

# REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

## ESTUDO DE CENÁRIOS NA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DE CHEIA NO RIO PIRANGUÇU E SUA INFLUÊNCIA NO DISTRITO INDUSTRIAL DE ITAJUBÁ – MG<sup>1</sup>

ALEXANDRE GERMANO MARCIANO<sup>2</sup>, ALEXANDRE AUGUSTO BARBOSA<sup>3</sup>, ANA  
PAULA MONI SILVA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Apresentado no XII Seminário de Meio Ambiente e Energias Renováveis

<sup>2</sup>Técnico do laboratório de Informações Hídrica – Universidade federal de Itajubá

E-mail: [agermano@unifei.edu.br](mailto:agermano@unifei.edu.br)

<sup>3</sup>Professor do Instituto de Recursos Naturais – Universidade federal de Itajubá

E-mail: [barbosa@unifei.edu.br](mailto:barbosa@unifei.edu.br)

<sup>4</sup>Professora do Instituto de Recursos Naturais – Universidade federal de Itajubá

E-mail: [anamoni@unifei.edu.br](mailto:anamoni@unifei.edu.br)

### RESUMO

Para o crescimento sustentável de uma cidade são necessários planejamento e investimento em infraestrutura. Em grande parte dos municípios brasileiros não há esse planejamento. É comum a realização de obras sem estudos considerando os eventos de cheias. Itajubá, localizada no sul do Estado de Minas Gerais, tem um distrito industrial próximo às margens do rio Piranguçu. No distrito industrial estão instaladas empresas de grande porte e de alta tecnologia, que geram mais de 3.000 empregos diretos. Em julho de 2013 teve início um projeto de construção de um aeroporto nas várzeas do rio Piranguçu. Em 07 de fevereiro de 2013, o Laboratório de Informações Hídricas (LIH) da Universidade Federal de Itajubá, registrou um cotograma de no rio Piranguçu, por meio de uma estação fluviométrica do Sistema de Monitoramento de Enchentes. Com base nessa abordagem, o trabalho em questão trata de simulações de propagação de cheias do rio Piranguçu

no município de Itajubá-MG. Para a realização deste estudo foi utilizado o *software* HEC-RAS, o cotograma coletado pelo LIH e os dados topográficos coletados em campo. Foram simulados 2 cenários: com e sem a implantação do aeroporto. Como resultados serão apresentados hidrogramas e cotograma que descrevem o deslocamento das ondas de cheias e as manchas de inundações para os 2 cenários, com base no programa computacional *Global Mapper*.

**Palavras-chave:** Inundações, HEC-RAS, Rio Piranguçu.

## ESTUDO DE CENÁRIO NA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DE INUNDAÇÃO NO RIO DE PIRANGUÇU E SUA INFLUÊNCIA NO DISTRITO DA INDÚSTRIA DE ITAJUBÁ – MG

### ABSTRACT

For the sustainable growth of a city, planning and investment in infrastructure is necessary. In most of the Brazilian city there is no such planning. It is common to perform works without studies considering flood events. Itajubá, located in the south of the State of Minas Gerais, has an industrial district near the banks of the Piranguçu river. In the industrial district are installed large companies and high technology, which generate more than 3,000 direct jobs. A project to build an airport in the Piranguçu river floodplain was started in July 2013. On February 7, 2013, the Water Information Laboratory (LIH) of the Federal University of Itajubá, recorded a cotagram of the Piranguçu River, through of a Fluviometric station of the System of Monitoring of Floods. Based on this approach, the work in question deals with simulations of flood propagation of the Piranguçu river in the municipality of Itajubá-MG. For this study, the HEC-RAS software, the cotagram collected by the LIH and the topographic data collected in the field were used. Two scenarios were simulated: with and without the implementation of the airport. Hydrograms and cotagrams describing the displacement of flood waves and flood spots for the 2 scenarios will be presented, based on the *Global Mapper* computational program.

