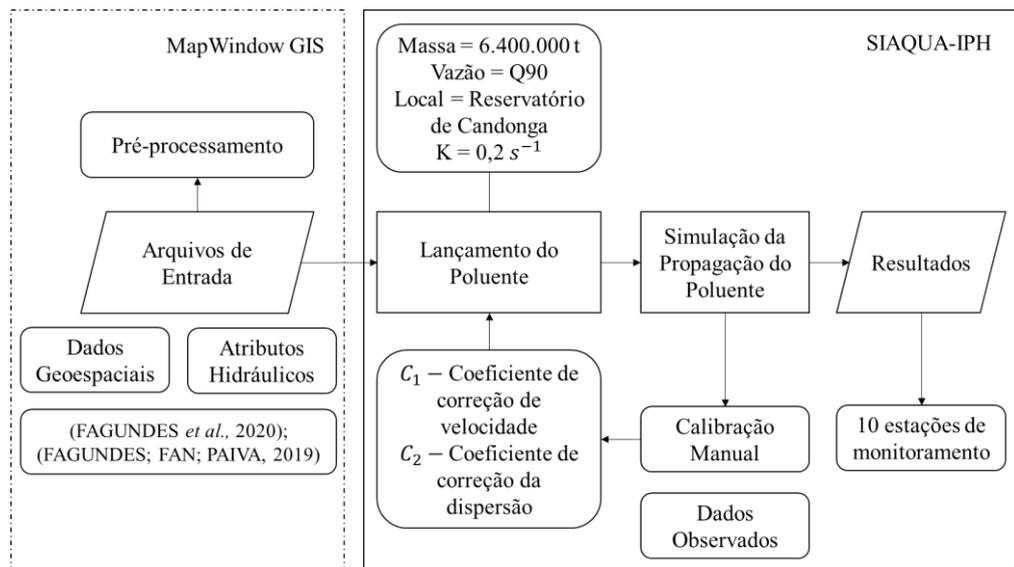


Figura 2 - Fluxograma da metodologia aplicada na simulação



Na primeira etapa, foram adquiridos os dados geoespaciais da bacia do rio Doce e os atributos hidráulicos gerados por simulações hidrológicas realizadas com o modelo MGB (FAGUNDES *et al.*, 2020; FAGUNDES; FAN; PAIVA, 2019). Os dados geoespaciais da bacia, contando com 1173 trechos de rio na rede de drenagem da bacia, foram pré-processados no software *MapWindowGIS*. Através das simulações diárias de vazões foram calculadas as vazões de referência Q10, Q30, Q50, Q70 e Q90, além de suas respectivas velocidades, segundo a área de cada trecho de rio.

A segunda etapa consistiu na aplicação do modelo de qualidade de água SIAQUA-IPH (FAN *et al.*, 2013) através dos dados de entrada preparados na etapa anterior. O SIAQUA-IPH é um plugin acoplado ao *MapWindowGIS*, que utiliza a solução analítica da equação de advecção dispersão (CHAPRA, 1997) no cálculo da propagação de poluentes para lançamentos acidentais e instantâneos. O lançamento de poluentes no modelo foi realizado no trecho de rio correspondente ao reservatório de Candonga, distante cerca de 120 km da barragem de Fundão (Figura 1). Essa consideração foi motivada pelo fato de que mais de noventa por cento dos rejeitos ficaram depositados nas planícies à montante do reservatório (Samarco, 2016), através de um processo complexo de deposição, o qual não é simulado pelo modelo SIAQUA-IPH. Utilizou-se a vazão de referência Q90 constante para todo o intervalo de tempo da simulação.

Após a inserção do poluente, iniciou-se o processo iterativo de simulação da propagação dos rejeitos pela bacia e calibração manual através da comparação com os dados observados de estações de monitoramento de qualidade de água (Figura 1) com dados de concentração dos rejeitos ao longo do tempo (CPRM; ANA; 2015; CPRM; ANA; 2016). Foram variados, nos trechos à montante de cada estação, os coeficientes C_1 , multiplicador das velocidades do escoamento; e, C_2 , multiplicador do coeficiente de dispersão longitudinal, variável da equação de propagação de advecção dispersão.

