

PROJETO DE MÓDULOS DE LABORATÓRIO PARA HIDRÁULICA: JATO DE ORIFÍCIOS; VERTEDORES E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Vitor Souza Viana Silva¹
Jorge Luis Zegarra Tarqui²

RESUMO: *O presente trabalho propõe uma metodologia para o desenvolvimento de projetos de construção de módulos de laboratório de uso múltiplo (pesquisa-ensino-extensão) e de baixo custo a fim contribuir na melhoria das atividades de ensino pesquisa e extensão. Para o desenvolvimento de cada projeto foram realizadas as seguintes atividades: O levantamento de informação secundária referente a cada módulo; A definição das equações teóricas a serem empregadas no cálculo; O dimensionamento de cada módulo; A definição dos parâmetros experimentais visando o uso do módulo para realização de pesquisa básica e experimental; Os aspectos construtivos e avaliação da viabilidade econômica do módulo. Como frutos desses trabalhos foram projetados os seguintes módulos de laboratório: um módulo de laboratório de transporte de sedimentos, um módulo para jatos de orifícios, um módulo de medição de vazão com vertedores e um módulo de perda de carga. Atualmente a pesquisa encontra-se de procura de financiamento para construção dos módulos. Outra atividade contemplada é um processo de divulgação dos resultados, para isso, pretendem-se constituir um grupo de discussão, envolvendo professores das escolas de engenharia da Bahia, responsáveis pelos laboratórios, e posteriormente realizar uma oficina discutindo aspectos de autoconstrução de módulos.*

Palavras-Chave: Módulos; Fenômenos de Transporte, Hidráulica Experimental.

INTRODUÇÃO

A engenharia hidráulica pode ser definida segundo Baptista e Coelho (2003) como a ramificação da engenharia que utiliza dos conceitos e formulações da mecânica dos fluidos (Fox e MacDonald, 2001) e da hidráulica na resolução dos problemas ligados a captação, armazenamento, controle, transporte, distribuição e uso de água. Os fenômenos físicos encontrados na resolução desses problemas são complexos, são abordados mediante conceitos físico-matemáticos junto a uma prática empírica, tornando-se formulações teórico-empíricas.

A prática empírica é fundamentada em estudos de campo, in loco, ou através da construção de equipamentos de laboratório, o estudo em laboratório apresenta suas vantagens por permitir o controle dos parâmetros físicos envolvidos.

O estudo em laboratório é baseado na análise dimensional, onde, equipamentos hidráulicos para diferentes escalas produzem os mesmos fenômenos. Conforme Pimenta (1981) não existe nenhuma outra área da física em que a teoria da semelhança mecânica tenha contribuído tanto quanto na mecânica dos fluidos. Essa teoria permite o estudo dos problemas reais da hidrodinâmica em escala de laboratório, com o objetivo de ensaiar em um modelo de pequenas proporções para se ter conclusões sobre o que ocorrerá no protótipo. Referente a essa teoria, existe a possibilidade de construção de equipamentos hidráulicos, 'modelos', com aplicação no subsídio das pesquisas permitindo o estudo dos problemas relacionados aos fenômenos hidrodinâmica.

¹ Estudante, Escola de Engenharia - UCSal; vitorsouza22@bol.com.br : autor

² Prof., Dr., Departamento III / Escola de Engenharia - UCSal; jlztarqui@yahoo.com.br : orientador.

No âmbito do ensino, os conceitos e formulações, no contexto físico-matemática, o estudos dos fenômenos físicos dos fluidos, observados na engenharia hidráulica, são complexos, a restrição do ensino da graduação nesse aspecto determina uma deficiência da visualização e um verdadeiro entendimento destes fenômenos. Neste sentido, a prática laboratorial se constitui em um instrumento de importância como complemento da parte teórica das disciplinas de Fenômenos de Transporte, Hidráulica, Instalações Prediais, Hidrologia e Saneamento Básico no curso de Engenharia Civil.

