



## ESTUDO DAS COTAS DE INUNDAÇÃO EM CANAIS URBANOS DE PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS, PRÓXIMAS A ÁREAS ESTUARINAS, SOB EFEITO DE MARÉS

*Vilas Boas, L.<sup>1</sup>, Lugon Junior, J.<sup>2</sup>, Rodrigues, P. P. G. W.<sup>3</sup>*

1. IFF – Instituto Federal Fluminense, Mestrando em Engenharia Ambiental do PPEA / IFF, Especialista em Análise de Sistemas (CENID), Engenheiro mecânico (UFBA), email de contato: lvilas@vm.uff.br;
2. IFF – Instituto Federal Fluminense, Doutor em Modelagem Computacional (UERJ), Engenheiro Mecânico (1985) e especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (2010) pela Universidade Federal Fluminense e
3. UERJ – Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Graduação em Oceanografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1986), mestrado em Geociências (Geoquímica) pela Universidade Federal Fluminense (1990), sendo PhD pela School of Marine Science and Technology - University of Newcastle Upon Tyne (2003).

### INTRODUÇÃO

Praticamente toda semana tomamos conhecimento de países que enfrentam intensos eventos hidrológicos, atribuídos às mudanças climáticas globais, com grandes prejuízos econômicos e perdas de vida. Inundações são riscos naturais, imprevisíveis até certo ponto, mas, inevitáveis, UNISDR (2012). Este trabalho apresenta os resultados gerados por modelos hidrológicos e hidrodinâmico, aplicado ao Canal do Capote localizado na área urbana de Macaé / RJ, com o objetivo de avaliar as inundações decorrentes de picos de chuvas, cheias do Rio Macaé e marés de sizígia em seu estuário, úteis, quase sempre, no licenciamento e construção de novos empreendimentos. O modelo foi calibrado comparando-se os dados simulados e observados para as condições de picos. Uma vez calibrados, os modelos simularam diferentes cenários, com ênfase principalmente naqueles que foram gerados sob regime de alta vazão, por representarem situação mais crítica do ponto de vista ambiental. Os resultados mostraram que, para essas condições, áreas importantes próximas a esse canal, serão inundadas. A implementação dos modelos aqui apresentados obedeceu à sequência usual necessária para tal propósito. Fazendo-se uso das informações topo-batimétricas disponíveis, inicialmente foi construído um Modelo Digital de Terreno (MDT) da área de interesse na condição natural (LUGON JR et al, 2016).

### METODOLOGIA

Existem vários modelos para estudo das inundações que, ocorrem principalmente pelo efeito de propagação de ondas de cheias em canais e rios. Os principais modelos para estudo das inundações são: Hidrodinâmico, Difusão, Onda cinemática, Armazenamento, Muskingum e modificação Muskingum-Cunge. Segundo Tucci (1998) os modelos hidrodinâmicos são aqueles que utilizam a forma completa das equações de Saint Venant (1).

$$\underbrace{\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right)}_{\text{Inércia}} + \underbrace{gA \frac{\partial y}{\partial x}}_{\text{Pressão}} = \underbrace{gAS_0}_{\text{Gravidade}} - \underbrace{gAS_f}_{\text{Atrito}} \quad (1)$$

Os modelos de difusão utilizam a equação da continuidade (2) e da quantidade de movimento, desprezando-se os termos de inércia.

$$\frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (2)$$

Ainda, segundo Tucci (1998) os modelos de difusão são mais aplicáveis que os modelos de onda cinemática por levarem em consideração os efeitos de pressão, ou seja, influências de jusante.

Os modelos de escoamento não permanente foram desenvolvidos nos simuladores de acesso livre HEC-HMS e HEC-RAS (disponíveis no endereço [www.hec.usace.army.mil](http://www.hec.usace.army.mil)) que é uma plataforma combinada 1D, quasi-2D e / ou 2D para canais e várzeas. A escolha levou em conta a necessidade de análise da influência das marés, simplificação e solução mais rápida.

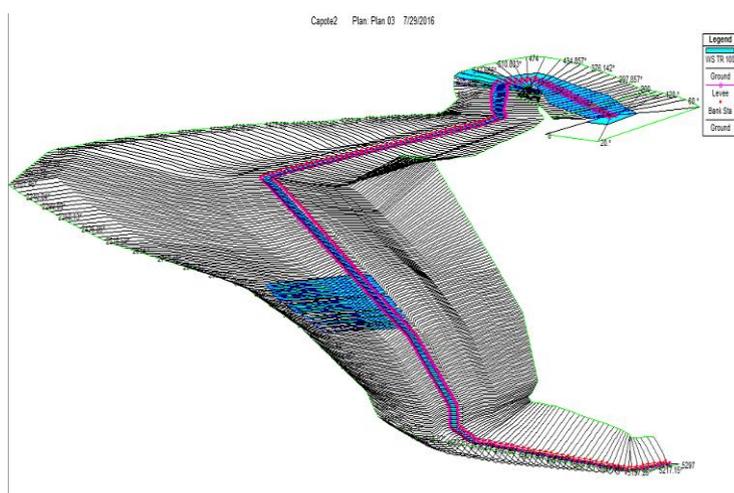
## DESENVOLVIMENTO

O Canal do Capote ( $22^{\circ} 22' 46.73''$  S,  $41^{\circ} 48' 05.55''$  W) com extensão de 5,63 Km (**Figura 1**), nasce no bairro da Glória e deságua no rio Macaé na altura dos bairros pobres Botafogo e Malvinas. Historicamente suas inundações são fortemente influenciadas pelas cheias do Rio Macaé.

