

Qualidade da água superficial em trechos de influência da instalação de uma Pequena Central Hidrelétrica no Paraná, Brasil

Surface water quality in stretches of influence in the installation of a Small Hydroelectric Power Plant in Paraná, Brazil

Rhuann Carlo Viero Taques¹ , Thiago Moriggi² , Patricia Carla Giloni-Lima¹ , Vanderlei Aparecido de Lima³ 

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR, Brasil. E-mails: rhuanntaques@gmail.com, pgiloni2012@gmail.com

²Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, PR, Brasil. E-mail: hiago.moriggi@ciaambiental.com.br

³Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Pato Branco, PR, Brasil. E-mail: valima66@gmail.com

Como citar: Taques, R. C. V., Moriggi, T., Giloni-Lima, P. C., & Lima, V. A. (2022). Qualidade da água superficial em trechos de influência da instalação de uma Pequena Central Hidrelétrica no Paraná, Brasil. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 19, e9. <https://doi.org/10.21168/rega.v19e9>

RESUMO: O objetivo do presente estudo foi avaliar a qualidade de água superficial em trechos de influência de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) durante os dois primeiros semestres de sua instalação. Como método, foi utilizado o Índice de Qualidade de Água que considera nove parâmetros analíticos (temperatura, turbidez, pH, sólidos totais, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total e coliformes fecais) em função de suas importâncias para a conformação global da qualidade da água. Os parâmetros foram avaliados por Estimativa de Equações Generalizadas (GEE). Os resultados demonstraram diferenças estatísticas dos parâmetros analíticos nos pontos de amostragem entre o período de pré-instalação e instalação da PCH Confluência. Apesar disto, os resultados majoritariamente atenderam aos limites definidos pela Resolução Conama nº 357/2005 (e atualizações) para corpos d'água de classe 02. Entende-se, portanto, que as águas em áreas de influência direta e indireta da PCH Confluência se encontraram em boas condições físicas e químicas durante a instalação do empreendimento.

Palavras-chave: Resolução CONAMA nº 357/2005; Recursos Hídricos; Impactos Antrópicos.

ABSTRACT: The objective of the present study was to evaluate the quality of surface water in stretches of influence of a Small Hydroelectric Power Plant (SHP) during the first two semesters of its installation. As a method, the Water Quality Index was used, which considers nine analytical parameters (temperature, turbidity, pH, total solids, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, total nitrogen, total phosphorus and fecal coliforms) due to their importance for the global conformation of water quality. The parameters were evaluated by Generalized Equation Estimation (GEE) with gamma distribution. The results showed statistical differences in the analytical parameters at the sampling points between the pre-installation and installation period of the SHP Confluence. Despite this, the results mostly met the limits defined by Conama Resolution nº 357/2005 (and updates) for class 02 water bodies. physical and chemical conditions during the installation of the enterprise.

Keywords: Resolução CONAMA nº 357/2005; Water Resources; Anthropic Impacts.

INTRODUÇÃO

A água é um elemento imprescindível para a humanidade, entre outros motivos, por ser um recurso natural cujo consumo diário é vital para a sobrevivência de todos os indivíduos (Pessoa et al., 2020). Os usos múltiplos das águas superficiais brasileiras estão assegurados pela Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (Brasil, 1997), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Dentre estes usos - que vão desde o abastecimento doméstico, a dessedentação animal até a irrigação de lavouras - destaca-se a geração de energia elétrica por Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) em virtude da crescente demanda de eletricidade por populações urbanas e rurais (Gloria et al., 2017; Batista et al., 2018).

Recebido: Abril 29, 2022. Revisado: Abril 29, 2022. Aceito: Junho 14, 2022.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Pela razão da água ser uma fonte de energia renovável, a gestão dos recursos hídricos em empreendimentos como as PCHs tem se tornado cada vez mais uma questão preponderante para a sociedade civil e para o setor privado diante da escassez de reservas naturais de água (Garcia et al., 2018). Portanto, o acompanhamento e monitoramento da qualidade de água por meio de amostragens periódicas são amplamente utilizados na diligência de obter informações qualitativas e quantitativas acerca das características físicas, químicas e, por vezes, biológicas dos meios hídricos (Amorim et al., 2016; Santos et al., 2020).

Dentre os procedimentos que buscam determinar a qualidade ambiental dos recursos hídricos, destaca-se o Índice de Qualidade de Água (IQA). Este índice sumariza um conjunto amplo de atributos de qualidade de água a um único padrão indicador, possibilitando o enquadramento das águas em classes ou categorias (Gloria et al., 2017). Deste modo, o IQA auxilia gestores na tomada de decisões por fornecer resultados de fácil interpretação que permitem prever as condições do manancial superficial (Pessoa et al., 2020; Valentini et al., 2021).

A presente pesquisa insere-se no âmbito do Programa de Controle da Qualidade de Água e das Condições Limnológicas do Plano Básico Ambiental decorrente da instalação da PCH Confluência, em Turvo/Paraná. O trabalho apresenta como objetivo monitorar a qualidade de água de trechos de corpos hídricos ao entorno do empreendimento supracitado de modo a comparar o IQA do período de pré-instalação com os dois primeiros semestres da fase de instalação da futura hidrelétrica. Espera-se que os dados gerados possam contribuir para o monitoramento da qualidade da água nos ambientes amostrados de maneira a subsidiar medidas de controle e mitigação dos impactos gerados pelo empreendimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A PCH Confluência está inserida nos municípios de Prudentópolis e Turvo, região central do estado do Paraná, na localidade conhecida como Faxinal da Boa Vista (Figura 1). O acesso à PCH se faz a partir da cidade de Guarapuava, pela BR 466 no sentido Pitanga. A margem esquerda do empreendimento situa-se no município de Turvo e a margem direita no município de Prudentópolis, sendo o rio Marrecas o limite entre os dois municípios. O reservatório encontra-se a 33 km da foz do rio Ivaí e possui uma área total de 25 hectares, rodeado por uma Área de Proteção Permanente de 17 hectares. As obras de instalação do empreendimento tiveram início em mar/2021 e possuem previsão de término em dezembro/2022. Sua capacidade máxima de produção de energia será de 27 MW, o suficiente para abastecer mensalmente 54 mil residências com consumo médio de 200 kWh/mês. Faz-se importante destacar que durante o período que compreende o presente estudo houveram atividades de supressão de vegetação para instalação de canteiro de obras (escritórios, almoxarifado, marcenaria, oficina, pátio de britagem e viveiro), extração mineral em jazidas, manilhamento de córregos, instalação de bueiros e construção civil da barragem, canal de adução e casa de força.