Referente à extensão, os módulos farão parte da instrumentação do laboratório, permitindo o futuro emprego quando houver realização de atividades de capacitação em hidráulica experimental, para profissionais atuantes nos setores de irrigação, energia hidráulica, saneamento e da indústria e como atividades extracurriculares para os alunos do curso de graduação da Universidade Católica do Salvador.

Neste contexto fica transparente a importância dos módulos de laboratório no âmbito de pesquisa, ensino e extensão. Por outro lado os custos para aquisição de módulos comerciais são considerados altos além de serem muito específicos e restritos para ensino e extensão, limitando o seu uso para pesquisa.

Nessa perspectiva a possibilidade de elaboração de projetos para construir módulos de uso múltiplo (pesquisa-ensino-extensão) e de baixo custo visa contribuir na melhoria das atividades de ensino pesquisa e extensão.

METODOLOGIA E RESULTADOS

Deve-se ressaltar que ao longo de um ano, o grupo de pesquisa Engenharia Ambiental desenvolveu uma linha de pesquisa, junto com estudantes de graduação, referente a projetos de construção de módulos de laboratório. Nesse sentido, foram desenvolvidas monografias de trabalho de conclusão de curso (TCC) e de iniciação científica abordando este tema.

Para o desenvolvimento de cada projeto foram realizadas as seguintes atividades:

- a) Levantamento de informação secundária referente a cada módulo;
- b) Definição das equações teóricas a serem empregadas no cálculo;
- d) Dimensionamento de cada módulo;
- e) Definição dos parâmetros experimentais visando o uso do módulo para realização de pesquisa básica e experimental;
- f) Aspectos construtivos e avaliação da viabilidade econômica do módulo

Como frutos desses trabalhos foram propostos os seguintes módulos de laboratório:

- Módulo de laboratório de transporte de sedimento

No dimensionamento do canal foram empregadas as equações de hidráulica de Chezy-Manning (Porto, 2004) sendo testados fundos de canal para fundo liso e fundo rugoso (referentes às faixas granulométricas de areia fina, fina e média). Sendo definidas as seguintes dimensões que altura do canal de 25 cm, a largura de 10 cm e o comprimento de 3 metros. Os parâmetros de funcionamento do equipamento são para uma declividade de 0 a 10 % e uma vazão de funcionamento de até 3,75 litros por segundo. O material sólido utilizado no cálculo foi composto por areia fina, média e grossa. O material foi selecionado em faixas granulométricas conforme tabela 1.

Tabela 1 – Faixas granulométricas de areia.

Faixa Granulométrica (mm)	Diâmetro médio (mm)
0,125-0,250	0,187
0,250-0,500	0,375
0,500-1,000	0,750

O canal permite estudo de início de movimento do sedimento do fundo, para areia muito fina, areia fina e areia media, para o cálculo das condições de escoamento foi usada gráfico de Shields (figura 1).

