

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA NO RIO PARAPEBA APÓS O DESASTRE DE BRUMADINHO/MG EM 2019

Ana Flavia Brancalion Costa¹; Fernando Mainardi Fan²

Palavras-Chave – SIAQUA-IPH, Córrego do Feijão, Contaminação.

RESUMO

O rompimento da barragem B1 da Mina Córrego do Feijão, na cidade de Brumadinho/MG em 2019, lançou no Ribeirão Ferro Carvão cerca de 9,9 Mm³ de rejeitos de minério que alcançaram o Rio Paraopeba, propagando-se até os reservatórios de Três Marias e Retiro Baixo. Foram observados diversos picos de concentração de sedimentos em suspensão, relacionados a eventos de precipitação que causaram a ressuspensão dos sedimentos. Para representação da propagação dos rejeitos no Rio Paraopeba foram simulados quatro cenários de lançamentos de poluentes no modelo de qualidade de água SIAQUA-IPH. Os polutogramas simulados conseguiram representar de forma adequada os picos de concentração conforme os dados observados. Os erros de tempo de pico em relação ao tempo total de simulação foram de no máximo 20% em todos os cenários. Já os erros de concentração de pico foram também relativamente baixos, sendo menores que 20% na maioria das estações.

1. INTRODUÇÃO

No dia 25 de janeiro de 2019, aproximadamente três anos após o desastre de Mariana, a barragem B1 da mina Córrego do feijão, com volume de cerca de 12 Mm³ de minério de ferro (CPRM, 2019), se rompe próximo ao município de Brumadinho, novamente em Minas Gerais. Até janeiro de 2020 foram contabilizados 259 mortos e 11 desaparecidos, no que foi considerado um dos maiores desastres humanos e ambientais do país (ROTTA *et al.*, 2020).

Cerca de 75% dos rejeitos da mina, 9,9 Mm³, foram lançados ao Ribeirão Ferro Carvão e atingiram o Rio Paraopeba, importante tributário do Rio São Francisco (ROBERTSON *et al.*, 2019). A concentração máxima dos sedimentos em suspensão chegou a 10.000 mg/L conforme medições realizadas pela CPRM em parceria com a ANA.

A propagação da pluma de rejeitos após eventos desta magnitude tem grande potencial de interromper o abastecimento das cidades à jusante do local de lançamento. Assim, tornam-se oportunas ferramentas de modelagem matemática de propagação dos poluentes visando auxiliar os gestores do abastecimento público nas tomadas de decisão

Neste contexto, este trabalho busca simular a propagação da pluma de rejeitos proveniente do rompimento da barragem B1 da mina Córrego do feijão no Rio Paraopeba até as UHs Três Marias e Retiro Baixo, através do modelo de qualidade de água SIAQUA-IPH (FAN *et al.*, 2015).

