

CIEA

Congresso Internacional de Engenharia Ambiental
&

10ª REA

Reunião de Estudos Ambientais

ANAIS

Artigos Completos

- VOLUME 2 -

**Bacias Hidrográficas e
Gestão de Recursos Naturais**



Organizadores

Cristiano Poletto

Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves

Guilherme Fernandes Marques

José Gilberto Dalfré Filho

**ANAIS do Congresso Internacional de
Engenharia Ambiental & 10ª Reunião de
Estudos Ambientais
Artigos Completos**

- VOLUME 2 -

**Bacias Hidrográficas e
Gestão de Recursos Naturais**



Gráfica & Editora

Toledo – PR

2020

Copyright © 2020, by Editora GFM.

Direitos Reservados em 2020 por **Editora GFM.**

Editoração: Cristiano Poletto

Organização Geral da Obra: Cristiano Poletto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Guilherme Fernandes Marques; José Gilberto Dalfré Filho

Diagramação: Juliane Fagotti

Revisão Geral: Espaço Histórico e Ambiental

Capa: Eventos Consulting Design Informática

CIP-Brasil. Catalogação na Fonte

Cristiano Poletto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Guilherme Fernandes Marques; José Gilberto Dalfré Filho (Organizadores)

ANAIS do Congresso Internacional de Engenharia Ambiental & 10ª Reunião de Estudos Ambientais – Artigos Completos – Volume 2 – Bacias Hidrográficas e Gestão de Recursos Naturais / Cristiano Poletto; Julio Cesar de Souza Inácio Gonçalves; Guilherme Fernandes Marques; José Gilberto Dalfré Filho (Organizadores) – Porto Alegre, RS: Editora GFM, 2020.

609p.: il.;

ISBN 978-65-87570-07-5

CDU 502.3/.7

É AUTORIZADA a livre reprodução, total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização por escrito da Editora ou dos Organizadores.



COMPARAÇÃO DE ABORDAGEM UNIDIMENSIONAL E BIDIMENSIONAL PARA A MODELAGEM DE VAZÕES E NÍVEIS NO RIO DOCE USANDO O MODELO DELFT3D

| ID 15830 |

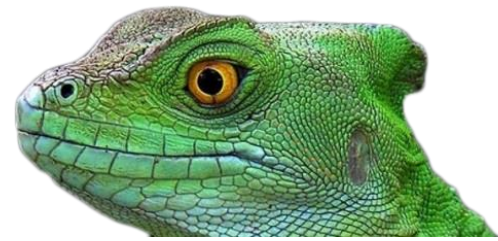
¹Thainá Lessa Cavalcante, ²Fernando Mainardi Fan

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: thaina_lessa@hotmail.com; ²Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: fernando.fan@ufrgs.br

| RESUMO |

Para auxiliar na compreensão do efeito de eventos hidrodinâmicos são necessárias ferramentas que permitam potencializar a utilização dos dados de monitoramento. Com esse objetivo, tem-se desenvolvido modelos numéricos efetivos e eficientes para a compreensão de escoamentos em canais, em planícies de inundação, para a previsão de inundações em áreas urbanas e demais efeitos associados ao escoamento livre. Esses modelos vêm ganhando popularidade para solucionar uma variedade de problemas de mecânica dos fluidos e ambientais. Com diferentes graus de complexidade e processos representados, esses modelos podem ser unidimensionais, bidimensionais ou tridimensionais, fornecendo diferentes respostas de acordo com sua particularidade. Com essas diferentes concepções de modelos, surge-se o questionamento quanto a possibilidade de se na representação de um rio, um modelo originalmente desenvolvido para aplicações bidimensionais pode ser simplificado para uma aplicação 1D apenas na longitudinal, levando em consideração que este é o sentido do fluxo predominante no escoamento. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é verificar a diferença obtida nos resultados gerados pelo uso do modelo Delft3D, a partir de uma abordagem unidimensional simplificada e uma abordagem bidimensional, mais tradicionalmente utilizada, para a simulação de vazões e níveis. O interesse é, portanto, identificar se é possível obter respostas semelhantes, ou não, a partir da aplicação de ambas as configurações do modelo quando consideradas as mesmas condições de contorno de montante e de jusante. Dessa forma, este trabalho apresenta uma comparação realizada entre os resultados obtidos pelas duas configurações do modelo para um trecho de rio de 100 km, localizado entre as estações fluviométricas da Agência Nacional das Águas (ANA) de Governador Valadares e Resplendor, no rio Doce, em Minas Gerais (Brasil). A análise verificou que as simulações de níveis são mais sensíveis à simplificação realizada pela abordagem unidimensional em relação às simulações de vazão. Ambas as abordagens forneceram hidrogramas bastante semelhantes, enquanto os níveis apresentaram variação em torno de 10 m, com superestimativa do modelo unidimensional em relação ao bidimensional.

Palavras-chave: Simulação hidrodinâmica; Delft3D.



| INTRODUÇÃO |

As cheias são fenômenos hidrológicos extremos que podem ser naturais, normalmente causados por elevadas precipitações, ou induzidos pela intervenção humana. Elas ocorrem quando há o extravasamento de um curso de água em relação à sua calha menor, inundando os terrenos próximos (CHOW, 1956), quando natural ocupando a planície de inundação (leito maior). Apesar de serem vistas como catástrofes, devido aos impactos sociais e econômicos causados quando atingem a vida dos seres humanos, essas ocorrências naturais são importantes na natureza. As cheias são ditas de intervenção humana quando são intensificadas ou atenuadas por ações humanas, ou ainda quando causadas por rupturas de estruturas de contenção, como barragens e diques. Normalmente a maioria dos impactos que acometem à população ocorrem devido à urbanização nas áreas de planície de inundação dos rios (TUCCI, 2007). Na natureza esses eventos são responsáveis pelo fornecimento de nutrientes para as planícies de inundação, a partir da deposição dos sedimentos carregados pelos cursos d'água que possuem substâncias agregadas, além de serem importantes modificadores da paisagem.