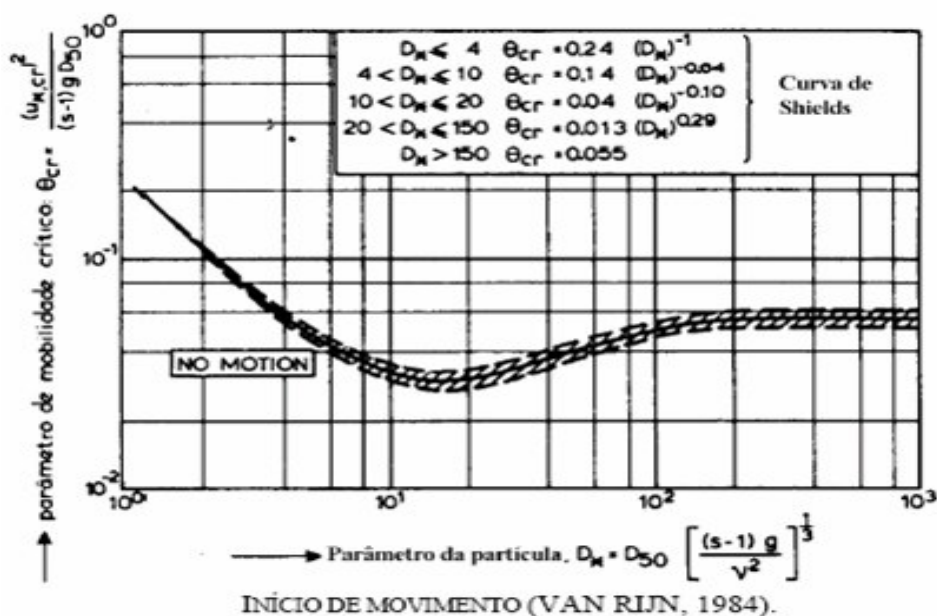


Figura 1 – Gráfico de Shields para o cálculo do início de movimento (Julien, 1995). Para G (densidade relativa dos grãos) = 2,65.

Como exemplo, é apresentado o cálculo de início de movimento para coeficiente de rugosidade de Manning de 0,028 e grão médio ($d= 0,375$ mm).

Tabela 2 – Cálculo da altura da lâmina de água e vazão para o início de movimento para areia média para diferentes declividades em um canal retangular.

I (m/m)	hw (cm)	Q (l/s)
0,001	4	0,4
0,0009	5	0,5
0,0008	7	0,6
0,0007	9	0,9

Onde Q é vazão, I é a declividade e hw é o nível da água.

Cálculos similares foram realizados para diâmetros de areia muito fina e muito fina.

O equipamento permite o estudo de sedimento transportado por arraste de fundo, mediante o método de Van Rijn (Julien, 1995). No um regime mais baixo, a geometria da forma do fundo, tem uma representatividade da altura da duna Δ e comprimento da duna Λ , é função da quantidade da altura do escoamento h, diâmetro médio da partícula d_{50} , e outro parâmetro de escoamento de tal modo que tem como parâmetro de transporte T. A continuação é apresentada uma tabela do cálculo da forma de fundo para uma vazão $Q=1,2$ l/s com declividade de 0,0009 para areia média.

Tabela 03 – Formas de fundo para canal retangular para escoamento de água com areia média no fundo.

h (cm)	Δ (m)	Λ (m)
0,1	0,13	0,75

Também é possível determinar o transporte do fundo (q_b) por unidade de largura ($m^3/s-m$) é dado por:

$$q_b = 0,053 \frac{T^{2,1}}{D^{0,3}} [(s-1)g]^{0,5} D_{50}^{1,5} \quad (1)$$

Por exemplo, para as mesmas condições mencionadas no parágrafo anterior a vazão mássica sendo transportada no fundo é q_b ($m^2/s-m$) = $8,41 \times 10^{-7}$.

A medição de velocidade para escoamento bifásico é mediante a concepção teórica do equipamento (Tarqui, 2001) parte de uma adaptação de uma sonda tipo Pitot pressurizada feita a partir do trabalho de Wang (Tarqui, 2001). Baseados na concepção teórica apresentada na figura 4, parte-se do princípio de que a altura total do escoamento com sedimento, num ponto qualquer, determinará uma altura equivalente em água limpa. Supõe-se que a única forma de transferência de sedimentos entre a sonda Pitot, enchida com água limpa, e o escoamento com sedimento é via difusão molecular, forma de transferência de massa pouco rápida, podendo-se considerar que os dois fluidos sejam imiscíveis.