1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, anaflaviabc@yahoo.com.br

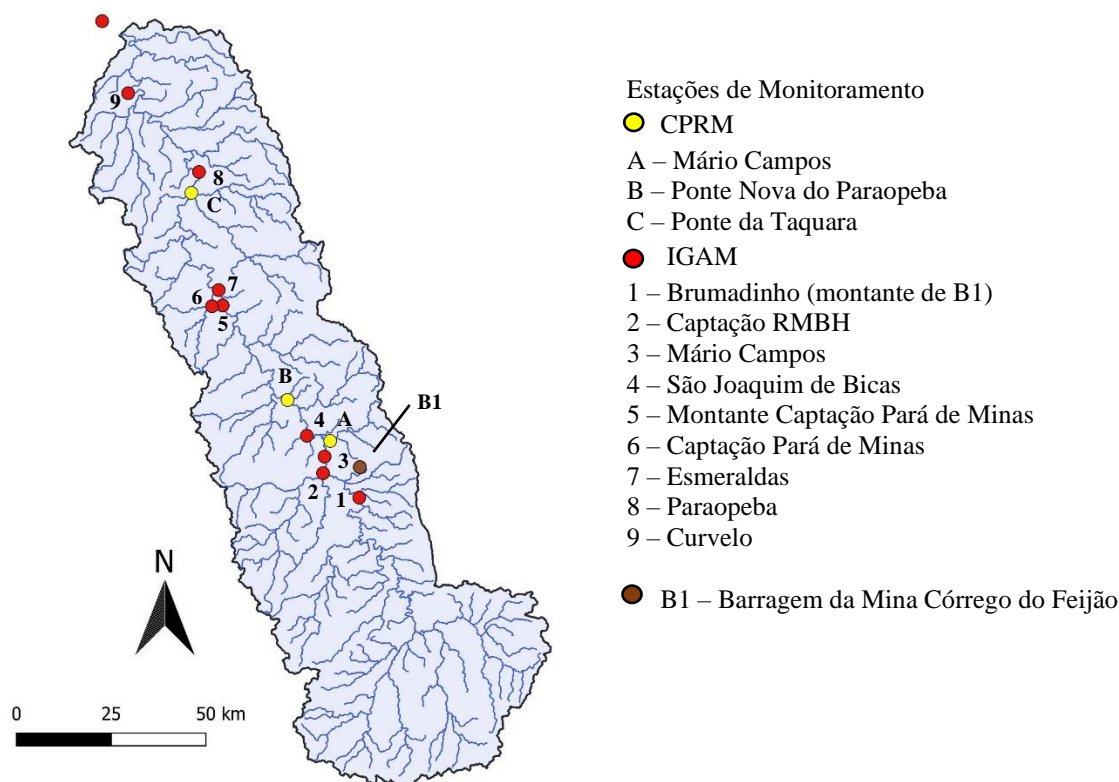
2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, fernando.fan@ufrgs.br

2. METODOLOGIA

1.1. Área da bacia

A Figura 1 apresenta a bacia hidrográfica do Rio Paraopeba. Esta bacia fica próxima a região metropolitana de Belo Horizonte e seus principais usos estão relacionados a geração de energia, abastecimento público e industrial (CPRM, 2019). Cerca de 48 municípios estão inseridos nesta bacia, contabilizando assim mais de 1,3 milhões de habitantes, em uma área de 13.640 km² (SALLES e SALIBA, 2020). Alguns municípios, como Pará de Minas com 92 mil habitantes, utilizam as águas do Rio Paraopeba para abastecimento público de seus habitantes. Na Figura 1 também se observa a localização das estações de monitoramento que realizaram a coleta de dados da propagação da pluma de rejeitos provenientes do rompimento da Barragem B1 até a foz do Rio Paraopeba nas represas de Três Marias e Retiro Baixo, cerca de 306 km do local do rompimento. O monitoramento diário, até março de 2019, foi realizado pela CPRM em parceria com a ANA (CPRM, 2019) e também pelo IGAM em parceria com a COPASA (IGAM, 2019).

