

INSTRUMENTO DE APOIO A GESTÃO DE ZONAS INUNDÁVEIS EM BACIA COM ESCASSEZ DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS

Adilson Pinheiro¹

RESUMO - As inundações em áreas urbanas são um dos piores problemas que o município de Pomerode vem enfrentado nos últimos anos, com grandes perdas sociais e econômicas significativas. Um método para minimizar os efeitos das cheias é o mapeamento das áreas de risco a inundação e a avaliação do impacto hidráulico da ocupação do solo. Neste contexto foi desenvolvido este trabalho, que teve por objetivo a determinação de vazões com diferentes períodos de retorno e a aplicação do modelo hidráulico HEC-RAS. A área de estudo é a bacia do rio do Testo que drena o município de Pomerode. Neste rio não existem estação fluviométrica em funcionamento. Foram estimadas as vazões máximas ao longo do rio principal, para os períodos de retorno de 10, 20, 25 e 100 anos, usando o modelo de hidrograma unitário triangular. Com as vazões determinadas para cada seção transversal, foi utilizado o programa HEC-RAS para determinar os níveis de inundações. Esses níveis podem ser utilizados para o traçado das áreas de inundação sobre o mapa planialtimétrico e a análise do impacto da ocupação do solo, como o aterramento de áreas inundáveis.

ABSTRACT – Floods in urban areas are one of the worst problems that the city of Pomerode has faced in recent years, with social and economic significant losses. One method to minimize the effects of floods is the mapping of flood risk and hydraulic impact assessment of the land use. This study aims to determine flow rates with different return periods and the application of the hydraulic model HEC-RAS. The study area is the river basin of the Testo that drains the city of Pomerode. In this river no station gauge in operation. We estimated the peak discharges along the main river for the return periods of 10, 20, 25 and 100 years, using the triangular unit hydrograph model. With the flow rates determined for each cross section, we used the program HEC-RAS to determine the levels of flooding. These levels can be used for the delineation of floodplains on the map and analysis of the land use impact.

Palavras chave: Zoneamento de áreas inundáveis. Modelo Hidráulico HEC-RAS.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a preocupação com as inundações em áreas urbanas nas cidades do Médio Vale do Itajaí em Santa Catarina está em franca ascensão, devido aos últimos eventos catastróficos ocorridos, que resultaram em inúmeros prejuízos aos municípios e a população, como perdas materiais e também perdas de vida humana.

Vários são os fatores que contribuem para a geração de enchentes em bacias hidrográficas. Pode-se citar a impermeabilização do solo e o desmatamento de encostas os quais promovem o

¹ Professor do Departamento de Engenharia Civil da Fundação Universidade Regional de Blumenau. email: pinheiro@furb.br

aumento do escoamento superficial, provocando aumento na vazão de pico e a diminuição do tempo de concentração.

Pomerode, situado no Médio Vale do Itajaí, em Santa Catarina, na latitude 26° 44' 26" Sul e longitude 49° 10' 37" Oeste, com aproximadamente 28 mil habitantes, segundo o Censo 2010 (IBGE, 2010), é um dos municípios que foram fortemente atingidos por inundações nos últimos anos. O principal rio que drena o município é o Rio do Testo, com 38,57 km de extensão dentro do município de Pomerode, e com 10,10 km no município de Blumenau desembocando no Rio Itajaí-Açu.

De acordo com os dados levantados pela Defesa Civil de Pomerode (2011) mostram que as chuvas que se iniciaram no dia 21 de janeiro de 2011, produziram grandes prejuízos ao município de Pomerode, tendo o mesmo decretado situação de emergência no dia 11 de março de 2011, e até o dia 16 de março o município tinha registrado 20.299 pessoas afetadas, 400 desalojados e 33 feridos, com 16 pontes de madeira e 15 de concreto danificadas, 05 pontes de madeiras destruídas, e com 12.000 m² de estradas danificadas e 3.000 m² destruídas.

Estes dados demonstram a necessidade da criação de medidas que promovam a minimização de perdas (tanto econômicas como sociais e ambientais) consequentes das cheias. Uma dessas medidas é o mapeamento das áreas de inundação, que orientam as pessoas na ocupação das áreas de risco.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo desenvolver um estudo para o traçado de superfícies de inundação ao longo do Rio do Testo para diferentes ocorrências de enchentes, em condições de escassez de dados hidrológicos observados. Ele também visa disponibilizar uma ferramenta de apoio à gestão de áreas inundáveis a inundação.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo é a bacia do rio do Testo (Figura 1), localizada no município de Pomerode. A área de drenagem compreende em 214,20 km², e a extensão do rio principal é de 38,57 km, que possui sua foz no rio Itajaí-Açu, no município de Blumenau.

