

COEFICIENTE DE RUGOSIDADE DE MANNING ATRAVÉS DO MÉTODO DE COWAN PARA FINS DE MODELAGEM HIDRÁULICA EM CANAIS URBANOS

Gustavo José Rocha Peplau^{1*} & *Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves*²

Resumo – Este artigo relata uma avaliação do método de Cowan na definição do coeficiente de rugosidade de Manning n em cursos d'água urbanos retificados para fins de modelagem do escoamento. Com base em visitas a campo e na literatura, adotaram-se valores de n para vários trechos do canal de uma bacia urbana de Maceió-AL. Dados de medição (vazão e profundidade) para verificar se o modelo SWMM foi capaz de reproduzir, em regime permanente, valores de profundidade em duas seções transversais do canal. Simulou-se também o SWMM em regime não permanente, observando sua capacidade de reproduzir cotogramas registrados em um sensor de pressão, a partir de eventos de precipitação registrados em um pluviômetro de balança. Da simulação em regime permanente, pode-se dizer que o método é interessante para canais urbanos retificados, sendo isto confirmado também na simulação do escoamento não permanente.

Palavras-Chave – Drenagem, Cowan, SWMM.

MANNING'S COEFFICIENT OF ROUGHNESS THROUGH COWAN'S METHOD FOR THE PURPOSE OF HYDRAULIC MODELING IN URBANS CHANNELS'

Abstract – This paper reports a evaluation of the Cowan's method to define the Manning's coefficient of roughness n at lined urbans water course for the purpose of modeling of flow. Through observation *in locu* and literature, values for n coefficient were adopted at the several portions of the channel of na urban catchment in the Maceió city, Alagoas, Brazil. Data of measurement (flow and depth) were used to verify if SWMM model was able to reproduce, in the steady regime, depth values at two cross sections of the channel. Also were performed simulations to verify the SWMM was able to reproduce level graphs, recorded in the water level logger, from precipitations data of a tipping bucket raingauge. It can be said, from simulations with steady regime, that Cowan's method is interesting for urban lined channels. The simulations of unsteady flow confirmed these conclusions.

Keywords – Drainage, Cowan, SWMM.

INTRODUÇÃO

Simular bem os sistemas de drenagem hoje se tornou uma tarefa imprescindível e quase imperativa. Isto ocorre basicamente por dois motivos: a) as técnicas de projeto tradicionais, a despeito de ainda estarem em voga, não respondem de forma exclusiva aos problemas, haja vista que os fenômenos que antes eram exceção estão se tornando frequentes nos sistemas (e.g.

¹ * Programa de Pós-graduação em recursos hídricos e saneamento – Universidade Federal de Alagoas (PPGRHS-Ufal) - gustavopeplau@gmail.com

² PPGRHS – Ufal - marllus.neves@ctec.ufal.br

remansos); b) as ferramentas mais sofisticadas de simulação do escoamento estão cada vez mais acessíveis e já estão paulatinamente fazendo parte dos currículos de graduação.

É interessante, no entanto perceber que, mesmo com novas ferramentas, os requisitos necessários são praticamente os mesmos para o estudo dos sistemas de drenagem. A caracterização da rugosidade dos canais e galerias pelo coeficiente de Manning é fundamental neste sentido, para que o escoamento seja bem representado. Neste âmbito, o artigo em tela tem o objetivo de verificar a utilização do método de Cowan ou método da incrementação (Baptista e Coelho, 2010; Canholi, 2005) ou ainda método do Soil Conservation Service – SCS (French, 1986) na caracterização de cursos d'água urbanos retificados e canalizados para fins de modelagem do escoamento não permanente. Dados de medição de vazão e de um sensor de pressão foram utilizados para avaliar o quão bem representadas ficam as condições de rugosidade, notadamente o coeficiente de rugosidade de Manning n .

ÁREA DE ESTUDO

O estudo ocorreu no canal da bacia hidrográfica urbana do Riacho do Sapo, localizada no município de Maceió-AL. Este riacho é o penúltimo afluente do Riacho Reginaldo, o mais representativo de Maceió, em sua margem esquerda, como demonstra a figura 1.