De acordo com Alvares et al. (2014) a região da PCH Confluência possui predominância do clima subtropical mesotérmico, com verão brando e inverno moderado, além de possuir algumas épocas do ano com geadas e chuvas periódicas. O empreendimento está situado parte no Segundo Planalto e parte no Terceiro Planalto Paranaense, com vegetação predominante da Floresta Ombrófila Mista, ou ainda, floresta de araucárias. O contato entre ambos os planaltos se dá por escarpas arenito-basálticas que definem a Serra da Esperança. O relevo da região é ondulado e isoladamente escarpado. As drenagens são profundas, com padrão dendrítico e sem vegetação. Os solos superficiais de topos e encostas caracterizam-se como predominantemente argilosos e muito argilosos (com mais de 50% de argila), variando de bem desenvolvidos (latossolos) sobre as porções de relevo favorável a pouco desenvolvidos e rasos (neossolos) sobre as porções mais íngremes.

Para o monitoramento da qualidade da água foram definidos sete pontos de amostragem de água, que contemplam a área à jusante da futura casa de força (QA01-JUS), o trecho do corpo hídrico entre a barragem e a saída da casa de força (QA02-JUS), a área central do futuro reservatório (QA03-RES), a foz dos dois principais tributários do reservatório (QA05-I-MON-C e QA05-II-MON-M), bem como a área à montante da foz dos referidos tributários (QA06-I-MON-C e QA06-II-MON-M).



Figura 1 - Localização dos pontos de monitoramento de qualidade da água nas áreas de influência direta da PCH Confluência. Fonte: Assessoria Técnica Ambiental Ltda.

Malha amostral e análises *in situ* e laboratorial

As coletas abrangeram o período de nov/2020 a fev/2022 a partir de amostragens trimestrais de água superficial (± 20 cm abaixo da superfície), cobrindo os períodos chuvosos e secos da região. As amostragens realizadas em nov/2020 e fev/2021 foram anteriores ao período de instalação do empreendimento. Os monitoramentos conseguintes já contemplavam dois semestres da fase de instalação da obra.

Os procedimentos de coleta e preservação das amostras seguiram a Norma Brasileira 9897/1987 e o Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras da Agência Nacional das Águas (Agência Nacional das Águas, 2011). Em cada ponto de amostragem foram medidas, *in situ*, as variáveis ambientais: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, oxigênio dissolvido (OD) e turbidez (Unidade Nefelométrica de Turbidez - NTU) por meio da Sonda Multiparâmetros Hanna Hi 9829. Em laboratório, foram determinados: sólidos totais (ST) (mg L^{-1}) a $103\text{-}105^{\circ}\text{C}$, demanda bioquímica oxigênio (DBO) (mg L^{-1}) pelo método manométrico, nitrogênio total (NT) (mg L^{-1}) por digestão com liga de Raney e potenciometria com eletrodo seletivo, fósforo total (PT) (mg L^{-1}) pelo método do ácido ascórbico (reação em meio ácido com o molibdato de amônio, tartarato de antimônio e potássio, formando o complexo do ácido fosfomolibdico cuja redução utilizando ácido ascórbico resulta no complexo de fosfomolibdato) e determinação por espectrofotometria e teores de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) por contagem em filtro de membrana de nitrato de celulose reticulado, com $0,45\ \mu\text{m}$ de poro, em meio de cultivo M-Endo Agar LES DIFCO a 44°C , de acordo com os critérios adotados pela American Public Health Association (2005).

Enquadramento e Índice de Qualidade de Água

O Índice de Qualidade de Água (IQA) (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2017) é composto por nove parâmetros, com seus respectivos pesos (w), que foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água (Tabela 1).

Tabela 1 - Peso dos parâmetros de qualidade das águas para o Índice de Qualidade de Água.

Parâmetros de qualidade de água	Peso (w)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
Potencial Hidrogeniônico - pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	0,10
Temperatura da água	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total	0,08

Fonte: ANA (2011).

O cálculo do IQA foi realizado por meio do produto ponderado dos nove parâmetros como aponta a Equação 1, em que IQA = Índice de Qualidade das Águas, representado por um número entre 0 e 100; q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro (entre 0 e 100), obtido por meio da concentração ou medida, resultado da análise; w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que se estabeleça a Equação 2, onde o n representa o número de parâmetros que entraram no cálculo do IQA.

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2)$$

O resultado do IQA foi classificado em cinco faixas de acordo com as faixas estabelecidas pela CETESB (2017) e aplicadas no estado do Paraná (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificação dos valores do Índice de Qualidade de Água em faixas que variam de péssima até ótima.

Valor do IQA	Classificação
91-100	Ótima
71-90	Boa
51-70	Regular/Razoável
26-50	Ruim
0-25	Péssima

Fonte: ANA (2011).

Análises estatísticas

Os resultados dos parâmetros analíticos foram avaliados por Estimativa de Equações Generalizadas (GEE) no software SPSS Statistics. Nesta análise, que resulta em estimativas de efeitos atribuíveis ao tempo, dados correlacionados são modelados utilizando o mesmo preditor linear e função de ligação que seriam utilizados em casos independentes. Diferenças significativas entre resultados foram analisadas usando comparação aos pares e significância de Bonferroni. A análise de correlação foi realizada por meio do software STATISTICA.

RESULTADOS E DICUSSÃO

O pH não apresentou diferenças significativas ($p>0,05$) nas águas dos pontos de monitoramento quando se compara o período pré-instalação (nov/20 e fev/21) com o primeiro semestre de instalação (mai/21, ago/21) da PCH Confluência (Tabela 3). Contudo, em nov/21, foram observados valores de pH significativamente inferiores que os registrados nos monitoramentos precedentes em quase todos os trechos amostrais, com exceção do QA03-RES. Em fev/22, foram registradas as maiores variações deste parâmetro, especialmente nos pontos QA05-I-MON-C e QA06-II-MON-M, com valores de pH chegando próximos de 8,50 (Figura 2).

