

ESTUDOS DE SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA DO CANAL DE SERNAMBETIBA NO RIO DE JANEIRO SOB EFEITOS DE MARÉ

Daniele Pereira Batista Amaral¹; Luciene Pimentel da Silva²; Marcelo Gomes Miguez³ & Paulo Luiz da Fonseca⁴

Resumo: A falta de infraestrutura urbana suficiente diante de eventos pluviométricos críticos, aliada à favelização, à urbanização desordenada e ao problema do lixo gera graves problemas para as cidades, entre eles os das enchentes. A situação é ainda mais crítica em trechos de rios de baixada sujeitos aos efeitos das marés, como é recorrente na cidade do Rio de Janeiro. Em sistemas de alerta e na busca de soluções para o controle de enchentes têm sido aplicados modelos de simulação hidráulico-hidrológicos. A simulação da transformação da chuva em vazão e, da propagação da mesma ao longo do sistema de drenagem tem grande utilização em recursos hídricos, em diferentes estudos, inclusive no próprio entendimento dos processos envolvidos na parte terrestre do ciclo hidrológico. Neste estudo foi aplicado o Modelo de Células de escoamento para Bacias Urbanas – MODCEL – ao Canal de Sernambetiba, localizado na baixada de Jacarepaguá, região que já presenciou eventos de enchentes e que também sofre grande influência das marés. Os resultados da simulação apresentaram-se satisfatórios e pôde-se observar que o modelo representou bem os hidrogramas e níveis d’água de acordo com o cenário apresentado.

Palavras-Chave – Simulação Hidrodinâmica; MODCEL; HIDROCIDADES

HYDRODYNAMIC SIMULATION STUDIES OF SERNAMBETIBA CANAL IN RIO DE JANEIRO UNDER TIDAL EFFECTS

Abstract: The lack of efficient urban infrastructure to face critic rainfall events, combined with the disorderly urbanization, slum and the garbage disposal, raise serious problems for urban life, among them, urban floods. The situation is even worse in coastal lowlands subject to tidal effects, as it is recurring in the city of Rio de Janeiro (Southeast of Brazil). Alert systems and the search for solutions to the flood control have taken benefits of the application of hydraulic-hydrological simulation models. Rainfall-runoff simulations, as well as the flow propagation along the drainage system has important use in water resources studies, including the understanding of the processes involved in the terrestrial part of the hydrological cycle. In this study, it was applied the Flow Cells Model for Urban Basins (MODCEL) to the Sernambetiba canal, located in the lowland

¹Mestranda em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente, Faculdade de Engenharia, UERJ, Rua São Francisco Xavier, 524, Pav. João Lyra Filho, sala 5029 E, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 20550-900, e-mail: danielepbl@gmail.com.

²Professora Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Faculdade de Engenharia, UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rua São Francisco Xavier, 524, Pav. João Lyra Filho, sala 5029 E, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 20550-900, e-mail: luciene.pimenteldasilva@gmail.com.

³Professor Adjunto da Escola Politécnica, Centro de Tecnologia, UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Av. Athos da Silveira Ramos, 149 – CT – 2º andar, sala I206, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 21941-909, e-mail: marcelomiguez@poli.ufrj.br.

⁴Professor Assistente do Departamento de Engenharia Civil, Setor de Recursos Hídricos, UFF e Chefe de Gabinete da Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de Janeiro (Rio Águas), Campo de São Cristóvão nº 268, São Cristóvão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 20921-440, e-mail: pfonseca13@gmail.com.

of Jacarepaguá, region that has witnessed events of flooding and under great tidal influence. The simulation results were satisfactory and, it was observed that the model well represented the hydrographs and water levels according to the proposed scenario.

