

Estudo em Modelo Reduzido do Campo de Velocidades em Mecanismo de Transposição de Peixes do Tipo Ranhura Vertical

Edna Maria de Faria Viana, Carlos Barreira Martinez

Centro de Pesquisas Hidráulicas EHR/UFMG
ednaviana@pop.com.br, martinez@cce.ufmg.br

Marcelo Giulian Marques

Instituto de Pesquisas Hidráulicas IPH/UFRGS
mmarques@iph.ufrgs.br

Recebido: 19/05/05 – revisado: 23/06/05 – aceito: 31/10/06

RESUMO

A implantação de barramentos sejam eles para geração de energia, abastecimento de água, irrigação, dentre outros, tem promovido o impedimento da migração de peixes de piracema. No intuito de minimizar os efeitos negativos, causados por esses empreendimentos, surge em Minas Gerais a Lei 12.488, que obriga a construção de mecanismos para transposição de peixes (MTP) em barramentos, caso sejam necessários. Entretanto, a construção destes mecanismos em nosso país se baseia em modelos americanos, canadenses e europeus. No intuito de se conhecer o escoamento no mecanismo de transposição de peixes construído na UHE de Igarapava, realizaram-se testes em um modelo reduzido desse sistema na escala de 1:20. O mapeamento foi realizado com o auxílio de um Anemômetro LASER Doppler. Fez-se um conjunto de medidas em oito diferentes planos, e estes planos foram subdivididos em áreas de 10 x 10mm. Após o mapeamento foi possível “desenhar”, com auxílio do Matlab, os mapas representativos das iso-velocidades e vetores que ocorrem no MTP. Para isso utilizou-se de uma escala em cores nos contornos das iso-velocidades, onde as cores correspondem a magnitude das velocidades medidas, e o mapa de setas o direcionamento do escoamento, para verificação do comportamento do mesmo.

Palavras-chave:: mecanismo de transposição de peixes, modelo reduzido, LDA.

INTRODUÇÃO

Com o barramento do rio, provocado pela construção de usinas hidrelétricas, interrompe-se a migração dos peixes de piracema. Com isso os peixes tentam passar de um reservatório para outro através dos vertedores ou pelas turbinas. Verifica-se que 1/3 a 1/4 do total dos peixes morrem nesta tentativa (Wang, 1995). O fato é que existem peixes que necessitam migrar de seus sítios de alimentação para seu sítio de reprodução e vice-versa. Os peixes migradores pertencem a dois diferentes grupos: os “diadromos” que migram do rio para o mar ou vice versa, e os “potamodromos” que migram exclusivamente nos rios, que compreendem os peixes migradores encontrados na fauna brasileira (Peter, 1998).

Diante desse fato, existe uma preocupação antiga para solucionar o problema da interrupção da migração de peixes. A primeira construção de mecanismo de transposição de peixes, registrada, foi

no século XVII. Entretanto, as pesquisas para o desenvolvimento de MTP aparecem a partir do final do século XIX e início do século XX. Nenhuma destas publicações parece ter se baseado no estudo científico, porém, várias incluíram projetos detalhados que foram sendo aprimorados com o passar do tempo (Clay, 1995). A partir da década de 70 estudos mais aprimorados tem sido realizado com intuito de se conhecer o comportamento do escoamento dentro desses mecanismos. Um bom exemplo são as observações realizadas por Rajaratnam, Vinne e Katopodis (1986) do comportamento hidráulico de uma escada de peixes do tipo ranhura vertical.

Para a construção de um mecanismo de transposição de peixes é necessário que haja uma interação entre as áreas de engenharia e biologia, pois esta tecnologia é de caráter multidisciplinar. O sucesso das estruturas e das tecnologias para passagens de peixes depende do trabalho dos biólogos, no estudo do comportamento natatório dos peixes, em conjunto com o trabalho dos engenheiros sobre

o funcionamento hidráulico da estrutura por onde os peixes passarão (Odeh e Haro, 2000). Isso se deve ao fato de que um mecanismo de transposição de peixes ter que prever a subida para desova dos peixes adultos e garantir o retorno das larvas, peixes pequenos e adultos. O deslocamento dos peixes de montante para jusante, especialmente em hidrelétricas, está relacionada a problemas tais como um alto índice de mortalidade e de ferimentos na passagem pelas turbinas, problemas esses não considerados no deslocamento de jusante para montante (Northcote, 1998).

Uma grande crítica da área biológica é que se tem estudado impactos causados por barramentos de hidrelétricas, e o mesmo não tem sido feito no caso de barragens para irrigação, abastecimento de água, rampas, galerias e pontes. Estes são numerosos e podem causar efeitos dramáticos à fauna de peixes local e a biodiversidade (Peter, 1998).

O Brasil tem demandado conhecimentos sobre MTP, entretanto, não se conhece a respeito das características dos peixes brasileiros. O fato é que enquanto em toda a Europa existem 200 espécies de peixes distribuídos em 25 diferentes famílias (Lelek, 1987), e na América do Norte são aproximadamente 180 espécies de peixes, na América do Sul tem-se 5.000 espécies de peixes, sendo que aproximadamente 1.300 só na Amazônia (Bolhke, Weitzman e Mendes, 1978; Lowe-McConnell, 1987), logo o potencial de problemas com passagens de peixes nas barragens e demais obstruções são de maiores proporções (Northcote, 1998).

Diante disso, buscou-se estudar um mecanismo construído na UHE de Igarapava, em escala reduzida, para que se possa verificar o comportamento do escoamento nos tanques pelos mapas de iso-velocidades e vetores.

CONDIÇÕES DE SEMELHANÇA FÍSICA

A idéia de testar modelos é tão antiga quanto o desejo do homem de compreender os fenômenos naturais. Leonardo da Vinci quase descreveu a existência da lei dos modelos, e a relação matemática para o comportamento das estruturas similares geometricamente. Com base na similaridade ele estabeleceu uma teoria de comparação para algumas formas construtivas simples (Carneiro, 1996).

Os avanços conquistados na mecânica dos fluidos são, em sua maioria, frutos de estudos experimentais em modelos reduzidos (Quintela, 1981).

Os modelos reduzidos freqüentemente são utilizados para dar subsídio aos projetistas, do fenômeno a ser estudado (Streeter e Wylie, 1980).

A utilização de modelos reduzidos tem simplificado e minimizado os custos na realização dos estudos experimentais. Na maioria dos estudos em modelos utiliza-se água como fluido de trabalho, o que torna mais econômico e vantajoso se comparado com outros fluidos (Kobus, 1980).

No entanto, para que se possa trabalhar com modelos é necessário obedecer à semelhança dinâmica entre o modelo e protótipo. Isto é conseguido com uma perfeita semelhança geométrica. Neste caso considera-se que a relação entre as pressões dinâmicas em pontos correspondentes sejam uma constante. É necessário também obedecer à semelhança cinemática, isto é, que as linhas de correntes devam ser geometricamente semelhantes. Para isto é necessário que os vários tipos de forças devam ser as mesmas em pontos correspondentes, ou seja, o número de Mach, Reynolds, Froud e Weber devem assumir os mesmos valores no modelo e no protótipo. Entretanto, isto não é impossível, exceto na escala 1:1. Assim, define-se que deverá ser mantida a relação de semelhança considerando as forças que são mais importantes para cada o sistema em estudo (Streeter e Wylie, 1980).

METODOLOGIA

Para a realização dos testes em modelo reduzido construiu-se um canal com placas em acrílico com 8 mm de espessura, sendo que a largura é de 150 mm e altura da seção é de 225 mm. Estas dimensões são geometricamente correspondentes ao protótipo do mecanismo de transposição de peixes existente na UHE de Igarapava, na escala de 1:20. Os outros componentes como reservatório de água de atração, anteparos e comprimento dos tanques possuem dimensões, também, geometricamente correspondentes a do protótipo. Devido ao objetivo do trabalho não se construiu todo o mecanismo, mas somente a seção da curva e o correspondente a 1/3 da extensão total do canal do protótipo (Figura 1).

Fixaram-se, no canal, anteparos construídos em acrílico com 10 mm de espessura (Figura 2), em escala correspondente ao projeto dos anteparos do Mecanismo de Transposição (MTP) da UHE de Igarapava.

