

## XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **ATUALIZAÇÃO DA CALIBRAÇÃO DO MODELO DE CHEIAS DA BACIA DO CANAL DO MANGUE, RIO DE JANEIRO - RJ**

*Matheus Martins de Sousa<sup>1</sup>, Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira<sup>2</sup>, Osvaldo Moura Rezende<sup>3</sup>  
João Paulo Rebechi Fraga<sup>4</sup>; Wanderson José dos Santos<sup>5</sup>, Paulo Canedo Magalhães<sup>6</sup>, Ana Caroline  
Jacob<sup>7</sup>, Luiza Batista de França<sup>8</sup>, Marcelo Gomes Miguez<sup>9</sup>*

**Palavras-Chave** – Inundações urbanas, Modelagem Hidrodinâmica, MODCEL

#### **RESUMO**

A bacia do Canal do Mangue é uma região que apresenta um sistema de drenagem complexo e é historicamente conhecida por graves eventos de inundações com grandes consequências. Ao longo dos anos a região foi objeto de vários estudos. O Plano Diretor da Bacia do Canal do Mangue - PBCM elaborou um modelo matemático de inundações para dar apoio aos estudos das cheias na bacia, com uso do Modelo de Células de Escoamento - MODCEL. O modelo foi calibrado e validado para as condições em que o sistema se encontrava na época do estudo, tendo sido utilizado tanto para o diagnóstico das áreas mais sensíveis às inundações, como para o prognóstico do funcionamento das obras propostas. Posteriormente ele foi recalibrado e utilizado para avaliar as novas intervenções na Bacia. O presente trabalho apresenta uma nova calibração para o modelo, efetuada após a implementação dos reservatórios de amortecimento existentes e anterior ao desvio do rio Joana, essa nova calibração contou com dados especializados da bacia e apresentou um resultado satisfatório para representação do complicado sistema de drenagem da região.

#### **INTRODUÇÃO**

A bacia do Canal do Mangue é uma região que apresenta um sistema de drenagem complexo e é historicamente conhecida por graves eventos de inundações com grandes consequências. O processo de ocupação dessa bacia gerou áreas densamente povoadas em regiões planas e baixas, desfavoráveis aos escoamentos pluviais e com áreas de encostas muito íngremes a montante, características propícias à formação de cheias rápidas, com reduzido tempo de concentração. Além disso, a bacia do Canal do Mangue possui uma rede de drenagem com baixa eficiência, o que intensifica o processo

1) Programa de Engenharia Ambiental – POLI/UFRJ: Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Bloco A - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, 21941-909, +55-21-3938-7830. matheus@poli.ufrj.br

2) Programa de Engenharia Civil, COPPE, UFRJ Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Bloco A - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, 21941-909, +55-21-3938-7830. krishnamurti@poli.ufrj.br

3) Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Brasil, Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Bloco A - Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, Cep: 21941-909, Fone: 55 (21) 3938-7830, e-mail: omrezende@poli.ufrj.br

4) Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de Janeiro – RIO-ÁGUAS, Rua Voluntários da Pátria, 169, Botafogo, 22270-001, Rio de Janeiro, RJ, dep.rioaguas@gmail.com, +55 21 2088-0669

5) Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de Janeiro – RIO-ÁGUAS, Rua Voluntários da Pátria, 169, Botafogo, 22270-001, Rio de Janeiro, RJ, dep.rioaguas@gmail.com, +55 21 2088-0669

6) Programa de Engenharia Ambiental – POLI/UFRJ: Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Bloco A - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, 21941-909, +55-21-3938-7830. canedo@hidro.ufrj.br

7) Aquafluxus Consultoria Ambiental em Recursos Hídricos: caroline@aquaflexus.com.br

8) Aquafluxus Consultoria Ambiental em Recursos Hídricos: luiza@aquaflexus.com.br

9) Escola Politécnica – POLI/UFRJ: Av. Athos da Silveira Ramos, 149 - Bloco A - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, 21941-909, +55-21-3938-7830. marcelogmiguez@poli.ufrj.br

natural de enchentes. Diante disso, é de extrema importância, especialmente para regiões com essas características, a utilização de modelos matemáticos capazes de representar toda a bacia hidrográfica funcionando em conjunto, de forma conexa.

Ao longo dos anos, esta região foi objeto de vários estudos. No âmbito do Plano Diretor da Bacia do Canal do Mangue – PBCM (COPPETEC, 2000), um modelo matemático foi elaborado para dar apoio aos estudos das cheias na bacia, com uso do Modelo de Células de Escoamento – MODCEL (MIGUEZ et al., 2017). O modelo foi calibrado e validado para as condições em que o sistema se encontrava na época do estudo, tendo sido utilizado tanto para o diagnóstico das áreas mais sensíveis às inundações, como para o prognóstico do funcionamento das obras propostas. Posteriormente, ele foi calibrado (REZENDE et al., 2019) e utilizado para avaliar as novas intervenções na Bacia (SOUSA et al., 2020).

O presente trabalho apresenta uma nova calibração para o modelo hidrodinâmico, efetuada após a implementação dos reservatórios de amortecimento finalizados para as Olimpíadas de 2016 e anterior ao desvio do rio Joana, obra executada recentemente.

## ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Canal do Mangue se localiza na zona norte da cidade do Rio de Janeiro e possui uma área de drenagem de 45,4 km<sup>2</sup>, apresentada na imagem da Figura 1. Tem como limite ao norte a bacia do Canal do Cunha, ao leste a Baía de Guanabara e a bacia do Centro, ao sul e oeste o maciço da Tijuca. Os principais cursos d'água da bacia hidrográfica do Canal do Mangue são os rios Maracanã, Joana, Trapicheiros, Comprido e Papa-Couve, os quais têm suas nascentes no Maciço da Tijuca ou na Serra do Engenho Novo, e afluem para o Canal do Mangue que, por sua vez, deságua na Baía de Guanabara.

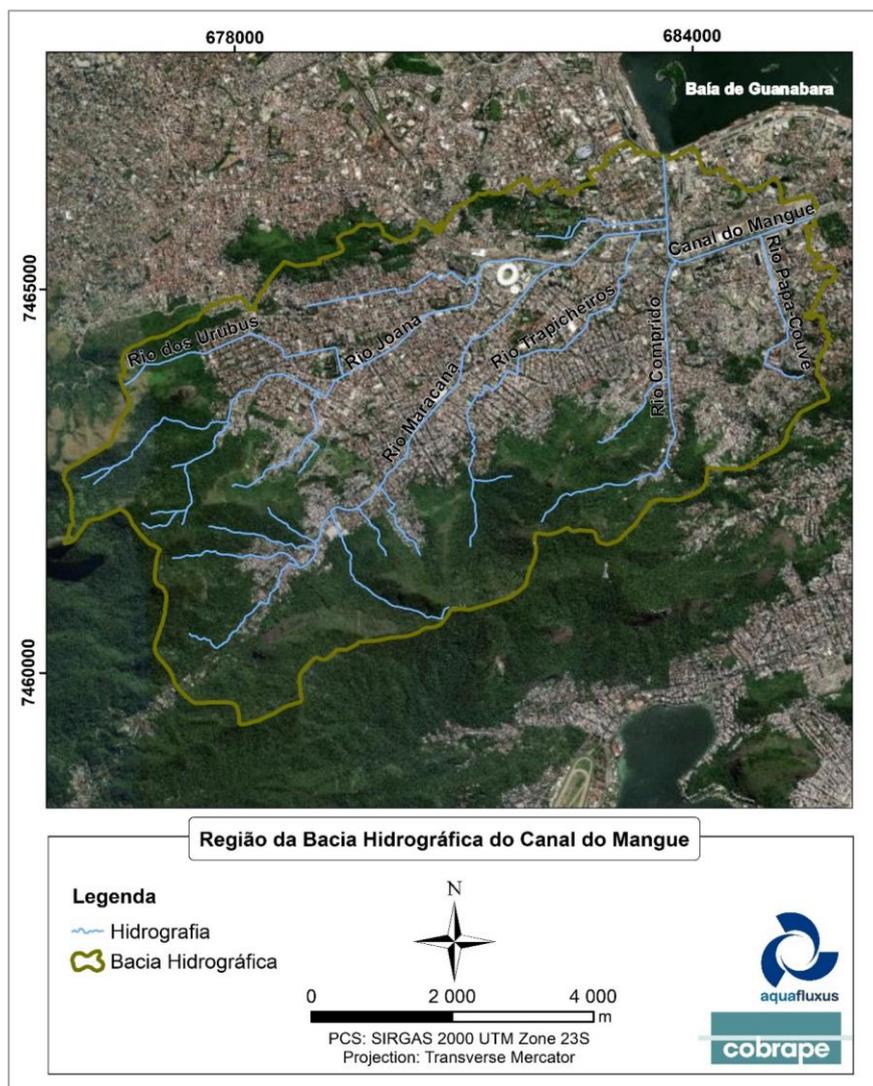


Figura 1 – Região da bacia hidrográfica do Canal do Mangue.

## METODOLOGIA

A bacia hidrográfica do Canal do Mangue foi modelada com o apoio do software MODCEL, desenvolvido na UFRJ (MIGUEZ et al., 2017). O MODCEL é um modelo quasi-2D (CUNGE et al., 1980), que representa o espaço urbano através de compartimentos homogêneos, denominados por células e interligados por meio de equações hidráulicas, compondo uma rede hidrodinâmica de escoamentos. O conceito de células de inundação foi inicialmente desenvolvido por Zanobetti e Lorgeré (1968) e consagrado por Cunge et al. (1980).

A primeira versão de um modelo celular desenvolvido no Brasil foi construída para representar o Pantanal Matogrossense, um grande pântano na região centro-oeste do Brasil (MASCARENHAS & MIGUEZ, 1994). Posteriormente, este modelo foi adaptado a um ambiente urbano, ganhando uma série de novas instalações, sendo apresentado em uma versão inicial por Mascarenhas e Miguez (2002), que está em contínuo aperfeiçoamento, se apresentando como uma alternativa consistente para simular eventos hidrológicos em áreas urbanas complexas. Algumas aplicações anteriores deste modelo podem ser encontradas na literatura (ver, por exemplo, MIGUEZ et al, 2014; BARBEDO et al., 2015, MIGUEZ et al., 2015, NARDINI e MIGUEZ, 2016, MIGUEZ et al., 2017).