Keywords – Hydrodynamic Simulation; MODCEL; HIDROCIDADES

1. INTRODUÇÃO

A baixada de Jacarepaguá, localizada no município do Rio de Janeiro sofre enchentes de forma recorrente. Baixios, contra fortes, clima são condicionantes naturais, que de certa forma se repetem muitas vezes ao longo do litoral Carioca. A retificação e canalização de vários rios, e a forma de ocupação da Cidade, contribuíram para o agravamento do problema. A Região se caracteriza por seu sistema lagunar, manguezais, mata de restinga, cercada pela área de preservação do maciço da Pedra Branca, que constitui o Parque Estadual da Pedra Branca, importante remanescente de mata atlântica da Cidade e do Estado. A região de estudo consiste em área principal de expansão da Cidade, onde estão previstas várias intervenções para aparelhamento com vistas à realização das Olimpíadas de 2016. Neste contexto, destacam-se as graves enchentes de 1996 e 2010, que causaram mortes, deixaram vários desabrigados, isolaram temporariamente a região do resto da Cidade e contribuíram para o aumento dos índices de leptospirose à época. Observa-se que os alagamentos permanecem por alguns dias agravados pelo efeito das marés e que a Região de drenagem do Canal de Sernambetiba não é provida de sistema de drenagem ou de esgotos suficientes, além do problema das ocupações irregulares, que se repetem nas regiões de Baixada da Cidade.

Os modelos hidrológicos e hidrodinâmicos permitem a partir de informações pluviométricas a simulação das vazões e das cotas fluviométricas associadas. É possível também em alguns modelos o estabelecimento dos condicionantes das marés. A determinação das cotas de inundação para eventos críticos permite a delimitação de Faixas Marginais de Proteção (FMPs), dimensionamento ou redesenho da rede de drenagem, além da geração de informações para sistemas de alerta, que contribuem para a promoção da evacuação da população mais vulnerável durante eventos pluviométricos críticos.

Neste trabalho foi desenvolvido um estudo de simulação de cenários críticos utilizando o Modelo de Células de Escoamento para Bacias Urbanas (MODCEL; Miguez, M. G., 2001) para determinação de cotas de inundação. Trata-se de aplicação inédita deste modelo à área de drenagem do Canal de Sernambetiba que drena, entre outras, as águas da bacia do rio Morto. Este estudo faz parte do desenvolvimento de uma dissertação de mestrado integrada ao Projeto HIDROCIDADES⁵ (Pimentel da Silva *et al.*, 2008), agora inserido na Rede de Pesquisa FINEP – Bacias Representativas de Uso Misto (BRUM).

⁵O Projeto HIDROCIDADES tem como objeto de estudo a baixada de Jacarepaguá e visa à conservação da água nos meios urbanos e peri-urbanos. São implementados, baseados no conceito de pesquisa-ação, experimentos de monitoramento quali-quantitativo da água, telhado verde e de educação ambiental com objetivo de integrar conservação da água (incluindo controle de enchentes), geração de renda, cidadania e inclusão social.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Segundo a divisão institucional da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, a Baixada de Jacarepaguá, está localizada na Área de Planejamento 4 (AP 4) (Figura 1), sendo constituída pelas Regiões Administrativas de Jacarepaguá e Barra da Tijuca, XVI e XXIV respectivamente.

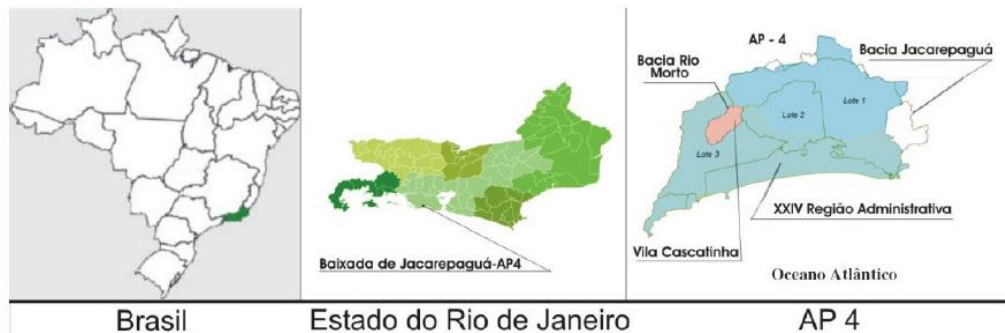


Figura 1 - Localização da Bacia do Rio Morto - Baixada de Jacarepaguá, Rio de Janeiro.