Para estudar a ocorrência e efeitos desses eventos é necessária a disponibilidade de informações referentes aos fenômenos, que nem sempre existem ou são de fácil acesso, nos locais e datas de ocorrência. Visando aumentar o número de informações disponíveis, com o avanço computacional e do sensoriamento remoto, os sensores remotos têm se tornado importantes ferramentas para aquisição de novos dados que auxiliem o estudo de vazões.

Para auxiliar na compreensão do efeito desses eventos são ainda necessárias ferramentas que permitam potencializar a utilização dos dados de monitoramento e obtidos por sensoriamento remoto. Com esse objetivo, tem-se desenvolvido modelos numéricos efetivos e eficientes para a compreensão de escoamentos em canais, em planícies de inundação, para a previsão de inundações em áreas urbanas e demais efeitos associados ao escoamento livre. Esses modelos vêm ganhando popularidade para solucionar uma variedade de problemas de mecânica dos fluidos e ambientais (LAI; WU, 2019), com diferentes graus de complexidade e processos representados.

O deslocamento de ondas de cheia e transporte de sedimentos ao longo de rios podem ser descritos por modelos com diferentes graus de complexidade e particularidades. Os métodos de propagação utilizados pelos modelos podem ser diversos, desde considerações simples de defasagem, que consideram apenas atrasos no tempo, até métodos de propagação unidimensionais (1D), bidimensionais (2D) ou tridimensionais (3D) complexos (MERRITT; LETCHER; JAKEMAN, 2003). Para resolver escoamentos de superfície livre e processos de transporte de sedimentos em



canal aberto (rios e reservatórios), modelos unidimensionais (1D) e bidimensionais (2D) têm sido bastante utilizados (LAI; WU, 2019).

Modelos unidimensionais são ferramentas mais simplificadas, que tratam o fluxo do escoamento como unidimensional ao longo da linha da calha do rio (TENG *et al.*, 2017). Os modelos 1D tradicionais são geralmente utilizados para simular o fluxo nos canais dos rios, mas costumam ser menos adequados para simular fenômenos como inundações significativas em áreas de planícies de inundação extensas, onde os fluxos podem ocorrer em mais de um sentido (ZHANG *et al.*, 2014). Já os modelos 2D são aqueles que representam o escoamento como um campo bidimensional (TENG *et al.*, 2017), normalmente integrado na vertical, que fornece informações espacialmente variadas sobre a profundidade da água e a elevação de leitos em rios, lagos e estuários, bem como a magnitude dos componentes de velocidade transversal e transversal de velocidade média.

Cada modelo é construído de acordo com a forma de representação do fluxo a ser realizada. No entanto, um questionamento que pode ser feito é quanto à possibilidade do uso de um modelo bidimensional em uma aplicação 1D apenas na longitudinal. Esse questionamento baseia-se no fato de que este é o sentido do fluxo predominante no escoamento, sendo interessante investigar e se existem limitações nesta abordagem para a representação de níveis e vazões. Esta simplificação teria como benefício uma representação mais eficiente e simplista do sistema, com um menor custo computacional.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como finalidade a realização de um teste que permita responder à questão levantada, a partir da aplicação do modelo Delft3D, que é um modelo amplamente aplicado em simulações bi e tridimensionais desenvolvido pela empresa holandesa Deltares (DELTARES, 2014). Portanto, objetivo do trabalho é verificar a diferença nos resultados gerados a partir do uso de uma abordagem unidimensional simplificada em relação à abordagem bidimensional mais tradicionalmente usada no modelo Delft3D para a simulação de vazões e níveis, tendo como estudo de caso o Rio Doce, em Minas Gerais, Brasil.

| MATERIAL E MÉTODOS |

Para execução do trabalho, foi escolhido um trecho de aproximadamente 100 km do rio Doce, localizado entre as estações fluviométricas de Governador Valadares (código 56850000 – Agência Nacional de Águas) e Resplendor (código 56338340 - ANA), no estado de Minas Gerais (Figura 1). Inserido na Bacia hidrográfica do Rio Doce, o trecho apresenta uma declividade média de 65 cm/km.