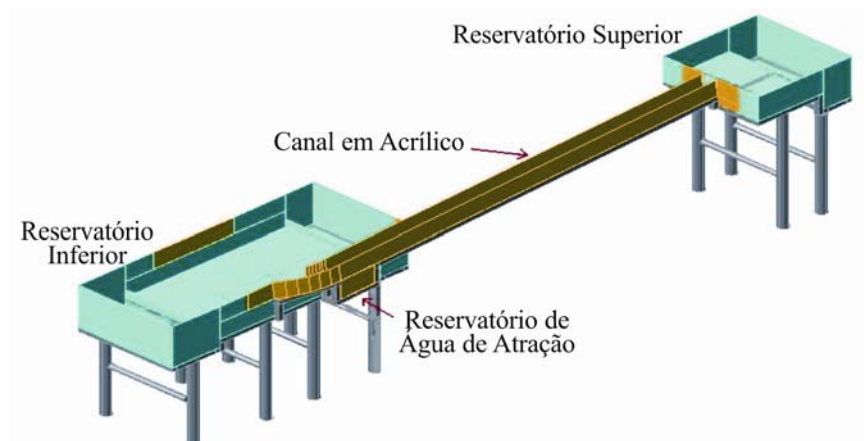


Figura 1 -Desenho do modelo reduzido do mecanismo de transposição de peixes do tipo ranhuras verticais da UHE de Igarapava

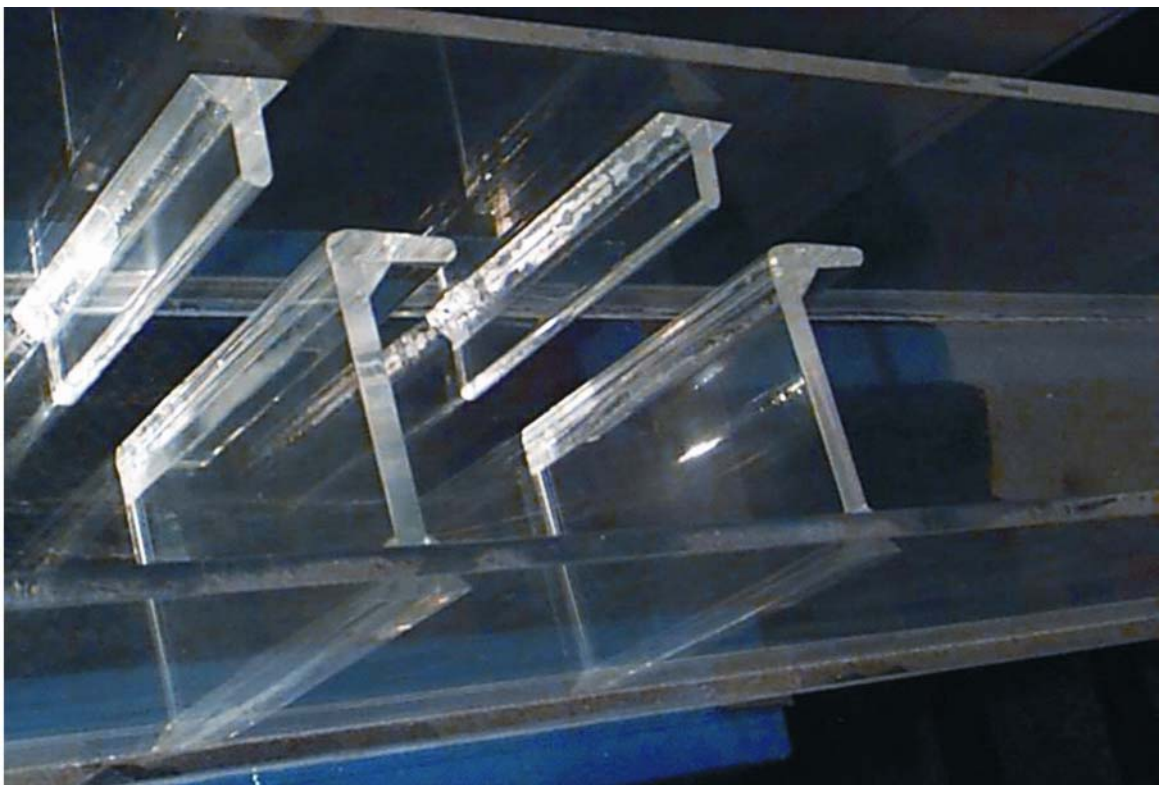
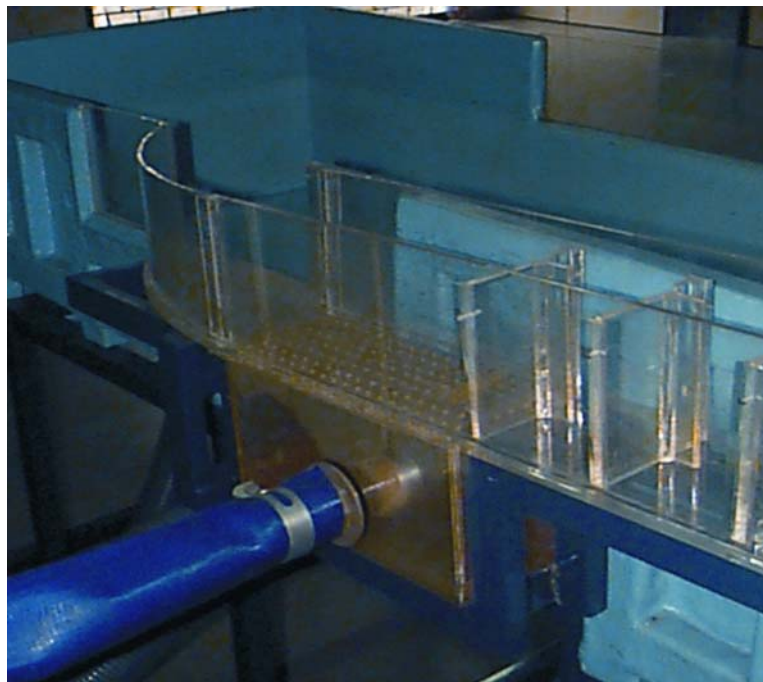


Figura 2 – Anteparos em acrílico geometricamente correspondentes ao protótipo da UHE de Igarapava



(a)



(b)

Figura 3 (a) – Modelo reduzido em 1/20 do MTP da UHE de Igarapava e (b) reservatório inferior onde se localizam a curva e o mecanismo de atração de peixes.

O canal, mostrado na Figura 1, possui 4000 mm de comprimento até a curva, que possui um ângulo de 25° até o reservatório de jusante, e uma inclinação de 6 %. Este canal é composto por 22 tanques com 150 mm de distância entre os anteparos. A localização do primeiro anteparo é 400 mm acima da curva, imediatamente após o reservatório de água de atração. O vigésimo segundo anteparo se encontra a 3760 mm acima da curva e 220 mm abaixo da saída do MTP, por onde o escoamento entra vindo do reservatório superior.

A vazão inserida no MTP de Igarapava é de $1,05 \text{ m}^3/\text{s}$, através desse dado calculou-se pela similaridade de Froude a vazão necessária para o modelo na escala 1/20 e chegou-se ao valor de 35,1 l/min, que foi definida como a vazão de trabalho.

O reservatório superior, em fibra de vidro, corresponde ao reservatório de montante da usina, e o reservatório inferior, também em fibra de vidro, simula a calha do rio a jusante da usina. Para simular a descarga das turbinas no rio, foi calculada a vazão para a dimensão característica do modelo e instalada uma entrada no reservatório inferior alimentado por uma tubulação que funciona como distribuidor do escoamento. A ligação do canal ao

reservatório inferior é feita por meio de uma curva, calculada e construída com as características do protótipo. A montante da curva tem-se a localização do reservatório de água de atração (auxiliar), que possui dimensão e vazão correspondente a do protótipo. Para as correlações de vazão utilizou-se a similaridade de Froude, que correlaciona as duas forças predominantes, nesse sistema, que são as forças gravitacional e inercial. A saída da água do reservatório de atração para o canal do mecanismo se dá por furos no seu fundo. O sistema construído é apresentado na Figura 3 (a) modelo reduzido do MTP da UHE de Igarapava e (b) reservatório inferior onde se localizam a curva e o mecanismo de atração de peixes.

Anemômetro LASER Doppler

O sistema utilizado no presente trabalho possui a seguinte configuração (Figura 4), o emissor de LASER (a) libera um feixe que é dividido em um espelho (b), um dos feixes passa por uma célula de Bragg (c) para defasagem na frequência. Em seguida os dois feixes passam pela lente mais externa (f) que focaliza os feixes no local da medi-

da e direciona a luz dispersa pelas partículas para a lente mais interna (g) que, por sua vez, a focaliza na entrada da fibra ótica (e) que transmite as informações ao fotomultiplicador (d). (Pinotti, 1996).

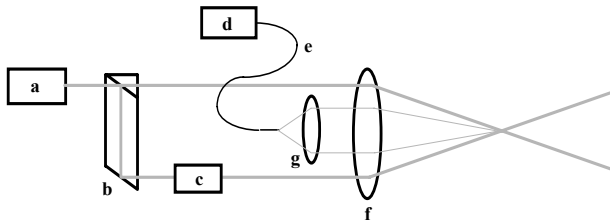


Figura 4 - Configuração utilizada nas medidas (Pinotti, 1996).

