

Humberto Jantim Neto
Universidade Federal de Itajubá,
Av, BPS, 1303, CEP:37500-903,
Pinheirinho,Itajubá-M.G., email:
humberto.jantim@uol.com.br

Harley Souza Alencar
Universidade Federal de Itajubá,
Av, BPS, 1303, CEP:37500-903,
Pinheirinho,Itajubá-M.G., email:
harley.alencar@power.alstom.com

Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes
Universidade Federal de Itajubá,
Av, BPS, 1303, CEP:37500-903,
Pinheirinho,Itajubá-M.G., email:
marcos.bernardes@gmail.com

Fernando das Graças Braga da Silva
Universidade Federal de Itajubá,
Av, BPS, 1303, CEP:37500-903,
Pinheirinho,Itajubá-M.G., email:
fernandobraga@unifei.edu.br

Modelagem e simulação do comportamento de uma válvula de fluxo hidráulica com o uso de ferramenta de hidroinformática

Resumo

Neste trabalho realizou-se uma simulação numérica utilizando-se um programa de fluidodinâmica computacional (CFD) do escoamento em uma tubulação, enfocando uma válvula de gaveta. Verificou-se que, baseado na comparação entre os resultados experimentais e numéricos, foram obtidas boas respostas. As análises realizadas serviram tanto para validar a utilização das ferramentas de fluidodinâmica computacional como para caracterizar os escoamentos nestes dispositivos hidráulicos.

Palavras-chave: *Fluidodinâmica computacional. Perda de carga localizada. Simulação numérica.*

Abstract

In this study, a numerical simulation using computational fluid dynamics software was carried out, within a tubulation flow aiming to study a gate valve control. The answers obtained were good and based on comparison between experimental and numerical results. These analyses were useful to validate the use of the computational fluid dynamics software flow and to characterize the flows in those hydraulic components.

Keywords: *Computational fluid dynamic. Locals' friction losses. Numeric simulation.*

1 Introdução

A importância da simulação computacional reside no fato de haver dificuldades ao reproduzir fenômenos em certos experimentos laboratoriais, podendo citar por exemplo o caso de estudo de turbinas de usinas hidrelétricas, na análise da perda de carga em tubos, dispositivos hidráulicos ou até mesmo estudo sobre o comportamento do escoamento subterrâneo. Nesse sentido, nem sempre é possível simular em laboratório físico os fenômenos em projetos ou em protótipos, cujas escalas passam a ser fator limitante. Outra vantagem da simulação computacional é permitir a visualização tridimensional do escoamento, facilitando o conhecimento pleno das características do movimento do fluido.

A fluidodinâmica computacional começou a assumir um papel mais proeminente em meados dos anos de 1970. De acordo com Caughey e Hafez (1994), vários métodos contribuíram para consolidar a CFD – Computational Fluid Dynamics ou Dinâmica de Fluido Computacional – na indústria, fundamentalmente no campo da aeronáutica.

A metodologia CFD utiliza um esquema numérico baseado no Método dos Volumes Finitos, que consiste na discretização do domínio em inúmeros volumes de controle sobre os quais serão realizados balanços de massa, quantidade de movimento e energia a partir da solução das equações diferenciais parciais, para a predição quantitativa das características de escoamentos.

A aplicação da CFD em análise de escoamentos é diversa, por exemplo: metalurgia, aerodinâmica automotiva, aeroespacial, biomédica, pás de turbinas, máquinas de fluxo e geração de energia. Essa ferramenta auxilia no conhecimento a respeito de como os fluidos vão escoar e quais são os efeitos quantitativos de suas interações com estruturas sólidas.

Atualmente, existem vários softwares comerciais que utilizam a metodologia da CFD, tais como PHOENICS CFX®, STAR-CD®, FLUENT®, FLOW-3D® e o ANSYS CFX®. O objetivo do presente trabalho são caracterizar hidráulicamente o escoamento em uma válvula de controle de gaveta.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Considerações gerais sobre perda de carga em válvulas

Com freqüência, as tubulações dispõem de dispositivos que permitem regular a vazão transportada, ou até mesmo interromper o escoamento. Tais dispositivos são comumente chamados de válvulas de borboleta, válvula de gaveta, registro globo etc.