Fonte: ROSA (2003); Anuário Estatístico do Rio de Janeiro – Instituto Pereira Passos - PMRJ

O canal de Sernambetiba está localizado a oeste da baixada de Jacarepaguá. Foi construído para facilitar a drenagem dos terrenos alagadiços dos Campos da Sernambetiba, e com isso, ampliar, no passado, a área de cultivo agrícola na região. Sua saída ao mar ocorre na extremidade sul da praia do Recreio dos Bandeirantes. Atualmente este canal é o escoadouro da maioria dos rios que descem da face sul do Maciço da Pedra Branca (região de drenagem do Lote 3, da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro).

O local apresenta poluição evidente, tendo trechos já bastante assoreados. A proliferação de gigogas ocorre devido ao excesso de nutrientes, já que o canal recebe aporte de esgotos diariamente. O Canal de Sernambetiba forma-se a partir do encontro dos rios Vargem Grande e Morto e deságua no Oceano Atlântico. O curso d'água possui 4,5 km de extensão. Neste estudo foi feita a divisão de células de escoamento para um trecho do rio Morto até o encontro do Canal de Sernambetiba com o mar.

3. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas cartas do Instituto Pereira Passos na escala 1:10.000, da região do Maciço da Pedra Banca (cartas 284D, 284F, 285C, 285F E 308B, de acordo com o Relatório Técnico - Mapeamento da Cobertura Vegetal e do Uso do Solo das Terras no Município do Rio de Janeiro no Ano de 2010, 2011).

As seções transversais foram obtidas do projeto de retificação e canalização da bacia de Jacarepaguá, gentilmente cedido pela Rio Águas/Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, para a região que tem início no rio Sacarrão (que deságua no rio Morto) até a confluência com o rio Vargem Grande, no Canal de Sernambetiba.

Para o cálculo da precipitação utilizou-se a equação I-D-F (1), cujos coeficientes foram definidos pela Subsecretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas – Rio Águas para o posto pluviométrico denominado Via 11 (Castro *et al.*, 2005).

$$I = \frac{axT_R^b}{(t+c)^d} \quad (1)$$

Cujos parâmetros são: a=1423,20 b=0,196 c=14,58 d=0,796

Os dados de maré foram obtidos através do site do Centro de Hidrografia da Marinha, e foram utilizados os dados relativos ao mês de abril de 2010, período em que ocorreu um evento excepcional de inundação na região de estudo.

3.1 O Modelo MODCEL

Para a modelagem hidrodinâmica da bacia hidrográfica de interesse foi utilizado o Modelo de Células de Escoamento (MODCEL), capaz de simular diferentes cenários hidrológicos e hidráulicos. Segundo Miguez (2001), esse modelo parte do princípio que a bacia pode ser representada por compartimentos interligados, formando uma rede bidimensional. Esses compartimentos são chamados de “células de escoamento”; assim, a bacia é subdividida em diferentes células interligadas entre si e o escoamento entre as células é calculado por equações hidráulicas unidimensionais definidas de acordo com o padrão topográfico e de urbanização da região, através de relações hidráulicas unidimensionais, equações de vertedor, de orifício, de Saint-Venant, e outras. A representação da natureza pode ser feita através de células isoladas ou formando um conjunto, a fim de representar a complexidade dos possíveis caminhos das águas em uma inundação.

3.2 Hipóteses e Cenários das Simulações

O trecho analisado tem seu início na estaca 68 do rio Morto (de acordo com o projeto de retificação) quando este atravessa a estrada dos bandeirantes, e termina na foz do canal de Sernambetiba. Foi adotada uma topologia simples, com 31 células nomeadas e dispostas linearmente, e procurou-se manter a distância de 200m entre os centros de células.