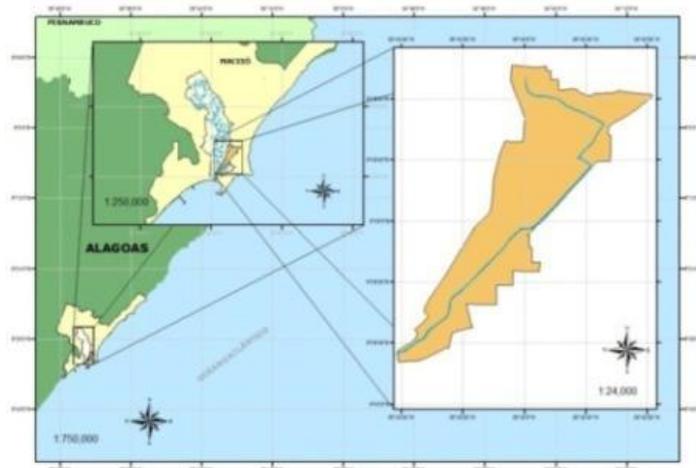


Figura 1 - Localização da bacia do sapo em relação à Bacia do Reginaldo (Fonte: Peplau, 2013).

Com uma área de aproximadamente $2,1 \text{ Km}^2$ a bacia do Riacho do Sapo situa-se a totalmente inserida na zona urbana de Maceió, abrangendo os bairros de Mangabeiras, Jacintinho, Jatiúca e Poço e apresenta um desnível de cerca de 60 m entre o ponto mais baixo e o mais alto. Todo canalizado, o Riacho do Sapo possui 4,4 km de extensão.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Foram utilizados: base cartográfica da área urbana da cidade de Maceió, na escala de 1:2.000 para a delimitação da bacia e sub-bacias; nível automático, mira telescópica graduada e tripé de

alumínio para o levantamento do perfil e de seções transversais do canal; mapa de classificação pedológica dos solos de Maceió realizado pela Embrapa; máquina fotográfica e outros materiais para visualizar, registrar e caracterizar a rugosidade do canal; molinete para medição da velocidade; pluviômetro de balsa com resolução de 0,25 mm de chuva; sensor de pressão configurado para coletar a profundidade do canal a cada 10 minutos. Alguns *softwares* foram empregados, como: o SWMM 5.0.022 – Desenvolvido pela *Environmental Protection Agency* (EPA) dos Estados Unidos, o SPRING 5.2 – Desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Google Earth 6.2.2.6613 – Desenvolvido pela Google Inc. Além dos equipamentos citados, foram necessários outros materiais de apoio para as instalações e na aquisição dos dados para o estudo. A figura 2 mostra as localizações do pluviômetro de balsa e do sensor de pressão, instalados em 2012.



Figura 2 - Localizações do pluviômetro de balsa e do sensor de pressão (Fonte: adaptado de Peplau, 2013)

Métodos

Os passos do trabalho foram os seguintes: 1) Medição de vazão; 2) Discretização do canal em trechos; 3) Adoção dos valores do coeficiente de rugosidade de Manning n por trecho do canal a partir do método de Cowan; 4) Simulação do modelo SWMM com hidrogramas constantes (regime permanente) correspondentes às vazões do passo 1 e verificação dos valores de n ; 5) Simulação do modelo SWMM com hidrogramas gerados em sub-bacias a montante de uma seção transversal do canal com dados de cotogramas de 3 eventos, verificando os valores de n dos passos 3 e 4.

Quanto às medições de vazão, foram realizadas duas que verificaram a vazão e a profundidade do canal enquanto ocorria precipitação na bacia. Um ponto de medição foi localizado próximo a foz do canal e o outro na seção onde se encontra um sensor de pressão recém instalado. A discretização do canal, realizada para obter as seções transversais ao longo de seu percurso, resultou em 60 condutos, sendo 23 destes fechados e 37 abertos. Os fechados foram representados no modelo como galerias retangulares. As áreas das seções desses condutos variaram entre 2,47 m² (1,55 m de profundidade por 2,40 m de largura) e 18,48 m² (3,30 m de profundidade por 5,60 m de largura). Os abertos, por sua vez, apresentaram grandes variações de forma e tamanho, por isso foram classificados como condutos de forma irregular e inseridos no modelo com os perfis transversais levantados topograficamente em campo.

Quanto ao coeficiente de rugosidade do canal, foi determinado através de visitas de campo e auxílio da literatura. Adotou-se um valor do coeficiente de rugosidade n de Manning básico, incrementando quando necessário conforme o chamado método de Cowan. Dessa forma, a composição do parâmetro envolveu a determinação de um coeficiente básico que posteriormente foi somado a alguns fatores característicos do canal e o resultado dessa soma multiplicado pelo grau de meandrização do conduto, conforme apresenta a equação 4.1.

$$n_{\text{conduto}} = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m \quad (1)$$

onde: n_b é o valor básico para um canal retilíneo, uniforme e com superfícies planas, de acordo com o material associado à superfície de contato, n_1 é fator de correção para o efeito de irregularidades da superfície como: erosões, assoreamentos, saliências e depressões na superfície etc., n_2 corresponde às variações de forma e tamanho do canal, n_3 é o valor baseado nas presenças de obstruções do curso d'água no canal como: raízes, troncos etc., n_4 é o fator adicional devido à influência no escoamento da vegetação presente no canal e m basea-se no grau de meandrização do canal. Esse valor é obtido pela razão entre o comprimento efetivo do conduto e a distância retilínea por ele percorrida.