Quando totalmente abertas, as válvulas não produzem alterações substanciais ao escoamento. Porém, quando parcialmente fechadas, provocam perdas de carga consideráveis.

De acordo com Fox e McDonald (1995), essas perdas são menores se o sistema consistir em longos trechos de seção constante, e elas podem ser expressa como:

$$H_{PL} = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (1)$$

onde v é a velocidade média do escoamento e o coeficiente de perda, K deve ser determinado experimentalmente para cada situação. Para o escoamento em acessórios, o coeficiente de perda, K varia com o diâmetro do tubo.

Para o caso do registro (ou válvula) de gaveta, de larga aplicação em indústrias, o processo de fechamento se dá através de uma lâmina vertical, como mostra a Figura 1.

O Quadro 1 apresenta os valores do coeficiente K em função do grau de fechamento da válvula, sendo a perda calculada pela Equação 1 com a velocidade média do escoamento na seção plana transversal da tubulação. Pode-se observar, na Tabela 1, que o valor do coeficiente de perda de carga aumenta rapidamente com o grau de fechamento da válvula.

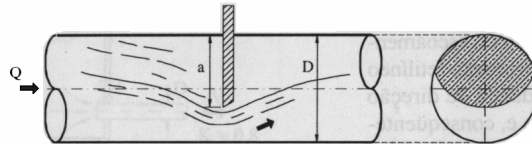


Figura 1 : Esquema de uma válvula gaveta, adaptado de Porto (2004)

Quadro 1 – Valores de K para válvula de gaveta parcialmente fechada (Porto, 2004)

a/D	0	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8
K	0,15	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	97,8

É importante ressaltar que embora não seja recomendável a utilização da válvula gaveta parcialmente aberta, Porto (2004) ensaiou este tipo de dispositivo com a finalidade de determinar os valores do coeficiente de perda K para diferentes aberturas.

2.2 Válvula do tipo gaveta

Segundo Manaham (1956), as válvulas de gaveta são empregadas em quaisquer diâmetros, na maioria das tubulações de água, óleo e líquidos em geral, desde que não sejam muito corrosivas nem deixem passar muitos sedimentos ou que tenham grande quantidade de sólidos em suspensão. São empregadas também em diâmetros acima de oito polegadas, para bloqueio em tubulações de ar e de vapor.

O fechamento nessas válvulas é feito pelo movimento de uma peça denominada gaveta ou cunha, em conseqüência da rotação da haste.

Essas válvulas devem somente trabalhar completamente abertas ou fechadas, isto é, são válvulas de bloqueio e não de regulagem. Quando parcialmente abertas, introduzem perdas de carga muito elevadas, além de provocar cavitação em tubos onde esses dispositivos estão instalados.

Segundo Macintyre (1987), a cavitação ocorre quando a pressão absoluta diminui até atingir a pressão de vapor do líquido na temperatura em que este se encontra, iniciando um processo de vaporização do mesmo. Inicialmente, nas regiões mais rarefeitas, formam-se pequenas bolhas ou cavidades (daí o nome de cavitação) no interior das quais o líquido se vaporiza. Em seguida, conduzidas pela corrente líquida provocada pelo escoamento com grande velocidade, atingem regiões de elevada pressão, onde se processa seu colapso, com a condensação do vapor e o retorno ao estado líquido.

Normalmente, as válvulas gavetas são empregadas em processos onde não se necessitam operações freqüentes de abertura e fechamento, pois o seu manuseio é mais lento quando comparado ao de outros tipos de válvulas.

Segundo o fabricante K LAPPE (2007), as vantagens desse tipo de válvula são: passagem totalmente desimpedida quando aberta, estanque para quaisquer tipos de fluidos, construção em ampla gama de tamanhos, aplicável em ampla faixa de pressão e temperatura, e permite fluxo nos dois sentidos. Por outro lado, as desvantagens são: não é indicada em operações freqüentes, não se aplica a regulação e estrangulamento do fluxo.

É interessante lembrar que as mesmas podem ser classificadas conforme o tipo de montagem. Neste caso, existem três tipos básicos: válvula gaveta rosqueada, válvula gaveta flangeada e válvula gaveta com solda de topo, de acordo com Telles (1983).