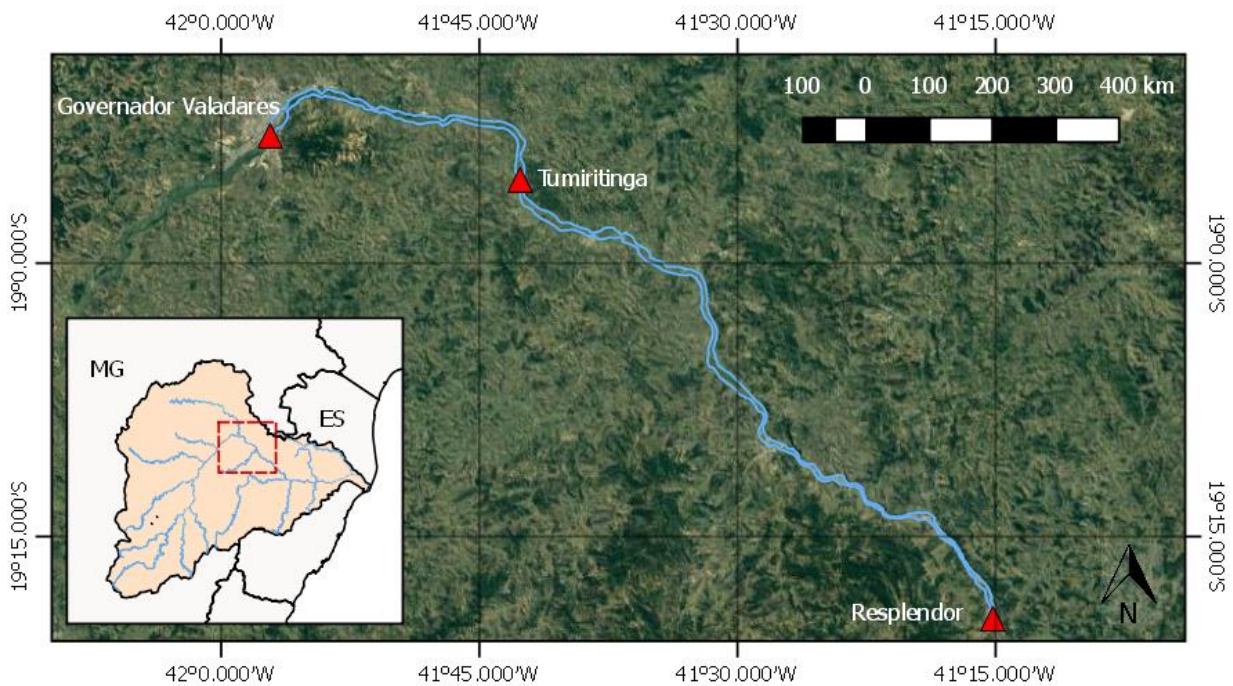
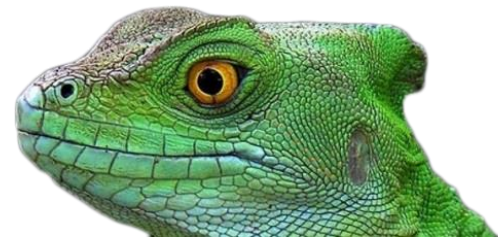


Figura 1: Área de estudo no rio Doce (destaque em azul)

Foi implementado na área de estudo o modelo Delft3D, desenvolvido pela empresa Deltares (DELTARES, 2014). Originalmente o modelo foi desenvolvido para aplicações bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D) de simulações hidrodinâmicas em regime não-permanente, a partir da resolução das equações de Navier-Stokes para um fluido incompressível pela consideração da aproximação de águas rasas de Boussinesq. O modelo permite ainda o cálculo de transporte de sedimentos, ondas e modelagem de qualidade da água.

Para atingir o objetivo do trabalho, foram consideradas duas configurações do modelo na região, uma abordagem 2D, usual do Delft3D, e uma configuração 1D, diferenciadas na concepção da grade numérica. Na aplicação considerada como 1D, a grade foi composta por apenas uma célula na transversal (Figura 2.a), de forma a representar as seções transversais como consideradas em modelos unidimensionais. Na aplicação 2D foi elaborada uma malha curvilínea constituída de 8 e 373 células nos sentidos transversal e longitudinal, respectivamente (Figura 2.b).

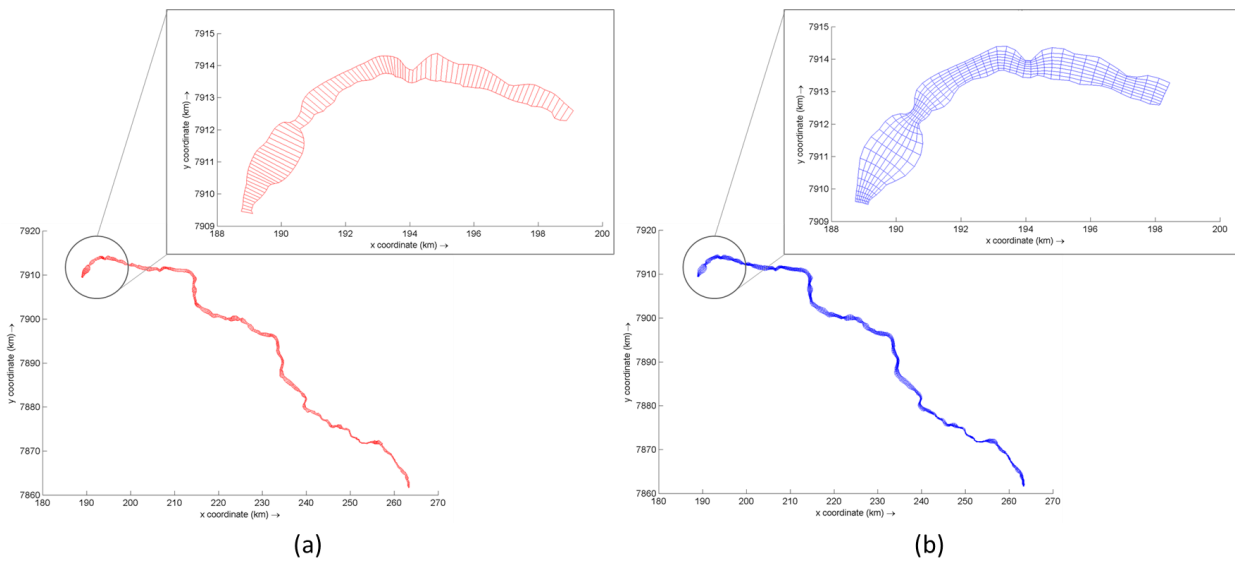
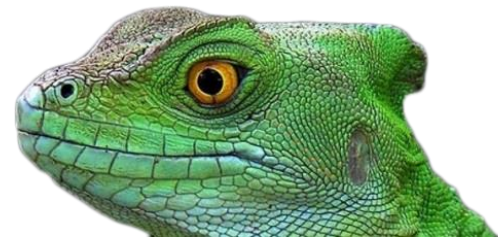


