

## **Verificação da Variação do Comportamento Hidráulico em um Mecanismo de Transposição de Peixes do Tipo Escada em Diferentes Declividades**

**Fernando Luís Fonseca de Oliveira Tomé\***, **Carlos Barreira Martinez\***, **Marco Túlio C. Faria\***,  
**Luiz Gustavo Martins da Silva\***, **Hersília de Andrade e Santos\***, **Edna Maria de Faria Viana\***

*fernando2904@yahoo.com.br, martinez@cce.ufmg.br, luizsilva@uffs.edu.br, hersilia@des.cefetmg.br,  
mtcdf@uol.com.br, ednamfv@ufmg.br*

*Recebido: 15/09/11 - revisado: 04/01/12 – aceito: 07/02/13*

---

### **RESUMO**

Sabe-se que a implantação de barramentos é uma das maiores causas da redução da população de peixes nos rios em todo o mundo. Devido a isso se tem buscado programar várias ações visando à mitigação desse impacto sobre o meio ambiente. Uma dessas ações é a implantação de mecanismos de transposição de peixes (MTP). Esses sistemas devem ter condições hidráulicas que permitam que os peixes sejam atraídos, e consigam passar entre os tanques e áreas de descanso durante a trajetória de subida. A fim de se reduzir o custo construtivo e de manutenção dos MTP busca-se projetar canais com declividades maiores, que possam atender as necessidades dos peixes. Esse fato tem incentivado a pesquisa de novos arranjos de MTP que possam suprir a demanda dos peixes e, ao mesmo tempo, que represente uma redução dos custos de instalação. Esse trabalho apresenta o estudo de um arranjo de MTP do tipo ranhura vertical, com anteparos simplificados, operando em diferentes declividades. O caso, estudado nesse trabalho, apresenta como vantagem a simplicidade construtiva frente aos demais modelos propostos na literatura. Para isso, é levantada a perda de carga entre os tanques, a vazão adimensional, a dissipação de energia, a velocidade no modelo e a velocidade em um protótipo. Ao final apresenta-se a máxima declividade que esse mecanismo deve operar de modo a garantir uma condição de escoamento que seja compatível com a demanda dos peixes que habitam os rios do Brasil.

**Palavras Chaves:** mecanismo de transposição de peixes, nova escada, parâmetros hidráulicos

---

### **INTRODUÇÃO**

O Brasil, com extensão territorial superior a 8 milhões de km<sup>2</sup>, é privilegiado em recursos hídricos, com cerca de 20% da água doce mundial. A maior das bacias hidrográficas, a Amazônica, é mundialmente reconhecido pela importante biodiversidade, possui mais de 3.000 espécies de peixes, conforme McAllister et al. (GODINHO, 2000). Esses números correspondem a aproximadamente, 2/3 do total do universo global de peixes existente (FISHING GUIDE, 1996). Muitas dessas espécies, cerca de 20% (THEMAG, 1999), migram e não recebem a atenção merecida quanto à preservação e manutenção, apesar dos compromissos internacionais firmados na ECO-92, (1992) onde o Brasil declarou ao mundo que cada ser vivo, planta ou animal, não são apenas bens locais, mas um patrimônio da humanidade e assim devem ser tratados.

---

\*Centro de Pesquisas Hidráulicas (CPH), (EHR / DEMEC / DELT) UFMG

Os peixes vivem, em todo o mundo, em função de dois comportamentos básicos, quais sejam:

- a) O da conservação da vida, no qual os peixes agem e reagem ao meio ambiente, procurando locais favoráveis quanto à alimentação, à temperatura e às condições físico-químico-biológicas; assim, realizam migrações tróficas descendentes;
- b) O da geração na qual anualmente os peixes de piracema migram contra as correntezas para se cansarem, no sentido fisiológico e bioquímico, para a reprodução (GODOY, 1992 - Manuscrito citado por Martins, 2000).

Em todo o mundo tem sido observada a fragmentação dos rios por barragens (MORITA e YOKOTA, 2006). Isso tem sido considerado a maior causa do declínio da população de salmão e trutas em países de clima temperado (RODRIGUEZ et al. 2006). Esse fato tem sido evidente, também, nas

comunidades de peixes brasileiros (GODINHO, 1993).