**Keywords:** Floods, HEC-RAS, Piranguçu River.

### INTRODUÇÃO

No Brasil, desde o início do século XIX, o desenvolvimento econômico caminha de forma conjunta como crescimento na taxa da população urbana, gerando em muitos casos uma ocupação do solo desordenada e sem planejamento, cidades com infraestrutura inadequada para atendimento de uma população urbana. O déficit na área de saneamento e drenagem urbana (abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos cloacal e pluvial) e das ocupações do espaço urbano (áreas de encostas e ribeirinhas) trazem grandes transtornos, custos para a sociedade e para o ambiente (inundações, produção de sedimentos e deterioração da qualidade da água) (TUCCI, 1997).

O município de Itajubá possui, atualmente, uma população de 96.523 habitantes (IBGE, 2017). Segundo Pinheiro (2005), a cidade desenvolveu-se na planície que apresenta uma topografia favorável às ocupações pelas atividades antrópicas, com seus terrenos planos, sendo praticamente a única área passível de desenvolvimento, no domínio dos vales encaixados e estreitos da Serra da Mantiqueira. O distrito industrial está localizado próximo as margens do Rio Piranguçu, que é um afluente do Rio Sapucaí.

A obra do aeroporto está situada no distrito industrial, nas várzeas do rio Piranguçu. Alega-se que sua conclusão permitirá a ligação direta para as capitais da região sudeste do Brasil (São Paulo, Belo Horizonte, Vitória e Rio de Janeiro), com vôos domésticos com capacidade de 49 passageiros.

Segundo Mendes (2011), os investimentos em infraestrutura podem ter importante impacto na redução da pobreza e na melhoria da qualidade de vida da população de menor renda, sendo um efeito direto no aumento da oferta de empregos e salários. Mendes (2011) ressalta que esses investimentos em infraestrutura podem se perder se os mesmos forem mal feitos e se os custos forem superfaturados. Um exemplo é uma estrada que ligue o “nada” a “lugar algum”; não terá efeitos positivos sobre a economia e representará desperdício de valiosos recursos públicos.

Este trabalho objetiva realizar simulações de ondas de cheias para o rio Piranguçu. A modelagem de propagação de onda foi realizada pelo *software* HEC-RAS, que se mostra um programa computacional confiável para a realização de estudos envolvendo escoamentos não permanentes. Ele é um *software* distribuído gratuitamente, desenvolvido pelo Sistema de Análises de Rios do Corpo de Engenharia do Exército Norte Americano, que possibilita a realização de

cálculos unidimensionais do escoamento em regimes permanente e não permanente e transporte de sedimentos.

Como dados de entrada no modelo computacional foram usados o cotograma coletado pelo LIH e os dados topográficos medidos em campo. Foram simulados 2 cenários: com e sem a implantação do aeroporto. O cotograma foi registrado num evento de cheia intensa no rio Piranguçu, por meio de uma estação fluviométrica do Sistema de Monitoramento de Enchentes, em 07 de fevereiro de 2013.