RESULTADOS

A Figura 3 apresenta os polutogramas de concentração pelo tempo de passagem da pluma, para cada trecho de rio correspondente a uma estação de monitoramento; bem como indica os dados observados para cada respectiva estação. Também apresenta os coeficientes utilizados na calibração manual do modelo, C_1 e C_2 , para cada estação. A Tabela 1 apresenta algumas métricas que foram utilizadas para melhor compreensão dos resultados.

Com relação ao horário de pico dos polutogramas, os erros – em relação ao tempo total de simulação de 380 horas – foram de no máximo 4%. Já com respeito à concentração do poluente, as simulações acompanharam as curvas dos dados observados, principalmente nas primeiras estações onde a tendência fica mais clara.

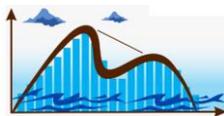


Figura 3 – Polutogramas - Concentração (10^4 mg/l) x Tempo (h) e dados observados: a) Estações 1 e 2; b) Estações 3, 4 e 5; c) Estações 6 e 7; d) Estações 8, 9, 10

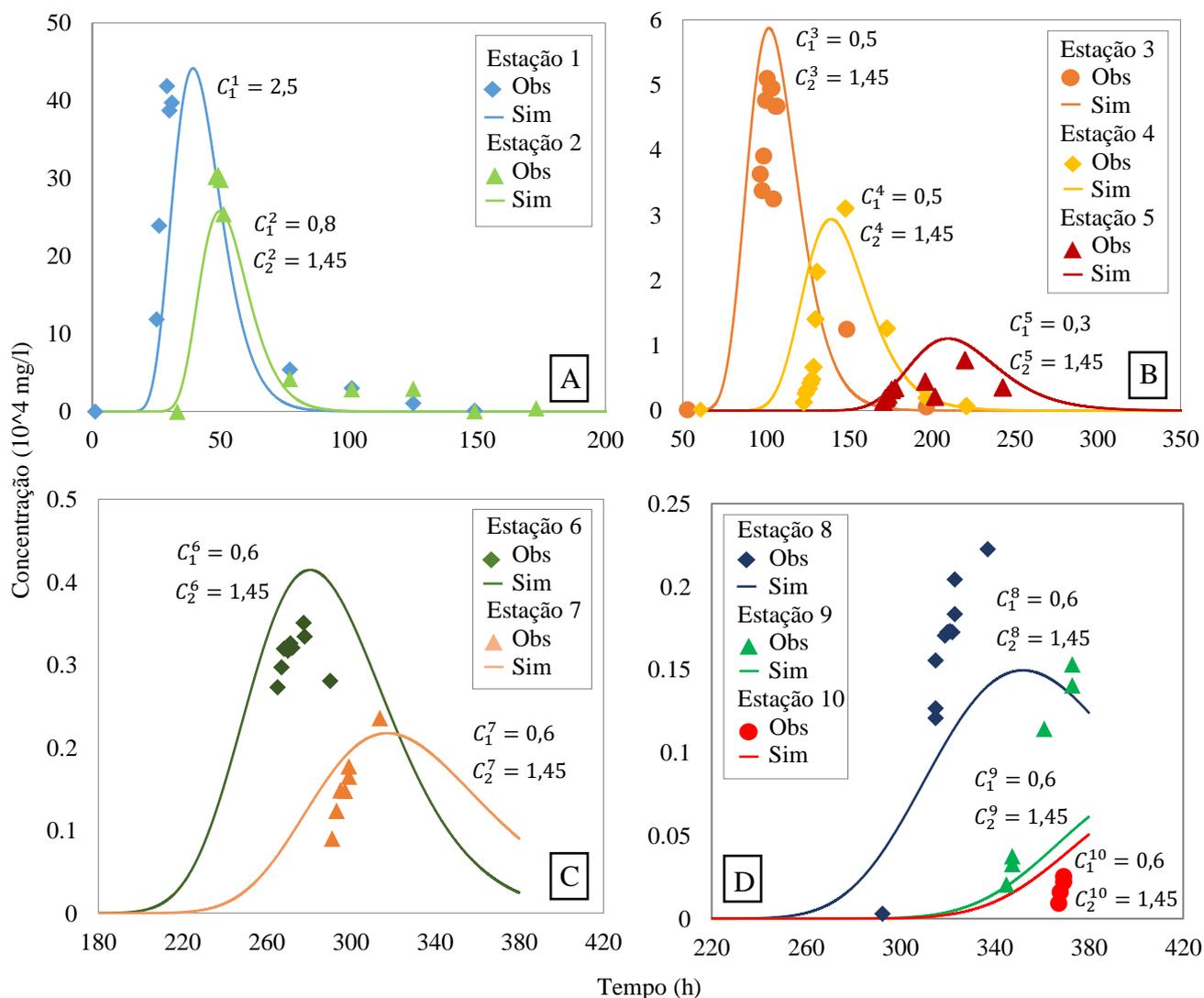
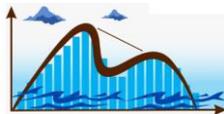