Figura 1 – Área da bacia do Rio Paraopeba

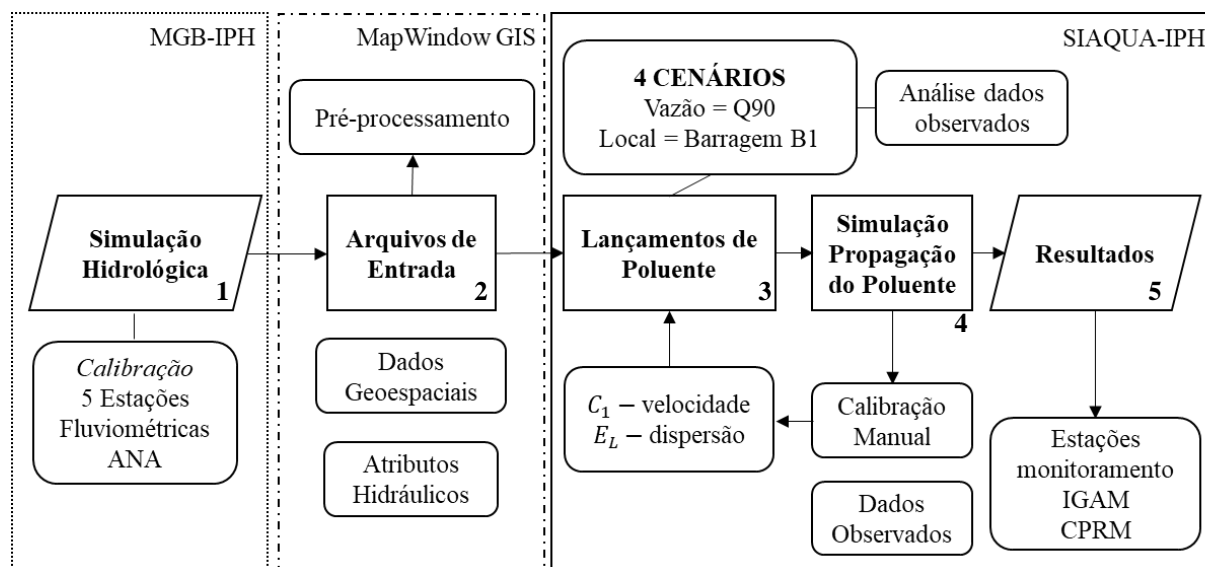


1.2. Simulação do transporte de rejeitos no Rio Paraopeba

Para simular os impactos na qualidade da água do Rio Paraopeba, após o desastre de Brumadinho elegeu-se trabalhar com o modelo de qualidade de água SIAQUA-IPH (FAN *et al.*, 2015). O SIAQUA-IPH, assim denominado por ser um acrônimo para Simulador Analítico de Qualidade de Água, foi desenvolvido por Fan *et al.* (2015) no Instituto de pesquisas Hidráulicas da UFRGS (IPH). Estudos sobre a sua aplicabilidade (QUINTELA & FAN, 2017; COSTA, FAN & GRESSLER, 2020; COSTA, FAN & OLIVEIRA, 2020) têm se mostrado interessantes em um contexto de escassez de dados e modelagem de grandes escalas.

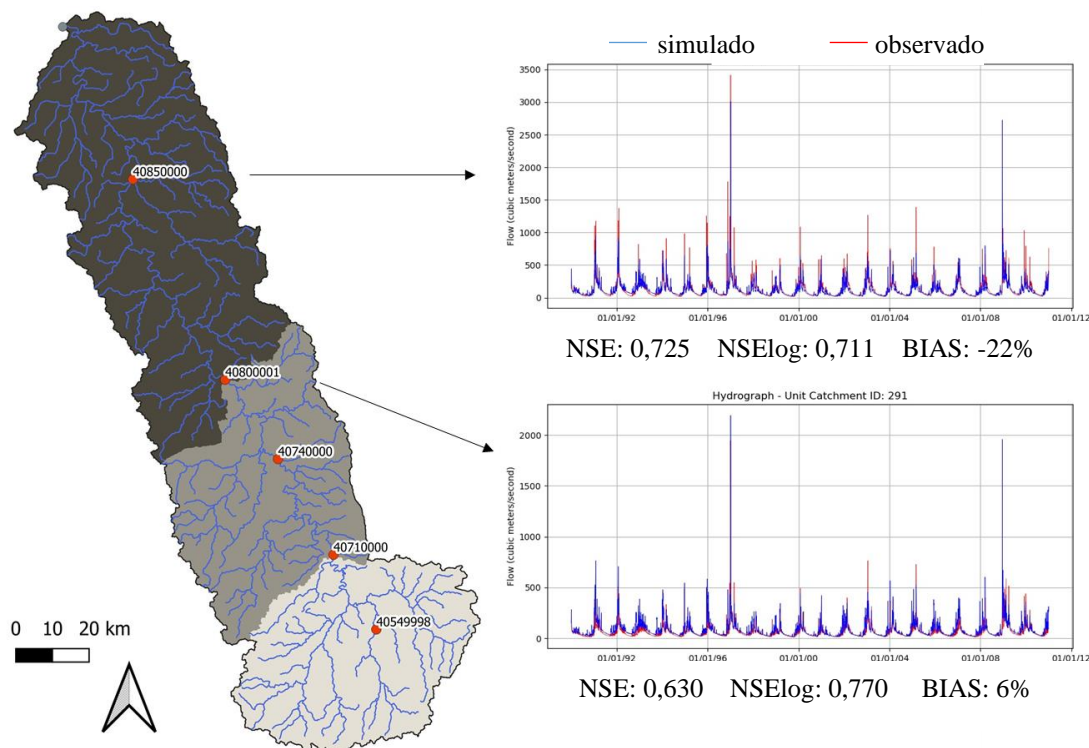
Assim, a Figura 2 apresenta o fluxograma da metodologia empregada na simulação do presente trabalho, dividida em cinco grandes etapas.