Considerou-se para o canal de Sernambetiba uma área de contribuição para o escoamento superficial de 42,58km², de acordo com as cartas topográficas da região.

Foram definidas três condições de contorno: a contribuição do rio Vargem Grande, onde foi considerada uma área de drenagem de 8,125 km²; a contribuição do rio Morto, onde foi considerada uma contribuição de 6,950 km² e a última condição de contorno foi o mar. Essas contribuições foram consideradas condições de contorno das células 1 e 7, conforme apresentado na figura 2, e da célula 31, sendo esta uma porção do mar.

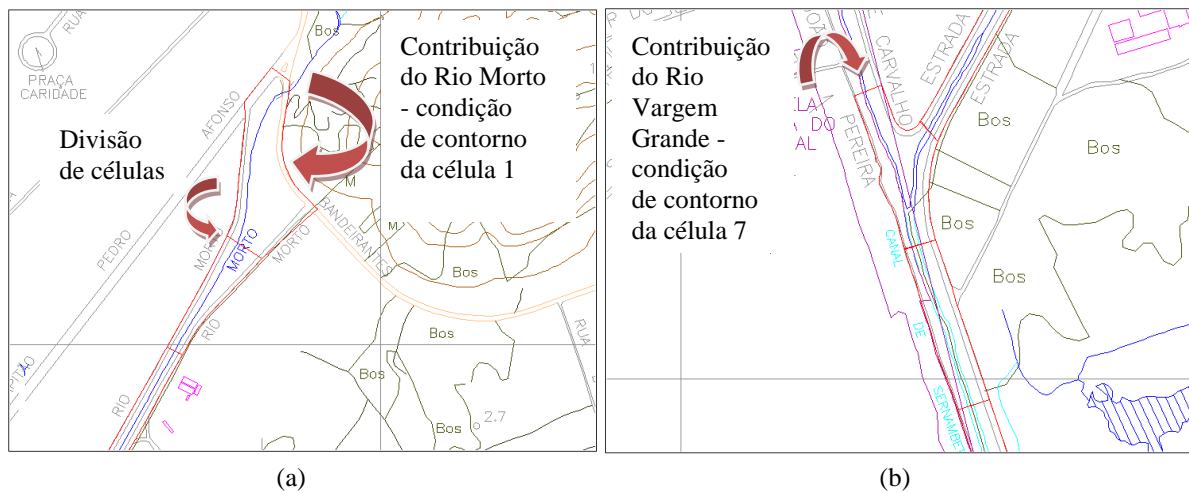


Figura 2 – a) Representação da Contribuição do Rio Morto, e; b) Representação da Contribuição do Rio Vargem Grande.

Os hietogramas e hidrogramas de entrada foram obtidos através do aplicativo HIDRO-FLU, desenvolvido por Magalhães *et al.* (2005), considerando um tempo de recorrência de 25 anos e levando em consideração a equação de chuva apresentada anteriormente. Foi adotada uma duração de chuva igual ao tempo de concentração calculado pelo programa e a chuva foi calculada para intervalos de 2 minutos. A figura 3 apresenta os gráficos obtidos para as duas primeiras condições de contorno.