## MATERIAIS E MÉTODOS

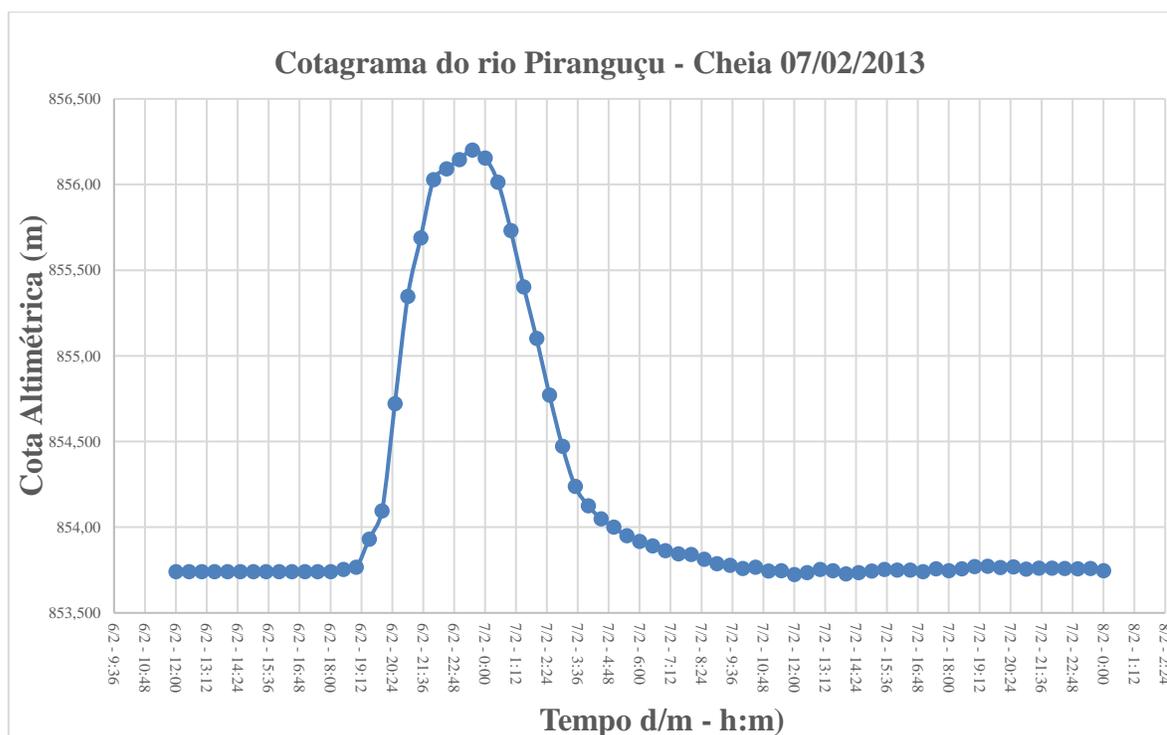
A área de estudo localiza-se no município de Itajubá, sul do estado de Minas Gerais, dentro do bairro do Distrito Industrial, à margem esquerda do rio Piranguçu. O percurso das simulações de propagação de onda de cheia encontra-se entre as coordenadas UTM SIRGAS 2000 zona 23, entre as seções topobatimétricas situadas em: a montante - 7509714 m sul e 448773 m leste e a jusante - 7520315 m sul e 449244 m leste, conforme apresenta a figura 1.



**Figura 1** – Localização da área de estudo.

De 2009 a 2015 o Laboratório de Informações Hídricas (LIH) da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI monitorou as cheias da bacia do alto do Sapucaí, através de estações fluviométricas instaladas em pontos estratégicos. Com objetivos de gerar informações de natureza,

intensidade e duração dos eventos de cheias à comunidade, além de soluções não usuais para a problemática das enchentes. As estações fluviométricas eram estruturadas com sensores de pressão instalados dentro do rio, os quais serviam para medir a variação das colunas d'água; pluviômetros, que mediam a intensidade e quantidade da precipitação; uma placa fotovoltaica, que fornecia energia ao sistema; e um transmissor via telefonia celular, que transmitia os dados coletados via SMS (*Short Message Service*). Em 07 de fevereiro de 2013, registrou um cotagrama de cheia intensa no rio Piranguçu (figura 2).



**Figura 2** – Cotagrama da cheia 07/02/2013 do rio Piranguçu.

Fonte: LIH-UNIFEI

Para gerar a simulação do evento coletado pelo LIH, foi usado o programa HEC-RAS 5.03 (Hydraulic Engineering Corps - *River Analysis System*), que é gratuito, de fácil acesso e tem sua utilização bastante difundida para simulações hidráulicas unidimensionais em regime não permanente, transporte e deposição de sedimentos e análise de qualidade da água, sendo que todos esses módulos usam o mesmo procedimento de cálculo geométrico e hidráulico. Os tipos de dados necessários para que este sistema realize os cálculos de simulação hidráulica são divididos em dois

grupos: dados geométricos, que devem ser os primeiros dados de entrada; e dados de escoamento e condições de contorno.