## CALIBRAÇÃO

As informações necessárias para a etapa de calibração do modelo são as alturas de chuva e medições de nível d'água em trechos dos rios principais. Tais informações foram obtidas do Sistema de Alerta de Chuvas da Prefeitura do Rio de Janeiro (Alerta Rio<sup>10</sup>) e da Rede MonitorÁguas – Canal do Mangue. Estas estações disponibilizam dados em tempo real, a cada 15 minutos e 5 minutos, respectivamente.

Foi escolhido o evento hidrológico ocorrido no dia 12 de março de 2016, para o processo de calibração. A Figura 2 apresenta as alturas de chuva dos postos pluviométricos do Sistema Alerta Rio e dos postos pluviométricos da Rede MonitorÁguas e a Figura 3 apresenta a localização das estações utilizadas para a calibração e validação do modelo.

Inicialmente, para a espacialização da chuva medida em cada posto na bacia do Canal do Mangue, foi aplicado o Método dos Polígonos de Thiessen para estimativa das áreas de influência de cada estação pluviográfica. A partir da aplicação desse método, as áreas de influência foram adaptadas para corresponder à divisão de células da bacia.

Os níveis d'água nos rios e canais da bacia do Canal do Mangue, resultantes da simulação do evento hidrológico considerado para a calibração, foram comparados com dados de medição dos postos fluviométricos implantados para a rede MonitorÁguas. Tais postos fluviométricos estão apresentados na imagem da Figura 4.

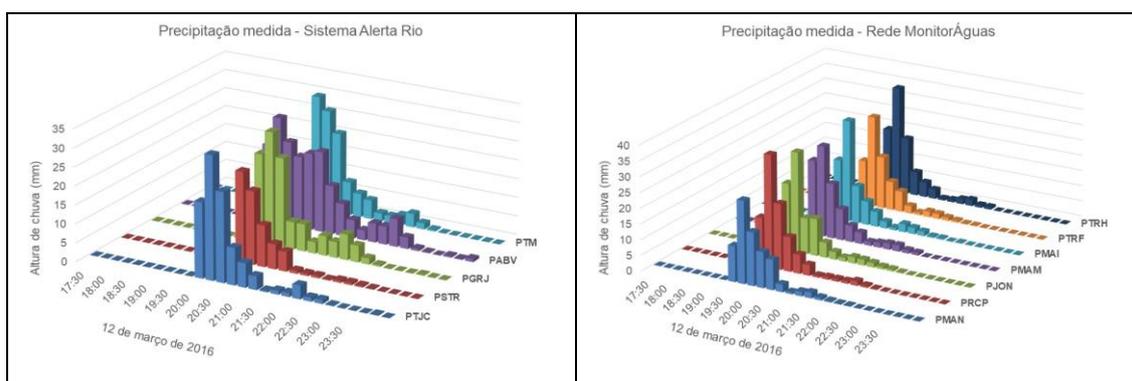


Figura 2 – Chuva medida no evento selecionado para calibração do modelo – Sistema Alerta Rio e Rede MonitorÁguas.

<sup>10</sup> Sistema de Alerta de Chuvas da Prefeitura do Rio de Janeiro. Fundação GEO-RIO. Disponível em: <[http://alertario.rio.rj.gov.br/?page\\_id=2](http://alertario.rio.rj.gov.br/?page_id=2)>, acessado em: 25/08/2014.

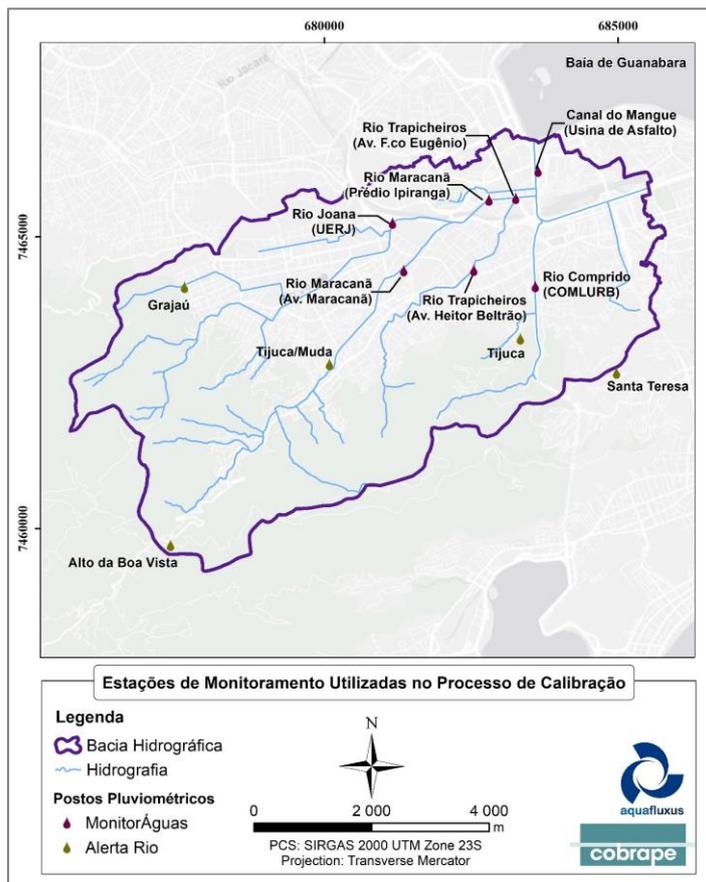


Figura 3 – Localização das estações de monitoramento utilizadas para a calibração do modelo matemático.