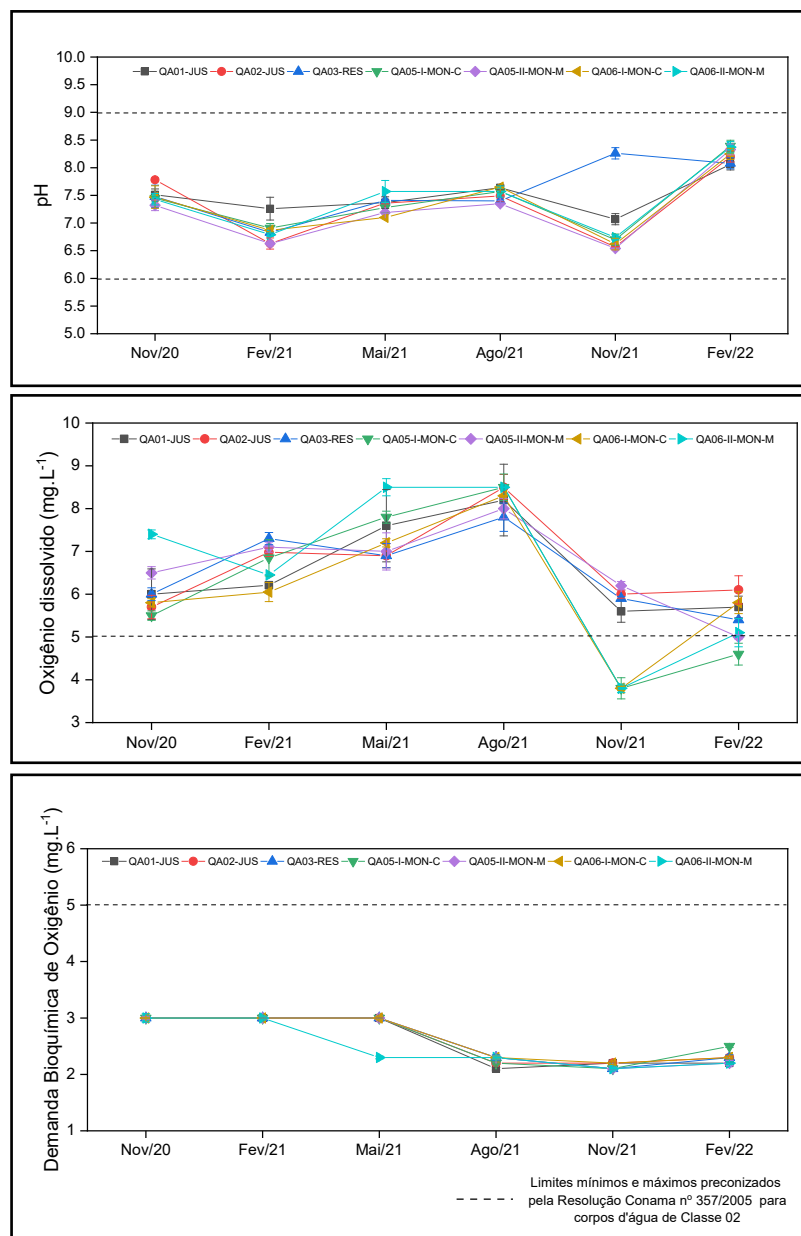


Figura 2 - (A) Valores de potencial Hidrogeniônico (pH), (B) Valores de Oxigênio Dissolvido; (C) Valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio nos trechos de monitoramento de água de novembro de 2020 a fevereiro de 2022.

Faz-se importante destacar que todos os valores de pH foram observados dentro dos limites mínimo (6,0) e máximo (9,0) estabelecidos pela Resolução Conama n° 357/2005 (Brasil, 2005) para corpos de água de classe 02, condição esta que denota neutralidade dos íons H⁺ e OH⁻, essencial para o equilíbrio dos fatores bióticos e abióticos que compõem o ecossistema do corpo hídrico (Águas et al., 2020).

Os teores de oxigênio dissolvido (OD) nos pontos de monitoramento de água mantiveram-se acima do limite mínimo estabelecido pela Resolução Conama nº 357/2005 (5,0 mg L⁻¹) durante a fase de pré-instalação e durante o primeiro semestre de obras da PCH Confluência (Figura 2). Este fato aponta às boas condições para preservação da vida aquática dos trechos amostrados (Amorim et al., 2016). Contudo, a partir de nov/21, os teores de OD diminuíram significativamente nos pontos QA05-I-IMON-C, QA06-I-IMON-C e QA06-II-IMON-C, a montante do empreendimento hidrelétrico (Tabela 3). Estes baixos valores, no entanto, não denotam condição de hipóxia no corpo hídrico, pois não foram inferiores a 2,0 mg L⁻¹, assim como aponta Fiorese (2019).

Tabela 3 - Média dos parâmetros de qualidade das águas dos pontos de amostragem. Letras diferentes explicitam diferenças estatísticas (p>0,05) entre os períodos de amostragem.