Os cálculos do HEC-RAS 5.03 são feitos a partir de conceitos hidráulicos que incluem teoria e aplicação de equações de movimento (POTTER; WIGGERT, 2004) e a equação de coeficiente de rugosidade de Manning. O escoamento é retratado por meio das equações de Saint-Venant (USACE, 2010): a equação da continuidade e a 2ª Lei de Newton, ambas aplicadas a um volume de controle, por se tratar de uma abordagem euleriana. Tais equações são:

Equação 1 – Equação da Continuidade

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

Em que:

Q = Vazão;

A = Área da seção transversal ao escoamento;

x = Distância no sentido longitudinal;

t = Tempo.

Equação 2 - Equação da Quantidade de Movimento.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left( \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} = gAS_0 - gAS_f$$

Em que:

h = profundidade do rio,

S<sub>0</sub> = declividade do fundo do rio;

S<sub>f</sub> = representa a perda de energia por atrito com o fundo e as margens;

g = aceleração da gravidade,

A = a área da seção transversal,

x = a distância no sentido longitudinal, e

Q = a vazão.

Além das equações apresentadas anteriormente o programa utiliza a equação de Manning na qual, o coeficiente de resistência ao escoamento (n) foi aplicado com delimitações para as calhas principal e secundárias, (USACE, 2010).

Equação 3 
$$Q = \frac{AS_f^{1/2}R_h^{2/3}}{n}$$

Sendo:

Q = Vazão (m<sup>3</sup>/s);

S<sub>f</sub> = Declividade da linha de energia (m/m)

A = Área de escoamento (m<sup>2</sup>);

R<sub>h</sub> = Raio hidráulico (m);

n = Coeficiente de Manning.

Para as simulações hidráulicas o programa requer detalhamento do terreno, pois alterações do espaço na ordem de centímetros podem influenciar o escoamento em um canal, sendo necessário um banco de dados geoprocessados com maior resolução espacial. Em razão disto, a fim de obter medições precisas da topografia da calha e da declividade do rio, foi utilizado GPS modelo 900 CS fabricado pela LEICA *Geosystems* com precisão que gira em torno 10 milímetros por ponto medido. Os 5.691 pontos coletados foram processados no LIH.

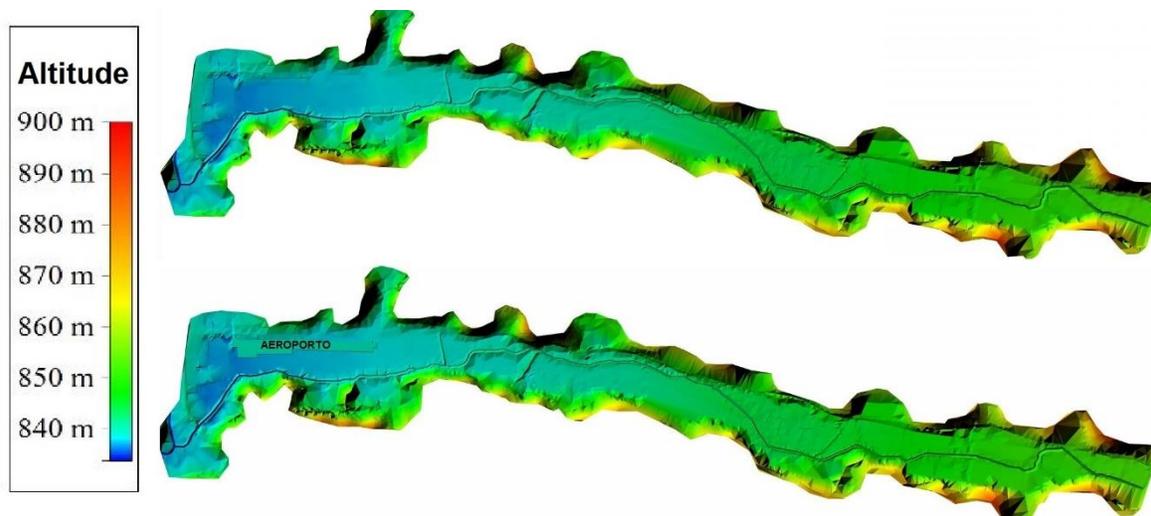
Com esses dados foram construídas 20 seções transversais e utilizou-se o coeficiente de Manning de 0,15 nas calhas secundárias de ambos os lados, e de 0,045 na calha principal, conforme CHOW (1959). O estabelecimento desses valores se deu em função de visitas em campo e com a medição de vazão na seção inicial.