Larinier, em 1999, definiu um Mecanismo de Transposição de Peixes como sendo um dispositivo para atrair e conduzir seguramente a migração de peixes: trófica e reprodutiva, aos seus ambientes.

Pensando nisso, Alvarez-Vázquez, et al. (2007), realizaram simulações computacionais do escoamento de uma nova configuração da escada do tipo ranhura vertical, para duas posições de anteparo e comprimento de tanque. Após o estudo encontrou-se um novo desenho de escada onde essas regiões de recirculação são minimizadas. Aumentando, assim, a área de descanso para os peixes.

Viana et. al. (2010) elaboraram um trabalho experimental visando verificar a proposição apresentada anteriormente. Para isso fez-se o levantamento do comportamento hidráulico, pelo levantamento do campo de velocidades, desse desenho de escada de peixes em diferentes declividades variando-se alguns parâmetros hidráulicos importantes para um MTP, tais como a vazão adimensional, dissipação de energia, funcionamento como escoamento uniforme, dentre outros. Os diferentes cenários foram obtidos por meio da variação da declividade e da vazão que passa pelos tanques. Nesse trabalho, busca-se correlacionar os parâmetros vazão adimensional, dissipação de energia e velocidade média, dentro do tanque, com a declividade.

## METODOLOGIA

Para realização desse estudo experimental, utilizou-se de um canal construído em aço e vidro, com reservatórios a montante e a jusante do canal, fabricados em fibra de vidro. O canal possui 6 m de comprimento e 0,40 m de largura e possui 11 tanques separados por anteparos de 25 mm de espessura e ranhura. E possui, também, declividade variável, controlada por uma talha mecânica que suspende o canal na região do reservatório de montante. Como pode ser visto na Figura 1 (a) o desenho e a Figura 1 (b) a foto do canal.

Os anteparos foram fabricados em madeira, e foram fixados com silicone. A abertura ( $b_0$ ) possui 0,10 m, e comprimento de cada tanque 0,50 m, como pode ser observado na Figura 2. Esse desenho mostra que o arranjo proposto é uma configuração simplificada, com dimensões diferentes, dos propostos por Rajaratnam, Katopodis e Salanki, 1992.

Para a determinação dos parâmetros hidráulicos, de uma escada do tipo ranhura vertical, é necessária a verificação da condição de escoamento uniforme medindo a altura de lâmina de água no centro de tanques consecutivos, desta forma pode-se encontrar a vazão adimensional pela equação 1(Rajaratnam et. al., 1986).

$$Q^* = \frac{Q}{\sqrt{gS_0 b_0^5}} = \frac{y_0}{b_0} \sqrt{\frac{2}{m C_f}} \quad (1)$$

Onde:  $Q$  é a vazão,  $Q^*$  é a vazão adimensional,  $g$  é a aceleração da gravidade,  $S_0$  é a declividade do canal,  $b_0$  é a abertura entre as ranhuras,  $y_0$  é a altura no centro do tanque,  $m$  é a sinuosidade do canal ( $m=1$  quando existe parede em um dos lados do escoamento, e  $m=2$  para o escoamento é contornado por parede dos dois lados) e  $C_f$  é o coeficiente de atrito.

Correlacionando essa vazão adimensional com a relação entre a altura de lâmina de água pelo abertura da ranhura, encontra-se as equações para a determinação da vazão adimensional. Esse parâmetro é muito importante no período de projeto da escada, para que se possa verificar as condições operativas do sistema.

Para início dos estudos escolheu-se as vazões de 30, 35, 40, 45, 50 e 55  $\text{m}^3/\text{h}$ , medidos por meio de um medidor eletromagnético de vazão. As declividades adotadas foram próximas às utilizadas usualmente nos projetos de MTP e portanto foram de 5, 6, 8, 10, 12, 14 e 16%.

Para cada declividade e vazão, efetuou-se a medição da altura de lâmina de água ( $y_0$ ), na região central do tanque, através de uma ponta limnimétrica.