Parâmetro	Limite de Quantificação (LQ) / Incerteza do método	Período de amostragem	Pontos de amostragem						
			QA01-JUS	QA02-JUS	QA03-RES	QA05-I-MON-C	QA05-II-MON-M	QA06-I-MON-C	QA06-II-MON-M
Temperatura da água (°C)	01 / 0,5	Nov/20	22,40 ^b	21,90 ^b	21,20 ^c	20,70 ^c	21,70 ^c	21,20 ^b	21,10 ^c
		Fev/21	21,60 ^b	21,50 ^b	21,30 ^c	21,80 ^c	22,10 ^c	22,50 ^b	22,30 ^c
		Mai/21	13,40 ^d	14,20 ^d	15,20 ^e	15,10 ^e	14,00 ^e	11,70 ^d	16,50 ^d
		Ago/21	17,40 ^c	16,20 ^c	17,10 ^d	16,50 ^d	16,10 ^d	15,30 ^c	16,50 ^d
		Nov/21	23,20 ^a	24,50 ^a	23,80 ^b	23,70 ^b	24,30 ^b	22,30 ^b	23,20 ^b
		Fev/22	23,70 ^a	24,20 ^a	25,10 ^a	27,40 ^a	25,60 ^a	26,20 ^a	27,90 ^a
Turbidez (NTU)	0,10 / 0,40	Nov/20	07,21 ^d	05,94 ^e	03,79 ^d	08,18 ^b	04,28 ^e	02,26 ^e	02,96 ^d
		Fev/21	10,80 ^c	10,55 ^c	11,28 ^b	08,65 ^b	10,50 ^c	08,33 ^b	10,60 ^a
		Mai/21	39,90 ^a	44,65 ^a	46,90 ^a	18,30 ^a	52,71 ^a	21,81 ^a	04,99 ^c
		Ago/21	09,34 ^c	06,91 ^c	09,45 ^c	05,66 ^{cd}	08,62 ^d	05,43 ^c	04,99 ^c
		Nov/21	19,50 ^b	14,40 ^b	04,35 ^d	04,42 ^d	15,67 ^b	03,66 ^d	03,99 ^{cd}
		Fev/22	08,37 ^d	08,09 ^d	11,10 ^b	06,96 ^c	08,69 ^d	05,65 ^c	07,74 ^b
pH	02 / 0,2	Nov/20	07,51 ^b	07,78 ^b	07,48 ^b	07,45 ^b	07,32 ^b	07,47 ^b	07,43 ^b
		Fev/21	07,26 ^b	06,63 ^b	06,83 ^b	06,91 ^c	06,63 ^c	06,87 ^c	06,79 ^c
		Mai/21	07,37 ^b	07,36 ^b	07,41 ^b	07,28 ^b	07,19 ^{bc}	07,10 ^{bc}	07,57 ^b
		Ago/21	07,64 ^b	07,49 ^b	07,40 ^b	07,57 ^b	07,35 ^b	07,65 ^b	07,57 ^b
		Nov/21	07,07 ^c	06,57 ^c	08,26 ^a	06,70 ^c	06,54 ^c	06,62 ^c	06,74 ^c
		Fev/22	08,06 ^a	08,20 ^a	08,08 ^a	08,39 ^a	08,33 ^b	08,25 ^a	08,37 ^a
DBO (mg L ⁻¹)	2,3 / 0,05	Nov/20	03,00 ^a	03,00 ^a	03,00 ^a	03,00 ^a	03,00 ^a	03,00 ^a	03,00 ^a
		Fev/21	03,00 ^a	03,00 ^a	03,00 ^a	03,00 ^a	03,00 ^a	03,00 ^a	03,00 ^a
		Mai/21	03,00 ^a	03,00 ^a	03,00 ^a	03,00 ^a	03,00 ^a	03,00 ^a	02,30 ^b
		Ago/21	02,10 ^b	02,20 ^b	02,30 ^b	02,20 ^b	02,30 ^b	02,30 ^b	02,30 ^b
		Nov/21	02,20 ^b	02,20 ^b	02,10 ^b	02,10 ^b	02,10 ^b	02,20 ^b	02,10 ^b
		Fev/22	02,20 ^b	02,30 ^b	02,30 ^b	02,50 ^b	02,30 ^b	02,20 ^b	02,20 ^b
OD (mg L ⁻¹)	0,1 / 0,50	Nov/20	06,00 ^c	05,70 ^d	06,00	05,50 ^c	06,50 ^c	05,80 ^c	07,40 ^b
		Fev/21	06,21 ^c	06,98 ^b	07,30 ^a	06,85 ^b	07,10 ^b	06,05 ^c	06,45 ^c
		Mai/21	07,60 ^b	06,90 ^b	06,90 ^{ab}	07,80 ^a	07,00 ^b	07,20 ^b	08,50 ^a
		Ago/21	08,20 ^a	08,50 ^a	07,80 ^a	08,50 ^a	08,00 ^a	08,30 ^a	08,50 ^a
		Nov/21	05,60 ^d	06,00 ^c	05,90 ^{cd}	03,80 ^d	06,20 ^c	03,80 ^d	03,80 ^e
		Fev/22	05,70 ^d	06,10 ^c	05,40 ^d	04,60 ^d	05,00 ^d	05,80 ^c	05,10 ^d
Fósforo total (mg L ⁻¹)	0,01 / 0,003	Nov/20	0,01 ^d	0,01 ^d	0,01 ^d	0,01 ^d	0,04 ^b	0,01 ^d	0,04 ^b
		Fev/21	0,01 ^d	0,01 ^d	0,02 ^c	0,03 ^b	0,01 ^d	0,01 ^d	0,13 ^a
		Mai/21	0,05 ^a	0,06 ^a	0,05 ^a	0,04 ^a	0,06 ^a	0,05 ^a	0,02 ^c
		Ago/21	0,03 ^b	0,03 ^c	0,02 ^c	0,03 ^b	0,03 ^c	0,03 ^b	0,02 ^c
		Nov/21	0,03 ^b	0,04 ^b	0,03 ^b	0,03 ^b	0,04 ^b	0,01 ^d	0,02 ^c
		Fev/22	0,02 ^c	0,01 ^d	0,01 ^d	0,02 ^c	0,01 ^d	0,02 ^c	0,01 ^d
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	0,5 / 0,054	Nov/20	0,68 ^b	0,57 ^a	0,85 ^a	1,22 ^a	0,71 ^b	0,50 ^a	0,62 ^a
		Fev/21	0,55 ^b	0,50 ^a	0,51 ^a	0,50 ^a	0,50 ^b	0,50 ^a	0,52 ^a
		Mai/21	0,61 ^b	0,97 ^a	0,98 ^a	1,10 ^a	1,04 ^b	0,75 ^a	0,71 ^a
		Ago/21	0,92 ^b	0,73 ^a	0,92 ^a	0,65 ^a	1,07 ^b	0,72 ^a	0,71 ^a
		Nov/21	16,50 ^a	0,55 ^a	0,63 ^a	0,53 ^a	3,35 ^a	0,50 ^a	0,58 ^a
		Fev/22	0,54 ^b	0,77 ^a	0,81 ^a	0,66 ^a	0,59 ^b	0,55 ^a	0,50 ^a

Tabela 3 – Continuação...

Parâmetro	Limite de Quantificação (LQ) / Incerteza do método	Período de amostragem	Pontos de amostragem						
			QA01-JUS	QA02-JUS	QA03-RES	QA05-I-MON-C	QA05-II-MON-M	QA06-I-MON-C	QA06-II-MON-M
Coliformes termotolerantes (UFC/100mL)	1000 / 110	Nov/20	292,00 ^b	52,00 ^c	31,00 ^c	86,00 ^a	94,00 ^c	20,00 ^b	94,00 ^b
		Fev/21	107,00 ^b	933,00 ^c	1240,00 ^c	98,00 ^a	933,00 ^c	86,00 ^b	1470,00 ^a
		Mai/21	850,00 ^b	1400,00 ^c	650,00 ^c	300,00 ^a	4000,00 ^b	13000,00 ^a	140,00 ^b
		Ago/21	700,00 ^b	20000,00 ^a	7000,00 ^b	120,00 ^a	12000,00 ^a	140,00 ^b	140,00 ^b
		Nov/21	4000,00 ^a	13000,00 ^b	400,00 ^c	300,00 ^a	10000,00 ^a	400,00 ^b	300,00 ^b
		Fev/22	3300,00 ^a	600,00 ^c	55000,00 ^a	700,00 ^a	900,00 ^c	1000,00 ^b	2000,00 ^a
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	10 / 03	Nov/20	65,00 ^b	110,00 ^a	80,00 ^b	60,00 ^b	110,00 ^a	100,00 ^a	100,00 ^a
		Fev/21	66,00 ^b	92,00 ^b	98,00 ^a	88,00 ^a	92,00 ^b	30,00 ^e	92,00 ^b
		Mai/21	77,00 ^a	60,00 ^e	67,00 ^c	60,00 ^b	80,00 ^d	37,00 ^d	58,00 ^d
		Ago/21	72,00 ^a	79,00 ^c	82,00 ^b	60,00 ^b	86,00 ^e	40,00 ^{bcdde}	58,00 ^d
		Nov/21	61,00 ^c	56,00 ^f	51,00 ^d	54,00 ^c	53,00 ^f	46,00 ^e	38,00 ^e
		Fev/22	60,00 ^c	70,00 ^d	82,00 ^b	50,00 ^c	70,00 ^e	52,00 ^b	69,00 ^c

A análise da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) que comumente denota biodegradabilidade da matéria orgânica em efluentes e corpos d'água é amplamente utilizada para estimar a concentração da matéria orgânica em termos de oxigênio consumido nos corpos hídricos (Vasco et al., 2011). A DBO nos trechos de influência direta e indireta da PCH Confluência diminuiu estatisticamente ($p > 0,05$) durante o período de instalação do empreendimento (Tabela 3). Entretanto, os valores deste parâmetro não ultrapassaram a concentração de 3,0 mg L⁻¹, sendo inferiores ao limite máximo (5,0 mg L⁻¹) estabelecido pela Resolução Conama n° 357/2005 para corpos d'água de classe 02 (Figura 2).