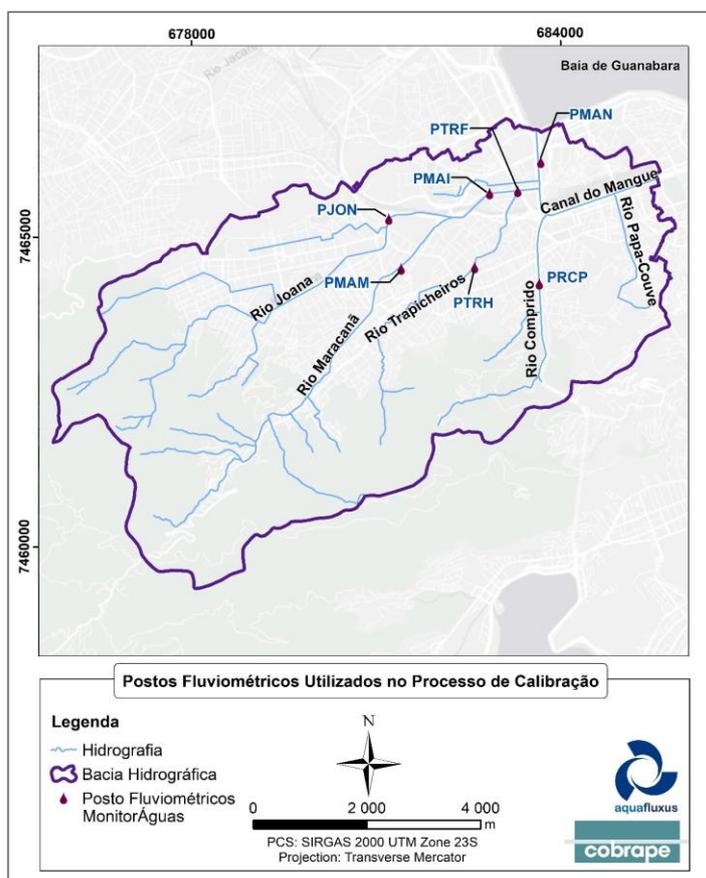


Figura 4 – Localização dos postos fluviométricos utilizados para a calibração do modelo matemático.

A primeira tentativa de calibração do modelo utiliza valores de literatura para os diversos parâmetros de entrada. Os principais parâmetros de calibração no sistema de modelagem com uso do MODCEL são os coeficientes de escoamento superficial e de Manning, além de outros parâmetros hidráulicos associados a equações clássicas utilizadas nas diversas ligações existentes no modelo, como orifícios e vertedores. O coeficiente de escoamento superficial foi definido de acordo com a observação do uso e cobertura do solo existentes na bacia, diferenciando tipos de uso e ocupação de solo, como áreas urbanas e áreas florestadas.

Para os coeficientes de Manning, utilizado nas ligações entre células de canais, galerias e planícies, foi aplicada metodologia de definição proposta por Chow (1959), majorando os valores segundo as condições apresentadas no trecho em análise, como presença de irregularidades no leito, mudanças bruscas de seção, existência de curvas acentuadas ou vegetação na calha. A Tabela 1 apresenta os coeficientes de Manning iniciais definidos para as ligações entre canais abertos e entre galerias. Essas ligações utilizam a equação de Saint-Venant completa ou desprezando-se os termos de inércia. As planícies são conectadas aos canais por meio de equações de vertedor e parte da microdrenagem é representada por conexões que simulam o funcionamento de bocas-de-lobo, alternando-se as equações de vertimento e de orifício, a depender da altura da lâmina d'água sobre a superfície. Os demais coeficientes foram considerados com valores padrão da hidráulica clássica.

Tabela 1 – Definição inicial dos coeficientes de Manning (rugosidade) para as ligações hidráulicas entre galerias e canais.

<b>Tipo de ligação</b>	<b>Característica</b>	<b>Coefficiente de Manning</b>
<b>Saídas, entradas ou entre galerias</b>	Retilíneo, sem restrições	0,017
	Existência de curva suave	0,037
	Existência de curva acentuada	0,061
	Existência de mais de uma curva	0,074
	Confluência de galerias	0,092
<b>Entre canais abertos</b>	Retilíneo, sem restrições	0,015
	Existência de curva suave	0,039
	Existência de ponte	0,060
	Existência de curva acentuada / ponte com curva suave	0,070
	Existência de curva acentuada mais ponte	0,078

Para simulação dos efeitos de remanso ocasionados pelas marés na Baía de Guanabara, foram consideradas as alturas de maré do posto da Ilha Fiscal, ocorridas no mesmo horário dos eventos de calibração e validação do modelo. Os níveis d'água de maré nos dias destes eventos foram obtidos do Relatório de Chuvas - 12 de março de 2016, disponibilizado pela Rio-Águas. Os resultados, utilizados como condições de contorno na modelagem hidrodinâmica, podem ser vistos na Figura 5.