Figura 2: Grades elaboradas para a modelagem (a) 1D e (b) 2D

A concepção dos modelos 1D e 2D, portanto, passou pelas etapas de elaboração da grade numérica, interpolação da batimetria, definição das condições de contorno, iniciais e parâmetros. Ambas as simulações foram realizadas para o período de 01/01/2015 a 30/06/2015, utilizando como condição de contorno de montante (Governador Valadares) as vazões simuladas pelo modelo MGB-IPH para a região, extraídas do trabalho de Fagundes *et al.* (2019). Para a condição de jusante (Resplendor), utilizou-se o valor médio de nível da água observado para o período, obtido a partir dos dados do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR) para o reservatório de Aimorés, devido ao término do domínio computacional do modelo ser a área de remanso da barragem. Como condição inicial, adotou-se uma profundidade média de 5 m em todo o domínio da modelagem e um valor de 0,035 para o coeficiente de Manning. Por fim, neste trabalho foram comparadas as respostas obtidas pelas configurações estabelecidas em relação aos níveis e vazões estimados.

| RESULTADOS E DISCUSSÃO |

A partir dos dois modelos configurados foram obtidas as séries de vazões simuladas para o local das estações fluviométricas de Tumiritinga e de Resplendor (ver Figura 1). As Figuras 3 e 4 apresentam os hidrogramas simulados pelos modelos nesses dois locais, em vermelho sendo representada a série obtida pela configuração 1D e em azul pela versão 2D. Da análise das figuras, observa-se que as curvas simuladas por ambas as configurações apresentam boa concordância entre os resultados. Em Tumiritinga (Figura 3), distante cerca de 35 km do início do domínio modelado,



obteve-se uma diferença mais significativa nos primeiros 15 dias de simulação (metade de janeiro), em que o modelo 1D leva um pouco mais de tempo para aquecimento e estabilidade na simulação. Após esse período, as curvas seguem praticamente unidas, com pequena diferença de magnitude entre os resultados. Já na série de vazões de Resplendor (Figura 4), localizada no final da área modelada, também se observa um tempo de aquecimento do modelo 1D nos primeiros 15 dias, em que as vazões ficam praticamente nulas no começo da simulação. Após esse período, os hidrogramas têm o mesmo comportamento, representando os picos e vales, havendo um deslocamento para baixo na curva simulada pela configuração 1D. A maior diferença registrada foi da ordem de $200 \text{ m}^3/\text{s}$, no pico de vazão ocorrido em fevereiro, ainda no início da simulação.

