

APLICANDO SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA PARA INUNDAÇÕES EM REDES DE DRENAGEM NO SEMIÁRIDO BAIANO

Itamara dos Santos Rocha¹, Tayná de Oliveira Vitória², Rosângela Leal Santos³, Ana Paula dos Santos de Melo⁴, Diego Evangelho Barbosa de Carvalho⁵, André Nobre Dantas⁶

¹Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Brasil
(ittamara.rocha@yahoo.com.br)

²Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Brasil

³Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Brasil

⁴Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Brasil

⁵Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

⁶Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Brasil

- **Resumo:** As barragens oferecem vários benefícios para a população, contudo, também oferecem riscos como as inundações. Dessa forma, o presente trabalho objetiva modelar o processo de fluxo hídrico e de sedimentos do Rio Jacuípe na altura da Barragem de São José do Jacuípe, para o entendimento de fluxo emergencial em estados de rompimento de barragem, avaliando a influência do alagamento e secamento de planícies fluviais na hidrodinâmica de escoamento do canal principal, utilizando o software HEC-RAS.

Palavras-chave: Hidrodinâmica; Modelagem; HEC-RAS; Semiárido

INTRODUÇÃO

Nos moldes atuais da sociedade, é inquestionável a importância da regularização de vazões dos cursos d'água, pelas suas utilidades para variados setores. Isto se aplica ao abastecimento de água às populações, às indústrias, aos aproveitamentos hidroelétricos, aos sistemas de irrigação e navegação, e para todos aqueles empreendimentos nos quais uma certa vazão disponível em qualquer época do ano interesse fundamentalmente (GARCEZ, 1962). Para atender estas demandas de regularização de vazões, são utilizadas as barragens, as quais são construídas sempre que os objetivos são a criação de um reservatório, uma carga hidráulica ou uma superfície de água (VISCHER; HAGER, 1997).

A regularização de vazões dos corpos hídricos é fundamental para o desenvolvimento humano, uma vez que várias atividades necessitam de uma boa quantidade de água ao longo de todo o ano, sem distinção de estações de cheia e estiagem. Para atender a essa e outras demandas, as obras hidráulicas de contenção dos corpos hídricos destinadas a criação de reservatórios artificiais, as barragens, são amplamente utilizadas no território nacional. Apesar dos benefícios proporcionados, as barragens e seus respectivos reservatórios artificiais, também oferecem perigo devido ao grande volume de água acumulado.

A Hidráulica de Canais Abertos envolve o estudo de escoamentos em canais em que a superfície esteja exposta à atmosfera e diretamente relacionada a rios, canais e cursos d'água naturais. Mediante a necessidade de se conhecer e entender tais processos físicos como a hidrodinâmica, nas últimas décadas, poderosas ferramentas computacionais têm sido desenvolvidas. O HEC - Hydrologic Engineer Center (Centro de Engenharia Hidrológica) parte do USACE – U.S. Army Corps of Engineers (Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos) desenvolveu o software de modelagem hidráulica unidimensional HEC-RAS – River Analysis System (Sistema de Análise de Rios), podendo ser usado também para a modelagem da ruptura de uma barragem e propagação da onda de cheia. O programa é disponibilizado gratuitamente para download, juntamente com outros programas do Centro. O HEC-RAS é um software de sistema integrado, projetado para uso interativo em um ambiente de rede de múltiplas tarefas e múltiplos usuários. O sistema é constituído de uma interface gráfica do usuário, separando componentes de análise hidráulica, armazenamento de dados, ferramentas de gerenciamento, gráficos e formas de apresentação (USACE, 2010). Nesta pesquisa propõe-se avaliar a inundação e propagação da onda de cheia proveniente do rompimento hipotético de uma barragem, através

da simulação hidrodinâmica unidimensional e bidimensional.