Para o estudo foram desenvolvidos dois procedimentos metodológicos, a estimativa das vazões máximas para estes eventos e para diferentes períodos de retorno e o segundo a aplicação do modelo hidráulico HEC-RAS para determinação das cotas máximas dos eventos de cheias.

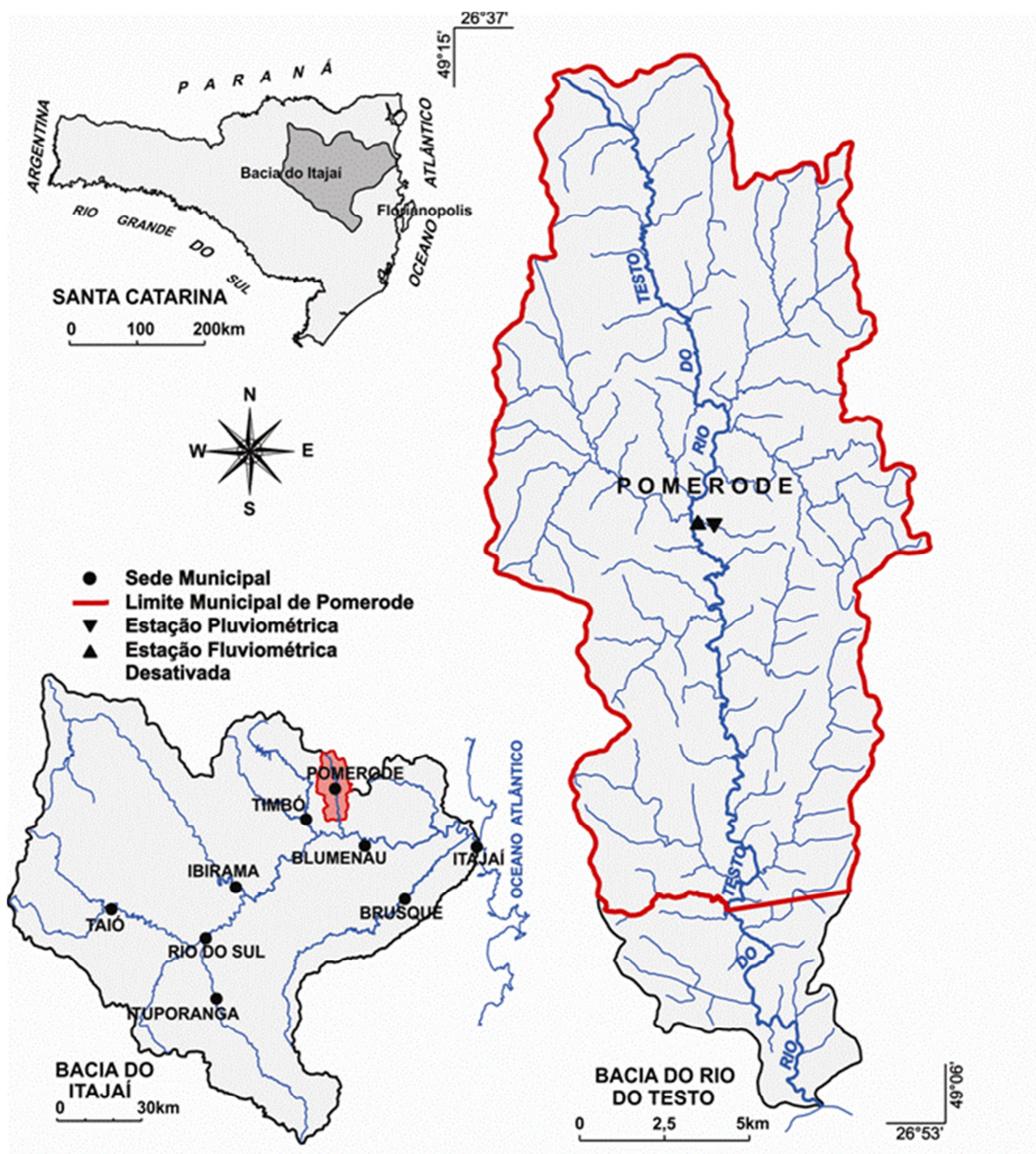


Figura 1 - Bacia do rio do Teste

No rio do Teste, entre outubro de 1934 e julho de 1966, havia uma estação fluviométrica, código ANA 83720000, com um conjunto de réguas e leituras, que eram observadas duas vezes ao dia. Ela estava localizada nas coordenadas latitude 26°43'59.99 e longitude -49°10'01.2E. Estas coordenadas foram posicionadas no mapa planialtimétrico existente e, corresponderam a um ponto distante do rio. Devido à inexistência de outras informações desta estação fluviométrica, supõe-se que a ela estivesse instalada junto à ponte da Rua Paulo Zimmermann. A área de drenagem desta estação fluviométrica é de 129 km². As séries de medições de vazões, cotas médias e vazões médias

diárias estão disponíveis no Portal do Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos. Estes dados foram empregados para determinação do valor de CN do método SCS.