Para cada declividade e respeitando-se a condição de escoamento permanente foram traçados os gráficos das alturas de lâmina de água e de cada vazão. Dessa forma foi possível encontrar a correlação do  $y_0/b_0$  com a vazão adimensional ( $Q^*$ ), e assim levantar experimentalmente a equação do MTP. Também foram calculadas, as perdas de carga, a velocidade média, determinada através da relação entre a vazão e a área molhada no centro do tanque, e a dissipação de energia para cada um dos casos. A partir desses dados e adotando-se a velocidade de 2  $\text{m/s}$ , valor definido, por estudos realizados, em vários países, com salmão, como velocidade média máxima para que o mesmo consiga transpor o sistema, e a dissipação de energia 0,191  $\text{kW/m}^3$  como valores limites que permitam que os peixes (salmão) nadem no sistema, conforme levantamen-

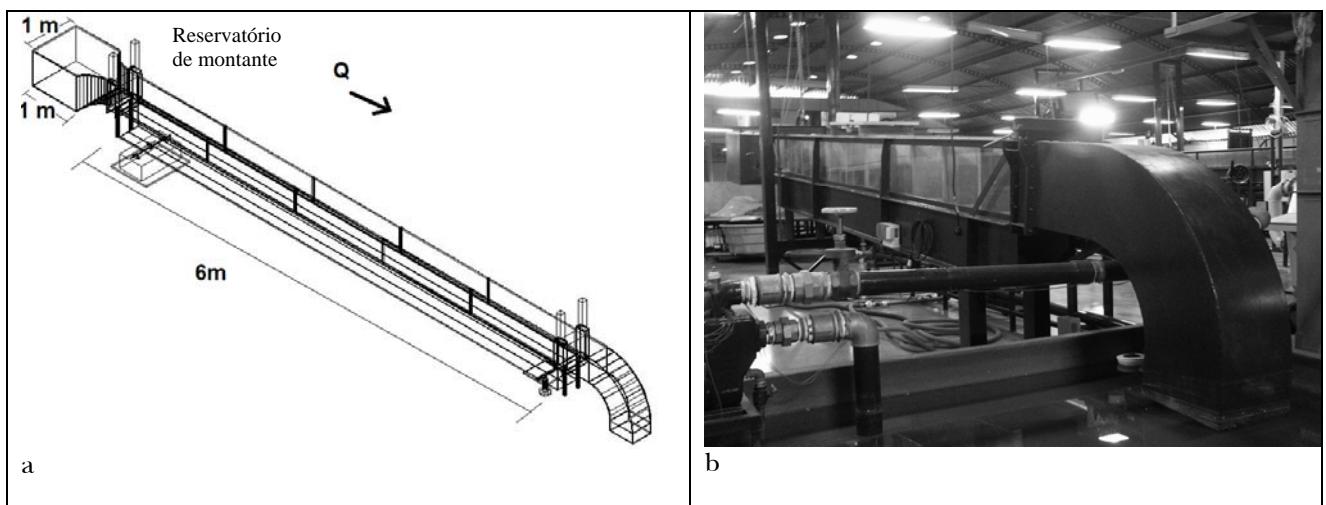


Figura 1 (a) – Desenho do canal utilizado nos testes e (b) Foto do canal utilizado nos testes