2.3 Métodos numéricos e fluidos

De acordo com Hirsch (1994), as equações governantes para a solução numérica de problemas envolvendo escoamento de fluidos baseiam-se nas soluções de equações de conservação da continuidade, do movimento e da conservação da energia, desenvolvidas por modelos diferenciais aplicados aos fenômenos de transporte.

Esses modelos de equacionamento são conhecidos como "Equações de Navier-Stokes", apresentados a seguir: partindo da aplicação da 2ª Lei de Newton a um elemento infinitesimal de volume de um fluido real, obtêm-se as forças de tensão normal, forças de tensão tangencial e as forças de campo. A somatória dessas forças nas direções x, y e z é dada pela Equação 2.

$$\Sigma \vec{F} = m \left(V_x \frac{\partial \vec{V}}{\partial x} + V_y \frac{\partial \vec{V}}{\partial y} + V_z \frac{\partial \vec{V}}{\partial z} + \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} \right) \quad (2)$$

Utilizando os operadores do cálculo vetorial, é possível decompor a Equação vetorial 2 em três equações na forma diferencial, uma para cada direção coordenada, conforme as equações 3,4, 5.

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho B_x = \rho \left(V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial V_x}{\partial t} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho B_y = \rho \left(V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_y}{\partial z} + \frac{\partial V_y}{\partial t} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \rho B_z = \rho \left(V_x \frac{\partial V_z}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_z}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial t} \right) \quad (5)$$

Após manipulação algébrica e aplicação de alguns princípios e suposições, obtêm-se a forma final da equação de Navier-Stokes:

$$\rho \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \rho (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} = \rho \vec{B} - \nabla p + \frac{\mu}{3} \nabla (\nabla \cdot \vec{V}) + \mu \nabla^2 \vec{V} \quad (6)$$

onde B é a componente do campo considerado em determinada direção de um plano de coordenadas em três dimensões e ρ a massa específica do fluido em estudo.

A Equação 6 é uma expressão geral para a descrição do movimento dos fluidos.

2.4 Aplicações da fluidodinâmica computacional relacionadas ao transporte de fluidos

Lima e Silva (2005) estudaram a distribuição de velocidade e pressão do óleo bruto (ou petróleo) e diesel no interior de um duto e analisaram os campos de pressões e velocidades, utilizando como ferramenta a versão 4.4 do programa CFX®.

O escoamento monofásico de fluidos em dutos tem sido usado em várias aplicações industriais, tais como transporte de petróleo, sistema de refrigeração, irrigação, entre outros.

Os resultados discutidos a seguir foram obtidos por Lima e Silva (2005), em simulação realizada no laboratório computacional de térmica e fluidos, da Universidade de Campina Grande. O software CFX® 3D emprega a metodologia de volumes finitos, utilizando malhas estruturadas, com flexibilidade de adaptação a geometrias complexas.

Arantes (2007) analisou o escoamento em vertedouros em degressos a partir da ferramenta de computação numérica, utilizando-se um programa de fluidodinâmica computacional, CFX®. As configurações geométricas e hidráulicas de alguns autores da literatura, como modelos de Essery e Horner, Tozzi e Pegram, foram

reproduzidas através das simulações em CFD, a partir das quais foram comparados os resultados experimentais com os resultados obtidos a partir de métodos numéricos computacionais empregados.

As características dos escoamentos nos vertedouros em degraus analisadas e comparadas foram: dissipação de energia, distribuição da velocidade, distribuição da concentração de ar, perfis de pressão ao longo do degrau, estudo da resistência de atrito e um estudo da cavitação.

Foi obtida uma boa comparação entre os resultados experimentais e numéricos, e desta forma, as análises serviram, tanto para validar a utilização das ferramentas de fluidodinâmica computacional, como para caracterizar os escoamentos para uma possível proposta de melhora no desempenho dessa estrutura hidráulica.

2.5 Estudos de casos de aplicação da cfd em válvulas

Davis e Stewart (2002) estudaram modelos de fluidodinâmica computacional para aplicação no desempenho das válvulas de controle, utilizadas em indústrias. O objetivo da modelagem foi determinar um valor para o coeficiente de vazão da válvula que promovesse o melhor desempenho dessa estrutura. Foram testados modelos experimentais e numéricos a fim de obter uma comparação. Os autores concluíram que no estudo numérico apresentado, ficou comprovada a grande utilidade da CFD para a análise relativamente complexa em 3-D no estudo de fluxos e desenvolvimento de válvulas de controle.