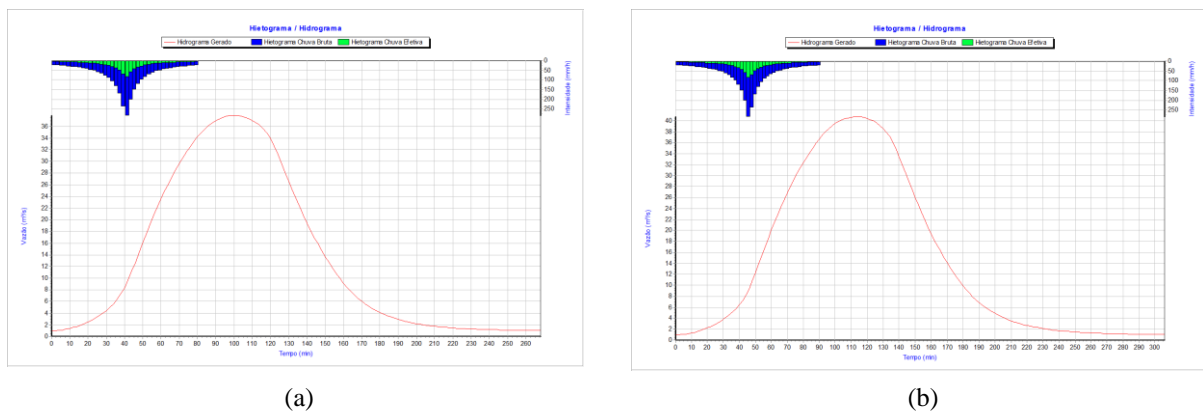


Figura 3 – a) Hietograma/Hidrograma da Contribuição do Rio Morto, e; b) Hietograma/Hidrograma da Contribuição do Rio Vargem Grande.

Os dados de maré entraram como condição de contorno tipo cotas – Z, usualmente adotado para informações desse tipo. Todas as 31 células foram consideradas como sendo células de rio e as ligações entre as células foram consideradas do tipo planície. Por se tratar de uma área extensa, para efeitos de simplificação, não foram consideradas células de superfície adjacentes ao canal nem contribuições subterrâneas.

Para a modelagem, foi considerado um intervalo de tempo de 2 minutos, tal qual o intervalo de cálculo da precipitação. Além disso, foi previsto um número de discretizações igual a 140 e 60 subdivisões do intervalo de tempo.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A ligação entre as células de canal, para escoamento à superfície livre, considerou, como primeira aproximação, a Equação Dinâmica de Saint Venant, sem os termos de inércia, conforme modelagem original de Zanobetti *et al.* (1970). Com isso, os resultados obtidos já foram satisfatórios.

A partir da simulação dos cenários descritos em 3.2, foram obtidas as vazões para cada ligação entre células e os níveis d'água em cada uma delas.

A seguir são apresentados nas figuras 4 e 5 os hidrogramas obtidos para as células que recebem condição de contorno.

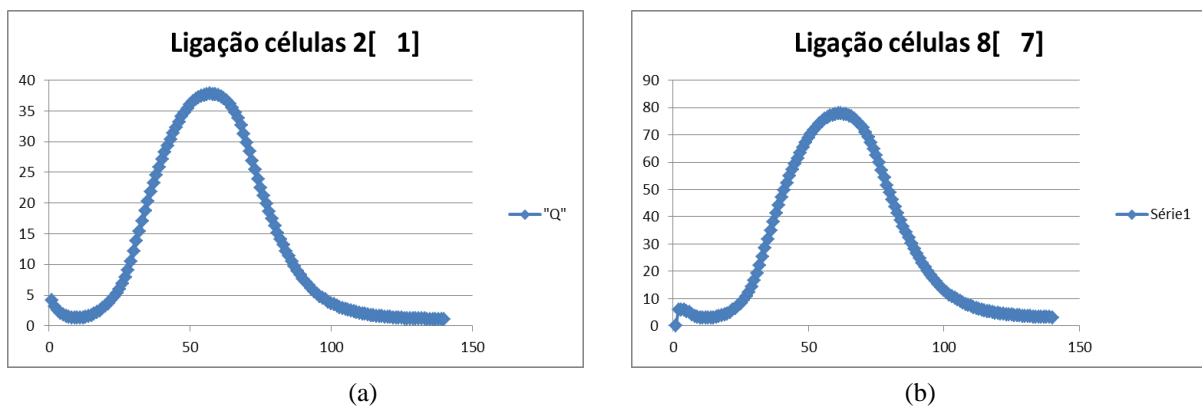


Figura 4 – a) Hidrograma da ligação entre as células 1 e 2 (início do trecho, contribuição do rio Morto), e; b) Hidrograma da ligação entre as células 7 e 8 (contribuição do rio Vargem Grande).