Hidrograma de Cheia

O hidrograma representa a evolução temporal das vazões em uma seção fluviométrica. Para o rio do Testo, após 1966, não foi realizado monitoramento das vazões, impossibilitando traçar o hidrograma das cheias ocorridas nas últimas décadas a partir de valores observados. Deste modo, a estimativa dos hidrogramas de cheias foi realizada através do emprego do método dos hidrograma unitário sintético triangular.

As precipitações efetivas foram determinadas a partir da equação de intensidade duração e frequência estabelecida por Back (2002), para períodos de retorno de 10, 20, 25 e 100 anos, para a estação pluviométrica localizada no município de Timbó, código ANA 02649004.

A distribuição da precipitação pelo método de Hersfield, conforme é apresentado por Thomas (2002). A precipitação efetiva foi determinada pelo método do Soil Conservation Service - SCS. Ele estabelece uma correlação entre a capacidade de retenção da bacia e um índice, o CN chamado de curva número, representativo da capacidade de geração de escoamento superficial. Este índice foi estimado para quatro eventos de cheias registrados na bacia do rio do Testo, nos últimos anos de funcionamento da estação fluviométrica 83720000.

As coordenadas do hidrograma unitário triangular foram determinadas pelo método SCS. Este demonstra características do hidrograma relacionadas ao tempo de concentração (t_c), estimado através da fórmula de Kirpich.

Foram determinados os hidrogramas unitários e cheias para cada seção fluviométrica ao longo do rio do Testo, com espaçamento entre elas de 494,42 metros, perfazendo um total de 78 pontos.

Modelo de propagação da onda de cheia no rio do testo

As vazões máximas dos escoamentos do rio do Testo, ao longo do trecho estudado foi simulada com o modelo HEC-RAS (River Analysis System) Versão 4.0 de 2008, desenvolvido pelo Hydrologic Engineering Center do US Army Corps of Engineers (2008). Trata-se de um modelo de cálculo hidráulico unidimensional para escoamento permanente ou não permanente em rios ou canais. No presente estudo foi utilizada a componente do programa para análise de escoamento permanente visando à determinação de perfis de linha d'água. Esta componente do modelo de um sistema é usada para o cálculo de perfis de linha d'água para regime permanente gradualmente variado.

A base de cálculo do modelo para regime permanente é amparada na solução da equação de energia unidimensional. As perdas de energia são avaliadas por atrito (equação de Manning) e por

contração/expansão (coeficiente multiplicado pela variação na altura de velocidade). A equação de continuidade é aplicada em situações de regime rapidamente variado. Estas situações incluem cálculos para regime de escoamento misto, ressalto hidráulico, escoamento em pontes, situação de ilhas e em confluência de rios (junções).

O modelo da quantidade de momentos considera o balanço de forças que atua no trecho, entre as duas seções A integração da aceleração do movimento, hidrostática, peso e atrito externo, resultam em:

$$\frac{Q_2\beta_2}{gA_2} + A_2\bar{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right)L.S_o - \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right)L.\bar{S}_f = \frac{Q_1\beta_1}{gA_1} + A_1\bar{Y}_1 \quad (1)$$

onde β é o coeficiente do momento que leva em consideração a variação da velocidade na seção transversal de canal irregular.

O modelo HEC-RAS permite a simulação de estruturas hidráulicas instaladas no curso de água, como ponte, barragem, vertedor, comporta e galeria. Eles são modelados de acordo com o funcionamento hidráulico estabelecido.

Para a determinação dos níveis de inundações, foi necessária a inserção do sistema do rio e algumas seções transversais no programa HEC-RAS. As seções transversais foram obtidas através de levantamentos topográficos e de levantamentos batimétricos com o ADCP SonTeck S5.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 são apresentadas as vazões máximas dos hidrogramas de cheias determinados nas seções fluviométricas do rio do Testo. São apresentadas as vazões máximas com período de retorno (TR) de 10, 20, 25 e 100 anos. Os valores com períodos de retorno de 10 e 20 anos correspondem às vazões dos eventos de 2008 e 2011, respectivamente. O valor de TR=25 anos é correntemente empregado em processos de licenciamento ambiental e, o de 100 anos, é utilizado no dimensionamento de pontes em áreas com significativa importância no caso de ocorrência de represamento. Assim, as vazões com período de retorno de 25 anos, poderão ser utilizadas na análise dos efeitos de aterramento nas margens do rio do Testo. Aquelas com período de retorno de 100 anos poderão ser utilizadas na verificação de funcionamento das pontes atualmente existentes ou a serem implantadas no rio do Testo, no município de Pomerode.