A temperatura das águas nos pontos de amostragem apresentou diferenças estatísticas significativas entre o período de pré-instalação e de instalação da PCH Confluência (Tabela 3). Estas diferenças foram observadas em virtude da sazonalidade térmica de Turvo, já que as maiores amplitudes térmicas foram registradas na primavera e verão (nov/20, fev/21, nov/21 e fev/22) e as menores foram observadas nas estações do outono e inverno (mai/21 e ago/21) (Figura 3). Apesar da resposta térmica das águas de um ambiente lótico surgir diante da somatória de diferentes fatores ambientais e antrópicos, os resultados apontados neste estudo estão de acordo com os valores de temperatura característicos de corpos aquáticos tipicamente subtropicais (Percebon et al., 2005).

Os autores Buzelli & Cunha-Santino (2013) apontam que teores de *Escherichia coli* acima do limite estabelecido pela Resolução Conama n° 357/2005 para corpos d'água de classe 02 (1.000,0 UFC/100 mL) representam a presença de efluentes sanitários nas águas sem tratamento prévio, já que este parâmetro é associado especificamente à contaminação fecal. Valores acima deste limite foram registrados em todos os pontos de monitoramento da PCH Confluência após o início de instalação do empreendimento (mai/21) (Figura 3), inclusive em trechos dos rios Marrecas e Cachoeira a montante e fora da área de influência direta do empreendimento (QA05-II-MON-M e QA06-I-MON-C). Este fato sugere que as altas concentrações de coliformes registradas nos pontos de influência direta da PCH Confluência (QA01-JUS, QA02-JUS e QA03-RES) podem ter sido geradas por descargas sanitárias a montante do empreendimento e carreadas por seus rios tributários.

Neste contexto, é importante destacar que desde o início da instalação da PCH Confluência houve a implantação do Programa de Gerenciamento de Efluentes. Este programa estabeleceu um sistema de monitoramento e controle eficiente para geração de esgotos e efluentes domésticos, estando de acordo com o planejamento das estruturas sanitárias e na elaboração de soluções para o canteiro de obras seguindo as normativas vigentes do setor da construção civil.

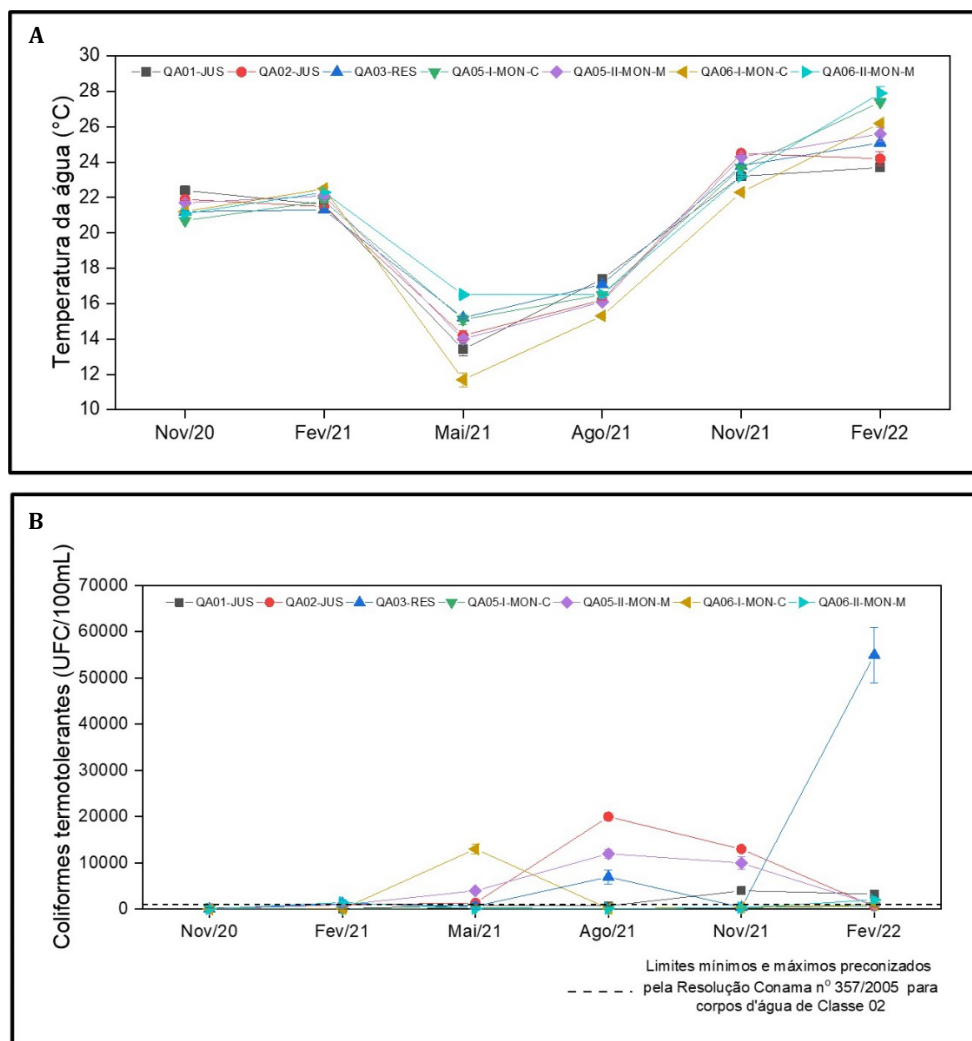


Figura 3 - (A) Valores da Temperatura da Água; **(B)** Valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio nos trechos de influência da PCH Confluência de novembro de 2020 a novembro de 2021.

Os teores de fósforo total aumentaram significativamente nos pontos de monitoramento de água durante o primeiro semestre de instalação do empreendimento hidrelétrico em comparação com os valores observados em sua fase de pré-instalação (Tabela 3). Contudo, todos os valores registrados apresentaram-se em completo atendimento ao limite estabelecido pela Resolução Conama n° 357/2005 para ambientes lóticos de classe 02 ($0,10 \text{ mg L}^{-1}$), indicando boa qualidade química (Batista et al., 2018). No segundo semestre de instalação do empreendimento, os teores de fósforo total diminuíram estatisticamente, ficando abaixo do limite máximo estabelecido pela Resolução Conama n° 357/2005 para ambientes lênticos ($0,03 \text{ mg L}^{-1}$) (Figura 4). Este fato assume grande importância já que após a construção da barragem e represamento da água haverá alteração na velocidade do fluxo em alguns dos pontos de monitoramento (sobretudo no ponto QA03-RES, mas também em QA05-I e QA05-II). Não obstante, destaca-se que o alto valor de fósforo total observado no ponto QA06-II em fev/21 ($0,13 \text{ mg L}^{-1}$) foi um registro pontual, pois nas campanhas subsequentes os valores deste parâmetro não ultrapassaram $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ neste trecho do rio (Figura 4).