Foram elaborados 2 cenários para simulação numérica da translação da onda de cheia: o primeiro com apenas os dados topográficos do terreno sem a implantação do aeroporto e o segundo, com a pista do aeroporto estabelecida na cota altimétrica de 841 metros.

Os mapas de inundação foram gerados a partir dos resultados das cotas máximas atingidas em cada seção pelo programa de SIG (Sistemas de Informações Geográficas) *Global Mapper 15*.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As topografias dos dois cenários são apresentadas na figura 3. E como decorrência dessas topografias, foram feitas 20 seções transversais ao longo do rio Piranguçu, mostradas na figura 4.



**Figura 3** – Topografia sem e com aeroporto



**Figura 4** – Seções Topobatimétricas ao longo do Rio Piranguçu

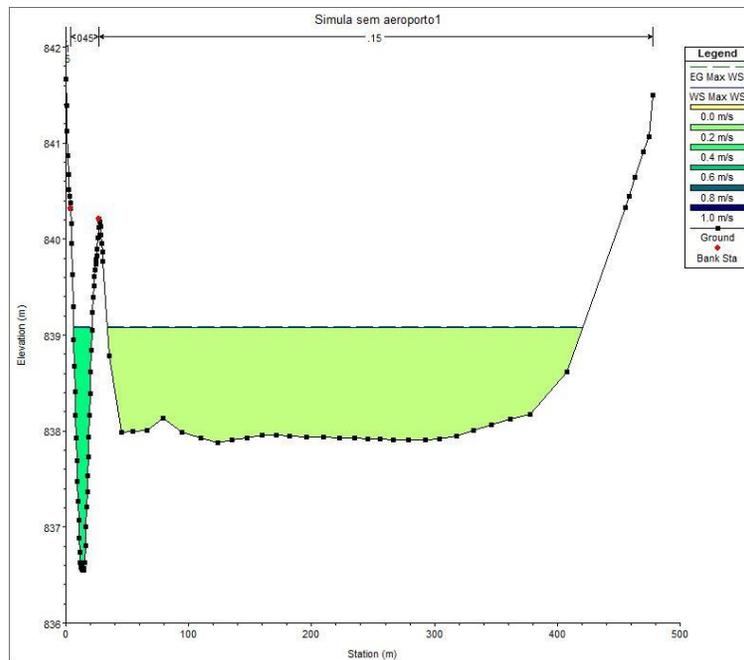
Com a inserção dos dados, foi possível modelar no programa HEC RAS os dois cenários de escoamento, considerando o cotograma coletado pelo LIH.

Após as simulações, foi feita a tabela 1 que mostra as cotas e vazões máximas em cada seção e a diferença entre elas para os dois cenários. Nota-se que houve uma variação considerável na vazão e na cota a partir da seção 2018.13 até a seção 41.01, tendo uma maior diferença na seção 1649.01. Obviamente, isso era esperado, pois tratam-se de seções que estão ao longo da pista do aeroporto.

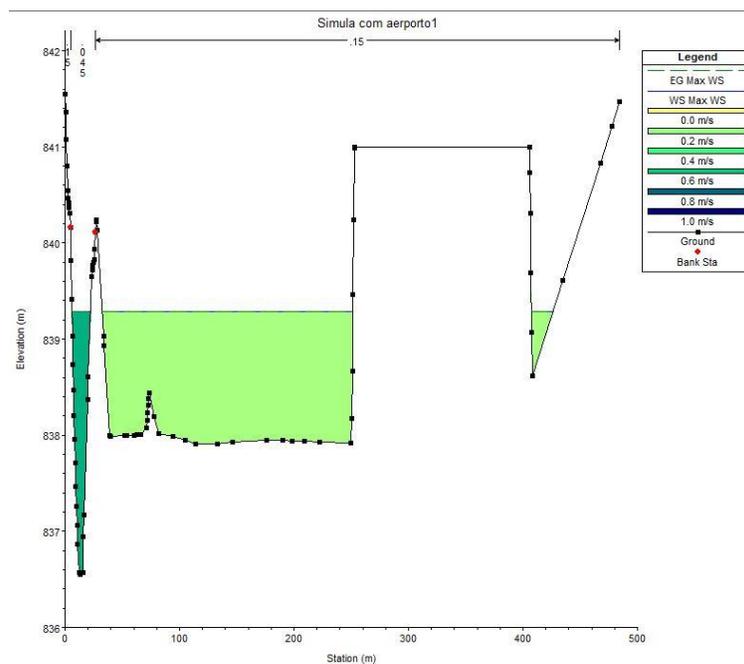
**Tabela 1** – Resultados das simulações para ambos cenários.