Figura 2 – Simulação do transporte de rejeitos no Rio Paraopeba no modelo SIAQUA-IPH



Na primeira etapa da metodologia, foi realizada a simulação hidrológica no modelo MGB-IPH. Das cinco estações fluviométricas de monitoramento da ANA presentes na bacia, apenas as duas mais próximas da foz foram utilizadas na calibração do modelo hidrológico. A Figura 3 apresenta as 3 sub-bacias para as quais foi realizada a calibração da simulação hidrológica no Rio Paraopeba, bem como a localização das estações fluviométricas e os hidrogramas das estações de jusante com o resultado das métricas de desempenho para estes trechos de rio.

Figura 3 - Simulação hidrológica na bacia do Rio Paraopeba

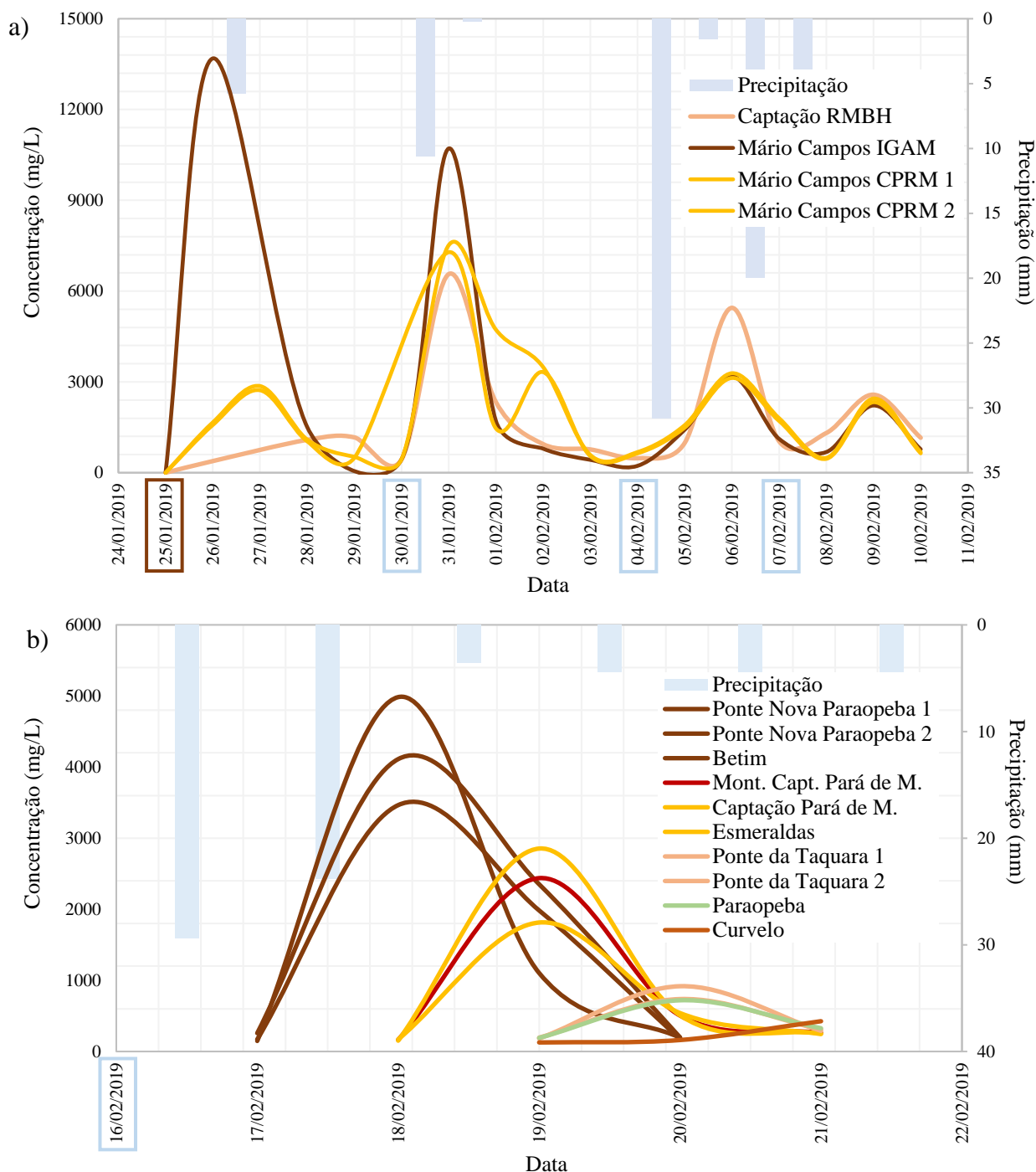


As estações de montante, mesmo com as variações de parâmetros específicos, possuíam um escoamento de base mais elevado do que o modelo conseguiu simular. Suspeita-se assim, de uma contribuição de água subterrânea de outra(s) bacia(s).

Na segunda etapa do processo, foram gerados e pré-processados os arquivos de entrada do modelo SIAQUA-IPH no software *MapWindow*. Cabe ressaltar que o SIAQUA-IPH é um plugin dentro deste software de informação geográfica.

Antes de iniciar a simulação, com o lançamento do poluente, na terceira etapa da metodologia, foram elaborados quatro cenários de simulação, através da análise dos dados observados. As Figura 4 a) e b) apresenta a propagação dos sedimentos em suspensão nas estações de monitoramento indicadas na Figura 1.

Figura 4 - Propagação dos rejeitos após o rompimento da Barragem B1 a) 24/01 até 11/02; b) 16/02 até 22/02