OBJETIVO GERAL

- Modelar o processo de fluxo hídrico e de sedimentos do Rio Jacuípe na altura da Barragem de São José do Jacuípe, para o entendimento de fluxo emergencial em estados de rompimento de barragem, avaliando a influência do alagamento e secamento de planícies fluviais na hidrodinâmica de escoamento do canal principal

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o comportamento da hidrodinâmica do fluxo predito pelo mecanismo de alagamento/secamento real em caso do rompimento da barragem
- Avaliar o comportamento da hidrodinâmica do fluxo predito pelo mecanismo de alagamento/secamento virtual do modelo computacional;
- Comparar o mecanismo de alagamento e secamento virtual de planícies fluviais

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Barragem de São José do Jacuípe localizada no município de São José do Jacuípe (vide Figura 1), que faz limites municipais com Várzea da Roça, Capim Grosso, Capela do Alto Alegre e Quixabeira, pertencendo ao Território de Identidade Bacia do Jacuípe, na microrregião de Jacobina e na mesorregião econômica do Centro Norte Baiano distante 286 Km de Salvador.



Figura 1- Mapa de localização do município de São José do Jacuípe

A Barragem de São José foi construída no Rio Jacuípe - principal afluente do rio Paraguaçu - no município de São José do Jacuípe, distante 300 Km da cidade de Salvador. Fazendo parte da Região Administrativa da Água V, Bacia do Paraguaçu, Sub-bacia do Jacuípe, na região semi-árida do Estado da Bahia.

Trata-se de uma barragem de enrocamento com núcleo argiloso, com 41 metros de altura e 1.560 metros de comprimento, armazenando um volume de água de 539 hm³ na sua cota máxima de 390 m. Possui um vertedouro livre, escavado na rocha, na cota 386.

Foram utilizados os seguintes materiais: Carta planialtimétrica da Barragem de São José do Jacuípe (1:5000, CERB (1985); 1: 100 000, SUDENE (1975); Imagens Landsat ETM⁺; SRTM, (30m); *Softwares*: SPRING 4.3.3; ENVI 4.5; Arcgis10.2; HEC-GeoRAS. Cada um destes materiais se encaixa nas variadas etapas do procedimento técnico, sendo necessário a aplicação dos mesmo em ordem correta para a construção do Banco de Dados Geográficos BDG.

A carta da Barragem de São José do Jacuípe (Figura 2) foi adquirida junto a CERB - Companhia de Engenharia Ambiental e Recursos Hídricos da Bahia. Foi disponibilizada em analógico em formato do papel A0, implicando tratamento especial de digitalização, que por sua vez foi realizada mediante empresa terceirizada.

A imagem foi escaneada com resolução 720 dpi e salva em formato.tif devido à compatibilidade desse formato com diversos softwares de geoprocessamento, em especial o SPRING 4.3 no qual foi realizada a vetorização.

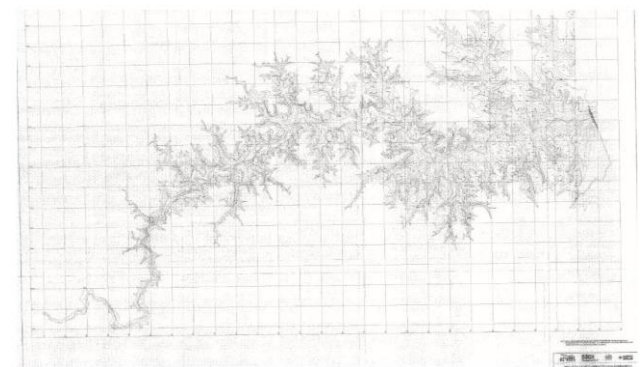


Figura 2- Carta do reservatório da barragem de São José do Jacuípe com curvas de níveis de 5m (imagem com fins ilustrativos)

Procedimentos Técnicos

Para gerar o modelo de rompimento de barragem de São José do Jacuípe se fez necessário diversos procedimentos técnicos subdivididos em etapas (Figura 3), de modo que cada etapa dependia de uma

atividade predecessora sem a qual não seria possível continuar.



Figura 3- Fluxograma das diversas etapas para a geração do modelo de inundação

Cada etapa anterior ao HEC-RAS é fundamental, onde qualquer erro implicará na invalidação de todo o modelo, sendo assim, são etapas demoradas, pois necessitam de bastante atenção.

Vetorização e Geração das Curvas de Níveis

Foi preciso recortar a imagem (vide Figura 2), pois a área de interesse é apenas a região da Barragem de São José do Jacuípe, aplicou-se o retângulo envolvente e foi adotado sistema de coordenada WGS 84 com fuso de referência 24. Foi feita a vetorização da carta 1:25.000 da barragem com curva de nível equidistante de 5m.