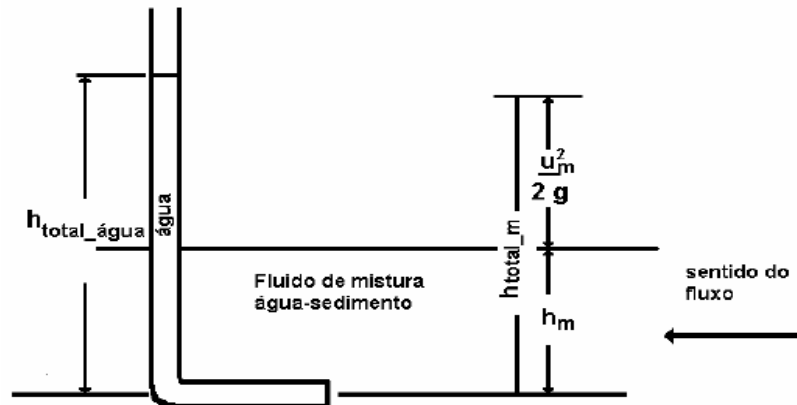


Figura 2 – Sonda tipo Pitot concepção teórica.

Da figura define-se a velocidade média em cada ponto de profundidade:

$$u_m = \sqrt{2g \left(\frac{\rho}{\rho_m} h_{total_água} - h_m \right)} \quad (2)$$

Onde ρ e ρ_m são as massas específicas da água e da mistura, respectivamente, C_v é a concentração volumétrica, h_{total_m} e h_m são respectivamente as alturas totais e estáticas do escoamento com sedimento, $h_{total_água}$ é a altura total da água equivalente à altura total do escoamento com sedimento e u_m é a velocidade do escoamento com sedimento.

A continuação é mostrado o desenho do canal:

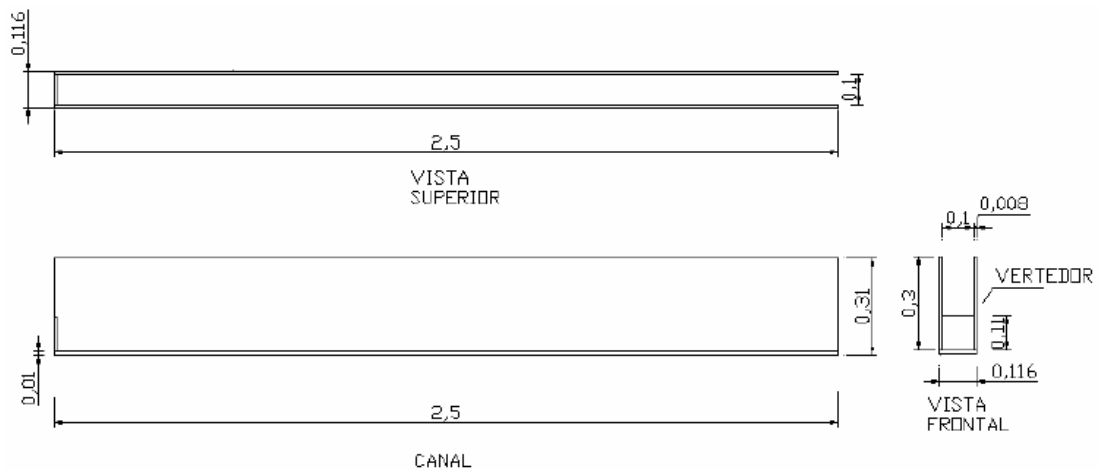


Figura 3 – Vista lateral do canal.

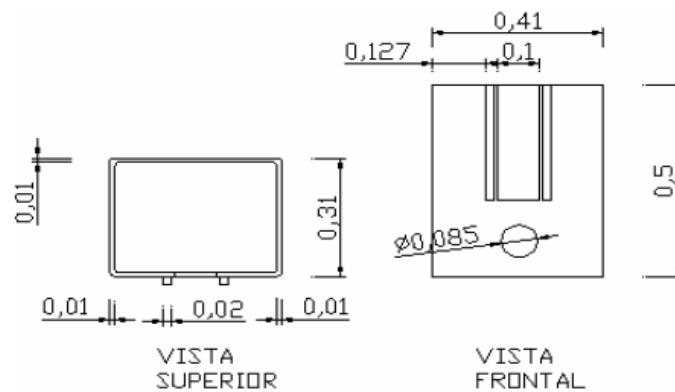


Figura 4 – Vista superior e frontal.

