialmente pela falta de cobertura vegetal protetora relacionada às margens dos recursos hídricos favorecendo o carreamento de material.

Já para o ponto P2, os maiores pesos indicados confirmam um entendimento de influência do rejeito lançado, contudo, dando-se em um ambiente estruturado para essa finalidade, destinado ao recebimento de uma polpa de rejeitos minerários. Com isso, a lama lançada (polpa de rejeitos) afeta diretamente esse e outros constituintes monitorados na área da barragem. Contexto esperado para o local objeto de monitoramento.

Sob a ótica legal, baseando-se na legislação minerária, uma barragem de rejeitos, apesar do caso deste estudo estar localizada sobre o trecho de um rio natural, não deve ser entendida como um corpo hídrico, não se aplicando o entendimento ordinário quanto aos aspectos de qualidade da água preconizados pela Resolução CONAMA nº 357/2005, para águas doces de classe

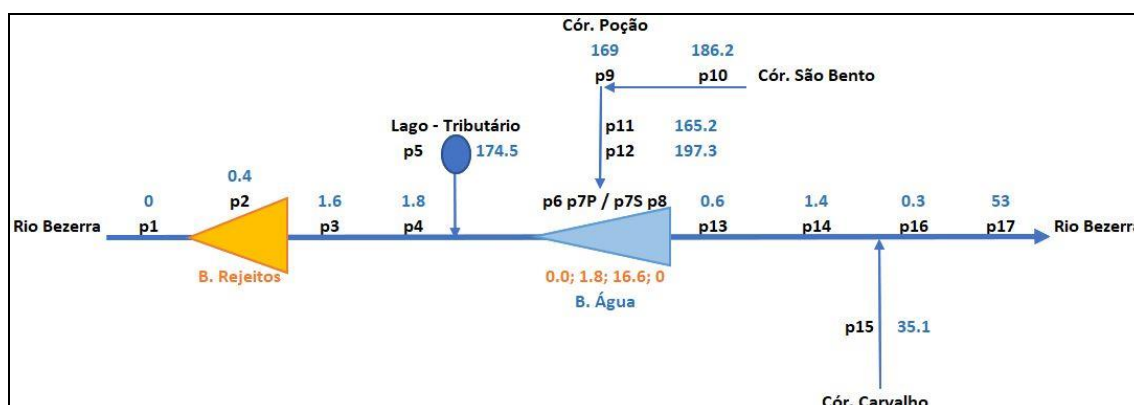
2, já que esta estrutura recebe diretamente a polpa de rejeitos minerários lançadas, funcionando como um mecanismo de contenção e controle para a porção logo a jusante do manancial.

Mesmo assim, tal prerrogativa minerária não retira a necessidade de avaliação desse compartimento ambiental, sendo importante a sua análise e avaliação de comportamento temporal para se ponderar uma relação de influência para os ambientes aquáticos inseridos em sua porção de jusante, mesmo sendo esperado para o barramento um maior peso para as não conformidades, situação potencialmente atrelada ao rejeito lançado, como é o caso do parâmetro Cor.

Em relação ao parâmetro CT, uma maior influência é observada em relação aos tributários do rio Bezerra (Figura 7), compreendendo especialmente os córregos Poção, São Bento, bem como de um lago existente em tributário sem denominação localizado em região entre as barragens do projeto. Compreendendo locais com a presença de comunidades rurais e desempenho de atividades agropecuária.

Essas atividades podem justificar as concentrações percebidas para os ambientes monitorados com a indicação dos maiores pesos, já que esse constituinte monitorado é estranho às características do rejeito minerário lançado em barramento, não sendo possível uma afirmação de influência direta do empreendimento sobre as concentrações relevantes de CT registradas em alguns dos sítios de amostragem.

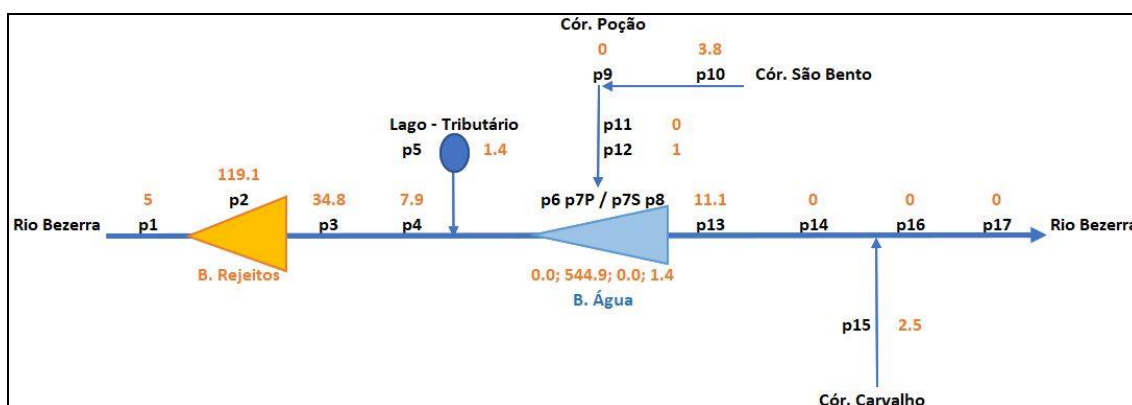
Figura 7. Diagrama unifilar – Pesos das não conformidades de CT para os pontos amostrais.