As curvas de nível foram geradas através das imagens de SRTM de 30 metros de resolução. A imagem do tipo .tif foi importada com o sistema de projeção UTM WGS-84 fuso 24 S. Foram geradas isolinhas de 10m cujo a menor cota foi de 310 metros e a maior cota foi de 590.

Geração do Banco de Dados (HEC-GeoRAS)

As curvas de níveis é uma etapa preliminar para a geração do TIN. Após a vetorização da região de interesse e geração das curvas, os dados foram convertidos para o formato shape e exportados para o Arcgis, onde do TIN (triangular irregular network), foi gerado pelo método de vizinhos mais próximos (Figura 4).

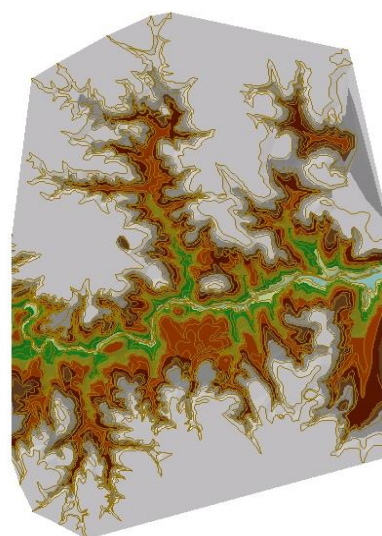


Figura 4- TIN da área referente a barragem de São José do Jacuípe

O TIN é uma interpolação que utiliza pontos da elevação irregularmente espaçados para formar uma rede de facetas de triângulos formando uma grade pela junção de vários triângulos. O TIN produzido neste trabalho foi criado no ArcMap 10.3.

Foram gerados 9 (nove) classes de cores (Figura 5) para cada faixa e altitude, sendo os tons mais escuros a representação de áreas mais altas e os tons mais claros próximo do azul e do amarelo claro, áreas mais baixas. Os resultados da interpolação foram então utilizados para produção da geometria do canal fluvial.

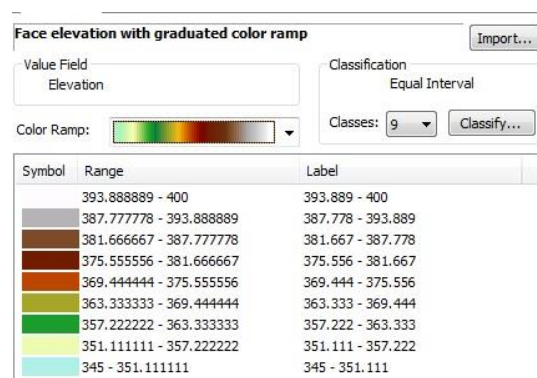


Figura 5- Rampa de Cores gerada a partir do TIN

O TIN serviu como base para o processode delimitação e criação do arquivo tipo vetorial, de topologia linha, das margens do rio, talvegue e secções transversais.

Para a construção da geometria fluvial foram gerados os seguintes elementos (vide Figura 6): Banks, Flowpaths, River, XSCutLine, River3D, XSCutLine3D,

LateralStructure, InlineStructure, LateralStructure3D, InlineStructure3D. Os vetores Bank são utilizados para designar as margens, enquanto que Flowpath contém três vetores principais (Linha central, que corresponde ao canal fluvial, margem superior que é a margem esquerda do rio e margem inferior, a margem direita), além disso a direção do fluxo é informada ao software no momento que são geradas estas camadas vetoriais. River é a vetorização do canal principal do rio. Após criar Banks, River e flowpaths, pode-se então criar XSCutLine, que são as seções transversais traçadas de uma margem a outra do canal estudado.

A interseção das linhas de corte ou XSCutLines com as camadas: Banks, River e Flowpath são utilizados para calcular os atributos no HEC-RAS, tais como a distância entre as seções transversais e estação de banco. LateralStructure e InlineStructures são obras hidráulicas e podem ser configuradas no HEC-GeoRAS e no HEC-RAS. Neste, as Structures citadas representam a Barragem de São José Jacuípe e seu vertedouro, respectivamente.