O ALD utiliza o fenômeno Doppler para a determinação da velocidade da partícula insemi-nante presente no escoamento. Esta técnica é baseada na utilização de dois feixes de igual intensidade que são focalizados no escoamento por uma lente convergente e que se cruzam num ponto de interesse no escoamento. Nesse cruzamento dos feixes forma-se um volume de medida, Figura 5.

Este volume de medida, formado pelo cruzamento dos dois feixes, é constituído por uma rede de franjas de interferências que possui um ângulo de separação γ entre estes feixes, dependendo da configuração da lente empregada, Figura 6. Quando uma partícula atravessa as franjas de interferências gera uma frequência devido ao efeito Doppler.

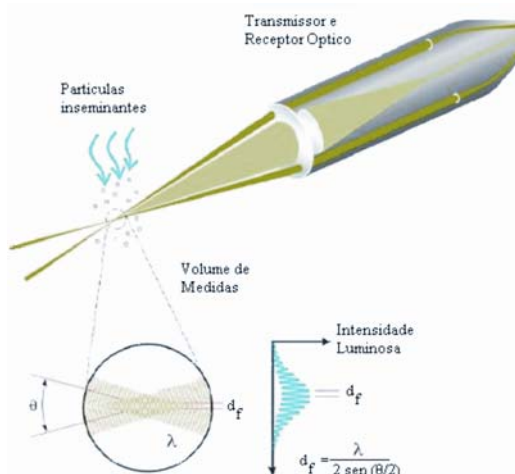


Figura 5 – Interseção dos feixes laser gerando um volume de medida (Dantec, 2004)

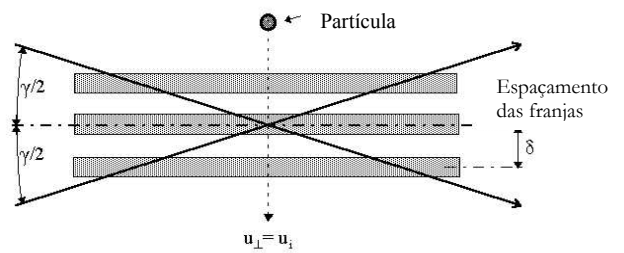


Figura 6 – Rede de franjas de interferência na interseção dos feixes (Pinotti, 1996).

A luz espalhada pela partícula ao atravessar as franjas de interferências é captada por um foto detector de uma lente de recepção. Este sinal luminoso é transformado num sinal elétrico no domínio do tempo. Após seu processamento, resulta num domínio de frequência (f_D) que possui uma relação direta com a velocidade. É interessante e útil lembrar que a frequência de batimento (f_D) é independente da pressão, temperatura e/ou densidade do fluido. A Equação 1 demonstra que a frequência de batimento é independente da direção do receptor e é dada por:

$$f_D = \frac{2V}{\lambda} \text{sen}\left(\frac{\gamma}{2}\right) \quad (1)$$

onde V é a velocidade da partícula passando através da região iluminada pelo cruzamento dos feixes (volume de medida) [m/s], λ o comprimento de onda da luz [nm] e γ é o ângulo entre os dois feixes [rad].

Entretanto, caso duas partículas de mesmo tamanho e velocidade, mas direções opostas cruzem franjas de interferência estáticas, o sinal produzido será exatamente o mesmo. Uma solução para evitar esta duplicidade consiste em se defasar um dos raios incidentes (geralmente por meio de uma célula de Bragg) de forma que as franjas de interferência se movam com frequência defasada f_s . Assim, uma partícula hipoteticamente parada ($u = 0$) dentro do volume de observação geraria um sinal com frequência $f = f_s$. Convenciona-se direcionar o movimento das franjas contrário ao movimento principal esperado no escoamento. Desta forma, uma partícula movendo-se na direção inversa às franjas tem $u > 0$ e $f > f_s$, enquanto que, se $u < 0$, $f < f_s$. E evidente que esta solução também apresenta duplicidade, que pode ser facilmente evitada na prática defasando-se o raio de tal modo que f_s seja maior que a frequência correspondente à velocidade máxima esperada. A velocidade com

que as franjas se deslocam V_f é dada pela Equação 2.

$$V_f = f_s \Delta x \quad (2)$$

Como esse instrumento é utilizado para medir fluidos líquidos, é necessário a construção de seção de teste com parede translúcida. No entanto, ao atravessar regiões com índice de refração diferentes, é necessário de se promover a correção das dimensões e localização do volume de medidas. Para isso, observaram-se os princípios da óptica para propagação dos feixes luminosos. Este princípio possui três características básicas (Hecht, 1989).

- A luz se propaga em linhas retas através de feixes;
- Quando estes feixes são refletidos por uma superfície lisa o ângulo de incidência e os ângulos de reflexão são iguais;
- Quando um feixe atravessa a interface entre dois meios com diferentes índices de refração o feixe é desviado (refração).

Este desvio angular pode ser relacionado aos índices de refração de cada meio pela Lei de Snell (Equação 3).

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\text{sen}(\alpha)}{\text{sen}(\beta)} \quad (3)$$

onde, n_1 e n_2 são os índices de refração, α é o ângulo de incidência e β é o ângulo de refração.

A Figura 7 mostra um feixe sendo desviado quando passa do meio 1 para o meio 2.

Pela Lei de Snell, pode-se deduzir que o índice de refração do meio 2 é maior que o do meio 1. Quando dois feixes são utilizados para a formação do volume de medida, dois pontos podem ser definidos: o ponto aparente de interseção O' , que representa o ponto do cruzamento dos feixes se não existisse a descontinuidade no índice de refração, e o ponto real de interseção O , onde os feixes se cruzam na realidade.

A Figura 8 mostra a situação onde o par de feixes é emitido de um meio com índice de refração diferente daquele no qual se formará o volume de medida. Os feixes mais claros representam a situação real do desvio.

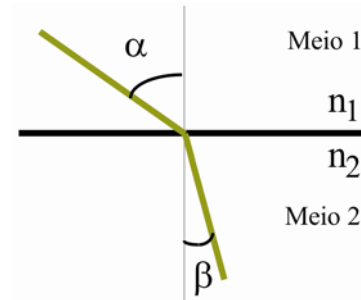


Figura 7 - Feixe luminoso cruzando a fronteira entre dois meios com diferentes índices de refração (neste caso específico, $n_2 > n_1$) (Pinotti, 1996).

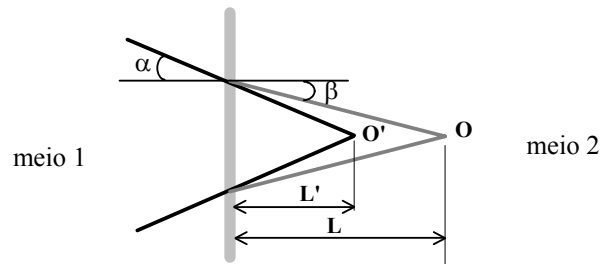


Figura 8 - Um par de feixes incidindo com o mesmo ângulo (α) e cruzando a fronteira entre meios com diferentes índices de refração. O ponto onde o volume de medida se forma (O) pode ser previsto utilizando a Lei de Snell. (Pinotti, 1996)

A Equação 4 mostra que é possível obter uma expressão, após manipulação trigonométrica, relacionando a distância até a interface dos pontos O e O' (L e L' , respectivamente), aos ângulos de incidência (α) e refração (β).

$$\frac{L'}{L} = \frac{\text{tg}(\beta)}{\text{tg}(\alpha)} \quad (4)$$

Se os feixes atravessarem somente superfícies planas, qualquer deslocamento do volume de medida pode ser previsto usando a Equação 4. Porém, tal expressão pode se tornar complexa para fronteiras curvas, onde os ângulos de incidência dos feixes podem não ser iguais.

Nos experimentos, realizados neste trabalho, os sinais foram processados por um analisador 58N40 conectado a uma placa DAS50 (Dantec). O sistema utilizado para o processamento de sinais foi o contador de frequências.

Para ajustar os valores das velocidades médias altera-se os seguintes parâmetros: tensão do fotomultiplicador, frequência central da banda, ganho do amplificador, critério de detecção do tempo de pulso e critério de qualidade na aceitação do sinal.

Protocolo de Medição

De modo a se ter uma área suficientemente grande para que as medições não sofram interferência na emissão do LASER, alargou-se a base

da estrutura metálica que serve de suporte ao canal de acrílico como pode ser observado pela Figura 9. As medições foram feitas pela parte inferior do canal, de forma a evitar a refração do LASER devido às ondas decorrentes do escoamento na lamina de água.

Subdividiu-se o volume de controle dos tanques em 8 planos distantes entre si de 10 mm. O primeiro plano (plano 1) se encontra a 10 mm do fundo do canal e o último plano (plano 8) se encontra a 80 mm do fundo e a 15 mm da superfície da água.