Em geral, tanto no período pré-instalação como durante a instalação da PCH Confluência, os valores de nitrogênio total nos pontos amostrais não apresentaram diferenças estatísticas significativas ($p > 0,05$), mantendo-se inferiores $3,4 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 4). Embora não haja limites específicos para este parâmetro preconizados na Resolução Conama n° 357/2005, os resultados condizem com baixos riscos para processos de eutrofização e influência na disponibilidade de oxigênio dissolvido nos trechos monitorados. Além disso, tais concentrações de nitrogênio total observadas são inferiores aos limites de nitrato e nitrogênio amoniacal, também salientados pela Resolução Conama n° 357/2005, para ambientes lóticos (10 mg L^{-1} e $3,7 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente).

Como exceção, em nov/21, no ponto QA01-JUS foi observado um alto valor para nitrogênio total; 16,5 mg L⁻¹ (Figura 4). Este valor não foi refletido em outros parâmetros comumente correlacionados ao nitrogênio total como, por exemplo, fósforo total. É pouco provável que este resultado tenha se dado em virtude da instalação da PCH Confluência, pois de acordo com Zonta et al. (2008), valores desta magnitude geralmente são registrados em trechos de corpos hídricos que recebem o lançamento de efluentes domésticos, industriais e/ou agrícolas. Esta possível atividade poluidora foi pontual, já que em fev/22 o valor de nitrogênio total no mesmo trecho do rio apresentou-se abaixo de 0,6 mg L⁻¹ (Figura 4). Os valores de turbidez durante o período de instalação do empreendimento variaram estatisticamente daqueles registrados durante a fase de pré-instalação (Tabela 3). No monitoramento realizado em mai/21, os teores de turbidez ultrapassaram 40,0 NTU em pontos de influência direta e indireta do empreendimento (Figura 5). Contudo, estes valores, segundo o estudo de Costa et al. (2006) não são ambientalmente preocupantes, já que não provocam a diminuição da penetração dos raios solares no ambiente lótico de modo a alterá-lo física, química ou ecologicamente. Apesar da turbidez se tratar de sólidos em suspensão sobre os quais, devido às baixas relações área superficial/volume apresentadas ocorre a predominância de fenômenos gravitacionais, não foi observada correlação positiva ($r = -1,3229$), deste parâmetro para com os sólidos totais.

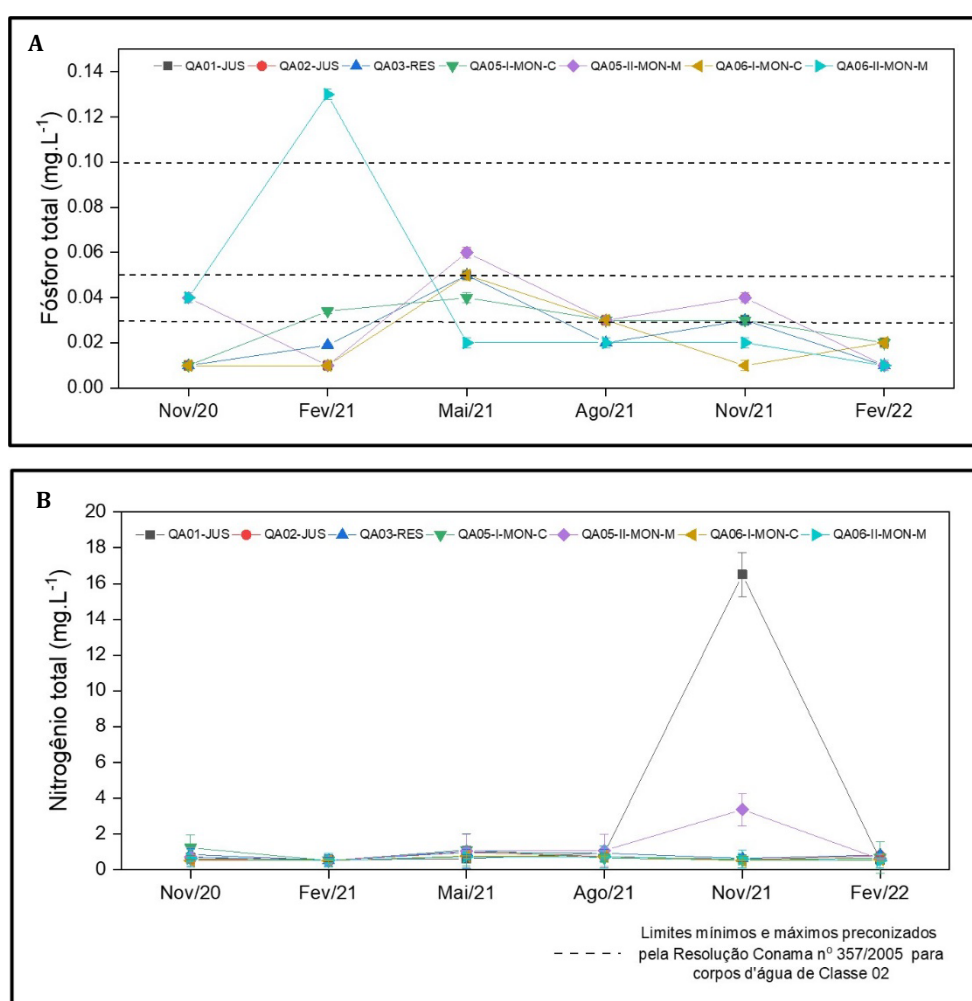


Figura 4 – (A) Valores de Nitrogênio Total; (B) Valores de Fósforo Total nos trechos de influência da PCH Confluência de novembro de 2020 a novembro de 2021.

Os teores de sólidos totais (ST) diminuíram significativamente durante a fase de instalação da PCH Confluência quando comparados com os valores registrados na fase de pré-instalação, com exceção do ponto QA06-I-MON-C (Figura 5). De acordo com Amorim et al. (2016), os ST estão relacionados a matéria que permanece após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra de água durante determinado tempo e aquecimento. Outros parâmetros analíticos como a condutividade elétrica e frações de nitrogênio total (nitrato e nitrogênio amoniacal, por exemplo) podem ser associados aos sólidos totais

para melhor contextualização dos resultados deste parâmetro em uma amostra de água. Entretanto, estes parâmetros não são considerados pelo IQA porque suas faixas de concentrações e limites de quantificação são bastante baixos (Andrietti et al., 2016). Por este motivo, o índice dá preferência a medidas mais diretas, como dos ST, permitindo obter uma precisão significativa na análise gravimétrica. Diante de tais fatos, infere-se que por este parâmetro, as atividades de instalação da PCH Confluência não produziram resíduos sólidos capazes de se depositar nos leitos dos corpos d'água e causar fenômenos como assoreamento, enchentes ou danos à vida aquática.