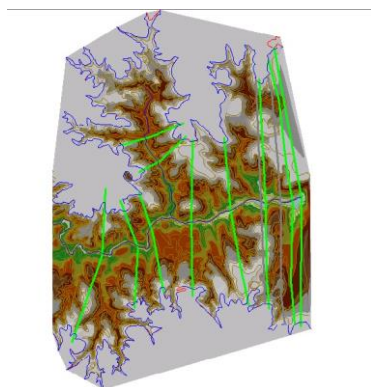


Figura 6- Elementos da geometria fluvial sobre o TIN

Após a criação dos elementos que descrevem a geometria fluvial é fundamental gerar os vetores 3D para River, XSCutLine, LateralStructure e InlineStructure pois o HEC-RAS só aceita este formato de arquivo para gerar o modelo de inundação. A geometria do canal fluvial é um Modelo Digital de Terreno - MDE indispensável na compatibilização dos arquivos entre HEC-GeoRAS para o HEC-RAS.

O Modelo HEC-RAS

Após a finalização da etapa anterior (Geração do Banco de Dados), o arquivo gerado foi exportado para o HEC-RAS na extensão .sdf. (Figura 7). O arquivo deve ser importado no sistema métrico (SI).

O software utiliza os parâmetros criados no HEC-GeoRAS para indicar o sentido do fluxo. O HEC-GeoRAS é um plug-in acoplado ao ArcGIS, possibilitando a modelagem hidrológica mediante

ferramentas de geoprocessamento gerando o modelo hidráulico apresentado em Modelo Digital de Terreno (MDT)

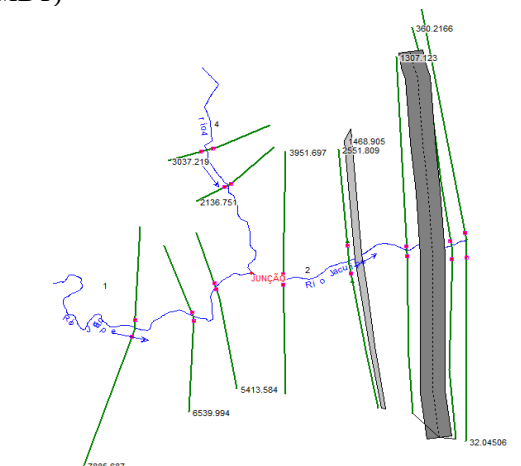


Figura 7- Geometria importada para o HEC-RAS

O HEC-RAS divide as etapas computacionais em dois processos. Um relaciona-se com a entrada dos dados geométricos, citados anteriormente, e as condições de contorno do escoamento do rio para subsidiar a modelagem hidráulica. Tais condições, como coeficiente de Manning, vazão de escoamento, regime de escoamento, declividade, e tempos de retorno. Pela teoria do escoamento em canais abertos, o coeficiente de rugosidade de Manning é um dos principais parâmetros para descrição da vazão sobre uma superfície. É necessário estimar o coeficiente de rugosidade de Manning para os períodos de vazão, em alguns trechos do rio Jacuípe. A rugosidade das paredes do canal pode ser definida por um coeficiente de Manning, n , que se considera constante. Os coeficientes de perda de carga em contracções e expansões são respectivamente 0.1 e 0.3. O coeficiente de rugosidade de Manning, foi estimado de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Coeficiente de Manning para algumas superfícies

Cobertura da Bahia	Coeficiente "n"
Asfalto suave	0,012
Asfalto ou concreto	0,014
Argila compactada	0,030
Pouca vegetação	0,020
Vegetação densa	0,350
Vegetação densa e floresta	0,400

Fonte: Tucci, 1993

O modelo de inundação conta com uma confluência que, ao ser importada para o HEC-RAS, se comporta como um rio isolado, sendo portanto necessário inserir essa junção no programa.

No modelo HEC-RAS é necessário três pontos ou três trechos de rio para se realizar uma junção.

Os dados referentes às obras hidráulicas tais como altura e largura, foram inseridos no próprio programa, pois outros dados necessários foram gerados e exportados pelo HEC-GeoRAS como coeficiente de descarga (Cd) e o posicionamento das estruturas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro momento foi analisado o perfil longitudinal do rio. A Figura 8 mostra o perfil d'água longitudinal do canal principal no trecho da Barragem de São José do Jacuípe (Figura 8).