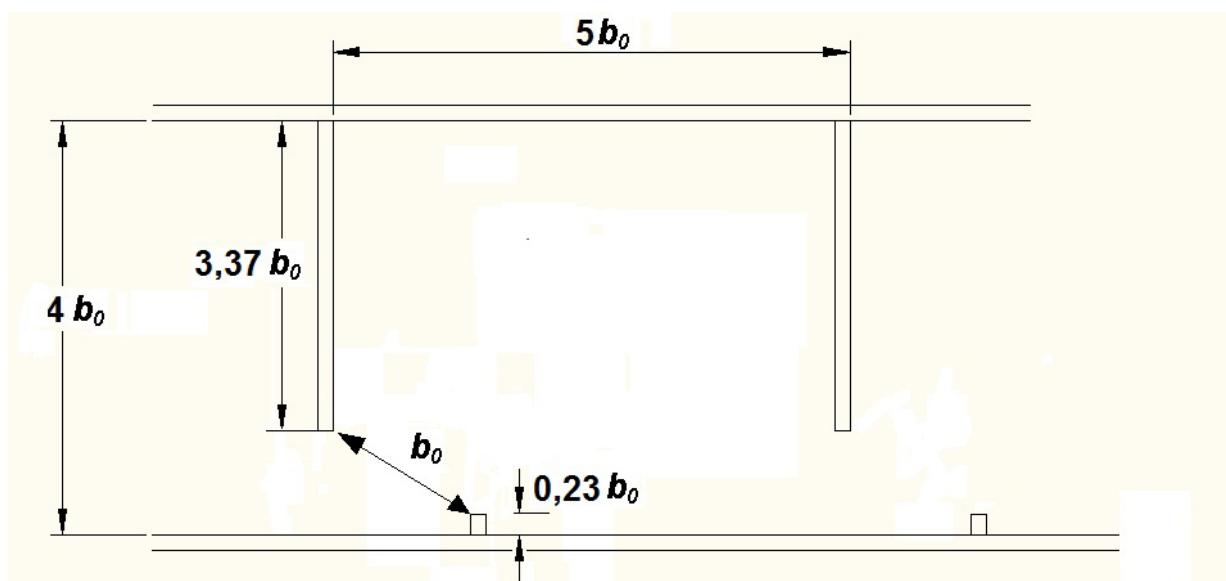


Figura 2 – Proporções das dimensões do tanque da escada de peixes

to realizado por Bell (1973), para a determinação da condição de maior declividade para o MTP. A equação 2 mostra como Bell (1973) determinou a potência dissipada por unidade de volume nos tanques.

$$k = \frac{Q\gamma\Delta h}{BLy_0} \quad (2)$$

onde  $\gamma$  é peso específico da água ( $N/m^3$ ),  $B$  a largura do tanque (m),  $L$  o comprimento do tanque (m),  $\Delta h$  diferença de altura entre os níveis de tanques consecutivos(m) e  $y_0$  a altura da lâmina d'água no centro do tanque(m).

A utilização dos dados limites para o salmão deve-se pelo fato de não se conhecer esses parâmetros para peixes de clima temperado.

Nesse estudo adotou-se a hipótese que o canal é referente ao modelo reduzido da escada de peixes de uma Usina Hidrelétrica e supôs-se um tan-

Verificação da Variação do Comportamento Hidráulico em um Mecanismo de Transposição de Peixes do Tipo Escada em Diferentes Declividades