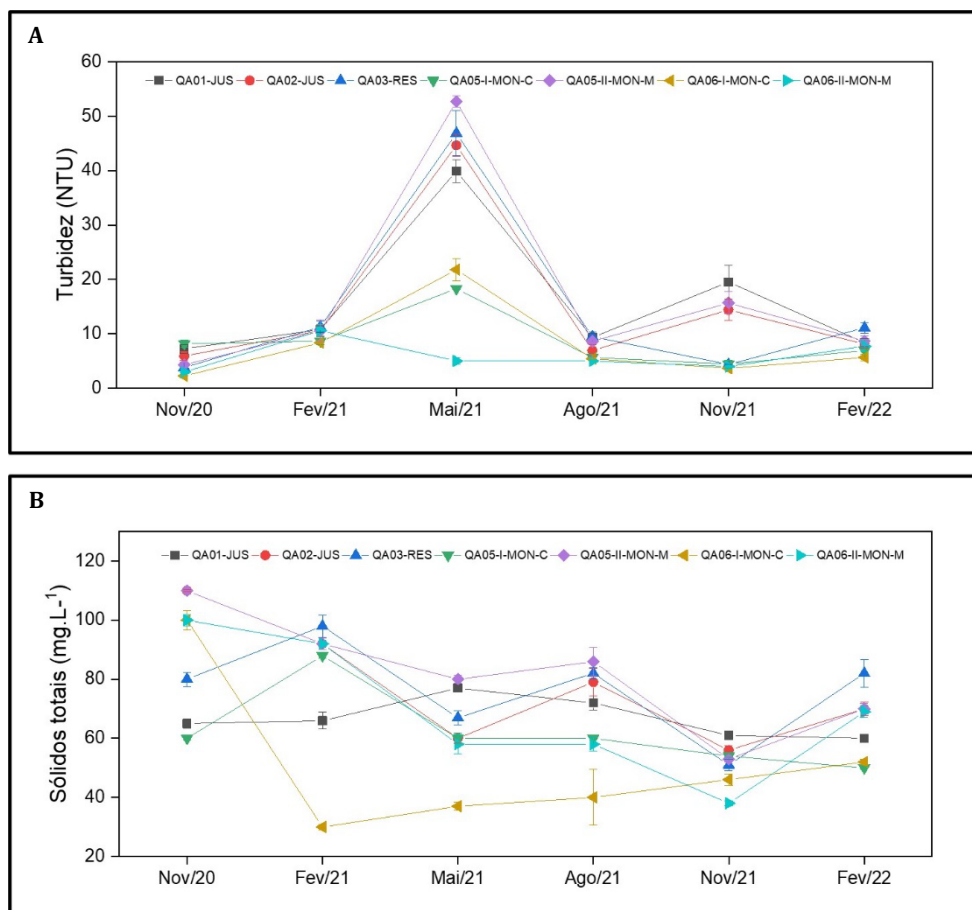


Figura 5 - (A) Valores de Turbidez ; (B) Valores de Sólidos Totais nos trechos de influência da PCH Confluência de novembro de 2020 a novembro de 2021.

Os trechos fluviais de influência da PCH Confluência apresentaram os melhores Índices de Qualidade de Água (IQAs), ou seja, águas classificadas como boas, nos meses de nov/20 (fase pré-instalação) e ago/21 (fase de instalação) (Figura 6). Por outro lado, os índices mais restritivos de qualidade, com águas classificadas como razoáveis, foram observados em mai/21 e nov/21 (fase de instalação). A diminuição da qualidade de água em alguns meses do período de instalação, quando comparados com a fase pré-instalação ocorreu em trechos dos corpos hídricos que sofrem influência direta do empreendimento e também naqueles pontos a montante (Figura 6). Este fenômeno indica que a razão desta diminuição é extrínseca às atividades do empreendimento. Assim, os dois primeiros semestres de instalação da PCH Confluência parecem não ter afetado a qualidade da água nos trechos amostrados.

Os menores valores para IQA durante o período de monitoramento foram registrados nos pontos QA02-JUS (65,55) e QA05-II-MON-M (66,14) em razão dos baixos valores de OD (com peso de 17% no IQA) e altos teores de DBO registrados (com peso de 10% no IQA) (Figura 6). O OD apresentou correlação positiva significativa ($r = 0,8731$) com o IQA, sendo um parâmetro indicativo de boa qualidade de água. A DBO, por sua vez, apresentou correlação negativa para com o índice ($r = -0,8456$), assim como registrado por Amorim et al. (2016), sendo um parâmetro restritivo para boa qualidade de água de um corpo hídrico.

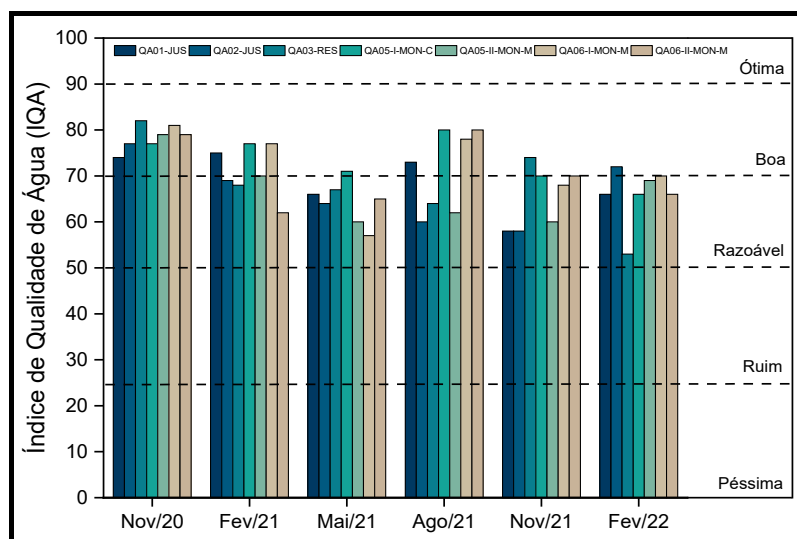


Figura 6 - Índices de Qualidade de Água (IQA) nos pontos de monitoramento durante o período de pré-instalação (Nov/20 e Fev/21) e instalação (Mai/21, Ago/21, Nov/21 e Fev/22) da PCH Confluência. As linhas tracejadas representam as faixas de classificação de qualidade de água.

Os trechos QA05-I-MON-C (75,05) e QA06-I-MON-M (72,06), ambos a montante do empreendimento (Figura 6), apresentaram os melhores IQAs. Possivelmente isto ocorreu pelos baixos valores de coliformes termotolerantes e turbidez. Estes parâmetros possuem peso significativo nos cálculos do IQA (15% e 08%, respectivamente) em função de suas importâncias para a conformação global da qualidade de água (Fiorese, 2019). No presente estudo, coliformes termotolerantes e turbidez apresentaram correlação negativa para com este índice ($r = -0,9123$ e $r = -0,7019$, respectivamente), sendo também parâmetros restritivos para boa qualidade de recursos hídricos.