O modelo HEC-RAS foi aplicado para as seções transversais nas quais foram realizados levantamentos topográficos. Com as vazões determinadas para cada seção transversal levantada foi efetuada a calibração dos coeficientes de rugosidade de Manning. A partir deste ajuste é possível efetuar diferentes tipos de simulações, como o traçado das superfícies de inundações para enchentes

com diferentes períodos de retorno, a interferência de execução de aterros nas margens do rio ou a construção de pontes. Em relação às pontes, o modelo permite avaliar a sua interferência no escoamento em condições de cheias, em especial, para aquela com período de retorno de 100 anos, valor normalmente adotado para dimensionamento destas estruturas hidráulicas (DNER, 1999).

O resultado mostra que houve uma boa aderência entre as cotas máximas levantadas em campo e simuladas pelo modelo HEC-RAS. Em algumas seções a calibração apresentou diferenças entre as cotas observadas e as cotas simuladas. Vários fatores podem ter influenciado na geração destas diferenças. Estes fatores constituem incertezas do processo, associado aos levantamentos de campo e aos modelos de geração e de propagação das vazões.

Tabela 1: Vazões máximas dos hidrogramas de cheias nas seções fluviométricas

Seção	Comprimento do rio principal (km)	Área de drenagem (km²)	Q_{TR 10} (m³/s)	Q_{TR 20} (m³/s)	Q_{TR 25} (m³/s)	Q_{TR 100} (m³/s)
10	4,9	14,6	14,0	22,5	25,9	94,6
15	7,4	22,1	29,7	43,4	48,6	139,9
20	9,9	28,0	41,8	58,1	64,2	162,6
25	12,4	42,5	54,9	75,2	82,8	202,0
30	14,8	45,5	56,6	76,4	83,7	195,0
35	17,3	91,7	108,6	144,7	158,0	355,4
40	19,8	134,2	150,5	198,8	216,6	474,4
45	22,2	137,9	146,8	192,6	209,4	449,2
50	24,7	143,1	144,9	189,1	205,2	432,7
55	27,2	156,7	141,2	181,0	195,5	401,5
60	29,7	167,9	144,5	161,7	199,1	405,2
65	32,1	175,7	144,9	162,5	199,0	401,6
70	34,6	179,3	142,2	159,7	194,5	390,0
75	37,1	195,4	150,0	168,8	204,7	408,2
78	38,6	214,2	161,8	182,2	220,5	438,5

Os levantamentos de campo dependem da memória dos moradores em relação ao evento de cheia considerada. Em alguns casos houveram dúvidas quanto a informação fornecida. Elas foram triadas através de comparações com as informações de outros moradores. Além disto, tem-se a imprecisão dos aparelhos utilizados e a escala do mapeamento disponível.

Em relação aos modelos, é preciso ter claro que eles são representações dos processos hidrológicos e hidráulicos dos eventos de cheias ocorridos na bacia. Estas representações são efetuadas através de funções matemáticas que descrevem os fenômenos principais atuantes no processo. Os modelos empregados apresentam formulações simples, com adequada representação dos principais fenômenos envolvidos. A quantificação da magnitude dos fenômenos pode ser

afetada por fatores que não tenham sido perfeitamente incorporados. Assim, incertezas são incorporadas no processo de modelização.

No entanto, constata-se que apesar das incertezas apresentadas, os resultados são muito bons. Deste modo, os valores de vazões geradas e das linhas de água obtidas para os diferentes períodos de retorno, apresentadas na Figura 2, poderão ser utilizados no dimensionamento de obras hidráulicas no rio do Testo e, sobretudo, no processo de licenciamento do uso e ocupação do solo ao longo de suas áreas sujeitas à inundação.