A bacia hidrográfica do canal foi delimitada a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução de 10 metros entre curvas de nível, obtido a partir das Cartas de Susceptibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações, elaborada pelo CPRM / IPT (2012), incluído no plano plurianual do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão que abrange atualmente 286 municípios brasileiros.

Os dados hidrológicos foram levantados a partir do site Hidroweb da ANA – Agência Nacional de Águas e do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica Macaé / Ostras (INEA, 2013). Calcularam-se algumas características físicas da bacia (área, declividade média, tempo de concentração etc), utilizados como dados de entrada dos modelos.

A partir dos dados topográficos do MDE, batimétricos do levantamento em campo e alturas do marégrafo instalado ( $22^{\circ} 23' 09.62''$  S,  $41^{\circ} 46' 11.48''$  W) no Porto de Imbetiba nesta mesma cidade, foi feita uma equalização das medições, visando definir um único datum, inseriu-se no modelo hidrodinâmico o talvegue, seções transversais topo-batimétricas e o



**Gráfico 1** – Visão 3D do Modelo Digital do Terreno (MDT) do Canal do Capote.

de inundação apelando-se para algum algebrismo. Em alguns casos assumem-se valores empíricos razoáveis através de observações e experiências reais para facilitar a resolução analítica da teoria hidráulica destes canais (CHOW, 1959).



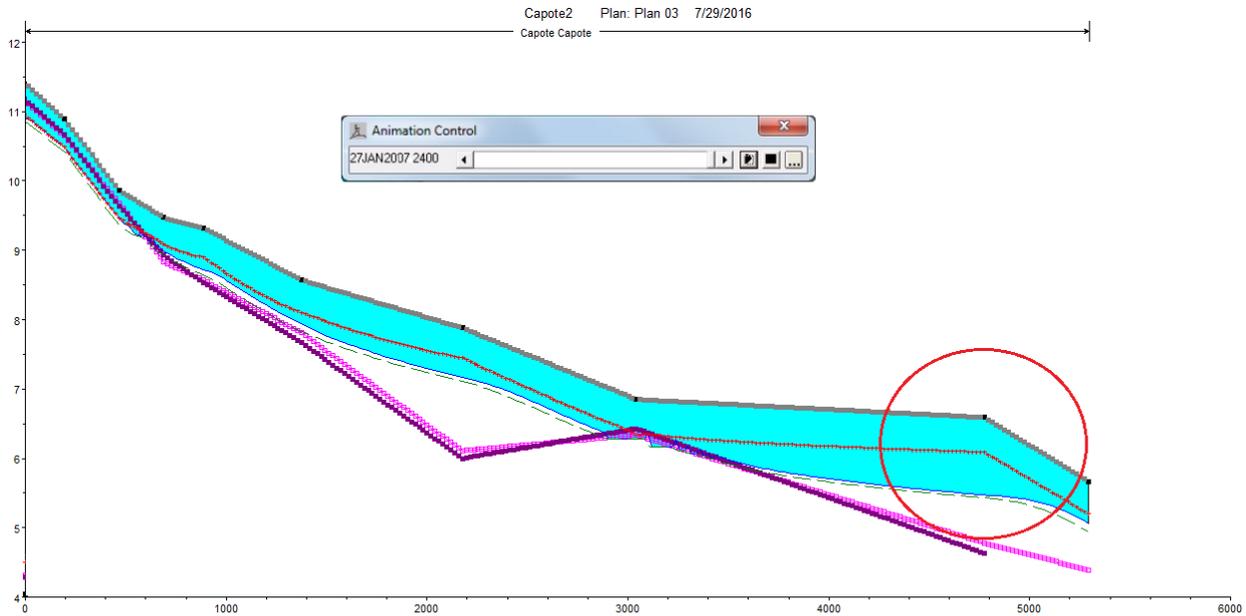
**Figura 1**- Localização do Canal do Capote na Bacia Hidrográfica do Rio Macaé. (do próprio autor)

o Coeficiente de Manning para as planícies de inundação e para o canal e a distância até a próxima seção transversal, gerando-se seções interpoladas pelo método linear, de 10 em 10 metros no MDT que pode ser visualizado em 3D (**gráfico 1**). Com a ferramenta *Compute Interpolation Surface* estendeu-se as seções transversais.