Seções	Simulação com aeroporto		Simulação sem aeroporto		Diferença	
	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Cota (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Cota (m)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Cota (m)
Montante 11986.38	107.12	856.40	107.13	856.41	-0.01	-0.01
11079.00	103.92	853.56	104.01	853.56	-0.09	0.00
10061.39	100.48	852.15	100.54	852.16	-0.06	-0.01
9054.73	99.62	849.71	99.70	849.71	-0.08	0.00
8049.37	97.80	847.72	97.86	847.73	-0.06	-0.01
7040.83	96.24	846.61	96.28	846.62	-0.04	-0.01
6205.65	95.36	844.91	95.41	844.91	-0.05	0.00
5050.08	93.49	842.79	93.55	842.80	-0.06	-0.01
4039.69	89.65	841.64	89.66	841.64	-0.01	0.00
3028.30	87.48	840.50	87.56	840.51	-0.08	-0.01
2685.63	85.63	840.10	85.65	840.11	-0.02	-0.01
2584.23	85.18	839.98	85.25	839.99	-0.07	-0.01
2018.13	74.14	839.47	73.40	839.24	0.74	0.23
1649.01	67.61	839.29	60.18	839.09	7.43	0.20
1277.51	64.06	839.14	58.08	839.01	5.98	0.13
1146.35	63.84	839.10	58.05	839.00	5.79	0.10
1118.46	63.75	839.10	57.90	839.00	5.85	0.10
1002.92	63.64	839.09	57.88	838.99	5.76	0.10
389.59	63.43	838.73	57.66	838.60	5.77	0.13
Jusante 41.01	63.42	838.29	57.66	838.15	5.76	0.14

As figuras 5 e 6 mostram as seções transversais número 1649.01 (sem e com aeroporto) com a máxima vazão atingida no evento de cheia retratado pelo cotograma medido.