**Tabela 1 – Vazões e respectivas alturas de lâmina de água**

Altura de lâmina de água ( $y_0$ ) (cm) - Declividade 5%					
Tanque\ Vazão	35 (m <sup>3</sup> /h)	40 (m <sup>3</sup> /h)	45 (m <sup>3</sup> /h)	50 (m <sup>3</sup> /h)	55 (m <sup>3</sup> /h)
4	23,2	26,7	29,7	32,4	36,3
5	22,5	25,9	28,4	31,8	35,1
6	22,5	25,5	28,6	31,1	33,9
7	21,8	24,6	27,3	30,5	33,2
8	21,1	23,7	26,1	28,6	31,3
Tanque\ Vazão	35 (m <sup>3</sup> /h)	40 (m <sup>3</sup> /h)	45 (m <sup>3</sup> /h)	50 (m <sup>3</sup> /h)	55 (m <sup>3</sup> /h)
4	22	25,1	28	30,5	33
5	21	24,3	27,4	29,9	33
6	21	23,5	26,6	29,8	32,5
7	20,6	23,2	26,4	28,9	31,5
8	20,6	22,7	25,4	28,1	30,4
Altura de lâmina de água (cm) - Declividade 8%					
Tanque\ Vazão	35 (m <sup>3</sup> /h)	40 (m <sup>3</sup> /h)	45 (m <sup>3</sup> /h)	50 (m <sup>3</sup> /h)	55 (m <sup>3</sup> /h)
4	19,5	22,5	24,9	27,2	30,3
5	18,3	21,3	24,5	27,1	30,2
6	18,8	21,6	24,3	27,2	29,9
7	19,2	21,3	24,2	26,8	29,7
8	19,3	20,7	23,7	26,5	29
Altura de lâmina de água (cm) - Declividade 10%					
Tanque\ Vazão	35 (m <sup>3</sup> /h)	40 (m <sup>3</sup> /h)	45 (m <sup>3</sup> /h)	50 (m <sup>3</sup> /h)	55 (m <sup>3</sup> /h)
4	18	20,3	23	25,5	27,7
5	16,6	20,1	22,8	25,3	27,5
6	17,1	19,8	22,5	25,4	28,2
7	17,4	20	23,1	25,8	27,3
8	18	19,9	22,4	24,8	27,2
Altura de lâmina de água (cm) - Declividade 12%					
Tanque\ Vazão	35 (m <sup>3</sup> /h)	40 (m <sup>3</sup> /h)	45 (m <sup>3</sup> /h)	50 (m <sup>3</sup> /h)	55 (m <sup>3</sup> /h)
4	17,2	18,8	21,2	23,2	25,5
5	16,9	17,8	20,8	23,3	25,9
6	16,7	18,5	20,9	23,6	25,7
7	17,3	18,5	21,2	24,4	26,4
8	17,7	19,4	21,6	23,6	26,1
Altura de lâmina de água (cm) - Declividade 14%					
Tanque\ Vazão	35 (m <sup>3</sup> /h)	40 (m <sup>3</sup> /h)	45 (m <sup>3</sup> /h)	50 (m <sup>3</sup> /h)	55 (m <sup>3</sup> /h)
4	17,5	18	19,8	22	24,3
5	17,1	17,6	19,3	21,8	23,8
6	17,9	17,8	19,5	22	24,5
7	17,4	18,6	20	22,4	24,9
8	17,3	17,7	20,5	22,2	24,3

Continua

Continuação Tabela 1

Altura de lâmina de água (cm) - Declividade 16%					
Tanque\ Vazão	35 (m <sup>3</sup> /h)	40 (m <sup>3</sup> /h)	45 (m <sup>3</sup> /h)	50 (m <sup>3</sup> /h)	55 (m <sup>3</sup> /h)
4	16,6	17,8	19,8	20,5	23,2
5	16,3	16,6	18,4	20,1	22,6
6	16,5	17,5	18,2	20,8	22,8
7	16,9	18,2	19,2	21,1	23,1
8	16,6	18,5	19,1	22,3	23,4

que com comprimento de 3,00 m igual ao do MTP da UHE Igarapava (VIANA, 2007). Para isso, utilizou-se a correlação de similaridade do número de Froude, onde se tem a relação entre as forças de inércia e gravitacional, que são as mais importantes em estudos a superfície livre.

Para tanto se determinou o fator de modelo reduzido  $\lambda$ , Equação 3.

$$\lambda = \frac{L_p}{L_m} \frac{(3,00)}{0,40} = 7,5 \quad (3)$$

onde,  $L_p$  é a largura da escada de peixes do projeto,  $L_p = 3,00$  m; e  $L_m$  é a largura da escada de peixes do modelo reduzido, no caso da escada de peixes do modelo reduzido,  $L_m = 0,40$  m.

Para correlacionar as vazões de estudo com as vazões de um projeto, se utilizou o  $\lambda$  calculado anteriormente, com a faixa de vazão escolhida para os testes, tem-se uma vazão de protótipo variando entre 1,5 e 2,4 m<sup>3</sup>/s. Essa correlação foi obtida utilizando-se a relação de vazão de protótipo ( $Q_p$ ) e vazão do modelo reduzido ( $Q_m$ ), segundo Equação 4.

$$\frac{Q_p}{Q_m} = \lambda^{5/2} \quad (4)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para apresentação dos resultados os tanques são numerados de forma crescente de montante para jusante, sendo o tanque 1 o que está

posicionado mais a montante do canal, e o tanque 11 o mais a jusante do canal.

