

VISUALIZAÇÃO DO ESCOAMENTO E PERFIS DE VELOCIDADE EM CURVA DE SISTEMA DE CONDUTO DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA



Felipe Azevedo Paulo (Bolsista FAPERGS), Ana Luiza de Oliveira Borges (Orientadora)
IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas
felipe.azevedo.paulo@gmail.com



Introdução

O Conduto Forçado Álvaro Chaves (CFAC) é uma grande obra de drenagem urbana localizada no município de Porto Alegre, construída para resolver os alagamentos na região do bairro Moinhos de Vento. A estrutura é formada por condutos retangulares com redução de seção transversal de montante para jusante e possuindo várias singularidades, tais como curvas abruptas com redução da seção transversal, rampas, curvas suaves, degraus e inúmeras vigas em sua parte superior. Outra característica do CFAC é que o escoamento pode ocorrer tanto sob pressão quanto à superfície livre, dependendo da vazão de entrada e do nível do Guaíba à jusante. Em fevereiro de 2013, após um intenso evento de chuva, o CFAC rompeu na Rua Cel. Bordini, na proximidade da rua Marquês do Pombal, causando transtornos no entorno e prejuízo financeiro.

Para estudar o comportamento hidráulico do conduto, através da identificação de instabilidades hidráulicas, um modelo reduzido em escala 1:15, com semelhança de Froude, foi confeccionado em chapas de acrílico e instalado nas dependências do pavilhão fluvial do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS (da Silva, 2015). Devido às particularidades do escoamento nesta estrutura de drenagem, o objetivo do presente trabalho é mapear sua evolução junto a um dos elementos singulares do modelo: uma curva de bordos vivos, com mudança brusca de direção (90°) cuja largura da seção transversal a montante é aproximadamente duas vezes maior que a largura da seção transversal a jusante. Na condição de escoamento permanente e à superfície livre (condição de ocorrência mais frequente), pretende-se, através do uso de traçadores e de imagens fotográficas obtidas com longo tempo de exposição, visualizar padrões de escoamento e como eles se alteram ao longo da curva com a variação da vazão de entrada. Os resultados apontam para forte influência da geometria da estrutura no escoamento, indicando uma redução da eficiência de condução de água.

Materiais e Métodos

O modelo do CFAC tem 30 m de comprimento, com alturas (16-42 cm) e larguras (20-50 cm) variáveis, reproduzindo o reservatório de detenção, suas duas entradas e trecho do conduto forçado a jusante do reservatório de detenção (Figura 1). Por bombeamento, a água de um reservatório enterrado é conduzida a um reservatório elevado de nível constante, do qual partem duas tubulações que alimentam o modelo, nas quais se encontram medidores de vazão e registros para controle da vazão de entrada. O controle de nível de jusante é feito através de dois registros esfera em tubulações de PVC de diâmetro 50mm que ficaram totalmente abertos na saída do modelo durante os ensaios. A curva em estudo se situa ao final da instalação, logo antes da saída para uma tubulação que leva a água de volta ao primeiro reservatório.

Foram realizadas visualizações das linhas de trajetória (percurso ou trajetória deixada por uma partícula fluida em movimento) e das linhas de corrente (tangentes à direção do escoamento em cada ponto do campo de escoamento). Sendo as linhas de corrente tangentes ao vetor velocidade, não há escoamento transversal entre elas. Se o escoamento é permanente, a velocidade em um ponto não muda com o passar do tempo, logo, as linhas de corrente não variam. Desta forma, uma partícula que está se movendo sobre uma linha de corrente se manterá sobre esta linha de corrente e as linhas de trajetória são iguais às linhas de corrente (Fox, 1998).

Os experimentos foram realizados com vazões de aproximadamente 250l/s, 282l/s e 339l/s, controladas pelos registros e pelos medidores de vazão na entrada. A captura das imagens iniciava após a estabilização do escoamento, após observar que a linha de água se mantinha constante. Para a visualização, foram utilizados traçadores e fotografias de longa exposição. Os traçadores foram injetados no escoamento, com auxílio de uma peneira, em seção distante aproximadamente 2,10m da curva. Para fotografar, foi usada uma câmera fotográfica NIKON D5000 com tempo de abertura de três segundos, adquirindo-se imagens em sequência desde o momento da injeção do traçador. A câmera foi posicionada a 1,40m acima do fundo do canal e holofotes foram posicionados no entorno para prover iluminação suficiente e de forma a minimizar reflexos na superfície da água.

Diferentes materiais foram testados como traçadores: areia, carvão, serragem, resíduo de corte de acrílico e isopor. A areia, por se depositar, movia-se lentamente no canal; o carvão não

se destacou nas imagens captadas, sendo de visualização pouco satisfatória; o isopor possuía unidades muito grandes e que facilmente aderiam às paredes do modelo. Contudo, os restos de acrílico e a serragem funcionaram bem, sendo transportados pelo escoamento e aparecendo bem nas fotografias. Para melhorar a visualização da zona de recirculação na parte externa da curva, serragem foi lançada diretamente sobre essa área. A fim de gerar imagens de detalhes do escoamento na curva, também lançaram-se serragem e acrílico somente nas laterais ou somente no centro do canal.