Lombardi (2006) propôs o uso de elementos porosos para estudo de dispositivos de fechamento em tubulações. O objetivo principal foi comparar os resultados em 3-D da distribuição de pressão nas faces de fechamento do equipamento em manobra, visando obter parâmetros mais precisos para o projeto estrutural de válvulas e comportas, empregadas no controle de vazão em tubulações gerais.

O emprego de elementos porosos permitiu uma análise da interação entre o fluido e a estrutura da válvula para um controle mais suave na manobra de fechamento.

3 Metodologia

3.1 Descrição da ferramenta CFX®

As etapas de uma modelagem via CFX® estão representadas, resumidamente, no fluxograma da Figura 2. Mais adiante, cada etapa será descrita detalhadamente.

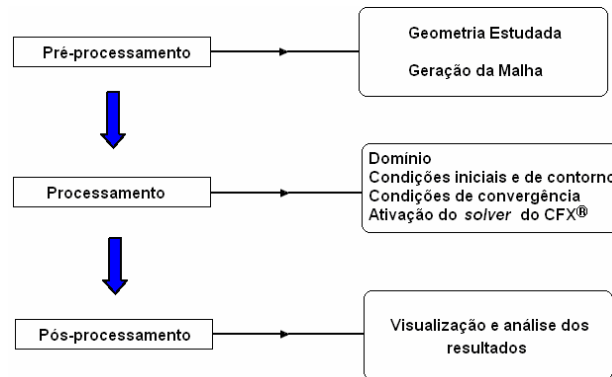


Figura 2:– Estrutura da ferramenta CFX®.

3.2 Geometria e malha

Este processo iterativo é o primeiro estágio do pré-processamento, cujo objetivo é produzir uma malha onde estão especificados os parâmetros físicos. Antes de produzir a malha, é necessário criar a geometria de um sólido a ser modelado. A geometria e a malha podem ser criadas por qualquer ferramenta CAD (plataforma para elaboração de geometrias, por exemplo, o AutoCAD® e o SolidWorks®) e o resultado, importado para o pré-processador.

Na Figura 3 é importante observar que deve-se refinar as malhas, isto é, aumentar o número de elementos na região de interesse, onde se deseja estudar mais profundamente o fenômeno (perda de carga, campo de pressão, perfil de velocidade etc).

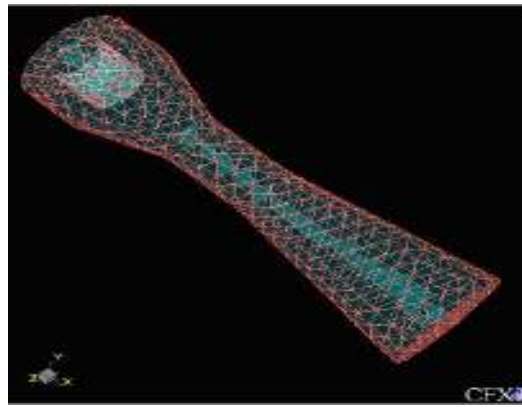


Figura 3: Malhas não estruturadas formada por elementos do tipo tetraédrico

3.3 Definição física

Este processo interativo é o segundo estágio do pré-processamento e é usado para criar os parâmetros de entrada para o solver. O arquivo com os dados da malha é lido pelo pré-processador e em seguida definem-se as seguintes propriedades:

- O modelo físico que será usado na simulação é especificado;
- As propriedades do fluido são especificadas;
- As condições de contorno são especificadas;

3.4 Experimentos de laboratório

Para esse estudo, foi feita uma simulação no laboratório físico LHPCH (Laboratório Hidromecânico para Pequenas Centrais Hidrelétricas) da Universidade Federal de Itajubá, para validar o experimento virtual. Nesse sentido, a finalidade foi realizar uma análise visual qualitativa e comparativa entre os dois experimentos, verificando a proximidade da simulação virtual para um caso real.

Na figura 4 que ilustra a válvula onde se usou como parte do banco de ensaios do laboratório LHPCH, onde foi realizado o experimento.