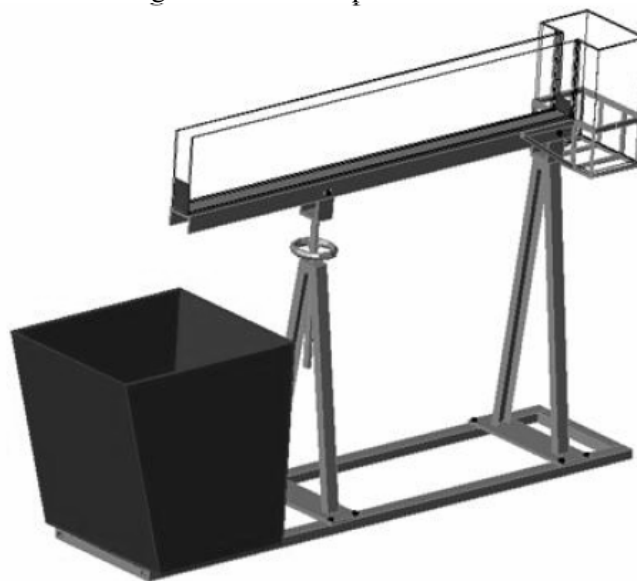


Figura 5 – Módulo de transporte de sedimentos.

- Módulo dos jatos de orifícios

Permiti a visualização e a medição física do fenômeno. No dimensionamento, usou-se da formulação de Bernoulli ajustada para fluidos reais, considerando os coeficientes de velocidade, para diferentes diâmetros e formas de orifícios com diferentes cargas ou níveis de água (Pimenta, 1981) e (Neves, 1989). A trajetória do jato será medida em um sistema de referencia, nos eixos x e y, em um papel milimetrado, no caso da forma de medição do perfil do jato optou-se por um sistema proposto pela ArmField (2007.a). Paralelamente, estudou-se a possibilidade da aplicação das diferentes técnicas de iluminação fotográficas para a visualização de fluidos (Tarqui, 1996). Assim como o processo de captura de imagens, por uma câmara filmadora digital, e a transferência ao computador, a fim de realizar a análise das imagens mediante software de tratamento de imagens, que permitam estabelecer as características físicas do jato como, grau de contração, descrição da trajetória, e outras. E comparar com as medidas diretas observadas na literatura de hidráulica.

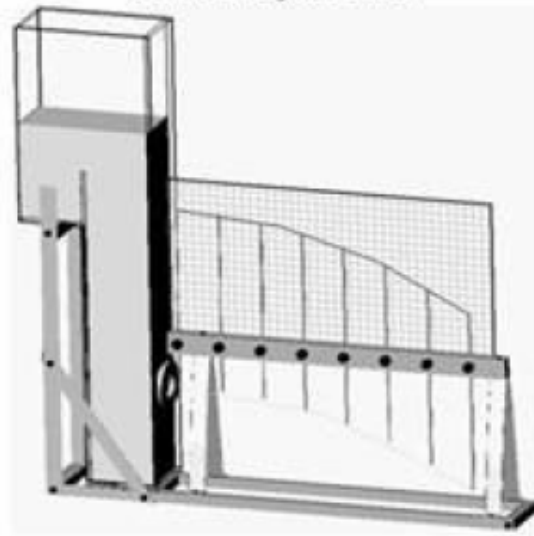


Figura 6 – Módulo de jatos de orifício.