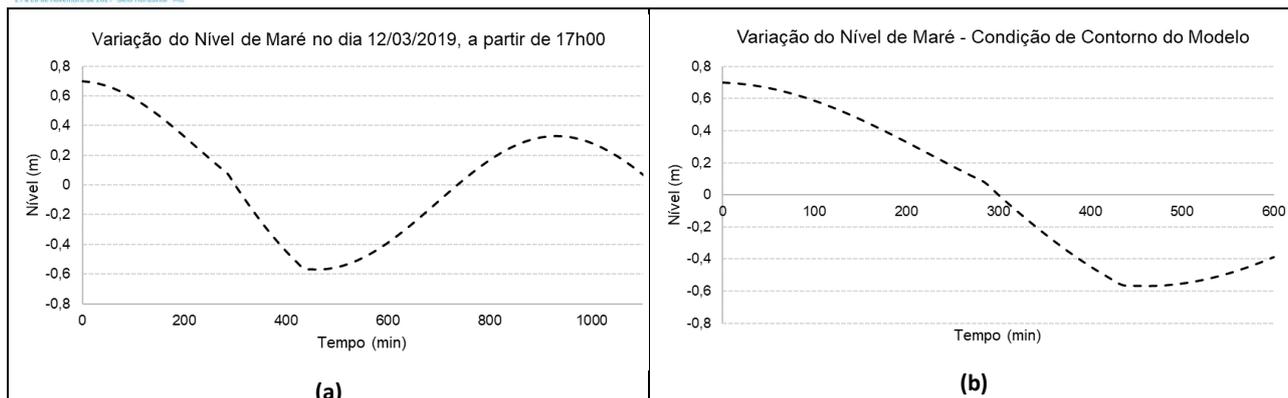


Figura 5 – Variação da onda de maré na Baía de Guanabara, durante o dia de ocorrência do evento escolhido para a calibração do modelo matemático (12/03/2016).

Após simulação do cenário de calibração, os resultados de nível d'água são confrontados com os valores medidos, variando-se, então, os coeficientes dentro de uma faixa aceitável fisicamente, para que a forma e o pico dos cotogramas medidos e simulados se aproximassem ao máximo. Posteriormente, é simulado o evento escolhido para a validação do modelo. A partir da observação dos resultados, novas alterações nos coeficientes são realizadas, de forma a se alcançar a melhor configuração, considerando as respostas das simulações de calibração.

Os resultados do processo de calibração, considerados satisfatórios, podem ser vistos nos gráficos da Figura 6.

Para uma avaliação da situação global da bacia, foi elaborado um mapa de inundação, indicando as profundidades máximas de alagamento resultantes da simulação do evento de calibração. Esse mapa é apresentado na Figura 7, no qual é possível observar as áreas mais afetadas pelas chuvas, localizadas no entorno das regiões do Maracanã e da Praça da Bandeira.

De fato, as fotografias do evento disponibilizadas pela Rio-Águas mostram situações mais graves na rua do Matoso, próxima à Praça da Bandeira e Rua Paula Souza, no Maracanã, além de diversos outros pontos críticos.

Os coeficientes de Manning após simulação do cenário de calibração podem ser observados na Figura 8 e os coeficientes de Runoff (Coeficientes de escoamento superficial) das células podem ser observados na Figura 9.