Figura 4 : Válvula do tipo gaveta

4 Resultados

As características hidráulicas do escoamento em termos de campos de velocidades foram utilizadas para análise principalmente.

Para a primeira simulação, na qual foi aplicada uma pressão de 14 mca na linha do escoamento da água, observa-se na Figura 5 que a velocidade média do fluxo da água na região de entrada da válvula assume um perfil uniforme, cujo valor é de 1,911 m/s. Ao passar pela válvula, verifica-se que a velocidade aumenta bruscamente e, logo após a essa estrutura, passa a ter um perfil distribuído.

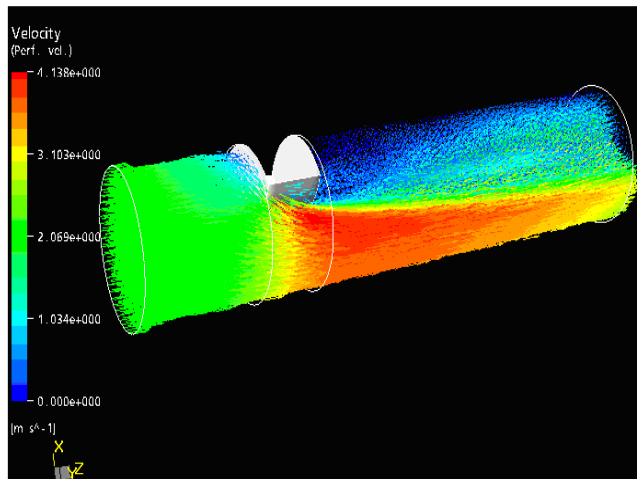


Figura 5 – Perfil de vetores velocidade ao longo da válvula gaveta

Verifica-se ainda que, nas vizinhanças à jusante da válvula, a velocidade decresce rapidamente, chegando até ocorrer o refluxo do escoamento em torno da cunha, como mostra a Figura 6.

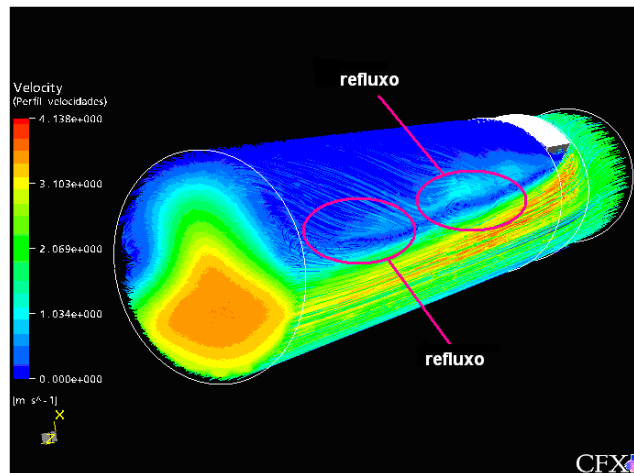


Figura 6 – Campo de velocidades na válvula gaveta

5 Conclusões e recomendações

Ao observar os resultados apresentados pela simulação computacional da válvula gaveta com o auxílio do programa ANSYS CFX®, verifica-se que o método numérico empregado proporciona uma análise visual e detalhada de alta qualidade, na medida em que é possível visualizar os fenômenos que ocorrem durante o escoamento dos fluidos e os resultados finais que se apresentaram coerentes, comparando-se os dados experimentais encontrados na literatura de hidráulica, os dados do procedimento experimental obtidos em laboratório físico com os valores fornecidos pela CFD, pois os erros calculados se comportaram baixos e próximos.

Algumas recomendações são deixadas para futuros trabalhos que complementam o estudo realizado, como por exemplo, a simulação da válvula considerando várias posições de abertura, determinação de uma geometria mais adequada para a cunha e determinações experimentais de coeficientes de perda de carga para novas geometrias.