Elaborado pelo autor.

Já para o parâmetro Mn, além de ser notado a patamares relevantes dentro da barragem de disposição de rejeitos, foi também registrado em condição expressiva na barragem de acumulação de água do projeto (Figura 8), em porção de fundo do reservatório, o que se induz a entendimento de possível acumulação desse constituinte na referida estrutura. Contexto que não se refletiu em influência direta para os pontos localizados mais a jusante do empreendimento e que também não se repetiu em mesmo patamar para as campanhas de monitoramento realizadas posteriormente ao ano de 2017, corroborando para a indicação de evento atípico.

Figura 8. Diagrama unifilar – Pesos das não conformidades de Mn para os pontos amostrais.



Elaborado pelo autor.

Cabe enfatizar que os pesos apresentados em relação às não conformidades observadas atuam como um fator de distanciamento do resultado em relação ao limite máximo indicado pela normativa referencial adotada, no caso a Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de classe 2. Tratando-se de uma somatória dos desvios ou variações obtidas para os parâmetros em relação aos pontos amostrais adotados na presente análise.

Essa análise permite visualizar a influência do empreendimento sobre a qualidade da água da região estudada, sobretudo, em relação ao parâmetro Fosforo Total (P), cujas concentrações mostraram-se em maior relevância após a fase ativa do empreendimento, relacionando-se potencialmente ao rejeito mineral lançado na barragem construída sobre o rio Bezerra, afetando as características dos corpos hídricos inseridos na porção a jusante dessa barragem.

No geral, para os demais parâmetros avaliados, apesar de possível relação direta ou mesmo indireta com as atividades minerárias de exploração de fosfato, pondera-se também uma influência potencial das demais formas de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, especialmente pelo desempenho da atividade agropecuária, atividade essa também relevante na região de estudo.

Considerações Finais

Quanto à qualidade das águas inseridas na área de estudo, observou-se que, no geral, o índice de qualidade avaliado apontou condições ainda satisfatórias para a água dos ambientes monitorados.

A análise realizada por meio do IQA_{CCME} demonstrou uma predominância de categorias de qualidade aceitáveis e boas da água, ao se analisar cada sítio de amostragem ao longo dos anos em relação à classe 2, o que indica, de uma forma geral, que os aspectos operacionais empreendimento não afetam ainda de forma significativa as condições de uso do manancial, tendo como base os usos vinculados à classe 2 de enquadramento.

Mesmo assim, é importante enfatizar que em todas as campanhas de coleta foram observadas não conformidades para Fósforo Total em relação à classe de referência, mesmo para aquelas relacionadas ao período prévio a fase operacional do empreendimento na região, o que corrobora para um entendimento de que esse mineral é relevante na região de forma natural, o que até certo ponto é óbvio, uma vez que é pela alta concentração de fosfato encontrado na região que se justificou a implantação de um empreendimento de exploração desse minério.

Mesmo assim, não se pode deixar de lado observação de redução gradual da qualidade da água a partir da operação do empreendimento na região, contexto que poderá ter maior evidência ao longo dos anos, o que se reforça como importante a continuidade do monitoramento ambiental do corpo hídrico sob influência.

O IQA_{CCME} também se mostrou uma ferramenta importante na análise de conformidade à classe 2, uma vez que, ao apontar os parâmetros com maior peso cumulativo de não conformidades, fica mais fácil verificar as possíveis origens dessas não conformidades, como

discutido neste trabalho, auxiliando assim o processo de tomada de decisão para possíveis medidas corretivas para minimizar a influência do empreendimento sobre a qualidade da água.

Ao analisar os resultados decorrentes da determinação do IQA_{CCME} pode-se verificar a possibilidade de isolar melhor o real impacto na qualidade da água de um empreendimento, uma vez que, a quantidade de parâmetros a serem considerados no enquadramento de um corpo hídrico é grande e, em determinados casos, os parâmetros que dificultam o atendimento a um determinado enquadramento podem não estar associados à atividade realizada diretamente por esse empreendimento, podendo assim, orientar melhor ações de órgãos reguladores quando à garantia de um determinada classe de enquadramento, sem ter que afetar todas as atividades que lançam efluentes ou impactam de alguma forma a qualidade da água de um corpo hídrico.

Referências

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.

CCME, Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME WATER QUALITY INDEX USER'S MANUAL 2017 UPDATE. Disponível em:< <https://ccme.ca/en/res/wqimanualen.pdf>>. Acesso em 30/08/2021.

IBRAM – INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Mineração de fosfato. 2011. Disponível em:<http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=149932>. Acesso em: 15/08/2020.

INEA – INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE DO RIO DE JANEIRO. Índice de Qualidade da Água Canadense (IQACCME). 2019. Disponível em:<<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/12/IQA-CCME-Metodologia.pdf>> Acesso em: 08/08/2020.

SILVA, E.S. Influência da atividade minerária de fosfato na qualidade da água: o caso do rio Bezerra em Arraias-TO. Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental (PPGE) da Universidade Federal do Tocantins – UFT. 2021.

SILVA, A.G. A indústria de fosfato no alto Paranaíba e a valorização dos territórios de mineração no contexto da globalização. Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia – MG. 2020.

VON SPERLING, M. Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 4ª Ed. - Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2014, 452p.