Para esta composição foi elaborado um álbum fotográfico contendo todos com condutos (abertos e fechados). A figura 3 apresenta exemplos do registro fotográfico. No modelo foram empregados coeficientes de rugosidade distintos para as paredes e para o fundo dos condutos abertos e um valor único para os condutos fechados.



Figura 3 - Mosaico com fotografias para elaboração do n de Manning.

Quanto às simulações em regime permanente, entraram-se no modelo com hidrogramas de vazão constante em seções a montante das seções de interesse, de modo que as vazões nestas últimas fossem iguais às medidas. A intenção foi verificar se os valores de n adotados com o método proposto reproduziriam as profundidades correspondentes às vazões medidas com o auxílio do molinete.

Quanto às simulações em regime não permanente, cabe uma ressalva: era intenção fazer a comparação de hidrogramas observados e calculados, mas o ano de 2012 em Maceió foi de pouca chuva e esta ocorreu em horários onde as visitas a campo se tornaram inviáveis. Com o sensor de pressão, foi possível registrar 3 eventos com cotogramas, mesmo pequenos, que ocorreram em horários concentrados nas madrugadas. Desta forma, nesta etapa procurou-se verificar se os valores de n adotados reproduziriam os cotogramas dos 3 eventos obtidos do sensor de pressão. Para isto, o módulo runoff do modelo SWMM foi parametrizado em função das características físicas das sub-bacias e também do uso e ocupação do solo das mesmas, conforme Peplau (2013). A concordância entre os dados observados e simulados de cotogramas foi avaliada através do coeficiente de correlação, erros percentuais nas profundidades máximas e pelo Coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe. Estes coeficientes são utilizados em vários trabalhos nacionais e internacionais (Beling et al., 2012; Garcia e Paiva, 2006; Meller e Paiva, 2007; Choi e Ball, 2002; Collodel, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Valores de rugosidade pelo método de Cowan

Nenhum dos condutos estudados apresentou um grau de meandrização significativo, sendo todos avaliados com grau 1. Também foram dispensados na soma do método os fatores n_2 (variações de forma e tamanho do canal) e n_4 (influência da vegetação no escoamento). No caso do fator n_2 , assim foi feito por causa da discretização detalhada realizada no levantamento das seções. Quanto ao fator n_4 , mesmo ocorrendo a presença de pequenos bancos de areia apresentando vegetação dentro do canal (figura 4a), ele foi desconsiderado para composição do coeficiente por ocorrer, em determinados momentos, uma limpeza desses acúmulos maiores de sedimentos. Foram adotados apenas dois coeficientes básicos (n_b) referentes ao material de revestimento do canal. A figura 4b mostra à esquerda o tipo de revestimento com $n_b=0,017$ e à direita com $n_b=0,015$.



Figura 4 - Tipos de revestimento encontrados ao longo do canal para a composição do n de Manning.

Os valores do coeficiente de todos os condutos estão em detalhes em Peplau (2013). Resumidamente, pode-se dizer que o fator n_1 foi considerado 0,01 para a maioria dos condutos, por causa do grau moderado de irregularidades no fundo, porém em alguns condutos foi adotado 0,02 representando um grau severo. Estes correspondem às maiores áreas fechadas do canal, onde não existe limpeza alguma e acumulam uma grande quantidade de material retido em seu interior. O valor de n_3 adotado destoou dos demais em alguns condutos, por causa de duas galerias retangulares em paralelo com uma coluna entre elas em um caso, e no outro caso por ocorrer obstruções devido a tubulações transversais existentes (figura 5).