O enquadramento das águas do ponto QA03-RES como boa pelo IQA em nov/21 assumiu grande importância no segundo semestre de instalação da PCH Confluência. Isto, porque, este ponto está localizado no futuro reservatório do empreendimento (Figura 1), demonstrando que os impactos antrópicos típicos nas áreas de formação de barragens, como supressão e limpeza da vegetação, por exemplo, não ocasionaram diminuição significativa da qualidade de água do trecho local. Este resultado, inclusive, foi mais positivo do que o observado nas campanhas de monitoramento antecedentes, onde as águas deste trecho foram classificadas como razoáveis (Figura 6).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os parâmetros físicos e químicos analisados foram observados, majoritariamente, em atendimento aos limites definidos pela Resolução Conama nº 357/2005 (e atualizações) para corpos d'água de classe 02. Este fato demonstra que as águas dos pontos amostrais nos rios Marrecas e Cachoeira, em áreas de influência direta e indireta da PCH Confluência, se encontram em boas condições físicas e químicas durante a instalação do empreendimento. Em desacordo com a Resolução supracitada, foi observado um aumento dos teores de coliformes termotolerantes, especialmente após o início de instalação do empreendimento. Este fenômeno, no entanto, também ocorreu nos trechos tributários da PCH, indicando que possíveis descargas sanitárias, ou ainda, produtos de erosão dos solos nos corpos hídricos ocorreram a montante da futura hidrelétrica.

Por fim, o IQA apresentou-se como uma boa ferramenta para avaliar a qualidade da água ao entorno da PCH Confluência a partir da medição de suas características físicas, químicas e biológicas, classificando-as a partir de parâmetros de qualidade estabelecidos. Percebeu-se que a qualidade das águas dos trechos monitorados variou durante o período de instalação do empreendimento quando comparado ao seu período de pré-instalação. Entretanto, toda vez que a diminuição do IQA era registrada nos pontos de influência direta do empreendimento (QA01-JUS, QA02-JUS, QA03-RES), também era observada uma diminuição no índice em trechos a montante da PCH (QA05-I-MON-C, QA05-II-MON-M, QA06-I-MON-C, QA06-II-MON-M), indicando que alterações físicas e químicas que levam a diminuição deste índice não ocorreram diretamente em razão da instalação do empreendimento.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional das Águas – ANA. (2011). *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA.
- Águas, T. A., Silva, Y. F., Maia, N. J. C., & Braz, A. M. (2020). Análise multivariada para caracterização da qualidade da água próxima a uma Pequena Central Hidroelétrica. *Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros*, 1(31), 66-85.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., & Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2014). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift (Berlin)*, 1(22), 711-728.
- American Public Health Association – APHA. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington.
- Amorim, D. G., Cavalcante, P. R. S., Soares, L. S., & Amorim, P. E. C. (2016). Enquadramento e avaliação do índice de qualidade da água dos igarapés Rabo de Porco e Precuá, localizados na área da Refinaria Premium I, município de Bacabeira (MA). *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22, 251-259.
- Andrietti, G., Freire, R., Amaral, A. G., Almeida, F. T., Bongiovani, M. C., & Schneider, R. M. (2016). Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. *Ambiente & Água*, 11(1), 162-175.
- Batista, D. F., Cabral, J. B. P., Rocha, T., & Barbosa, G. R. (2018). Caracterização física da bacia hidrográfica da Pequena Central Hidrelétrica-PCH, Mosquitão-GO. *Boletín Geográfico (Neuquén)*, 36(3), 124-143.
- Brasil. (1997). *Política Nacional de Recursos Hídricos. Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Brasil. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. (2005, 18 de março). *Resolução nº 357/05. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília.
- Buzelli, G. M., & Cunha-Santino, M. B. (2013). Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 8(1), 1-20.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. (2017). *Índices de Qualidade das Águas*. Recuperado em 24 de janeiro de 2022, de <https://cetesb.sp.gov.br/>
- Costa, W., Marques, M. B., Delezuk, J. A. M., & Folkuenig, E. S. (2006). Avaliação preliminar da qualidade da água do arroio Madureira e afluentes. *UEPG - Ciências Exatas e da Terra Agrárias e Engenharias. Agricultural Engineering*, 1(12), 15-22.
- Fiorese, C. H. U. (2019). Estudo do oxigênio dissolvido aliado à análise de uso de solo da área de preservação permanente do Rio Castelo-ES, Brasil. *Brazilian Journal of Development*, 5(1), 887-900.
- Garcia, J. M., Mantovani, P., Gomes, R. C., Longo, R. M., Demanboro, A. C., & do Carmo Bettine, S. (2018). Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. *Sociedade & Natureza*, 30(1), 228-254.
- Gloria, L. P., Horn, B. C., & Hilgemann, M. (2017). Avaliação da qualidade da água de bacias hidrográficas através da ferramenta do índice de qualidade da água-IQA. *Revista Caderno Pedagógico*, 14(1), 103-119.
- Percebon, C. M., Bittencourt, A. V. L., & Rosa Filho, E. F. (2005). Diagnóstico da temperatura das águas dos principais rios de Blumenau, SC. *Boletim Paranaense de Geociências*, 1(56), 7-19.
- Pessoa, M. A. R., Souza, F. J., Domingos, P., & Azevedo, J. P. S. (2020). Índice fuzzy de qualidade de água para ambiente lótico-IQA FAL. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25, 21-30.
- Santos, G. B., Valentini, M. H. K., Silva, L. A., Franz, H. S., Corrêa, B. L., Viana, F. V., Corrêa, M. G., Vieira, B. M., Nadaleti, W. C., Leandro, D., & Vieira, B. M. (2020). Avaliação dos parâmetros e do índice de qualidade da água para o Arroio Moreira/Fragata, Pelotas/RS. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(4), 287-299.
- Valentini, M. H. K., Santos, G. B., Franz, H. S., & Vieira, B. M. (2021). Avaliação da qualidade da Lagoa Mirim por meio de métodos estatísticos e índice de violação. *Revista Ambientale*, 13(1), 28-37.
- Vasco, A. N., Britto, F. B., & Garcia, C. A. B. (2011). Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil. *Ambiente & Água*, 6(1), 1-14.
- Zonta, J. H., Zonta, J. B., Rodrigues, J. I. S., & Reis, E. F. (2008). Qualidade das águas do Rio Alegre, Espírito Santo. *Ciência Agrônômica*, 39(1), 155-161.

Contribuições dos autores:

Rhuann Carlo Viero Taques: redação do manuscrito

Thiago Moriggi: redação do manuscrito.

Patricia Carla Giloni-Lima: avaliação crítica do manuscrito, colaborou na interpretação e discussão dos resultados.

Vanderlei Aparecido de Lima: realizou as análises estatísticas.