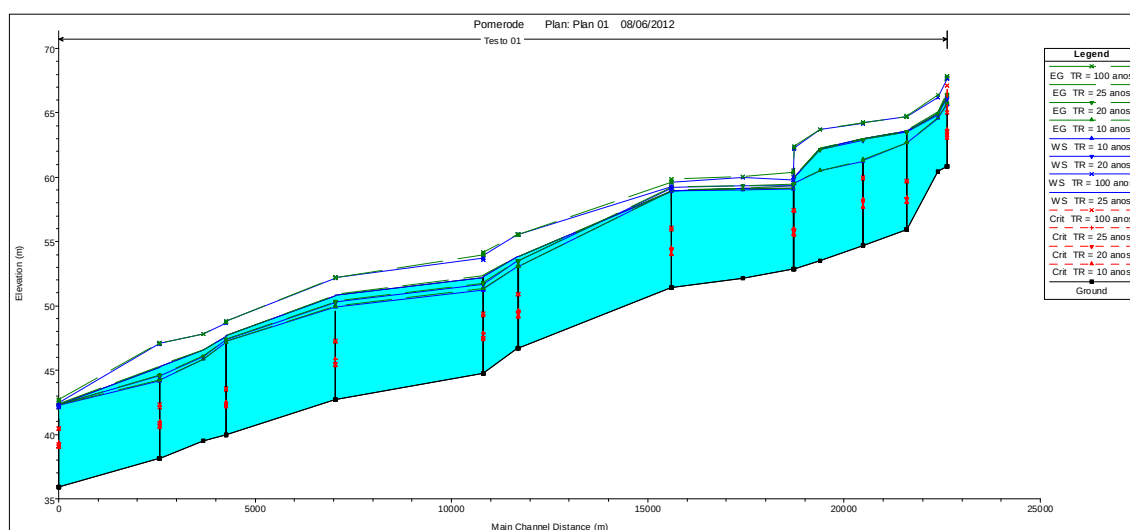


Figura 2: Linhas de água do rio do Testo para vazões com diferentes períodos de retorno.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mapeamentos de áreas inundáveis têm sido realizados para vários municípios, para diferentes períodos de retorno (Pinheiro, 2007), mas a associação com um modelo de propagação de vazões não tem sido usado na gestão de áreas inundáveis. O uso do modelo será fundamental no processo de licenciamento de intervenções no canal de escoamento fluvial principal e secundário. Para isto, basta efetuar o levantamento da seção transversal original, calibrando o coeficiente de rugosidade de Manning para a vazão com período de retorno estabelecido e, em seguida simulando o efeito da intervenção pretendida. Como intervenções podem ser consideradas a execução de aterros nas margens e nas superfícies adjacentes, construção de estradas e pontes, entre outras.

Neste caso, é preciso que as intervenções sejam consideradas de forma acumulativa. Isto é extremamente importante. Cada intervenção deve ser analisada em relação a situação já instalada ou autorizada. Deste modo, o organismo de gestão de uso e ocupação do solo, incorpora as

informações ao modelo e analisa os seus efeitos. Para isto é necessários estabelecer critérios de aceitação ou de rejeição de solicitações de intervenções.

A definição dos critérios, certamente, será um processo complexo que necessita a participação de toda a comunidade. Os instrumentos existentes de transparência administrativa podem ser utilizados para esta finalidade. No entanto, recomenda-se que nas áreas sujeitas à inundação por enchentes com períodos de retorno de 10 anos, não sejam permitidas a execução de aterros ou outras obras que possam alterar a hidrodinâmica fluvial.

É importante ressaltar que este trabalho foi baseado em informações indiretas, como vazões máximas obtidas pelo modelo do hidrograma unitário e a linhas de água ajustada com o modelo hidráulico HEC-RAS, que geram incertezas. Eles foram utilizados devido à inexistência de dados medidos para a bacia do rio do Testo. Deste modo, os resultados apresentados devem ser considerados como uma primeira aproximação, que precisa ser consolidado através de monitoramento efetuado na bacia. Assim, sugere-se que seja implantada uma rede de monitoramento hidrológico, composto de estações pluviométricas e fluviométricas, com medições de vazões. Na sequencia, com a formação de um banco de dados observados, estatísticas poderão ser efetuadas com menor grau de incerteza, e uma revisão do mapeamento de áreas inundáveis deve ser desenvolvida.

REFERÊNCIAS

- BACK, J. (2002) “*Chuvas intensas e chuva de projeto de drenagem superficial no estado de Santa Catarina*”. Florianópolis: EPAGRI, 65p
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM - DNER (1999) *Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários*, Brasília, 391 p.
- PINHEIRO, A. (2007) Enchentes e inundações. In: Santos, R. F. dos (Org.). *Vulnerabilidade Ambiental*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 97-108.
- TOMAZ, P. (2002) *Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais*. São Paulo, Navegar Editora, 475 p.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS (2008) *HEC-RAS River Analysis System – Hydraulics Reference Manual*, version 4.0. 351 p.