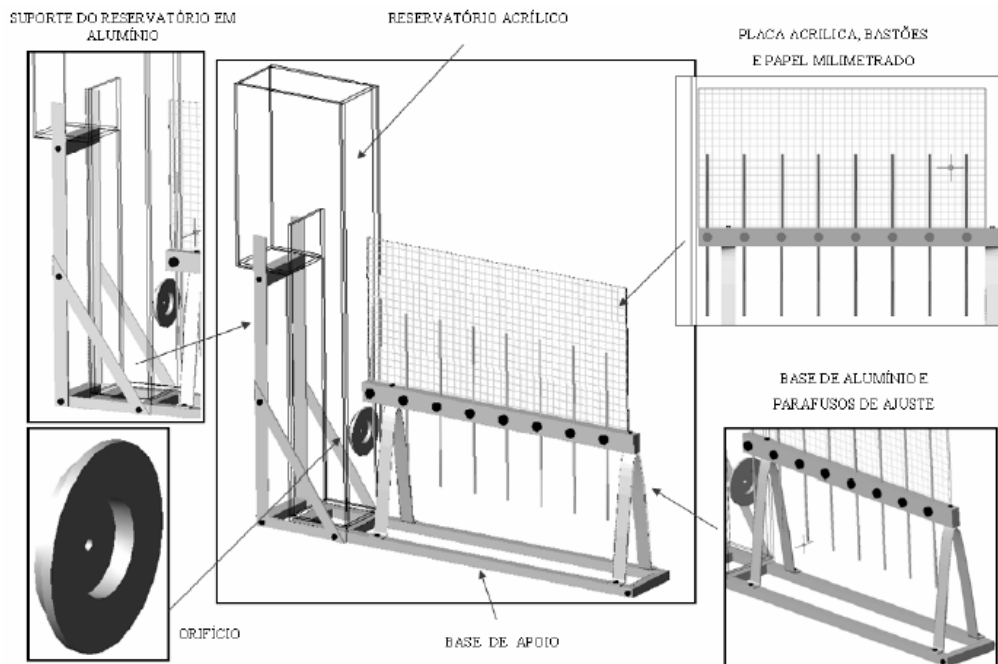


Figura 7 – Detalhes das peças do módulo.

- Módulo de medição de vazão com vertedores

O Módulo foi desenvolvido um reservatório de circuito fechado, composto por duas seções de escoamento em série, que permitem o estudo de vários tipos de vertedores de parede fina (retangular, quadrado e triangular) com varias dimensões (Porto,2004), no caso da forma da estrutura, optou-se por um sistema parecido ao proposto pela ArmField (2007.b).

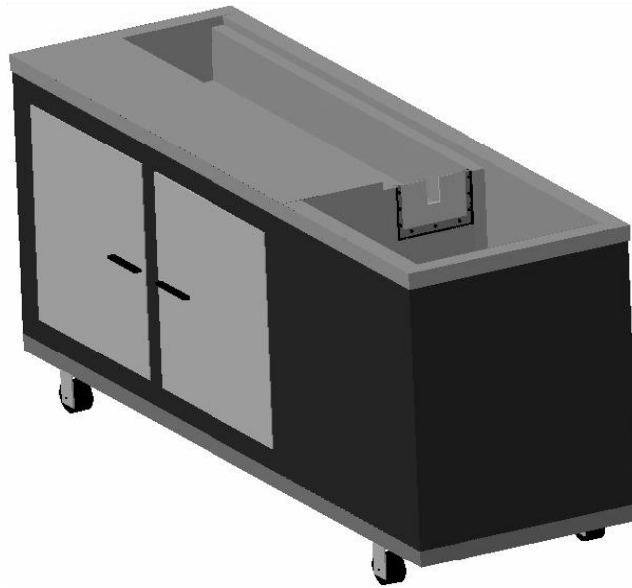


Figura 8 – Módulo de medição de vazão com vertedores.