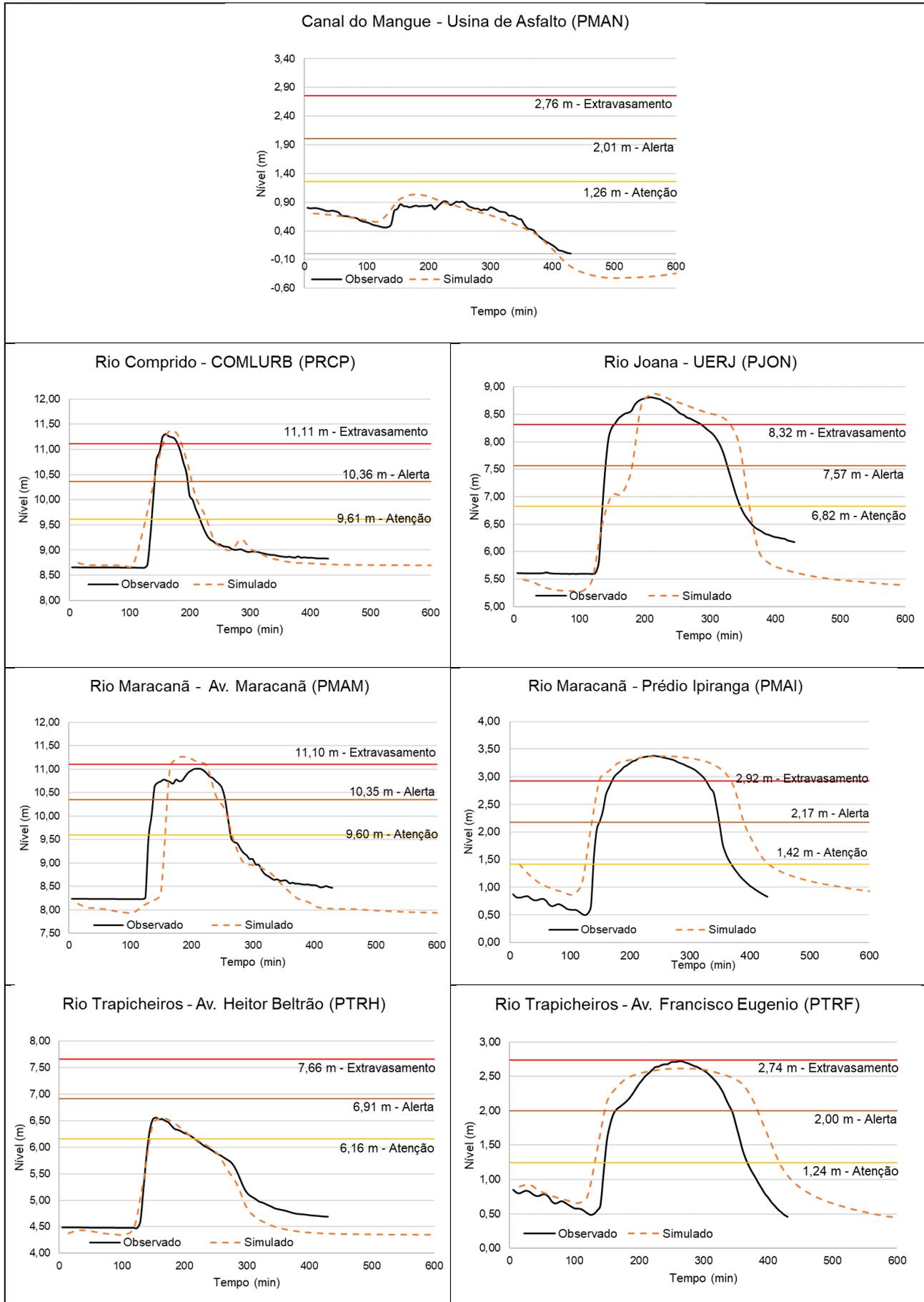


Figura 6 – Resultados da Calibração para os postos fluviométricos selecionados.

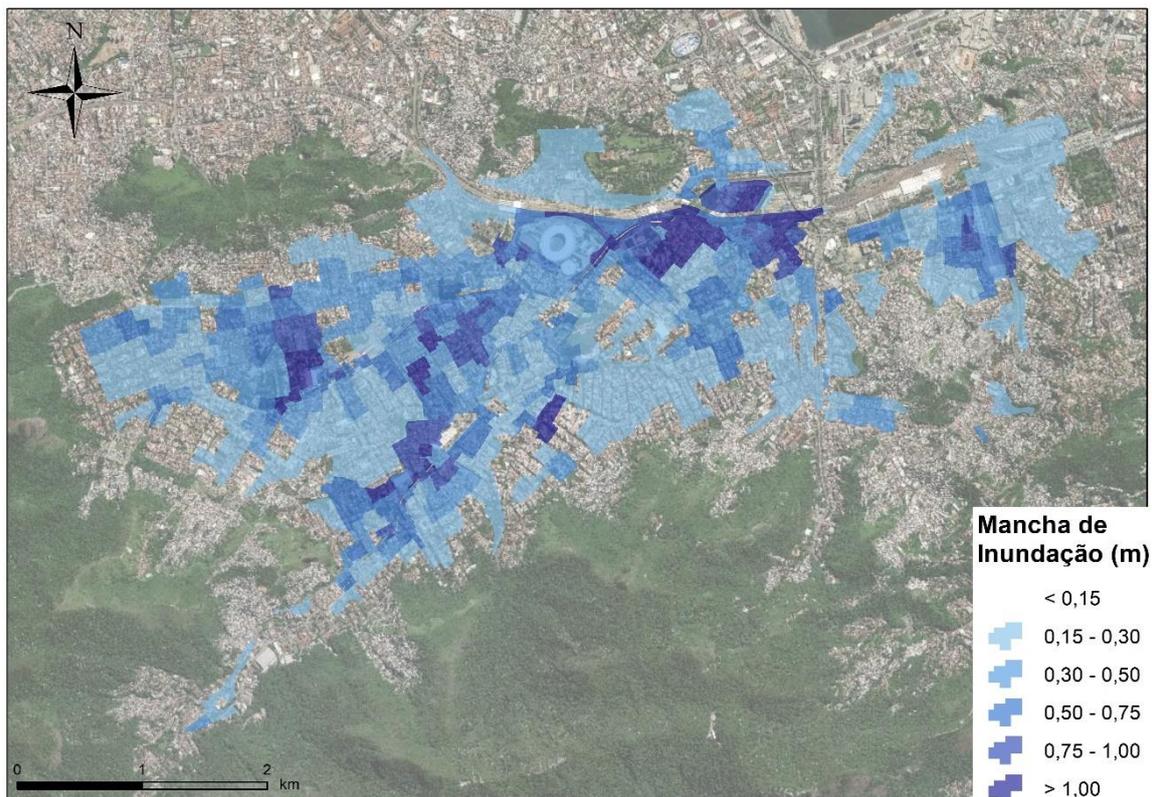


Figura 7 – Mancha de alagamento resultante da simulação do evento do dia 12 de março de 2016.