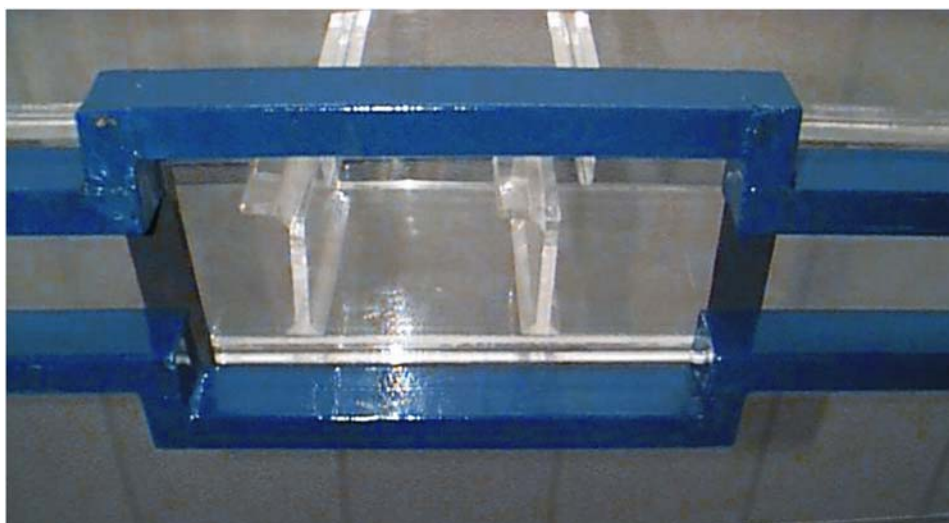


Figura 9 – Alargamento da estrutura metálica para a passagem dos feixes do ALD

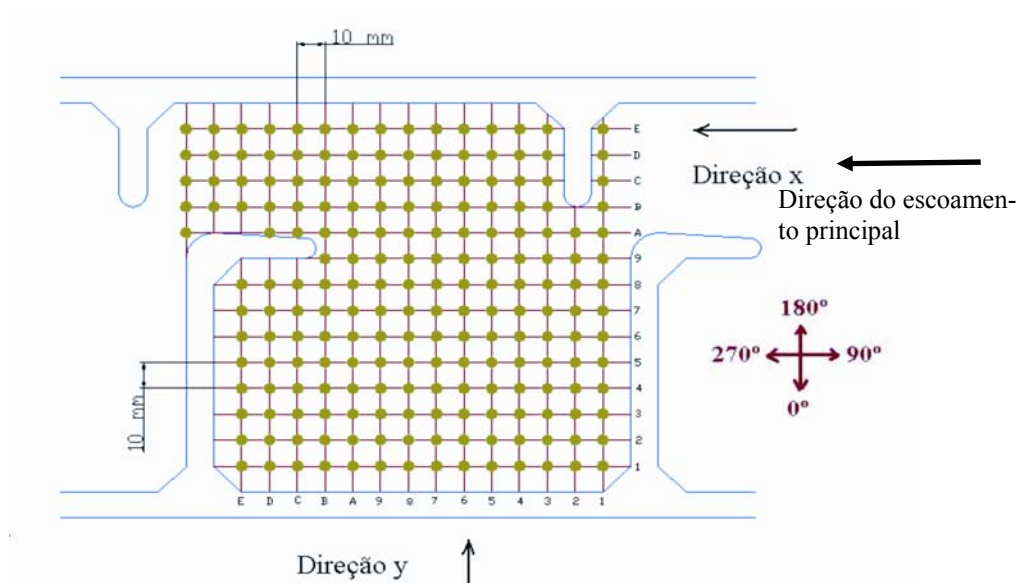


Figura 10 – Direções x e y e as posições para realização das medidas

Para a utilização do Anemômetro LASER Doppler (ALD) posicionou-se inicialmente o emissor próximo (10 mm) às paredes e aos anteparos.

A Figura 10 mostra as direções e os pontos onde foram realizadas as medidas. Em cada ponto de medida definiu-se a captação da velocidade com o Anemômetro LASER Doppler em duas direções. Entretanto, nos pontos muito próximos as paredes e aos anteparos somente é possível se fazer medidas paralelamente a estes. De acordo com o sinal (positivo ou negativo) do valor da medida de velocidade, definiu-se qual a direção do escoamento. Para isto estipulou-se as coordenadas dos ângulos que auxiliam na determinação do sinal de velocidade. Deste modo de acordo com o sinal da velocidade identifica-se o direcionamento do escoamento

As medidas são feitas posicionando-se o volume de medida na região a ser estudada, captando-se, assim, as velocidades na direção do escoamento. Se o valor de velocidade encontrado for positivo, isso indica que a componente está na mesma direção do escoamento que passa do tanque de montante para o de jusante, e definiu-se como ângulo 270° . Caso o valor seja negativo a direção da componente é oposta e o ângulo é 90° . Em seguida rotaciona-se o volume de medida para uma posição perpendicular, transversal ao canal. Caso se obtenha um valor de velocidade positivo o ângulo será de 180° . Um valor negativo indica a posição de 0° . Com as duas componentes podem-se encontrar a resultante da velocidade. Nos pontos próximos às paredes dos anteparos realizou-se medidas somente na direção dos ângulos 0° - 180° . Nos pontos próximos às paredes do canal, mediram-se somente na direção dos ângulos 90° - 270° . Assim as medidas consideradas totalizam 3288 pontos.

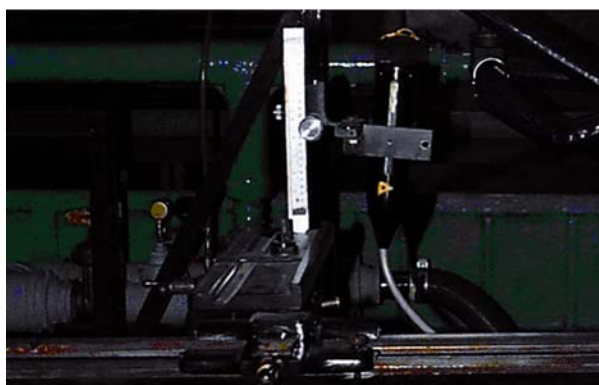


Figura 11 – Posicionador da sonda do ALD

Utilizou-se um posicionador para o emissor LASER que é composto por um barramento de torno, que se movimenta nas direções x, longitudinal ao canal, e y, transversal ao canal. Para se dar os passos na direção dos planos de profundidade tem-se uma barra ligada a um parafuso com passo controlado, o passo é marcado através de uma ponteira colocada na haste onde a sonda é fixada e marcada por meio de uma régua milimetrada. Este sistema pode ser visto na Figura 11. Para a rotação da sonda, utilizou-se uma abraçadeira que garante que a sonda permaneça sempre na mesma posição.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com o mapeamento do escoamento no tanque, do modelo reduzido do mecanismo de transposição de peixes da UHE de Igarapava, demonstraram como o escoamento ocorre e quais as velocidades observadas em todo o tanque em diferentes planos.

A Figura 12 (a) mostra o mapa iso-velocidades a 10 mm do fundo do canal, que corresponde o plano mais próximo do fundo onde se realizaram medidas. Por meio dela pode-se observar que o escoamento possui uma região com maiores velocidades, ligando um tanque a outra, denominada “escoamento principal”, onde nota-se uma grande perturbação das iso-velocidades. Esta perturbação pode ter sido ocasionada, provavelmente, pelo efeito de parede. A Figura 12 (b) mostra o mapa de vetores com o direcionamento do escoamento, onde verifica-se que existe duas regiões de recirculação nas laterais do escoamento principal. Pela dimensão das setas pode-se verificar, também, duas regiões com descontinuidades nas magnitudes das velocidades no escoamento principal, além da perturbação no direcionamento das setas..

Esta descontinuidade ocorre em menores proporções à medida que se distancia do fundo do canal, como pode ser observado pelas Figuras 13 (a) e (b), que corresponde ao mapa de iso-velocidades e vetores no plano 2, a 20 mm do fundo do canal.

Pela Figura 13 (a) pode ser observado que o escoamento possui somente algumas perturbações no escoamento principal, e que a região, onde as velocidades são superiores a 0,3 m/s, se encontra restrito entre os pontos 10 e 11 na abscissa, e 1 e 5 na ordenada. E pelo mapa de vetores, verifica-se que o escoamento possui o mesmo compor-

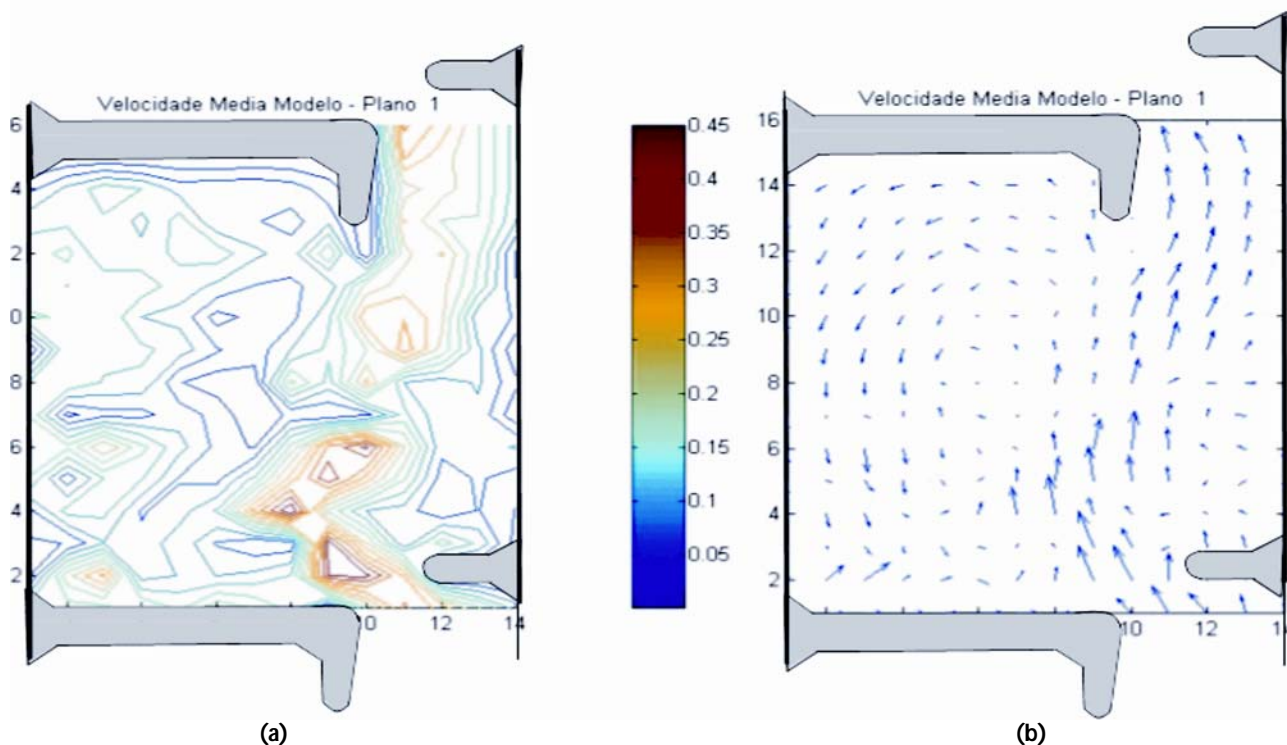


Figura 12 – Mapa de iso-velocidades (a) e de vetores direcionando o escoamento (b), no plano 1, situado a 10 mm do fundo do canal

tamento, do observado no plano anterior, com duas regiões de recirculação nas laterais do escoamento principal, entretanto com direcionamento das setas sem perturbações.

Analisando o plano a 30 mm do fundo do canal (Figura 14 [a]), pode-se notar que o escoamento principal não possui nenhuma perturbação. A faixa de maior velocidade, acima de 0,3 m/s, no escoamento principal, se alarga na abscissa, entre os pontos 10 e 12, e na ordenada vai até a posição 7. O direcionamento dos vetores (Figura 14 [b]) demonstra um escoamento principal sem nenhuma perturbação em toda a sua extensão.

O plano seguinte a ser medido foi a 40 mm do fundo do canal, plano 4, que pode ser observado nas Figuras 15 (a) e (b). Neste plano observa-se que o escoamento principal também não possui perturbações, e que a faixa de maior velocidade fica mais estreita, compreendida entre os pontos 10 e 11 na abscissa, como observado no plano 2. Entretanto, se prolonga até o ponto 9 na ordenada. E aparece uma região de maior velocidade, também, na passagem de um tanque para outro. Pelo mapa de vetores pode-se observar que o escoamento principal não possui perturbação no direcionamento das setas, e que na região próximo ao anteparo de montante, na

maior recirculação, as setas possuem dimensão superiores quando comparado com os outros planos, devido ao valor da velocidade com maior magnitude nessa região, chegando a 0,2 m/s.

Pelas Figuras 16 (a) e (b) observa-se o mapa de iso-velocidades e vetores do plano a 50 mm do fundo do canal. Nesta Figura observa-se que o escoamento principal é bem similar ao observado no plano 4, inclusive na região de maiores velocidades, e no aparecimento de região de maior velocidade na passagem de um tanque para outro. A diferença ocorre na região da maior recirculação onde se observa valores de velocidades inferiores aos observados no plano anterior nas proximidades da parede de montante, e similar aos planos 1, 2 e 3. Isso pode ser verificado também pelo mapa de vetores (Figura 16 [b]), onde nota-se, ainda, que o escoamento não possui descontinuidade.

As Figuras 17 (a) e (b) mostram como se comporta o escoamento a 60 mm do fundo do canal através do mapa de iso-velocidades e vetores. O escoamento principal, nesse plano, possui descontinuidade, tendo regiões de maior velocidade, acima de 0,3 m/s, entre os pontos 10 e 12 na abscissa e 1 e 5 na ordenada. Em seguida tem uma região com velocidades menores que 0,2 m/s até a posição 7 na

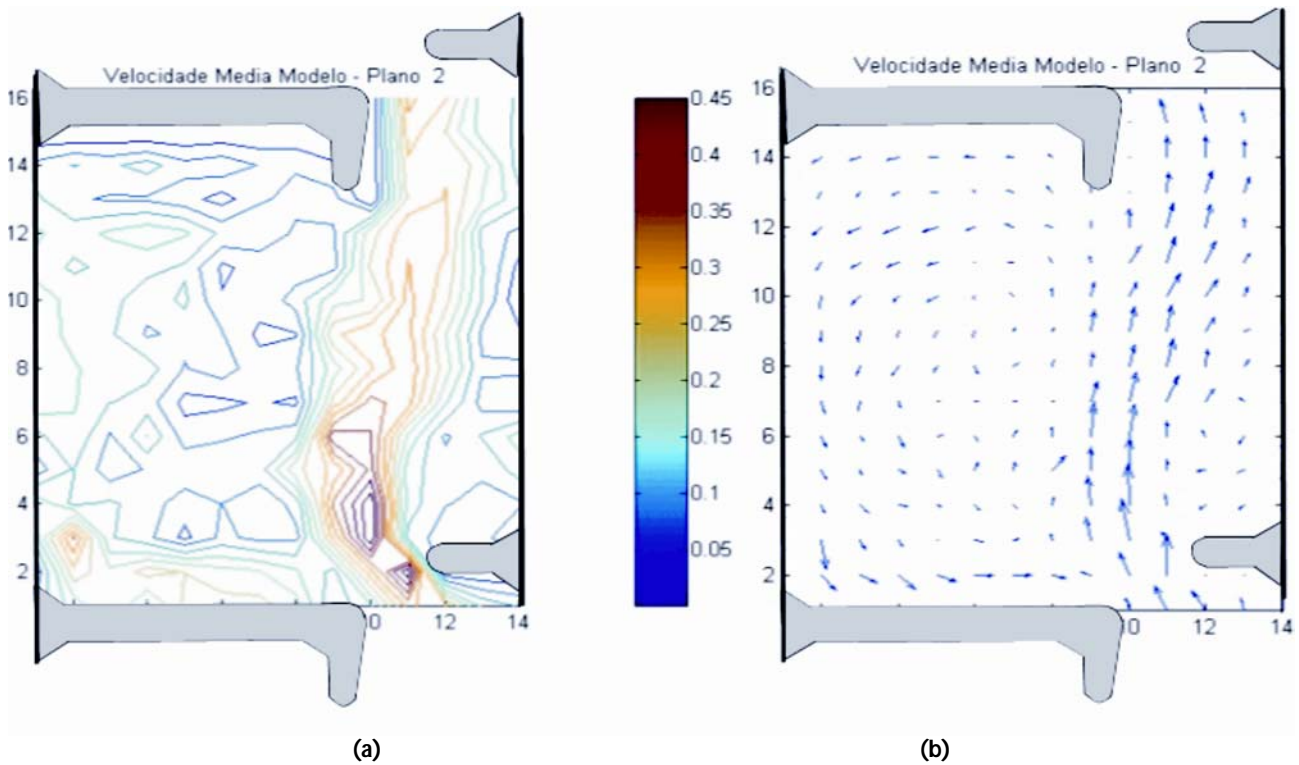


Figura 13 – Mapa iso-velocidades (a) e de vetores direcionando o escoamento (b) no plano 2, situado a 20 mm do fundo do canal