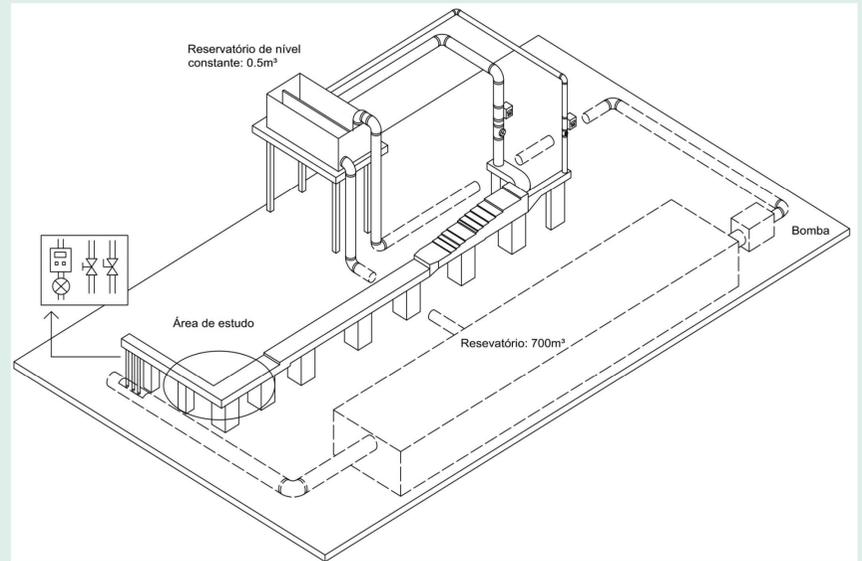


Figura 1. Instalação Experimental - Modelo reduzido do CFAC (escala 1:15)

Resultados

As diversas imagens possibilitaram visualizar o comportamento do escoamento junto à curva de jusante. Como mostra a Figura 2, com a vazão de 250l/s há ocorrência de zona de recirculação na parte externa da curva, bem como a presença de ondas de choque lateral à jusante. Tais ondas ocorrem devido à interação do fluido com as paredes do canal (Chanson e Montes, 1995). A presença dessas ondas em outros trechos do CFAC foi demonstrada por da Silva (2015). A zona de recirculação inicia a aproximadamente 26cm abaixo do canto superior esquerdo da imagem e se estende até aproximadamente 15cm para a direita do canto superior esquerdo da imagem. O material gira no sentido anti-horário visto de cima.

Com a vazão de 282l/s (Figura 3), as ondas de Mach não estão mais presentes e surge uma grande zona de recirculação à jusante, na parte interna da curva, cuja maior dimensão no sentido transversal ao fluxo é de cerca de 9,5cm, ou seja, quase metade da seção transversal do canal. Também com vazão de 282l/s, a fotografia da Figura 4 foi feita lançando traçadores somente nas laterais do canal, evidenciando a convergência das linhas de trajetória.



Figura 2. Vazão 250l/s.



Figura 4. Vazão 282l/s.



Figura 3. Vazão 282l/s.



Figura 5. Vazão 339l/s.

Com a vazão de 339l/s (Figura 5), a zona de recirculação na parte externa da curva é menor que nos ensaios com vazões menores e ondulações surgem a jusante.

Conclusões e Considerações Finais

Os ensaios realizados até o momento evidenciam os diversos problemas e instabilidades causados pela geometria escolhida para a construção da curva. As zonas de recirculação, especialmente aquela a jusante (Figuras 3 e 4), devem ser evitadas, pois em metade da seção do canal o escoamento simplesmente não está ocorrendo, fazendo com que a largura efetiva do escoamento seja praticamente metade do que poderia ser, naquela região, se a curva tivesse outra conformação. As linhas de corrente nas laterais do canal convergem para a parte superior da Figura 4 (evidenciando a contração da veia líquida) pois, como não pode haver descontínuidades no escoamento, o fluido não vai seguir a mudança brusca de direção e o formato dos bordos vivos da parede (deve seguir a trajetória suave e contínua que foi visualizada), causando o descolamento a jusante. Esses resultados indicam que este tipo de geometria não é o mais adequado para a curva pois não permite que o escoamento utilize toda a seção do canal de forma efetiva.

Referências

DA SILVA, Juliana Kaiber. *Identificação de instabilidades hidráulicas em sistema de drenagem urbana - investigação experimental do conduto forçado Álvaro Chaves*. 2015. 97f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2015.
FOX, Robert W; MCDONALD, Alan T. 1998. *Introdução à Mecânica dos Fluidos*. LTC - Livros Técnicos e Científicos. 4ª ed.
CHANSOON, H.; MONTES, J. S. 1995. *Characteristics of Undular Hydraulic Jumps: Experimental Apparatus and Flow Patterns*. Journal of Hydraulic Engineering, Vol 121, No. 2 pp 129-144.

Agradecimentos

Agradecemos à FAPERGS pelo financiamento e ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas pela cedência do espaço para a construção do modelo físico. Também agradecemos ao professor Rogério Maestri e à doutoranda Juliana Kaiber da Silva pelo auxílio com a elaboração do trabalho e análise dos dados e ao hidrotécnico Cristian Schenk pelo auxílio na execução dos ensaios.