Referências

- ALAMY, J. E. Aspectos de modelagem de escoamentos sobre geometrias complexas utilizando o método de fronteira imersa. In: I SEMINÁRIO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ, 1., 2006, Itajubá, MG. *Anais...* Itajubá, MG: UNIFEI, 2006. 1 CD-ROM.
- ALENCAR, H. S. *Introdução ao cálculo da dinâmica de fluidos utilizando CFX® versão 5.6*. Curso ministrado pelo Grupo NEST da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá-MG, 2006.
- ANSYS CANADA. *Solver manual theory*: ANSYS CFX®, CFX®. Ontário, 2004. v. 5.6, 250 p.
- ARANTES, E. J. Caracterização do escoamento sobre vertedouros em degraus via CFD. 2007, 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- ASSMANN, A. J. Análise experimental da flutuação de pressão e velocidade a jusante de uma válvula de gaveta. 2002. 22 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- AZEVEDO NETTO, J. M.; ALVAREZ, G. A. *Manual de hidráulica*. 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. v.1. 333 p.
- CAUGHEY, D. A.; HAFEZ, M. M. *Frontiers of computational fluid dynamics*. Chichester: John Wiley & Sons, 1994, 634 p.
- DAVIS J. A.; STEWART M. Predicting globe control valve performance – Part I: CFD modeling. *Journal of Fluid Engineering*, New York, v. 124, p. 772-777, Sept. 2002.
- FOX, R. W.; MCDONALD, A. T. *Introdução à mecânica dos fluidos*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1992. 662 p.
- HIRSCH, C. *Numerical computation of internal and external flows*. v. 1. New York: John Wiley & Sons, 1988. v. 1.
- INSTITUTO DE PESOS E MEDIDAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em: <www.ipem.sp.gov.br>. Acesso em: 22 de outubro de 2007.
- KLAPPE VÁLVULAS INDUSTRIAIS LTDA. Disponível em: <www.klappe.com.br>. Acesso em: 15 out. 2007.
- LIMA, A. G. B.; SILVA, R. M. Simulação do escoamento isotérmico de petróleo e óleo diesel em junções tipo "T". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P & D EM PETRÓLEO E GÁS, 3., 2005, Salvador. *Anais...* Salvador: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, 2005. 1 CD-ROM.
- LOMBARDI, J. C. *Análise de distribuição de pressão em válvulas de diafragma poroso*. 2005. 125 f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
- MACHADO, M. B. *Modelagem tridimensional da dispersão de poluentes em rios*. Tese (Doutorado em Engenharia Química)-Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2006.
- MACINTYRE, A. J. Bombas e instalações de bombeamento. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1987. 782 p.
- MANAHAM, G. J. Gate valve design and application. *Sewage and Industrial Wastes*, Columbia, v. 28, p. 225-231, 1956.
- PORTO, R. M. *Hidráulica básica*. 3. ed. São Carlos, SP: Ed. EDUSP, 2004. 519 p.

SANCHES, R. A. K. *Análise bidimensional de interação fluido-estrutura: desenvolvimento de código computacional*. 2006, 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SOUZA, L. B. S. *Estudo experimental e modelagem numérica do escoamento e do assoreamento em uma armadilha de sedimentos*. 2006. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

TELLES, P. C. S. *Tubulações industriais: materiais, projeto e desenho*. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1983.

WARSI, Z. U. A. *Fluid dynamics: theoretical and computational approaches*. 2nd. ed. CRC Press, 1993. 683 p.

SOBRE OS AUTORES

Humberto Jantim Neto

Engenheiro Hídrico pela Universidade Federal de Itajubá, 2007

Harley Souza Alencar

Engenheiro Mecânico, Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá, 2007
Engenheiro da Alston do Brasil

Marcos Eduardo Cordeiro Bernardes

Possui Graduação em Oceanologia pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG, conclusão em 1997), mestrado em Oceanografia Física pelo Instituto Oceanográfico (IO-USP, conclusão em 2001) e doutorado em Marine Sciences pela University of Plymouth (Reino Unido, conclusão em 2005), Professor do IRN – UNIFEI e Coordenador do Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Fernando das Graças Braga da Silva

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia Civil de Araraquara (1994), Mestrado em Engenharia Civil (Hidráulica e Saneamento) pela Universidade de São Paulo (1998), Doutorado em Engenharia Civil (Hidráulica e Saneamento) pela Universidade de São Paulo (2003) e pós doutorado em Engenharia Civil pelo Centro de Ecologia e Recursos Hídricos da Universidade de São Paulo. Atualmente é professor da Universidade Federal de Itajubá, Coordenador do NUMMARH- Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos, Chefe do Laboratório de Hídrica Computacional e Vice- Diretor do Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá