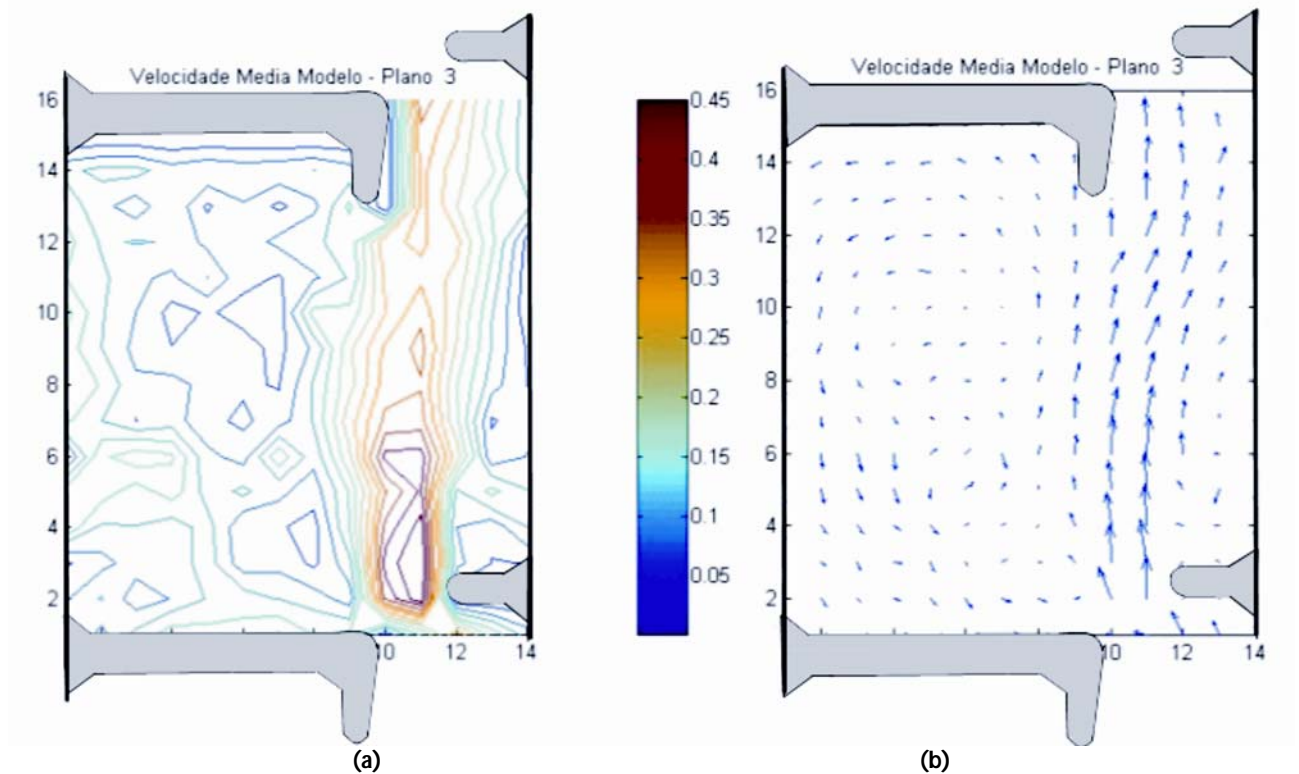


Figura 14 – Mapa iso-velocidades (a) e de vetores direcionando o escoamento (b) no plano 3, situado a 30 mm do fundo do canal

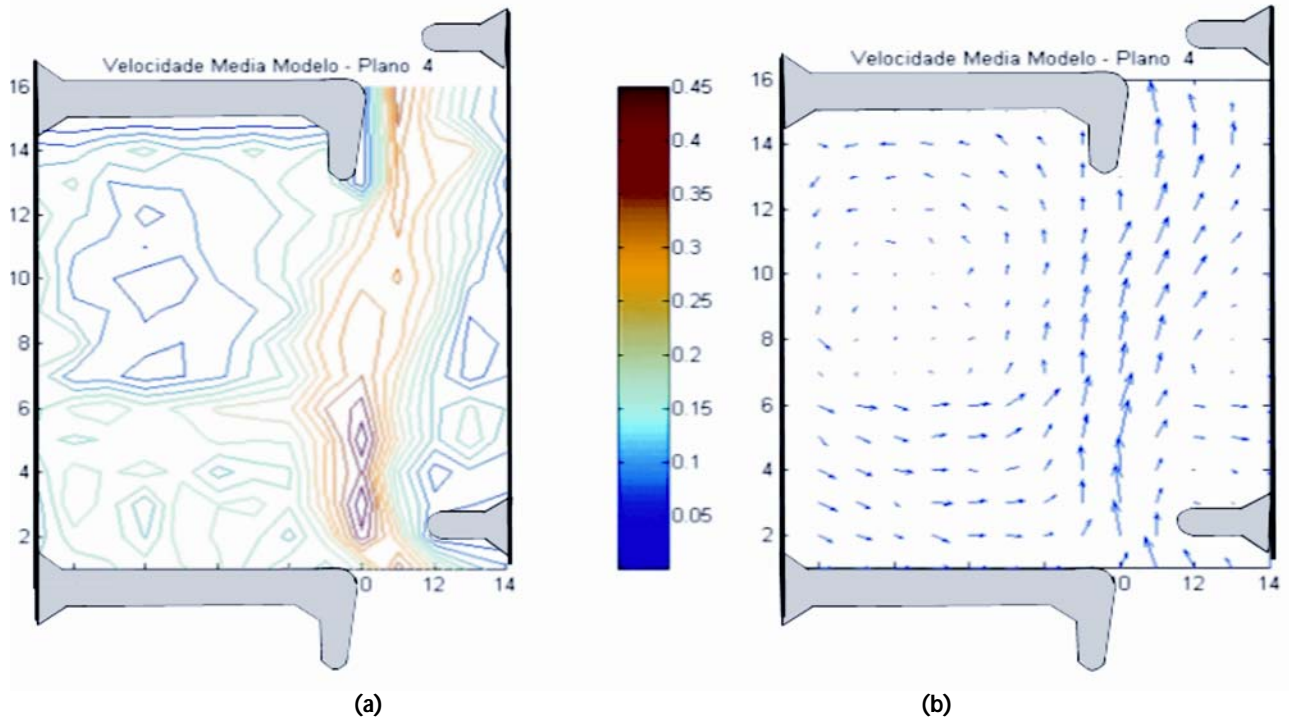


Figura 15 – Mapa iso-velocidades (a) e de vetores direcionando o escoamento (b), no plano 4, situado a 40 mm do fundo do canal

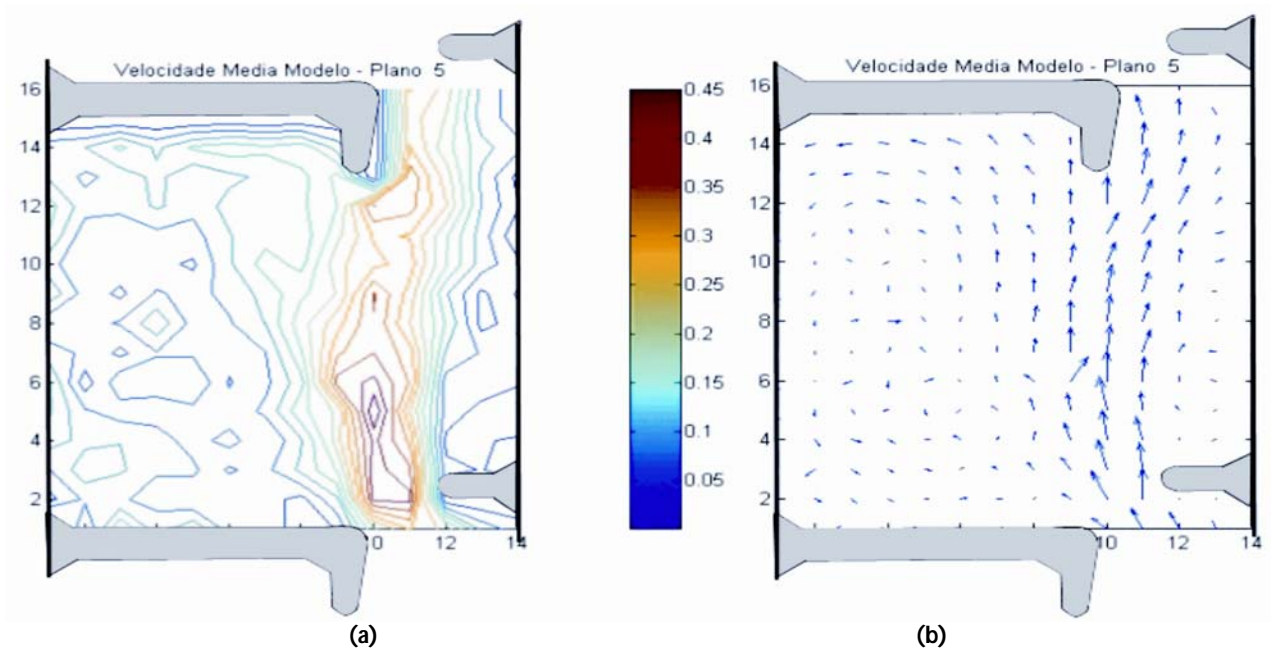


Figura 16 – Mapa iso-velocidades (a) e de vetores direcionando o escoamento (b), no plano 5, situado a 50 mm do fundo do canal