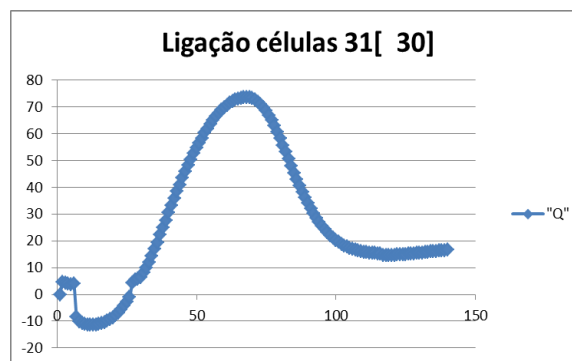
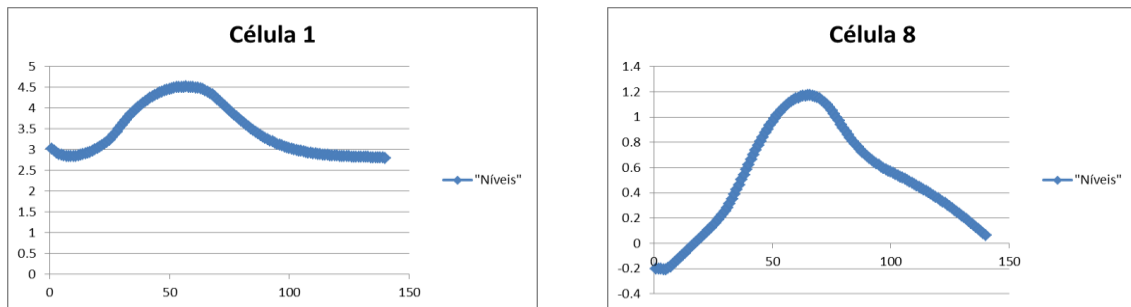


Figura 5 - Hidrograma da ligação entre as células 30 e 31 (encontro do canal de Sernambetiba com o mar).

Os valores de vazão nos instantes iniciais a princípio podem ser desconsiderados, por se tratar de ajuste do modelo.

Fazendo uma correlação entre as figuras 3 e 4, é possível observar a coerência nos hidrogramas obtidos. Observa-se na figura 4b que o valor de pico tornou-se praticamente o dobro, quando comparado à figura 4a. Isso demonstra que o modelo representou bem o aumento da vazão devido à contribuição do rio Vargem Grande. A figura 5, que representa a ligação do canal de Sernambetiba com o mar, mostra a simulação do efeito da maré no hidrograma. Nas figuras 6 e 7 são apresentados os gráficos de nível d'água x tempo.



(a) (b)
Figura 6 – a) Níveis na célula 1, e; b) Níveis na célula 8.

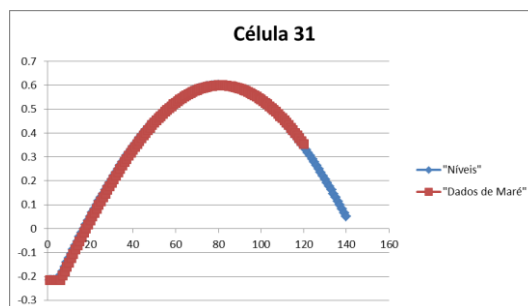


Figura 7 – Níveis na célula 31 x dados de maré.

Pôde-se observar que o modelo representou bem as variações de nível em cada célula, demonstrando que os níveis máximos ocorreram nos intervalos de tempo onde as vazões foram máximas. Na célula 8 (Figura 6b) há um aumento da seção transversal do rio e é possível observar no gráfico a correta diminuição dos valores de níveis d'água. A figura 7 mostra a boa correlação entre os níveis na célula 31 (considerada como uma porção do mar) e os dados de maré.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A modelagem matemática pode representar uma importante ferramenta para auxiliar no processo de controle das inundações. Os modelos permitem o reconhecimento dos padrões de inundação e comportamento da drenagem urbana, possibilitando a criação de diferentes cenários de crescimento populacional e propondo meios de lidar com o problema.

No caso apresentado, o MODCEL mostrou ser capaz de reproduzir os padrões hidráulicos em uma paisagem urbana sujeita a efeito de maré. Sua capacidade de executar a transformação de

chuva-vazão, de forma distribuída, foi importante para integrar os processos hidrológicos e hidráulicos.

Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se o aumento do número de subdivisões do intervalo de tempo de simulação para realização de uma análise mais sensível. Adicionalmente, observa-se que é conveniente que sejam previstas células de superfície nas regiões adjacentes ao canal. Uma vez que o MODCEL pode ser utilizado como um modelo quasi-bidimensional, será possível considerar que o escoamento pode passar para as planícies marginais e “seguir” por elas, voltando ou não para a calha principal, e com isso permitir o avanço desejado na elaboração do mapa de inundação e delimitação das faixas marginais.

REFERÊNCIAS

CASTRO, R.A.G.; FONSECA, P. L.; FORTES, J.D.N.(2005) . Determinação de Equação I-D-F de Chuvas Intensas do Posto Pluviográfico/Pluviométrico Via Onze - Barra Da Tijuca RJ. Metodologia e Análise comparativa. In *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Campo Grande, 2005.

FONSECA, P.L.; PIMENTEL DA SILVA,L.; BATISTA, D.P. (2011). Unconventional Measures and Hydrodynamic Simulation with Mathematical Model in Sacarrao River Basin, Jacarepagua, west area of the city of Rio de Janeiro, Brazil. In *Anais do 12th International Conference on Urban Drainage*, Porto Alegre, 2011.

MAGALHÃES, L.P.C.; MAGALHÃES, P.C.; MASCARENHAS, F.C.; MIGUEZ, M.G.; COLONESE, B.L.; BASTOS, E.T. (2005). Sistema HIDRO-FLU para apoio a projetos de drenagem. In *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, João Pessoa, 2005.

GEOAMBIENTE (2011). Mapeamento da Cobertura Vegetal e do Uso do Solo das Terras no Município do Rio de Janeiro no Ano de 2010. Rio de Janeiro – RJ.

MIGUEZ, M.G. (2001). Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

PIMENTEL DA SILVA, L.; MACRAE, F.R.; GOMES, M.M.; CERQUEIRA, L.F.F.; ROSA, E.U.; MORAES, M.F.(2008). HIDROCIDADES - Cities, Quality of Life and Water Resources: Integrated Water Resources Management and Urban Planning for Low-Land Region of Jacarepaguá, Rio de Janeiro, Brazil. In *Anais do 11th International Congress on Urban Drainage*, Edinburgh , 2008.

PREVISÕES DE MARÉS (Máximas e Mínimas diárias). Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>>. Acesso em: Janeiro 2013

REZENDE, O.M. (2010). Avaliação de Medidas de Controle de Inundações em um plano de Manejo Sustentável de Água Pluviais Aplicado à Baixada Fluminense. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

ROSA, E.U.; KAUFFMANN, M.O.; PIMENTEL DA SILVA, L. (2003). Gestão do Parcelamento e Ocupação do Solo na Cidade do Rio de Janeiro. In *Anais do VII Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente*, Rio de Janeiro, 2003.

ZANOBETTI, D.; LORGERÉ, H.; PREISSMAN, A.; CUNGE, J.A. (1970). Mekong Delta Mathematical Program Construction. *Journal of the Waterways and Harbours Division*, ASCE, v. 96, n. WW2, pp. 181-199.