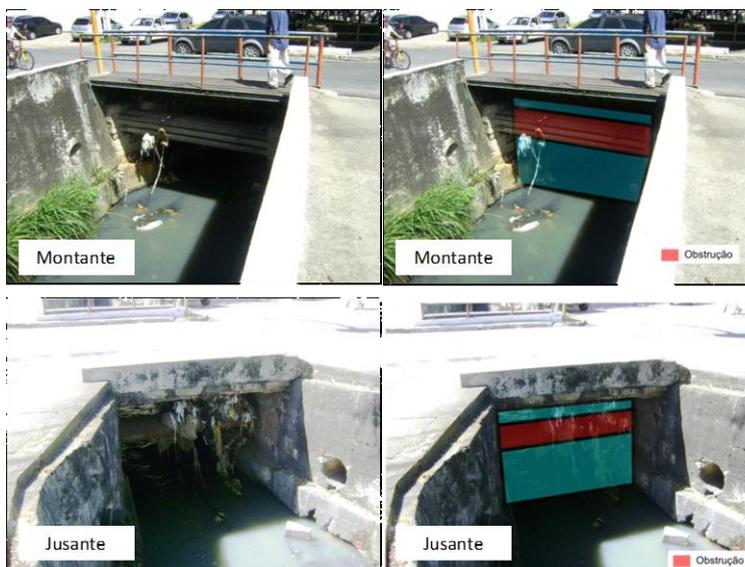


Figura 5 - Obstruções encontradas em um conduto.

Simulação em regime permanente

A tabela 1 apresenta os valores observados e calculados nos dois pontos com medição de vazão. Vê-se que os valores observados e calculados nos dois pontos tiveram ótima concordância, ou seja, os coeficientes de rugosidade obtidos pelo método de Cowan se mostraram promissores.

Tabela 1 - Comparação entre os níveis observados e calculados em regime permanente.

Seção próxima à foz		Seção do sensor de pressão	
Nível Observado (m)	Nível Calculado (m)	Nível Observado (m)	Nível Calculado (m)
0,48	0,49	0,59	0,56

Devido à boa representação proporcionada pelo modelo e a detalhada análise do coeficiente de rugosidade do canal realizada, optou-se pela não alteração desse coeficiente no modelo na simulação do passo seguinte, em regime não permanente.

Simulação em regime não permanente

De acordo e a partir das considerações finais do item anterior, para esta etapa, não foi realizada uma calibração dos valores de n , até porque seria necessário também se observar a influência dos parâmetros do modelo chuva-vazão nas sub-bacias. Importa destacar novamente que os eventos ocorridos em 2012 tornaram possível somente a verificação de cotogramas registrados no sensor de pressão, instalado em 06/07/2012. Foram analisados eventos ocorridos entre esta data e 24/10/2012. Três eventos foram escolhidos por apresentarem boa resposta do sensor ao registro do pluviômetro: evento 1, ocorrido em 13/07/2012; evento 2, ocorrido em 26/07/2012 e evento 3, ocorrido em 27/08/2012.

A figura 6 e a tabela 2 resumem os resultados da simulação.