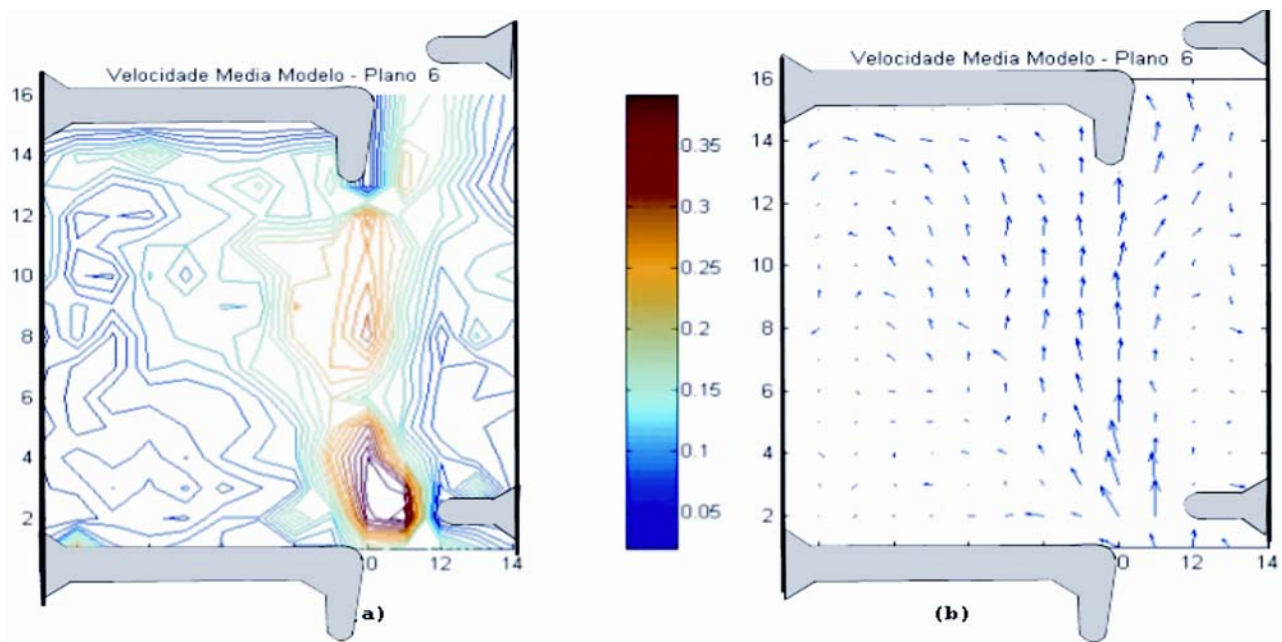


Figura 17 – Mapa iso-velocidades (a) e de vetores direcionando o escoamento (b), no plano 6, situado a 60 mm do fundo do canal

abscissa, e elevação do valor para acima de 0,25 m/s após o ponto 8 da abscissa. Essa descontinuidade nos valores das velocidades no escoamento principal pode ser observada, também, pelo mapa de vetores, mas sem perturbações no direcionamento das setas (Figura 17 [b]). Em seguida mediram-se as velocidades no plano a 70mm do fundo do canal, mostrado nas Figuras 18 (a) e (b).

Através da Figura 18 (a) nota-se que uma descontinuidade na magnitude das velocidades do escoamento principal, onde se tem uma pequena região de maior valores de velocidades, acima de 0,3 m/s, entre os pontos 10 e 11 da abscissa e 1 e 2 na ordenada. Entre os pontos 3 e 4 da ordenada a velocidade passa por valores um pouco menores, chegando a velocidades inferiores a 0,2 m/s entre os pontos 5 e 7, na ordenada, no escoamento principal. E os valores de velocidades se elevam para magnitudes acima de 0,25 m/s entre os pontos 8 e 10 da ordenada. Têm-se valores menores que 0,2 m/s novamente e um ponto com valor de velocidade acima de 0,25 m/s no ponto 12 da ordenada. Essa descontinuidade nas magnitudes das velocidades também podem ser observada no mapa de vetores (Figura 18 [b]). No entanto, observa-se pelo direcionamento das setas que o escoamento não possui perturbações.

No plano mais superficial, encontrado a 80 mm do fundo do canal (Figuras 19 (a) e (b)), observam-se uma descontinuidade nas linhas de contorno de velocidade no escoamento principal. A menor intensidade observada, entre os pontos 3 e 6 da ordenada no escoamento principal, pode ter sido ocasionada por um efeito onde as linhas de corrente de maior velocidade submergem, gerando uma região de menor velocidade a jusante da mesma. Verifica-se ainda que no escoamento as linhas de corrente são mais descontinuas, com grandes alterações na magnitude das velocidades do escoamento principal, como pode ser observado no mapa de iso-velocidades (Figura 19 (a)). Pelo mapa de vetores pode ser observada essa grande alteração na magnitude das velocidades, no escoamento principal, nesse plano. Além disso, verifica-se que a magnitude das velocidades no escoamento principal é bem inferior ao observado nos outros planos. Esse fenômeno pode ter sido ocasionado pelo fato desse plano, próximo a superfície, possuir uma grande flutuação da velocidade por meio de ondas e recirculações. Como o ALD capta o valor da velocidade de um número, pré-determinado, de partículas e da como resultado a média das amostras, esse valor pode estar sub dimensionado pelo fato de, nessa região, poder se existir partículas paradas ou se movendo com velocidades muito baixas.

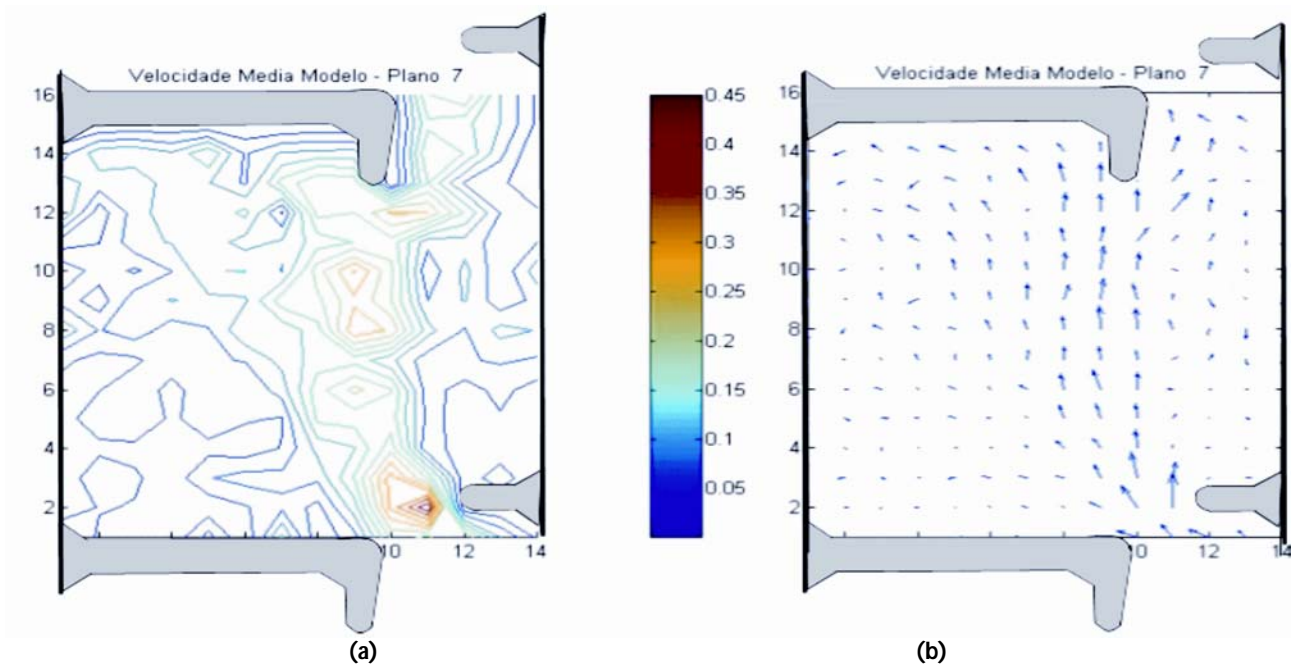


Figura 18 – Mapa iso-velocidades (a) e de vetores direcionando o escoamento (b), no plano 7, situado a 70 mm do fundo do canal