A Figura 4 a) apresenta as curvas de concentração dos sedimentos em suspensão para as duas estações de monitoramento mais próximas da barragem B1 entre o dia 25/01 e o dia 11/02. Cabe

ressaltar que nas estações da CPRM (Mário Campos, Ponte Nova Paraopeba e Ponte da Taquara), em cada coleta realizaram-se duas medições.

Nota-se a presença de quatro picos de concentração do poluente. O primeiro pulso está relacionado ao rompimento da barragem no dia 25 de janeiro, já os outros pulsos estão relacionados à eventos de chuva que ocorreram nos dias 30/jan, 4/fev e 7/fev. Estes eventos de precipitação potencialmente causaram a remobilização dos rejeitos decantados anteriormente. Na Figura 4 a) e na Figura 4 b), também é apresentada a precipitação em uma das estações pluviométricas da bacia.

A Figura 4 b) apresenta as curvas de concentração dos sedimentos em suspensão para as estações mais distantes da barragem B1, onde só é possível verificar aumento significativo da concentração de sedimentos em suspensão após o dia 16/fev, também a partir de eventos de precipitações que possivelmente desencadearam efeitos de ressuspensão dos rejeitos.

A partir dessa análise foram determinados quatro cenários de simulação, com quatro lançamentos de poluentes a partir dos eventos de precipitação relatados. A Tabela 1 apresenta o resumo e as características dos lançamentos de poluentes realizados. Vale ressaltar que no cenário 3, foram realizados 2 lançamentos, sendo o segundo, realizado 72 horas depois do primeiro. A vazão definida para todas as simulações foi a Q90.