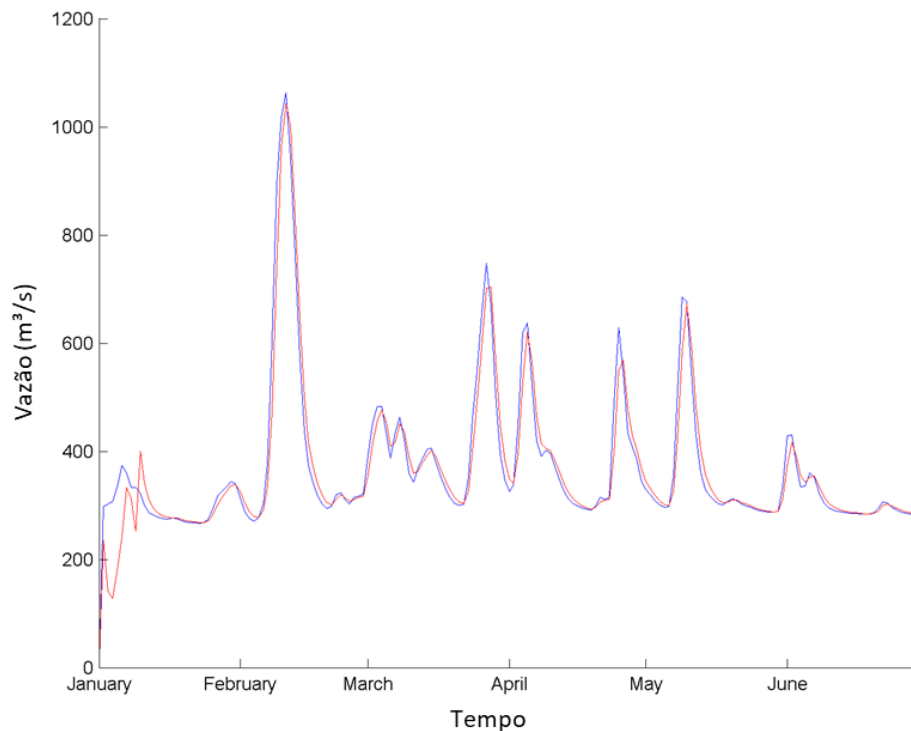


Figura 3: Vazões simuladas pelos modelos 1D (vermelho) e 2D (azul) – Tumiritinga

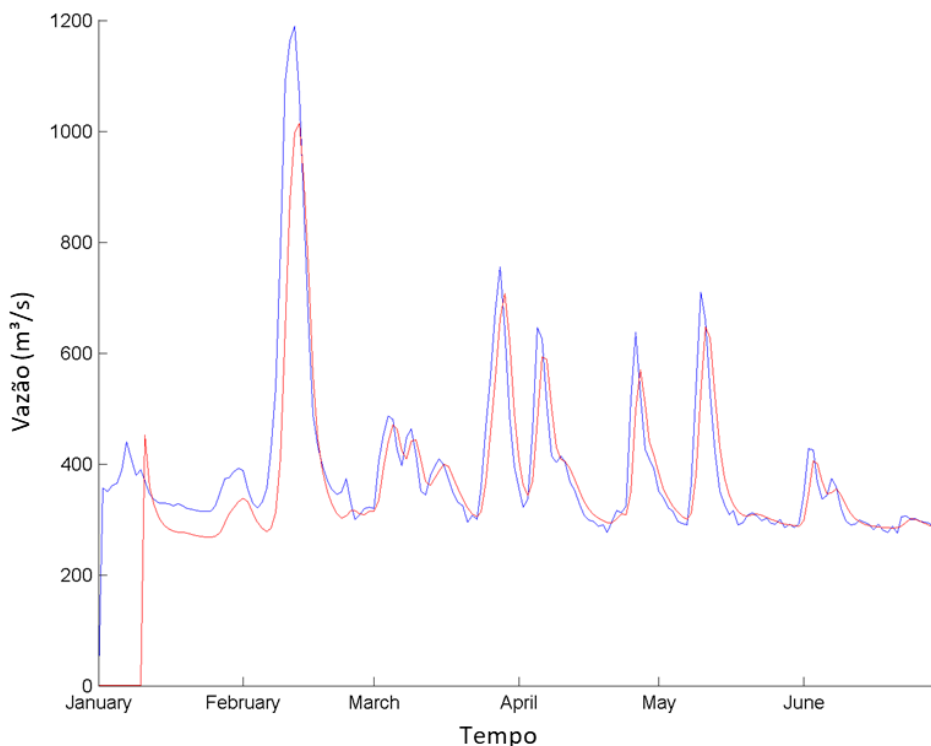


Figura 4: Vazões simuladas pelos modelos 1D (vermelho) e 2D (azul) – Resplendor

A título de ilustração, a Figura 5 mostra a comparação entre as duas modelagens (1D e 2D) e o modelo que é utilizado como condição de contorno de montante (MGB em laranja na figura) e as observações na estação fluviométrica de Tumiritinga (com viés removido em relação aos modelos; em verde na figura).

Apesar da similaridade nas respostas obtidas para as simulações de vazão, verifica-se que em relação aos níveis o mesmo não ocorre. Comparando as séries de níveis nos mesmos locais de vazão, observa-se um deslocamento de aproximadamente 12 m em Tumiritinga (Figura 6.a) e 10 m em Resplendor (Figura 6.b), em que o modelo unidimensional superestima os níveis em relação ao bidimensional.

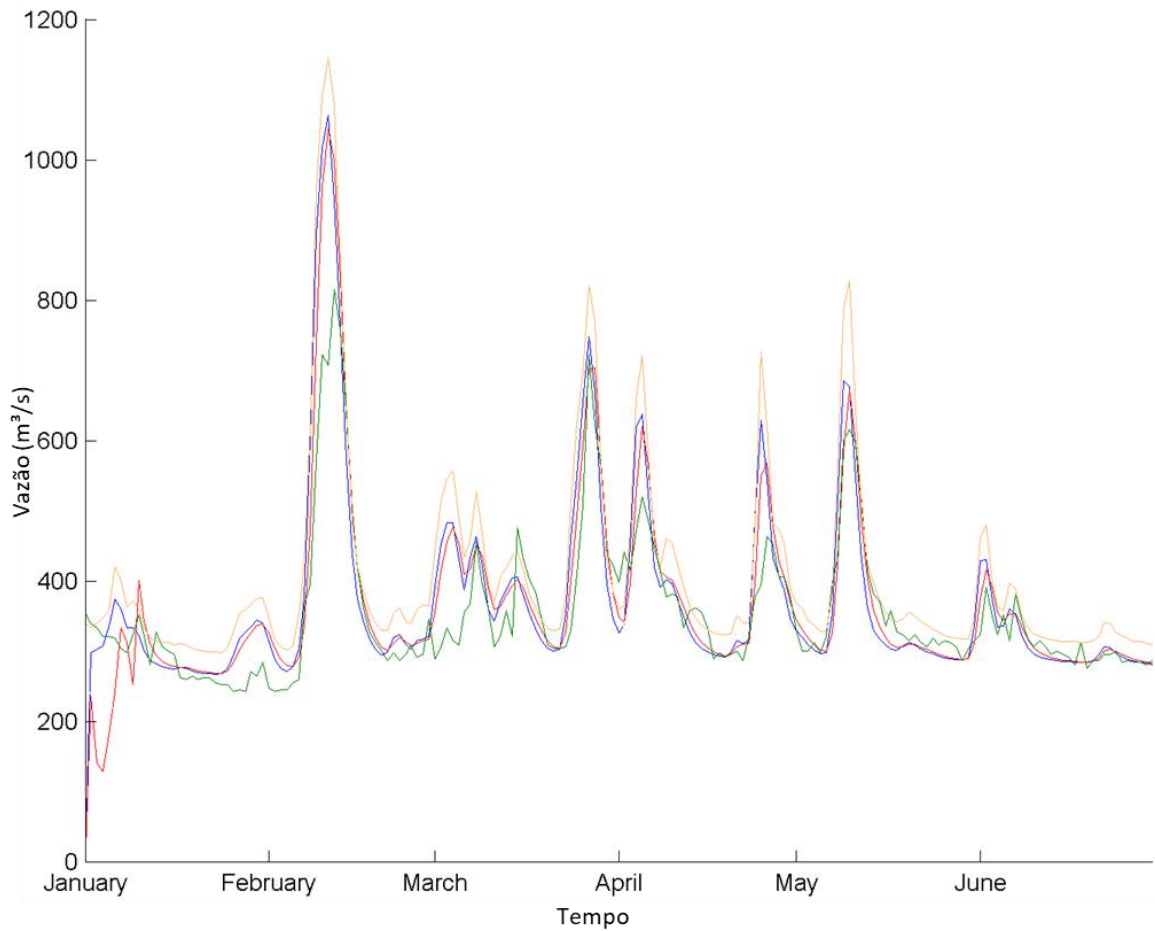
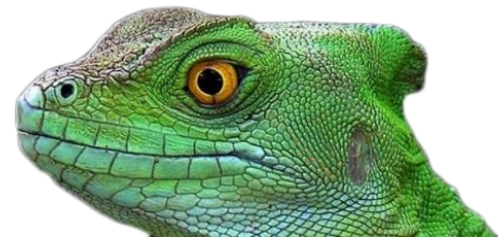