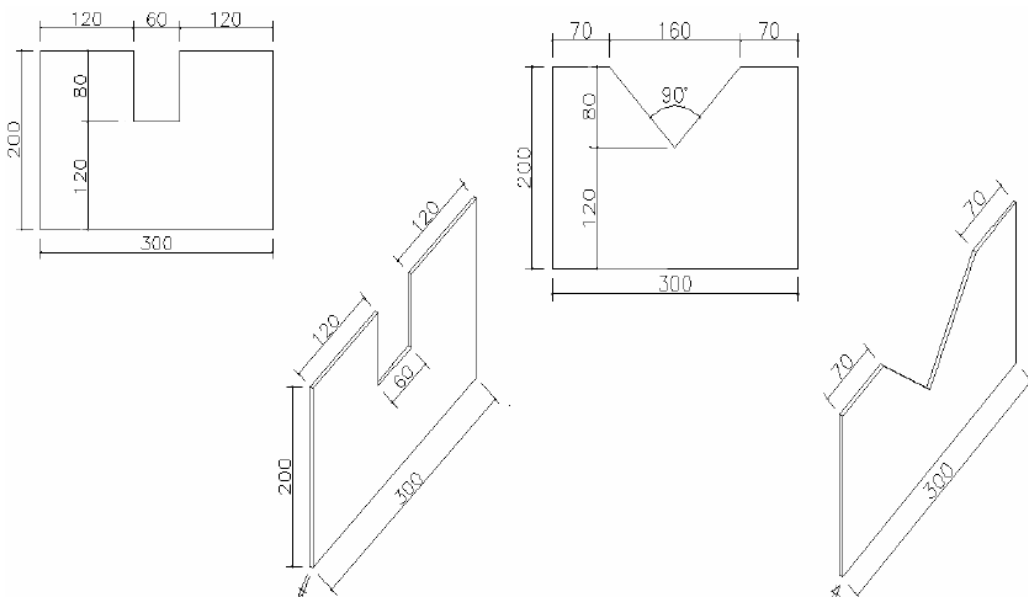


Figura 9 - Dimensões dos vertedores (triangular e retangular).

- Módulo de perda de carga

Foi desenvolvido um estudo de reforma de um módulo antigo, mediante o emprego do programa EPANET (programa de modelagem hidráulica) tornou-se possível simular as condições de funcionamento da Bancada de Perda de Carga antigo. A partir da transferência dos valores de diâmetro, comprimento e rugosidade das tubulações, valores das perdas geradas pelos acessórios e conexões, curva da Bomba, e valores de vazões do sistema. O programa permitiu descobrir sobre dimensionamento dos valores das pressões e das vazões em cada trecho das

tubulações, mostrando que é necessário fazer algumas modificações no sistema para resistir às pressões reinantes. Atualmente este estudo encontra-se em andamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente a pesquisa encontra-se em procura de financiamento para construção dos módulos.

Outra atividade contemplada é um processo de divulgação dos resultados, para isso, pretendem-se constituir um grupo de discussão, envolvendo professores das escolas de engenharia da Bahia, responsáveis pelos laboratórios, e posteriormente realizar uma oficina discutindo aspectos de autoconstrução de módulos.

REFERENCIAS

ARMFIELD (a). **Fluid Properties & Hydrostatics Bench**. Disponível em: <<http://www.armfield.co.uk/fcna.html>>. Acessado em junho de 2007.

ARMFIELD (b). **Basic Hydraulics Benc**. Disponível em:<<http://www.armfield.co.uk/fcna.html>>. Acessado em junho de 2007.

BAPTISTA, B. M. e COELHO, P. L. M. M. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**, Editora UFMG, Belo Horizonte, 2ª ed. 2003, 440 p., 2001.

FOX, R. W. e MCDONALD, A. T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. Rio de Janeiro: LTC Editora, quinta edição, 2001.

JULIEN, P.Y. **Erosion and Sedimentation**. Cambridge: University of Cambridge Press. 1995.

NEVES, E. T. **Curso de Hidráulica Geral**, Editora Globo, São Paulo, 9ª ed. 1989, 557 p..

PIMENTA, C. F. **Curso de Hidráulica Geral**, Editora Guanabara, Rio de Janeiro, 4ª ed. 1981, 482 p.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**, Editora São Carlos, São Paulo, 3ª ed. 2004, 504 p.

TARQUI, J. L. Z. **Padrões de escoamento de fluido de mistura água-sedimento fino em lâmina de pouca espessura**.

2001. **Tese de doutorado**, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TARQUI, J. L. Z., **Visualização de fenômenos de alta frequência em um sistema jato-placa**, Dissertação de Mestrado na Universidade Federal de Uberlândia, 1996, 120 p.