Tabela 1 - Cenários simulados no Rio Paraopeba

Cenário	Evento	Data	Tempo Simulação [h]	Massa [kg]	K [1/d]
1	Rompimento Barragem	25/01/2019	120	99630000	0.5
2	Precipitação	30/01/2019	96	81180000	0.4
3	Precipitação	04/02/2019	144	36900000	0.4
		07/02/2019		22140000 (72h)	
4	Precipitação	16/02/2019	120	81180000	0.8

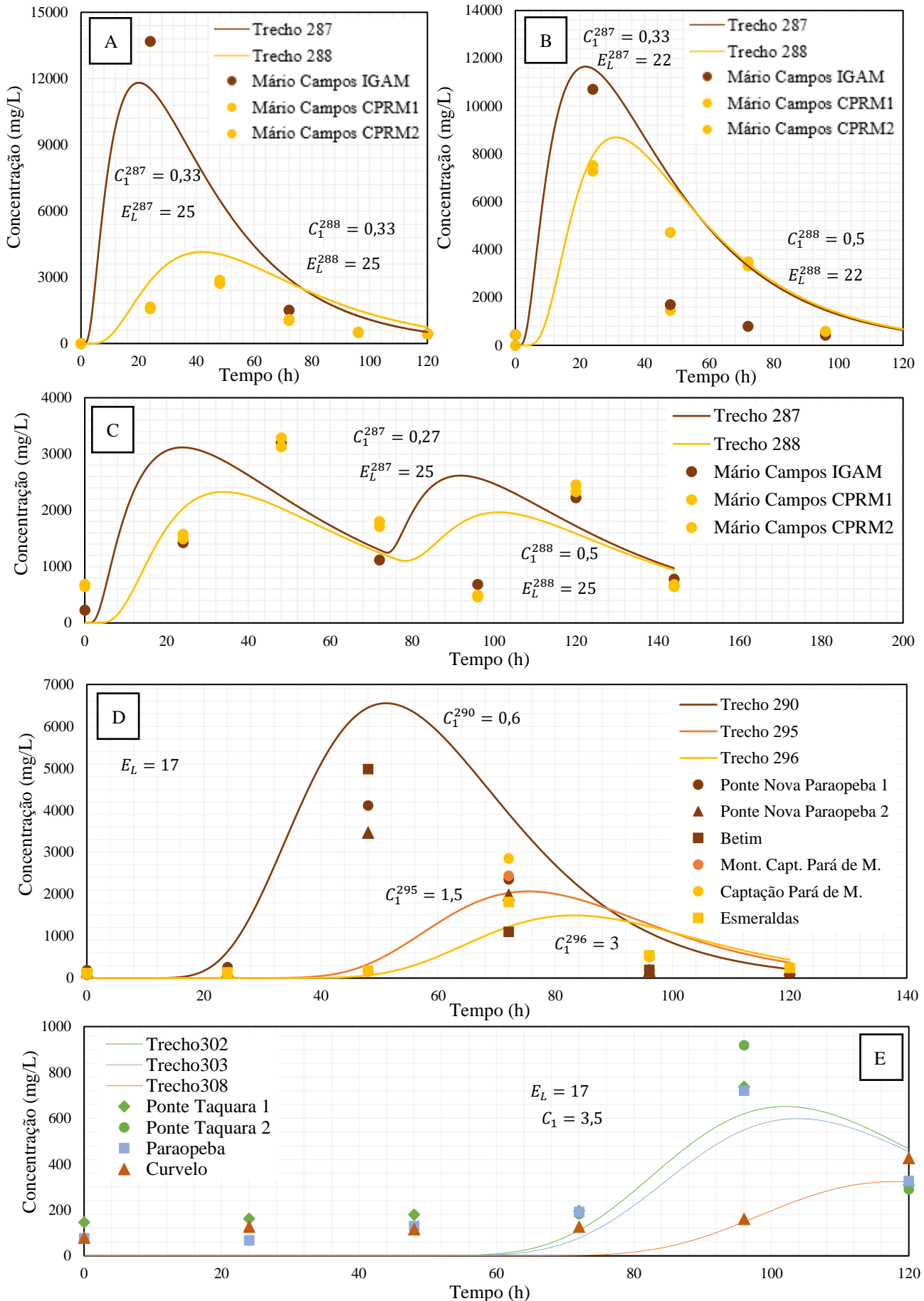
Após a definição dos cenários, na quarta etapa da metodologia, foram realizadas as quatro simulações, calibradas variando-se os coeficientes C_1 , multiplicador das velocidades do escoamento; e, C_2 , multiplicador do coeficiente de dispersão longitudinal.