Figura 5: Vazões simuladas pelos modelos 1D (vermelho), 2D (azul) e MGB (laranja) e vazões observadas (verde) - Tumiritinga

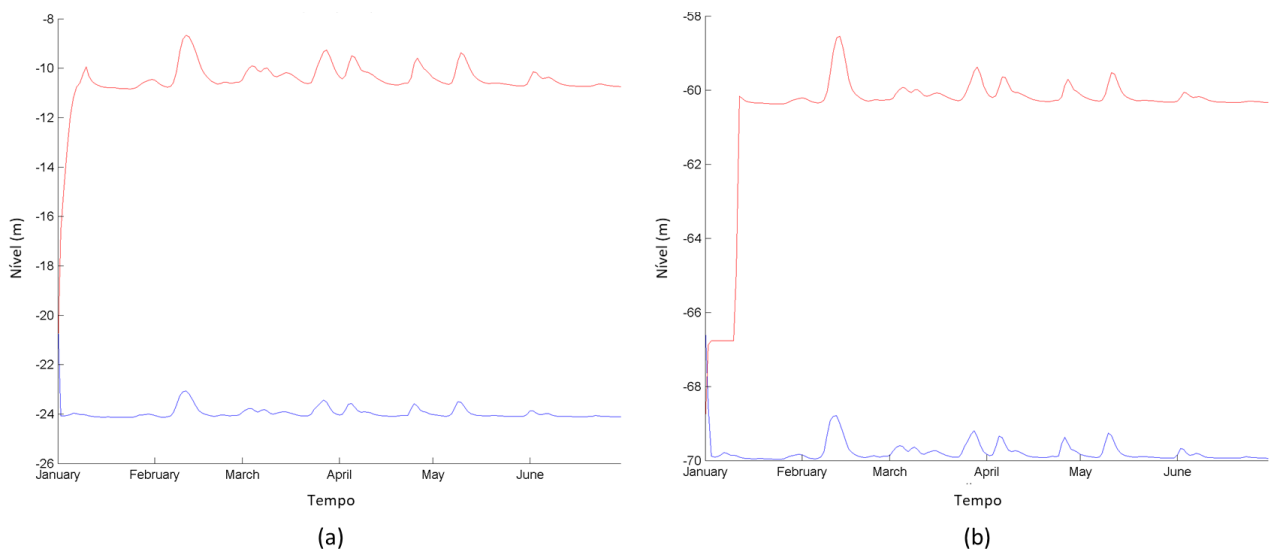


Figura 6: Níveis simulados em (a) Tumiritinga e (b) Resplendor. Em vermelho estão as simulações unidimensionais e em verde estão as simulações bidimensionais



Observando ao longo do perfil longitudinal do trecho na Figura 7, correspondente ao final da simulação (30/06/2015), o mesmo comportamento de superestimativa da configuração 1D encontrado em Tumiritinga e Resplendor é verificado. A jusante de Tumiritinga há, ainda, a presença de um grande desnível na simulação 1D, causando um efeito de “degrau” nos resultados. De acordo com a Figura 8, verifica-se que no local do desnível simulado ocorre um grande afunilamento natural no canal, passando de aproximadamente 600 m para 200 m de largura, que não consegue ser bem capturado pelo modelo 1D. A série completa de níveis no local é apresentada na Figura 9.

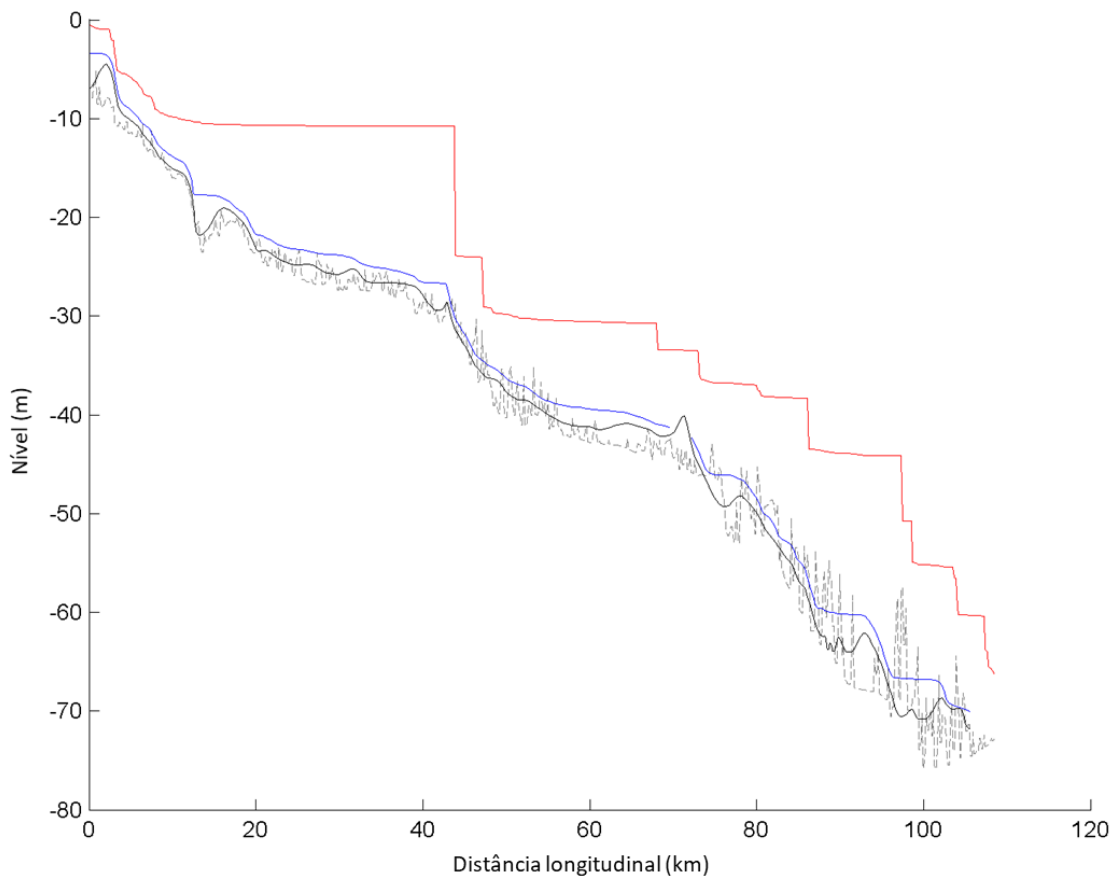
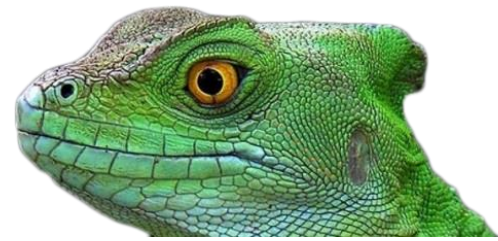