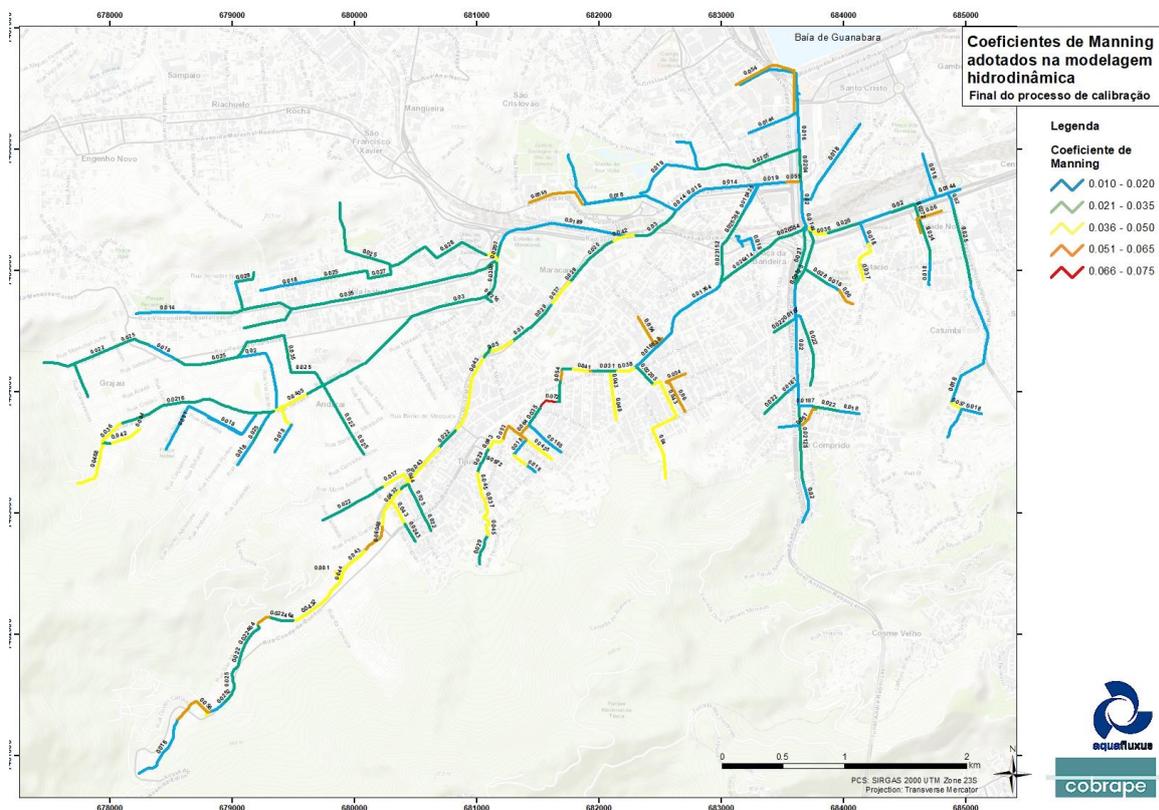


Figura 8 – Definição final dos coeficientes de Manning (rugosidade) para as ligações hidráulicas entre galerias e canais.

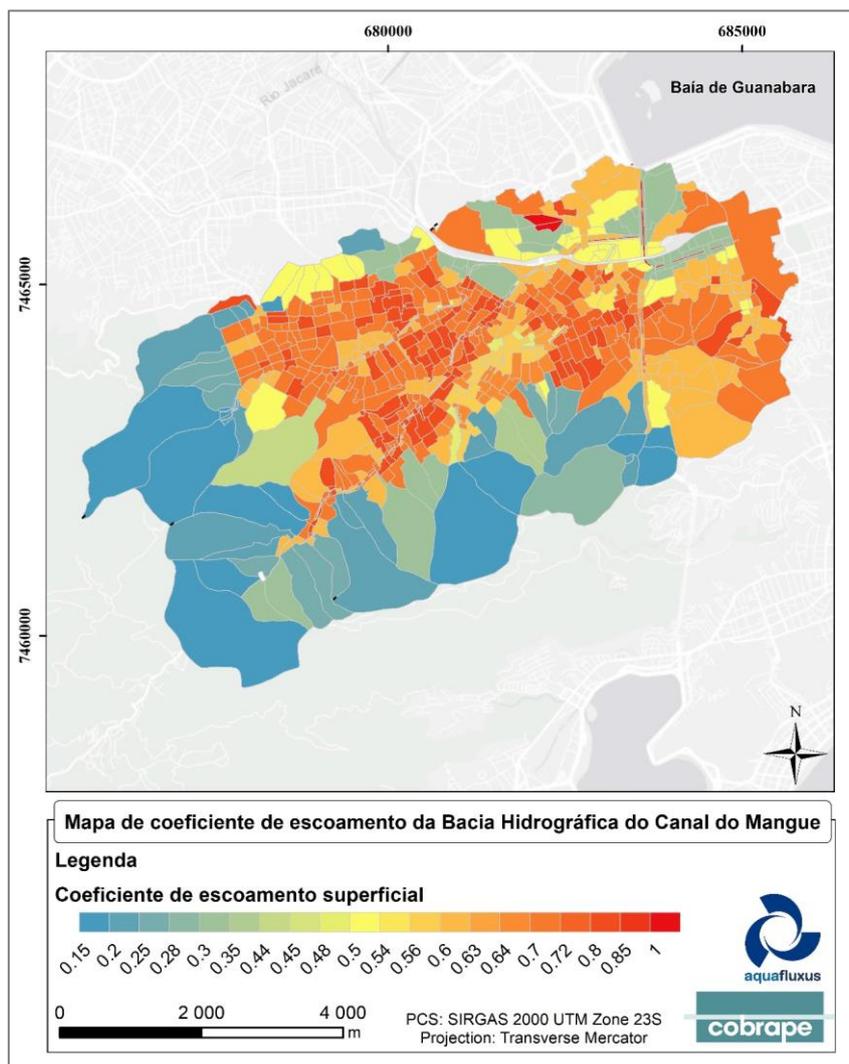


Figura 9 – Definição final dos coeficientes de Runoff das células.