Finalmente, na quinta e última etapa, as curvas simuladas foram comparadas com os dados observados das estações correspondentes.

RESULTADOS

A Figura 5 apresenta os polutogramas de concentração pelo tempo de passagem da pluma, para todo os cenários (Tabela 1) simulados no modelo SIAQUA-IPH para o evento no Rio Paraopeba em 2019. A Figura 5 **A** e a Figura 5 **B** apresentam, para os cenários 1 e 2, os dados observados para as estações Mário Campos do IGAM e Mário Campos da CPRM e os polutogramas dos trechos de rio correspondentes à estas estações. A Figura 5 **C** apresenta para o cenário 3, os mencionados polutogramas e dados observados, porém, cabe ressaltar que nesse cenário têm-se 2 lançamentos de poluentes, causando assim, polutogramas com dois picos de concentração. Já a Figura 5 **D**, apresenta os polutogramas simulados para o cenário 4, com os três trechos mais à montante do rio que correspondem a localização das cinco primeiras estações analisadas. Enquanto que a Figura 5 **E**, apresenta os trechos de rio, que correspondem a localização das três estações mais próximas da foz analisadas. As figuras também indicam o coeficiente utilizado na calibração manual do modelo, C_1 , corretor de velocidades e o coeficiente de dispersão longitudinal E_L .

Figura 5 – Polutogramas simulados x Dados observados A) cenário 1; B) cenário 2; C) cenário 3; D) e E) cenário 4.



A Tabela 2 apresenta algumas métricas que foram utilizadas para melhor compreensão dos resultados.

Tabela 2 – Métricas de desempenho

Cenário	Estações	Diferença absoluta erro de pico (h)	Erro tempo de pico	Erro de tempo de pico em relação ao total da simulação	Diferença absoluta erro concentração (mg/L)	Erro concentração
1	Mário Campos IGAM	3,9	16%	3%	1879	14%
	Mário Campos CPRM	6	13%	5%	1349	-48%
2	Mário Campos IGAM	2,3	10%	2%	940	-9%
	Mário Campos CPRM	7	-30%	-7%	1295	-17%
3	Mário Campos IGAM (picos 1 e 2)	24,1	50%	17%	76	2%
		28,1	23%	20%	394	-18%
	Mário Campos CPRM (picos 1 e 2)	14	30%	10%	319	10%
		19	16%	13%	45	-2%
4	Ponte Nova do Paraopeba Betim	3	-6%	-3%	2365	-56%
	Mont. Capt. Pará de M.	3,4	-5%	-3%	372	15%
	Captação Pará de M. Esmeraldas	11	-15%	-9%	841	36%
	Ponte da Taquara	6	-6%	-5%	176	21%
	Paraopeba	7,8	13%	-7%	122	17%
	Curvelo	2	2%	2%	102	24%

Os cenários 1 e 2 apresentaram resultados semelhantes, com erros de tempo de pico em relação ao total da simulação pequenos, abaixo de 10%; erros relativos de tempo de pico um pouco mais significativos, chegando até os 30%; e erros de concentração abaixo dos 20%, com exceção de apenas um valor.

No cenário 3, onde tem-se a presença de dois picos de concentração, observa-se uma simulação relativamente adequada, com erros de pico em relação ao total e também erros de concentração de pico menores que 20%.

Para o cenário 4, tem-se uma adequação dos tempos de picos que em relação ao total da simulação apresentam apenas 10% de erro e no máximo 15%, relativamente. Já os erros de concentração para o quarto evento, são bastante variáveis, atingindo de 15 a 56%.

Em uma análise global, a simulação conseguiu representar de forma adequada os picos de passagem da pluma de rejeitos da barragem B1, onde os erros de pico em relação aos tempos totais de simulação, não ultrapassaram 20%. E até mesmos as concentrações de pico, parâmetro bastante sensível, foram menores que 20% na maioria das estações.