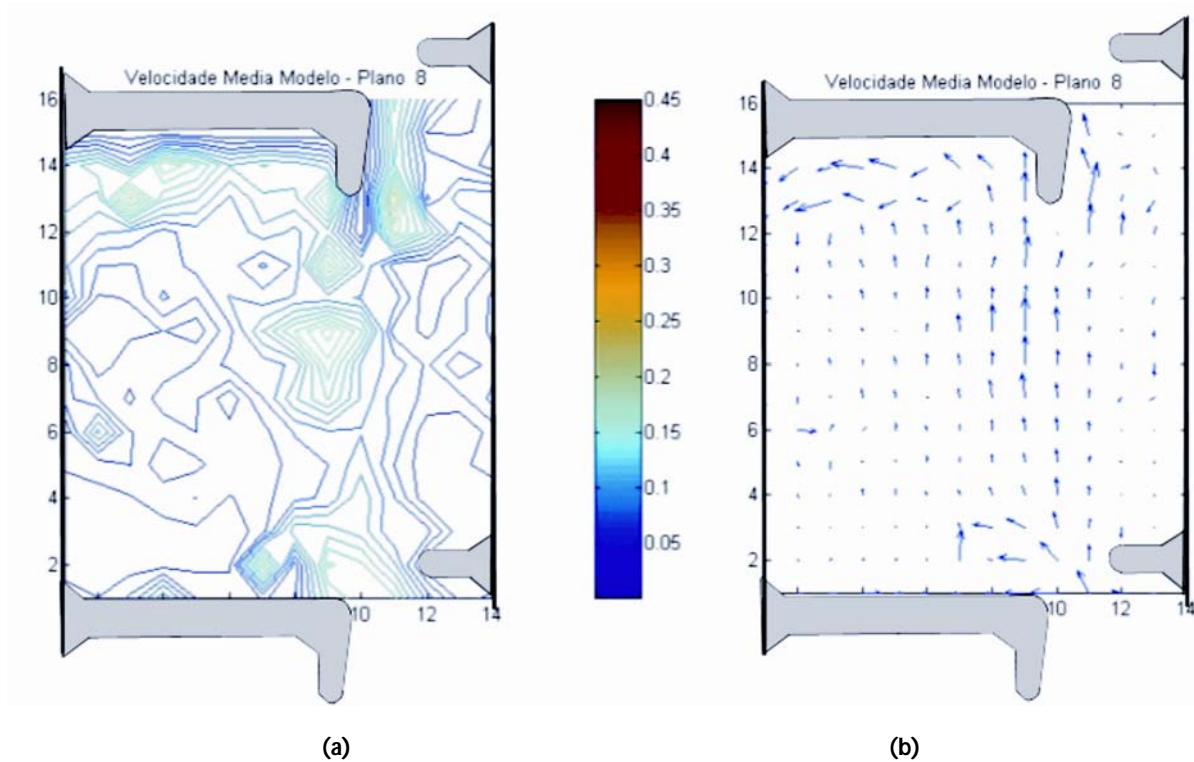


Figura 19 – Mapa de contorno de velocidades (a) e de setas direcionando o escoamento (b), no plano 8, situado a 80 mm do fundo do canal

CONCLUSÃO

Pelo mapeamento do campo de velocidades, no modelo reduzido do mecanismo de transposição de peixes da UHE de Igarapava, observa-se a formação de um escoamento principal, com maiores velocidades ligando um tanque a outro, e duas regiões de recirculação, promovidas pela localização dos anteparos utilizados para a formação de áreas de descanso para os peixes, e para a dissipação de energia.

Pelo plano 1, localizado a 10 mm do fundo do canal, nota-se uma grande perturbação, com alterações nas magnitudes das velocidades e no direcionamento das setas do escoamento principal, provavelmente devido ao efeito de parede. No plano a 20 mm do fundo do canal observa-se uma descontinuidade na magnitude das velocidades do escoamento principal, entretanto, não se nota perturbações pelo direcionamento dos vetores do escoamento. Nos planos 3, 4 e 5 não são observadas perturbações e descontinuidades na magnitude das velocidades do escoamento principal. Notam-se somente a diminuição da magnitude da velocidade à medida que se aproxima da região de jusante do tanque, devido ao fato que o escoamento se dividir, com parte passando de um tanque para outro e parte direcionando para as recirculações. Entretanto, no plano 4 observa-se regiões com velocidades mais elevadas, quando comparada com os outros planos, nas proximidades da parede do anteparo de montante. No plano a 60 mm do fundo do canal observa-se novamente descontinuidade na magnitude das velocidades do escoamento principal. Entretanto sem perturbações no direcionamento das setas. Pelo plano 7 a descontinuidade na magnitude das velocidades também aparece, e além disso, os valores das velocidades no escoamento principal são inferiores aos verificados nos planos anteriores. No plano mais superficial, a 80 mm do fundo do canal, nota-se descontinuidade na magnitude das velocidades, e o direcionamento das setas sofrem pequenas perturbações na região da entrada e da saída do tanque.

Os resultados obtidos indicam que existem uma grande variação de velocidades nos diversos planos medidos. Essas variações criam janelas preferenciais de passagem para distintas espécies de peixes. Dessa forma, é importante e necessário se fazer um esforço no sentido de levantar a capacidade de nado das espécies de peixes migradoras do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia Energética de Minas Gerais - Cemig em conjunto com o FUNBIO – Fundo da Biodiversidade pelo apoio financeiro para o projeto. Ao Centro de Transposição de Peixes – CTPeixes, pelo suporte dado na pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BOHLKE, E. E., WEITZMAN, S. H. E MENDES, N., *Estado atual da sistemática dos peixes de água doce da América do Sul*, Acta Amazônica, 8, p. 657-77, 1978;
- CARNEIRO, F.L., *Análise Dimensional e Teoria da Semelhança e dos Modelos Físicos*, 2ª edição, Editora UFRJ, Rio de Janeiro – Brasil, 1996;
- CLAY, C.H. *Design of fishways and other fish facilities* (2nd ed.) Boca Raton, Lewis, 248 p., 1995;
- DANTEC, *Measurement Principles of LDA*, 2004, Disponível em www.dantecdynamics.com/lda/Princip/Index.html Acesso em julho de 2004;
- HECHT, E. *Optics*. Reading: Addison-Wesley Publishing Company, 2a Ed., 1989;
- KOBUS, HELMUT, *Hydraulic Modelling*, Distribuído por Bertag Paul Parey – Hamburg – Berlin, 1980;
- LELEK, A., *Factors Influencing Changes in Fish Assemblages of Pacific Northwest Streams*, Community and Evolutionary Ecology of North American Stream Fishes, University of Oklahoma Press. Norman, p. 193-202, 1987;
- LOWE-McCONNEL, R. H., *Ecological Fishes of Britain and Europe*, Cambridge University Press., Inglaterra, 1987;
- NORTHCOTE, T. G., *Migratory Behaviour of Fish and its Significance to Movement Through Riverine Fish Passage Facilities*, Fish Migration and Fish Passage, 1ª edição, p. 3-18, 1998;
- ODEH, M., HARO, A., *Developments in fish passage engineering and technology*, Advances in Fish Passage Technology, American Fisheries Society, Bioengineering Section, Bethesda, Maryland, USA, p. 1-12, 2000;
- PETER, A., *Interruption of River Continuum by Barriers and the Consequences for Migratory Fish*, Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology, Kastanienbaun, Switzerland, Fish Migration and Fish Bypasses, 1ª edição, p. 99- 112, 1998;

- PINOTTI, M.B. *Escoamento no interior de um dispositivo centrífugo utilizado em circulação extracorpórea*. Tese de Doutorado. UNICAMP, Campinas - SP, 1996;
- QUINTELA, A.C., *Hidráulica*, 2ª edição, Editora Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa – Portugal, 1981;
- RAJARATNAM, N., VINNE, V.D., KATOPODIS, C., *Hydraulics of Vertical Slot Fishways*, Journal of Hydraulic Engineering, vol. 112, n. 10, Outubro de 1986;
- STREETER, V.L., WYLIE, E.B., *Semelhança e Modelo Reduzido*, 7ª edição, Editora MacGraw Hill do Brasil, São Paulo – Brasil, 1980;
- WANG, Y., *Design and operation of the Chinese electric fence*, Proceedings of the International Symposium of Fishways'95, Gifu, Japão, October, 1995;

Scale Model Study of the Velocities Field in a Vertical Slot Fishway

ABSTRACT

Building a dam for hydropower, water supply, irrigation, and other purposes has an impact on fish migration. In order to solve this, the state of Minas Gerais introduced Law 12,488 law, which makes it mandatory to build a fishway in the dam when necessary. However the fishways built in Brazil, are similar to American, Canadian and European fishways. In order to know the flow in Igarapava Dam fishway, the system was tested on a 1:20 scale model. The test was performed using a LASER Doppler Anemometer on various planes. Then velocity color contours and arrow maps were drawn using MatLab, to find out the velocity field and flow behaviour in this fishway.

Key-words: Fishway, scale model, ALD