## CONCLUSÕES

Mudanças significativas nas características físicas da bacia fazem necessário um novo processo de calibração de um sistema de modelagem existente. Bem como a existência de mais dados e outros eventos, melhora a representatividade de um modelo, expandindo sua confiabilidade de forma mais abrangente na bacia. Esse trabalho apresentou uma nova calibração para o modelo de cheias na bacia do Canal do Mangue.

O novo evento de calibração permitiu avaliar a bacia depois das obras dos três grandes reservatórios construídos bem como a adequação de uma série de pequenas obras pontuais. A existência de dados pluviométricos e fluviométricos em quase todos os grandes canais da área em estudo permitiu a construção de um modelo capaz de simular com boa qualidade o processo de formação das cheias na região, disponibilizando uma ferramenta interessante para planejamento das ações urbanas voltadas para a mitigação dos problemas de inundação.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial a equipe técnica da Fundação Rio Águas e da COBRAPE (Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos) pelo fornecimento dos dados técnicos para elaboração do presente trabalho. O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil.

## REFERÊNCIAS

- BARBEDO, J. M. R.; MIGUEZ, M. G.; VAN DER HORST, D.; CARNEIRO, P.; AMIS, P.; IORIS, A., 2015. Policy dimensions of land-use change in peri-urban floodplains: the case of Paraty. *Ecology and Society: a journal of integrative science for resilience and sustainability*, v. 20, p. art5.
- CHOW, V. T. *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill civil engineering series, 1959.
- COPPETEC, 2000. Execução de concepção e de projetos de obras civis e ações de controle das enchentes na Bacia Hidrográfica do Canal do Manguê. Rio de Janeiro, 257 p.
- CUNGE, J. A.; HOLLY, F. M.; VERWEY, A. *practical aspects of computational river hydraulics*. [s.l.] PITMAN PUBLISHING LIMITED, 1980.
- MASCARENHAS, F.C.B., MIGUEZ, M.G., 1994, Modelação de Grandes Planícies de Inundação por um Esquema de Células - Aplicação ao Pantanal de Mato-Grosso. *Revista Brasileira de Engenharia (RBE)*, Caderno de Recursos Hídricos, v.12, n.2.
- MASCARENHAS, F. C. B.; MIGUEZ, M. G. Urban flood control through a mathematical cell model. *Water International*, v. 27, n. 2, p. 208–218, 2002.
- MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; MASCARENHAS, F. C. B.; SANTOS, R.B., 2014. Storage measures as compensatory techniques for urban lowlands flood control. *International Journal of Sustainable Development and Planning: encouraging the unified approach to achieve sustainability*, v. 9, p. 225-236.
- MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; SOUSA, M. M.; REZENDE, O. M., 2015. Urban Floods in Lowlands-Levee Systems, Unplanned Urban Growth and River Restoration Alternative: A Case Study in Brazil. *Sustainability (Basel)*, v. 7, p. 11068-11097.
- MIGUEZ, M.G, BATTEMARCO, B.P., SOUSA, M.M., REZENDE, O.M., VERÓL, A.P. & GUSMAROLI, G. Urban flood simulation using MODCEL-an alternative quasi-2D conceptual model. *Water (Switzerland)*, v. 9, n. 6, p. 445, 2017.
- NARDINI, A.; MIGUEZ, M. G., 2016. An Integrated Plan to Sustainably Enable the City of Riohacha (Colombia) to Cope with Increasing Urban Flooding, while Improving Its Environmental Setting. *Sustainability (Basel)*, v. 8, p. 198-227.
- REZENDE, O. M.; GUIMARÃES, L. F.; SOUSA, M. M.; MIGUEZ, M. G. Processo de Calibração e Validação de um Modelo Hidrológico-Hidrodinâmico Multicamadas Aplicado a uma Bacia Urbana Costeira – Canal do Manguê – Rio De Janeiro. Foz do Iguaçu - PR: *Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 2019. p. 1–10.
- SOUSA, M. M.; OLIVEIRA, A. K. B.; REZENDE, O. M.; RIBEIRO, L. B. F.; JACOB, A. C. P.; MAGALHÃES, P.C.; MIGUEZ, M. G. Diagnóstico das Obras de Macrodrenagem na Bacia do Canal do Manguê, Rio de Janeiro. Porto Alegre - RS: *XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas 2020*. p. 1–10.
- ZANOBETTI, D.; LORGERÉ, H. *Le Modèle Mathématique Du Mékong*. *La Houille Blanche*, v. 5, p. 363–378, 1968.