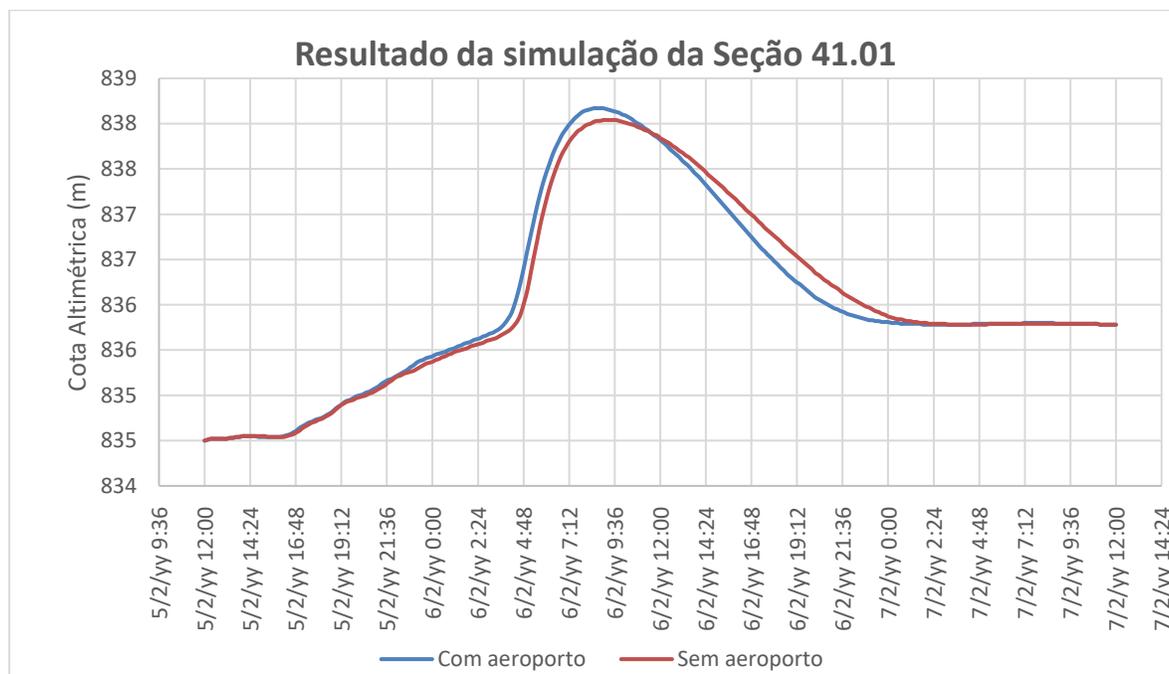


**Figura 5** – Seção topobatimétrica 1649.01 sem aeroporto.



**Figura 6** – Seção topobatimétrica 1649.01 com aeroporto.

Constatou-se um adiantamento no pico do evento de 30 minutos no final do trecho na seção 41.01 com a instalação do aeroporto; bem como uma acentuação do pico da cheia nessa seção topobatimétrica. Na figura 7 é apresentado o cotograma que demonstra tais afirmações. Isso deve ser visto como um efeito de canalização do rio, que já foi evidenciado na literatura (Tucci – 2005)



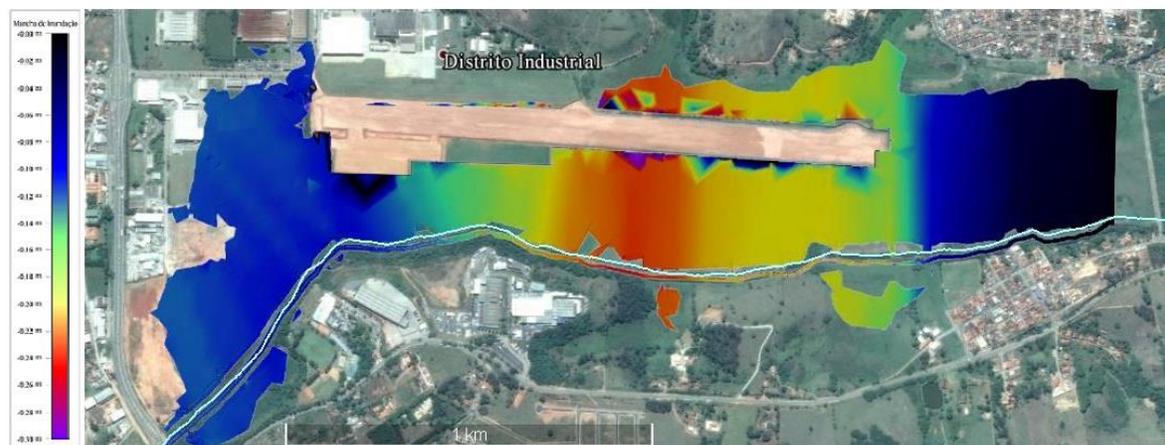
**Figura 7** – Resultados dos 2 cenários de simulação para a seção 41.01.

Com os resultados das cotas máximas atingidas em cada seção e com as topografias, pode-se elaborar mapas de inundação para cada cenário, conforme mostrado na figura 8.



**Figura 8** – Manchas de inundação para ambos os cenários.

A diferença entre os mapas de inundação gerou-se um mapa com as diferenças de alturas, mostradas na figura 9. Pode se observar que as manchas de inundação são parecidas, porém a maior diferença está no meio do aeroporto, explicado pela falta de efeitos de borda presentes nas regiões próximas ao começo e fim da pista do aeroporto. Mas o maior impacto antrópico está localizado nos arredores das entradas de algumas empresas.