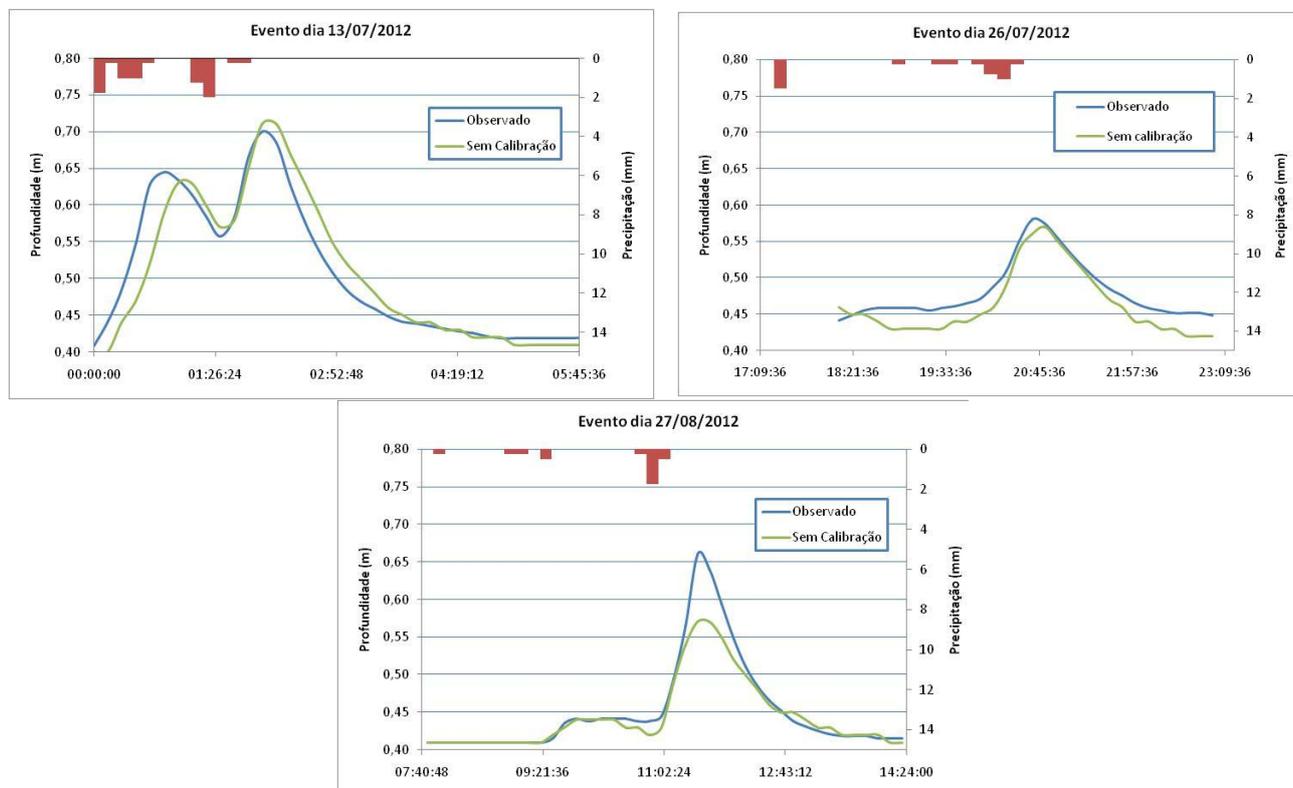


Figura 6 - Evento do dia 13/07/2012.

O evento 1 apresentou um ótimo resultado, mas com um retardamento na elevação do nível do canal. No evento 2, observou-se que o nível apontado pelo sensor se eleva de maneira desigual aos demais eventos, com isso os resultados dos parâmetros de verificação, considerando todo o cotograma, destoaram dos demais eventos apresentando. Isto pode ter ocorrido pelo fato de o pluviômetro se encontrar a jusante do sensor de pressão, podendo ter ocorrido uma precipitação a montante deste não registrada pelo pluviômetro.

Tabela 2 - Resumo dos eventos.

Evento	Evento 1: 13/07/2012	Evento 2: 26/07/2012	Evento 3: 27/08/2012
Coefficiente de correlação	0,95	0,97	0,95
Erro na profundidade máxima	1,4%	1,7%	14%
Coefficiente de Nash e Sutcliffe	0,89	0,71	0,87

CONCLUSÕES

Diante dos resultados mostrados, pode-se concluir que o método é interessante para canais urbanos retificados. Vale ressaltar que os níveis de água atingidos no canal foram médios. Ainda se pretende analisar o método para níveis mais altos, ou seja, a partir de medições de vazão em cheias, e também para canais que ainda estão em um estado mais próximo do natural, isto é, não retificados ou canalizados.

AGRADECIMENTOS

Finep, Fapeal, CNPq, PPGRHS-Ctec-Ufal, e alunos dos cursos de Engenharia Civil e Engenharia Ambiental e Sanitária, por auxiliarem nos levantamentos de campo.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, M. B. & COELHO, M. M. L. P. (2010). *Fundamentos de Engenharia Hidráulica*. 3.ed. rev. e ampl. Editora UFMG | Escola de Engenharia da UFMG Belo Horizonte – MG, 480p.

BELING, F. A. ; PAIVA, E. M. C. D. ; PAIVA, J. B. D. (2012). Uso do PEST para a Calibração do Modelo Hidrológico Kineros2 em uma Pequena Bacia Urbana no Sul do Brasil. In: *Anais do IX ENAU - Encontro Nacional de Águas Urbanas*, Belo Horizonte, Ago. 2012. ANAIS EM CDROM.

CANHOLI, A. P. (2005). *Drenagem urbana e controle de enchentes*. 1. ed. Editora Oficina de Textos. São Paulo - SP, 118 p.

CHOI, K. S.; BALL, J. A. (2002). Parameter estimation for urban runoff modelling. *Urban Water*. (4 – 1), pp. 31-41.

COLLODEL, M. G. (2009). *Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão*. Dissertação (Mestrado) -Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP.

FRENCH, R. H. (1986). *Open-channel hydraulics*. International Student Edition. McGraw-Hill Book Co. Singapore.

GARCIA, J. I. B; Paiva, E. M. C. (2006). Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia do Arroio Cancela – RS. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* (11-4), pp 99-108.

MELLER, A.; PAIVA, E. M. C. (2007). Simulação Hidrodinâmica 1D de Inundações em Sistema de Drenagem Urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* (12-2), pp. 81-92.

PEPLAU, G. J. R. (2013). *Análise de critérios para a determinação da vazão de restrição ao escoamento superficial urbano. Estudo de caso: bacia hidrográfica do Riacho do Sapo, Maceió-AL*. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, no prelo.