Tabela 1 – Métricas de desempenho da simulação

Estações	Diferença absoluta do tempo de pico (h)	Erro tempo de pico (%)	Erro tempo de pico em relação ao tempo total da simulação (%)	Diferença absoluta de concentração (mg/l)	Erro concentração de pico (%)
1 Cachoeira dos Óculos	-10	-35	3	22596	5
2 Belo Oriente	-1	-2	0	-46887	-15
3 Governador Valadares	-1	-1	0	7799	15
4 Tumiritinga	9	6	2	-1665	-5
5 Resplendor	10	5	3	3352	43
6 Baixo Guandu	-3	-1	1	637	18
7 Jusante Mascarenhas	-4	-1	1	-185	-8
8 Colatina	-15	-4	4	-730	-33
9 Linhares	-7	-2	2	-916	-60
10 Povoação	-10	-3	3	255	101



Os erros percentuais nas concentrações de pico foram menores que 20% na maioria das estações, com exceção das estações mais próximas da foz, onde a concentração observada de pico era até 1500 vezes menor que a concentração observada na primeira estação, tornando assim, os resultados referentes a concentrações muito mais sensíveis a variações.

Nota-se como tendência, que os polutogramas das primeiras estações, representam melhor os dados observados, em relação as estações mais próximas a foz. Esta diferença fica clara, principalmente na comparação entre a Figura 3 A e a Figura 3 D. Essa tendência pode ser explicada pelo acúmulo de incertezas, como por exemplo a presença de grandes reservatórios ao longo do leito.

CONCLUSÕES

A simulação apresentou a propagação dos rejeitos de Fundão - com resultados próximos dos observados - pelo rio Doce, corroborando o fato de que modelos matemáticos em escala de bacia hidrográfica podem ser aliados dos gestores dos recursos hídricos na tomada de decisão após eventos de contaminação das águas mesmo com mínima disponibilidade de dados. Assim, estes resultados demonstram que modelos como o SIAQUA-IPH possuem potencial para serem empregados em sistemas de alerta de contaminação.

REFERÊNCIAS

- ANA (2016). “*Encarte especial sobre a bacia do Rio Doce—Rompimento da barragem em Mariana/MG*”. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil—Informe 2015, 50. Brasília, Brazil: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. 50 p.
- CHAPRA, S. C. (1997). “*Surface Water-Quality Modeling*”. McGraw-Hill International Edition, New York, 844.
- CPRM; ANA (2015). “*Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce. Acompanhamento da onda de cheia. Primeira Campanha de Campo*”. Belo Horizonte, Brasil: Serviço Geológico do Brasil—Agência Nacional de Águas, 33 p.
- CPRM; ANA (2016). “*Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce. Monitoramento Simultâneo ao longo de 15 dias. Terceira Campanha de Campo*”. Belo Horizonte, Brasil: Serviço Geológico do Brasil—Agência Nacional de Águas.
- FAGUNDES, H. O.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D. (2019). “*Automatic calibration of a large-scale sediment model using suspended sediment concentration, water quality, and remote sensing data*”. RBRH, v. 24.
- FAGUNDES, H. D. O.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D.; SIQUEIRA, V. A.; BUARQUE, D. C.; KORNOWSKI, L. W.; COLLISCHONN, W. (2020). “*Sediment flows in South America supported by daily hydrologic-hydrodynamic modeling*”. Earth and Space Science Open Archive, p. 58.
- FAN, F. M.; COLLISCHONN, W.; RIGO, D. (2013). “*Modelo analítico de qualidade da água acoplado com Sistema de Informação Geográfica para simulação de lançamentos com duração variada*”. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 18, n. 4, p. 359-370,
- IBAMA (2015). “*Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais*”. 38 p.
- SAMARCO (2016). “*Atualização do Plano de Recuperação Ambiental Integrado*”. 139 p.

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.