Finalmente, manusearam-se os mapas simulados na ferramenta *RAS Mapper* (profundidades e velocidades) para transforma-los em mapas de risco

## RESULTADOS

Uma premissa básica que sempre deve ser considerada na modelagem matemática é a de que os modelos nunca podem gerar resultados melhores do que os dados lhes são fornecidos como “entradas” (LUGON JR et al, 2016). O **gráfico 2** apresenta a situação mais crítica obtida nas simulações com uma grande chuva de projeto com duração de 6 horas sob efeito de maré de sizígia,



**Gráfico 2** – Elevação crítica do Canal do Capote (m) X distância (m).

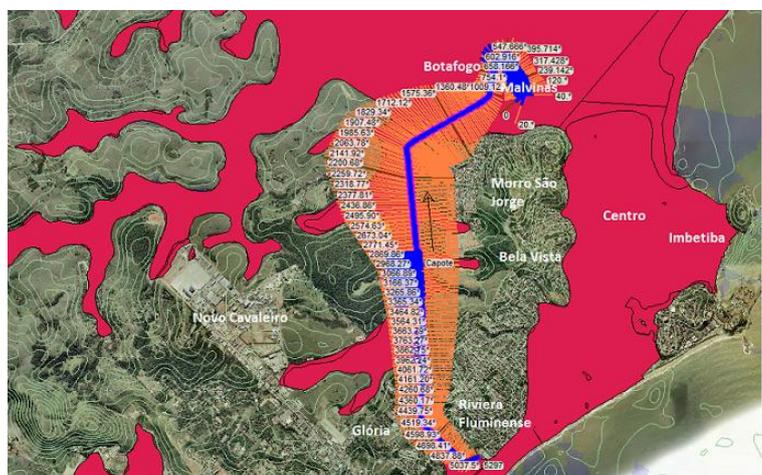
nele podemos observar elevação de até aproximadamente 1,6 m no nível do canal na altura dos bairros de Botafogo e Malvinas. O pico ocorre num momento de cheia do Rio Macaé em que a água acumulada no canal ainda está escoando, mas a maré ao nível do Porto de Imbetiba já está baixando.

Os resultados apresentados mostraram bastante consistência com dados observados, considerando-se a complexidade dos ambientes, fornecendo informações que facilitam a construção de mapas e definição de cotas de inundação (ou cota de segurança) úteis no licenciamento e construção de novos empreendimentos que, dependendo da localização do terreno, vão demonstrar que a construção está protegida de eventuais cheias em rios e/ou canais próximos, evitando perdas de investimento e até vidas.

## CONCLUSÃO

As simulações efetuadas até agora no Canal do Capote mostram baixa influência nas inundações (**figura 2 – em azul**) devido às pequenas alterações da forma das seções transversais do canal, sua natureza (tipo de fundo, presença de vegetação etc.) e lançamentos de determinadas vazões adicionais ao longo do canal.

As maiores influências sobre as inundações (**figura 2 – em vermelho**) no canal e nas várzeas próximas ocorrem: por conta das cheias do rio Macaé, influência das marés de sizígia e



**Figura 2** – Mapa de inundação do Canal do Capote (azul) X Inundação do rio Macaé sob influência de picos de chuva e marés de sizígia (vermelho), base CPRM / IPT (2012).

obstruções em pontes e tubulações. Para ampliação dos resultados e melhoria da qualidade da informação obtida a partir dos modelos, sugere-se um refinamento da qualidade do terreno digital a partir de levantamentos topo-batimétricos mais apurados, estudo mais detalhado da influência de outros canais na microbacia, bem como, do próprio rio Macaé e modelagem hidrodinâmica 2D completa.

## **REFERÊNCIAS**

- CHOW, V. T. Open-Channel Hydraulics. New York: McGRAW-HILL Book Company, 1959, 680p.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil / IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Programa Gestão de Riscos a Respostas a Desastres Naturais, Brasil. 2012.
- INEA – Instituto Estadual do Ambiente, Relatório de Caracterização da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras – Apêndice. *Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras*. Rio de Janeiro, Brasil. 2013.
- LUGON JR, J.<sup>1</sup>, RIBEIRO COSTA, V.T.<sup>2</sup> e RODRIGUES, P. P. G. W.<sup>3</sup>. Avaliação do Impacto de Pequena Central Hidrelétrica na Qualidade de Água do Rio Itabapoana Através de um Modelo Computacional, <sup>1,2</sup>Instituto Federal Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, <sup>3</sup>Departamento de Modelagem Computacional, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. 2016.
- TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1998. 669p.
- UNISDR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction, UN - United Nations, Introducing Disaster Risk Reduction and Resilience. Abr. 2012.
- USACE - U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center - HEC. RAS - River Analysis System 5.0.1, 2D Modeling User's manual. Calif. Abr. 2016a.
- USACE - U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center - HEC. RAS - River Analysis System 5.0.1, Hydraulic reference manual. Calif. Abr. 2016b.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus e todos que sempre estiveram por perto, em particular a FAPERJ e CNPq pelo apoio.