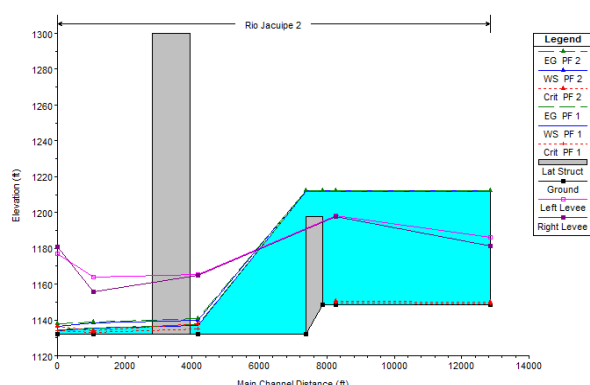


Figura 8-Perfil Longitudinal do trecho da Barragem de São José do Jacuípe

Quando o perfil longitudinal do rio possui declividade constante o fluxo não é turbulento. A região compreendida pelos barramentos corresponde a área de reservação. Nota – se diminuição da vazão, logo perda de velocidade e mudança no regime de escoamento. O Software consegue simular fluxo hídricos considerando a presença de confluências e barramento, porém, o modelo HEC-RAS oferece limitações que são inerentes ao modelo de propagação de onda para inundações normais e também para o rompimento de barragem visto que existe incerteza associada às perdas devido a infiltração e ao armazenamento que podem ocorrer no perímetro simulado, possui erros devido as aproximações dos métodos matemáticos utilizados e erros relacionados aos dados de entrada (limitações e constantes dos aparelhos utilizados para obtenção dos dados, ausência de calibração dos aparelhos e erros outras direções, que não a direção do escoamento são desprezados).

Outra forma de avaliar o volume hídrico é mediante análise das seções transversais. Foi necessário interpolar mais seções transversais para melhorar o resultado da simulação, para que todas as seções pudessem ser analisadas, adotou – se poucas seções. Como referência, a seção escolhida (Figura 9) fica

próximo ao barramento, contabilizando a vazão vinda da confluência.

humanos), além disso a vazão é considerada em determinada unidade dimensional (velocidade e

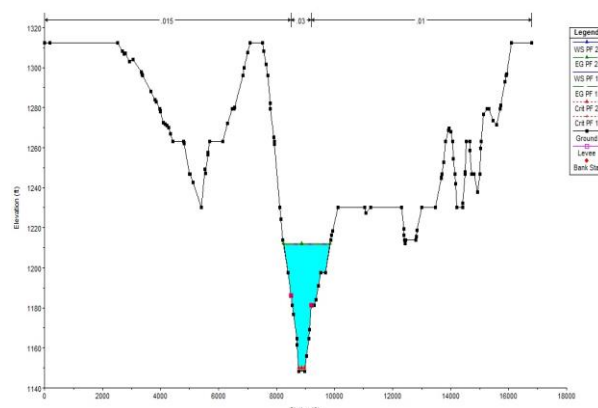


Figura 9- Perfil Transversal de um trecho inicial da barragem

A seção estudada é denominada River Station (3951.697) e é demonstrada na figura 6, onde no eixo x está plotada a largura do canal fluvial e no eixo y esta plotado a altitude do terreno. Já na parte superior do gráfico estão os valores do coeficiente de Manning para o canal principal e suas margens. Em azul temos o perfil da linha d'água, já os pontos vermelhos (Banks) representam as margens do rio.

A simulação para ser realizada necessita de informações sobre o fluxo a ser gerado, pode – se construir um hidrograma ao longo de determinado período ou inserir tempo de retorno e suas vazões correspondentes. Também se faz necessário informar o regime de escoamento a ser simulado. Os escoamentos podem ser classificados em permanentes e transitórios ou crítico, Todavia, na barragem estudada tem - se as duas concepções, pois há o regime de escoamento permanente do rio e o escoamento crítico (caso haja rompimento de barragem), então devem ser utilizados os dois regimes. O software simula escoamento subcrítico, crítico, ou ainda o regime misto. O fluxo misto pode alterar livremente no tempo e no espaço ao longo do canal, de subcrítico para supercrítico para uma onda de cheia induzida pela ruptura da barragem.