**Figura 9** – Diferenças entre as manchas de inundação.

## CONCLUSÃO

Esse trabalho abordou a modelagem hidráulicas do *software* HEC-RAS 5.03 no rio Piranguçu para estudo de propagação de ondas de cheias. O trecho estudado foi da estação fluviométrica de Piranguçu até a sua foz. Foi considerado dois cenários, com e sem a obra do aeroporto.

Os resultados apresentados das simulações foram satisfatórios, conseguiram representar o evento de modo eficaz.

Com a obtenção dos dados em campo e com a realização das simulações, as principais conclusões são:

- O HEC-RAS se mostrou confiável para o uso em simulações de escoamento não permanente;
- Quanto maior número de dados topobatimétricos, conseqüentemente aumenta a confiabilidade dos resultados obtidos;
- O monitoramento contínuo do rio Piranguçu é extremamente essencial para os futuros estudos;
- A obra do aeroporto implicará em impactos no escoamento de cheia;
- O trecho antrópico mais afetado pela obra do aeroporto é na rotatória onde se têm as entradas de algumas empresas;
- A partir da área da construção do aeroporto, houve um aumento da cota de enchente devido a redução da área do escoamento;
- Evitar as ocupações de áreas de várzeas do rio Piranguçu, pois pode produzir um aumento significativo na frequência das inundações.

Como recomendações, para trabalhos futuros, sugere-se:

- Coletar as cotas altimétricas na pista do aeroporto,
- Fazer simulações com presenças estruturas hidráulicas (pontes);
- Realizar a modelagem para rio Sapucaí nessa região de junção com o Rio Piranguçu.

Não obstante os aspectos mencionados, julga-se que esse estudo seja de importância significativa, pois, apesar da pouca informação a que pôde recorrer, permitiu uma caracterização hidráulica básica. Mostrando que a construção do aeroporto está numa área de

alagável, em solos de características moles (Carvalhais, 2017), tendo alto custo financeiro para fazer o aterro da pista de decolagem. O aeroporto poderia ter sido feito em local mais propício.

Agradecimentos ao Laboratório de Informações Hídricas da Universidade Federal de Itajubá, MG por disponibilizar os dados utilizados no presente trabalho e aos alunos do Programa de Educação Tutorial – Engenharia Ambiental pela colaboração nas coletas de campo.

## REFERENCIAS

CARVALHAIS, R. M. 2017. Comportamento geotécnico de aterros aeroportuários sobre fundações compressíveis: estudos e análises do aterro do aeroporto de Itajubá/MG. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto. Concluída em 2017.

CHOW, V. T. 1959. *Open Channel Hydraulics*. Editora McGraw-Hill, New York, 680p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Portal IBGE Cidades. 2017. Disponível em: < <http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: abril/2017.

MENDES, M. 2011. Por que a economia brasileira foi para o buraco? Brasil Economia e Governo. Disponível em: [www.brasil-economia-governo.org.br](http://www.brasil-economia-governo.org.br). Acesso em: abril/2017.

PINHEIRO, V. M. 2005. Avaliação Técnica e Histórica das Enchentes em Itajubá – MG. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Energia, UNIFEI. Concluída em 2005.

POTTER, M. C.; WIGGERT, D. C. *Mecânica dos Fluidos*. Tradução de Antônio Pacini e All Tasks language Technology. 3a Ed. São Paulo: Thomson, 2004. p. 390-417.

TUCCI, C.E.M., 1997 Estimativa do Volume para Controle da Drenagem no Lote. *Anais III Seminário Nacional de Drenagem Urbana*. ABRH. Curitiba.

TUCCI, C. E. M. Modelos Hidrológicos/Carlos E.M. Tucci; colaboração da Associação Brasileira de Recursos Hídricos/ABRH. — 2.ed. — Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005

USACE. Hydrologic Engineering Center (HEC). Davis, Califórnia, USA, 2012. Disponível em: <<http://www.hec.usace.army.mil/>>. Acesso em: abril/2017.