Figura 7: Níveis simulados pelos modelos 1D (vermelho) e 2D (azul) - Vista longitudinal ao longo do trecho no final da simulação (linha preta: batimetria 2D; linha tracejada: batimetria 1D)

Com relação aos tempos de simulação dos modelos, o unidimensional levou cerca de 30 min para execução da simulação, enquanto a configuração 2D gastou uma hora e 30 minutos.

Certamente as profundidades de água tão elevadas quanto as encontradas no modelo 1D não são representativas da realidade local, sendo erros oriundos da super simplificação da modelagem



de um modelo originalmente 2D para que ele funcione forçadamente como um modelo 1D em uma zona de declividade tão grande quanto os 100 km de rio testados.

Também, com os resultados encontrados, acredita-se que a motivação, principalmente para as simulações unidimensionais que mostraram vazões de pico mais amortecidas, esteja nas alterações de celeridade da propagação das ondas de cheia devido aos níveis de água mais altos registrados no modelo 1D.

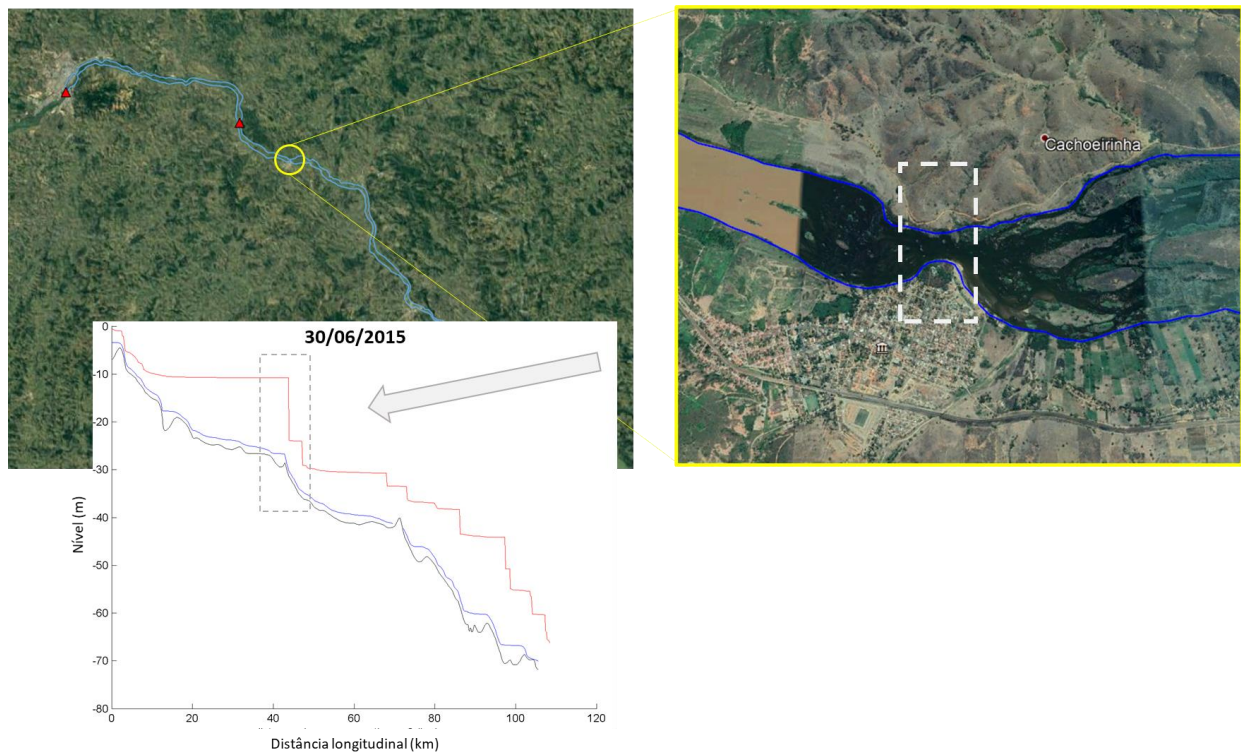


Figura 8: Afunilamento no trecho do rio Roce onde ocorre “degrau” na simulação de níveis (Fonte da imagem de satélite: Google Earth). Em vermelho estão as simulações unidimensionais e em ver estão as simulações bidimensionais