CONCLUSÃO

O HEC-RAS gerou os perfis longitudinais e transversais da bacia para os três trechos de rio, computando as informações importadas e inseridas no próprio software para o barramento, ainda que necessitando de ajustes manuais, acolheu a junção dos trechos e reconheceu a confluência, efetuando a simulação no regime subcrítico para as condições de contorno adotadas. Todavia, o software é capaz de ir além pois possui entre as suas funções outras análises, como qualidade da água e transporte de sedimentos.



Notou – se que a geometria importada necessitou de muitos ajustes manuais, e que é muito importante a precisão na entrada de dados para validar os resultados que descrevem o comportamento do fluxo, sobretudo, considerando rompimento de barragem. Apesar de facilitar o trabalho de modelagem e predição dos canais de escoamento naturais, sua aplicação é bastante complexa, exigindo um profundo conhecimento dos fenômenos hidrológicos por parte dos usuários, bem como de conhecimento de nível médio à avançado em geoprocessamento. Os resultados são condizentes com as equações estipuladas e as simulações apresentaram resultados condizentes com os esperados sobre o fluxo hídrico (longitudinal e transversal) em canais naturais. Apesar de sua aplicação demandar um grande montante de tempo no estabelecimento da modelagem, os resultados são satisfatórios e uma vez estabelecido as variáveis, o processo se torna semi-automático, cabendo apenas a alteração de entrada de variáveis de escoamento. Assim, essa aplicativo mostrou-se bastante útil e seus resultados bastante confiáveis, onde recomendamos sua utilização e aplicação.

REFERÊNCIAS

BATES, P. D.; HERVOUET, J.-M. A new method for moving-boundary hydrodynamic problems in shallow water. **Proceedings of the Royal Society of London**, v. 455, p. 3107-3128, 1999.

BURROUGH, P.A., MCDONNEL, R.A. **Principles of Geographical Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics**. Oxford University Press. Oxford, 333 p., 1998.

COMITÊ BRASILEIRO DE GRANDES BARRAGENS. Barragens no Brasil. São Paulo: Técnica Ltda., 1982. 279 p. DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. Guia Prático para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas. São Paulo, 2005. 116 p. GARCEZ, Lucas Nogueira. Construções Hidráulicas. São Paulo: Edgar Blücher, 1962. 276 p

CORDERO, A. MEDEIROS, P. A. TERAN, A. L. Medidas de Controle de Cheias e Erosões Disponível em: ceops.furb.br/index.php/publicacoes/.../5-metodos-controle-cheias-1999. Acessado em 01/11/2014.

FALCONER, R. A. A water quality simulation study of a natural harbor. **J. Waterway, Port, Coastal Ocean Eng. Division**, ASCE 112 (1), p.15-34, 1986.

FALCONER, R. A. Mathematical Modelling of Jet-Forced Circulation in Reservoirs and Harbours. 1976. **Tese**. Dept. of Civil Engineering of Imperial College, London, 1976.

HENICHE, M.; SECRETAN, Y.; BOUDREAU, P.; LECLERC, M. A two-dimensional finite element drying-wetting shallow water model for rivers and estuaries. **Advances in Water Resources**, v. 23, p. 359-372, 2000.

KENNY, F., MATTHEWS, B. A methodology for aligning raster flow direction data with photogrammetrically mapped hydrology. **Computers & Geosciences**, 31, 768-779. 2005

MELO, O. A. G., FUJITA, R. H., SANTOS, M. L.. Análise do perfil longitudinal do Rio Baiano – Assis Chateaubriand - PR a partir da aplicação do índice de gradiente (RDE). Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Viçosa (MG), 2009.

QUECEDO, M.; PASTOR, M. A reappraisal of Taylor-Galerkin algorithm for drying-wetting areas in shallow water computations. **International Journal for Numerical Methods in Fluids**, v. 38, p. 515-531, 2002.

RIGO, D. Análise do escoamento em regiões estuarinas com manguezais – medições e modelagem na baía de Vitória, ES. 2004. Tese de Doutorado em Ciências em Engenharia Oceânica - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

RIGO, D. **Análise do escoamento em regiões estuarinas com manguezais – medições e modelagem na baía de Vitória, ES**. 2004. Tese de Doutorado em Ciências em Engenharia Oceânica - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2004.

U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (2008) - “HEC-RAS. Hydrologic Modeling System – User’s Manual (version 2.1.2)”, Hydrologic Engineering Center, Davis.water. **Hydrological Processes**, v. 14, p. 2073-2088, 2000.