CONCLUSÕES

A propagação das plumas de rejeitos no Rio Paraopeba foram simuladas no modelo de qualidade de água SIAQUA-IPH. Observaram-se vários picos de concentração de sedimentos em suspensão nos dias posteriores ao rompimento da barragem, potencialmente causados por eventos de chuva que remobilizaram os sedimentos no leito do rio. Assim, foram elaborados quatro cenários de

simulação, onde o evento do rompimento e os eventos de chuva representaram novos lançamentos no Rio Paraopeba. Após a realização das simulações e análise dos resultados, inferiu-se que o modelo conseguiu representar de forma adequada a propagação das plumas conforme os dados observados que foram medidos em estações da CPRM e do IGAM. Os erros de tempo de pico em relação ao tempo total de simulação foram de no máximo 20% nas estações de todos os cenários. Os erros de concentração de pico, parâmetro bastante sensível, foram também relativamente baixos, sendo menores que 20% na maioria das estações. Estes resultados, reafirmam os modelos matemáticos de qualidade de água como ferramentas importantes no auxílio dos gestores do abastecimento público nas tomadas de decisão após eventos de contaminação das águas.

REFERÊNCIAS

COSTA, A. F. B.; FAN, F. M.; GRESSLER, M. (2020). “*Modelagem da carga sedimentar no Rio dos Sinos, após desastres hidrossedimentológicos em 2017: Rolante, RS, Brasil*”. Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos (14.: 2020: Campinas). [Anais]. [Porto Alegre: ABRHidro, 2020].

COSTA, A. F. B.; FAN, F. M.; FAGUNDES, H. D. O. (2021). “*Simulação da qualidade de água do Rio Doce após o desastre de Mariana, MG*”. Encontro Nacional de Desastres (2.: 2020: Porto Alegre, RS, etc.). [Anais]. [Porto Alegre: ABRHidro, 2021].

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. (2019). “*Informativo diário dos parâmetros de qualidade das águas nos locais monitorados ao longo do Rio Paraopeba, após o desastre na barragem B1 no complexo da Mina Córrego Feijão da Mineradora Vale/SA de Brumadinho-Minas Gerais*”.

FAN, F. M.; FLEISCHMANN, A. S.; COLLISCHONN, W.; RIGO, D. (2015). “*Large-scale analytical water quality model coupled with GIS for simulation of point sourced pollutant discharges*”. Environmental Modelling and Software, v. 64, p. 58–71.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. (2019). “*Informativo dos parâmetros de qualidade da água - Rio Paraopeba - após desastre na barragem B1-Brumadinho/MG*”.

QUINTELA, R. S.; FAN, F. M. (2017). “*Estudo de aplicação preliminar do modelo SIAQUA-IPH para dispersão longitudinal de sedimentos em rios resultantes de rompimentos de barragens de rejeitos*”. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (22.: Florianópolis, 2017). Anais [recurso eletrônico]. [Porto Alegre: ABRH, 2017].

ROBERTSON, P. K.; DE MELO, L.; WILLIAMS, D. J.; WARD WILSON, G. (2019). “*Report of the expert panel on the technical causes of the failure of Feijão Dam I*”. Prepared for Vale Ltd, v. 12.

ROTTA, L. H. S.; ALCANTARA, E.; PARK, E.; NEGRI, R. G.; LIN, Y. N.; BERNARDO, N.; SOUZA FILHO, C. R. (2020). “*The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: Possible cause and impacts of the worst human and environmental disaster in Brazil*”. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 90, p. 102119.

SALLES, T.A.C; SALIBA, A.P.M. (2020). “*Modelagem Do Transporte de Sedimentos Em Suspensão No Rio Paraopeba, Após Ruptura Da Barragem B1 Da Mina Córrego Do Feijão*” (Monografia Curso Engenharia Civil, UFMG). UFMG.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho recebeu o apoio financeiro parcial da CAPES – Brasil. A primeira autora também gostaria de agradecer ao CNPq pela bolsa de estudos concedida e a UFRGS pelo apoio recebido.