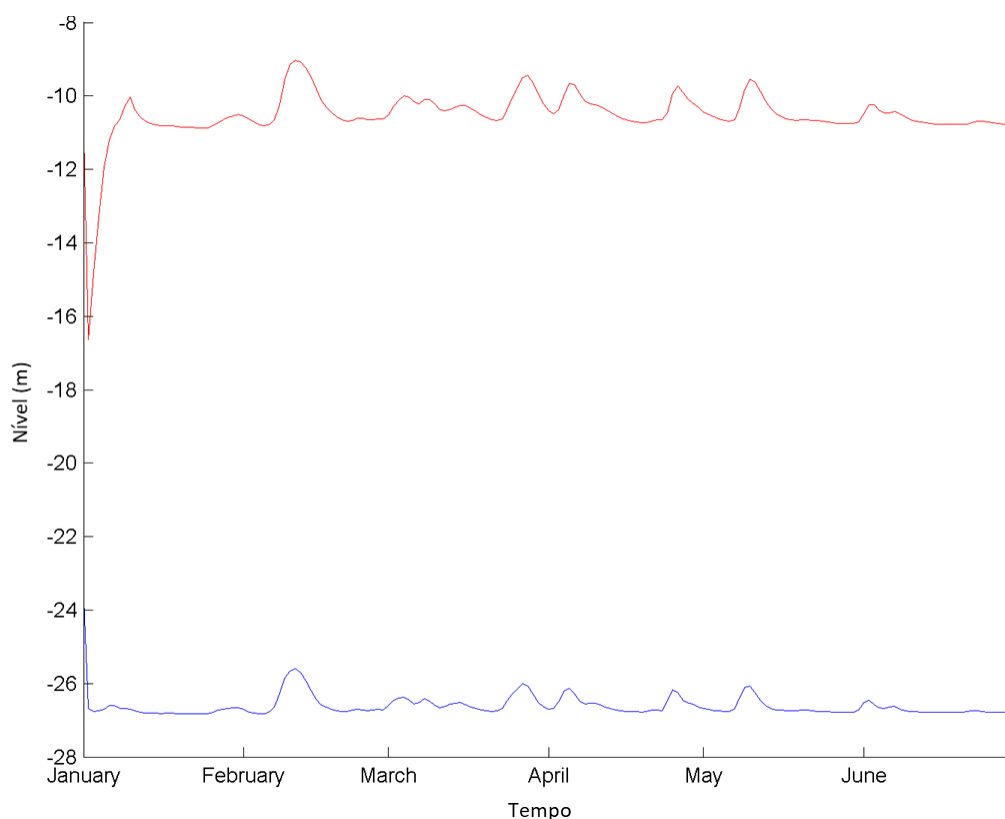


Figura 9: Níveis simulados na região de afunilamento do canal. Em vermelho estão as simulações unidimensionais e em azul estão as simulações bidimensionais

| COMENTÁRIOS FINAIS |

Com as duas configurações do modelo Delft3D realizadas foi possível comparar os resultados para uma abordagem bidimensional, comumente utilizada pelo modelo, e uma simplificação para abordagem unidimensional através da utilização de apenas uma célula de grade na transversal.

Os resultados obtidos permitiram observar que, em relação à simulação de vazões, foram obtidos resultados similares entre os modelos. A simplificação realizada na modelagem para uma abordagem unidimensional não influenciou significativamente na resposta do modelo, requerendo apenas um período maior para estabilizar.

No entanto, em relação aos níveis houve grande diferença entre os resultados dos modelos, em média da ordem de 10 m, com superestimativa do modelo 1D sobre o 2D. Tais diferenças são atribuídas à simplificação da representação da geometria do canal.

Dessa forma, os resultados mostram que as simulações de níveis são mais sensíveis à simplificação da abordagem unidimensional do que as simulações de vazão, estas que foram similares entre os dois modelos. Se o interesse do trabalho de simulação for apenas a propagação de



vazões, uma abordagem simplificada 1D com o modelo Delft 3D até pode gerar resultados próximos da aplicação padrão 2D. Já se o interesse for níveis e áreas alagadas, o que é uma preocupação comum em modelagem hidrodinâmica, a abordagem 1D simplificada é contraindicada.

Agradecimentos

Agradecemos à CAPES pelo fornecimento da bolsa de pesquisa, ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS e ao grupo de pesquisa Hidrologia em Grande Escala – HGE, os quais os autores fazem parte.

| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS |

- CHOW, V. T. 1956. Hydrologic Studies of Floods in the United States. Inter. Assoc. Sci. Hydrol., Publ. n. 42, p. 134-170.
- DELTARES. 2014. Delft3D-FLOW: 3D/2D modelling suite for integral water solutions - User Manual.
- 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. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 24.
- LAI, Y. G.; WU, K. 2019. A three-dimensional flow and sediment transport model for free-surface open channel flows on unstructured flexible meshes. *Fluids*, v. 4, n. 1.
- MERRITT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. 2003. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software*, v. 18, n. 8-9, p. 761-799.
- TENG, J. *et al.* 2017. Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environmental Modelling and Software*, v. 90, p. 201-216.
- TUCCI, C. E. M. 2007. Inundações Urbanas. Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- ZHANG, M. *et al.* 2014. Integrating 1D and 2D hydrodynamic, sediment transport model for dam-break flow using finite volume method. *Science China: Physics, Mechanics and Astronomy*, v. 57, n. 4, p. 774-783.