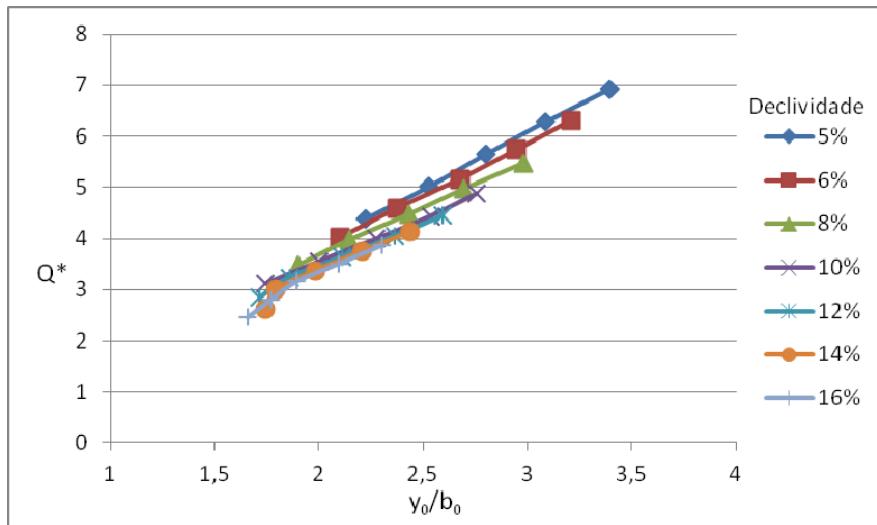
A Tabela 1 apresenta a altura de lâmina de água nos tanques centrais. Os três tanques mais a montante (1, 2 e 3) e os três tanques mais a jusante (9, 10 e 11), foram desprezados, pois verificou-se que nesses tanques o escoamento era variável. Com isso analisou-se a situação do escoamento nos tanques (com escoamento considerado uniforme) 4, 5, 6, 7 e 8 para as declividades de 5 a 16% como proposto anteriormente.

Pela análise da Tabela 1 observa-se que a diferença de altura de lâmina de água ( $y_0$ ) sofre variação entre 3,4% e 13,8%, sendo possível a consideração de escoamento uniforme, seguindo os levantamentos realizados por Rajaratnam *et. al.* 1986.

**Tabela 2 –Vazão adimensional para cada declividade**

Declividade (%)	Equação de vazão adimensional	R <sup>2</sup>
5	$Q^* = 2,159 \left( \frac{y_0}{b_0} \right) - 0,408$ (5)	0,999
6	$Q^* = 2,0644 \left( \frac{y_0}{b_0} \right) - 0,3344$ (6)	0,999
8	$Q^* = 1,8325 \left( \frac{y_0}{b_0} \right) - 0,0121$ (7)	0,999
10	$Q^* = 1,7285 \left( \frac{y_0}{b_0} \right) - 0,0857$ (8)	0,998
12	$Q^* = 1,7855 \left( \frac{y_0}{b_0} \right) - 0,1521$ (9)	0,992
14	$Q^* = 2,0069 \left( \frac{y_0}{b_0} \right) - 0,7015$ (10)	0,961
16	$Q^* = 2,1346 \left( \frac{y_0}{b_0} \right) - 0,9906$ (11)	0,98

Verificação da Variação do Comportamento Hidráulico em um Mecanismo de Transposição de Peixes do Tipo Escada em Diferentes Declividades



**Figura 3 – Gráfico com relação entre a vazão adimensional ( $Q^*$ ) e a relação entre altura de lâmina de água e abertura da ranhura ( $y_0/b_0$ )**

A partir das alturas de lâmina de água média dos tanques 4 a 8, foram calculadas pela equação 1 as vazões adimensionais  $Q^*$  para cada condição de escoamento.

Em seguida construiu-se o gráfico representativo da relação entre a vazão adimensional ( $Q^*$ ) e a relação entre altura de lâmina de água e abertura da ranhura ( $y_0/b_0$ ), mostrados na figura 3. Através desse grafico foi possível o levantamento das equações mostradas na Tabela 2 pelas equações 5 à 11.

A partir dos dados encontrados, obteve-se a equação para cálculo da vazão adimensional ( $Q^*$ ), apresentada pela equação 12, correlacionada com a declividade. Os valores de  $K_1$  e  $K_2$  foram obtidos a partir da regressão dos valores calculados e estão apresentados sob a forma de gráficos nas figuras 4 e 5.

$$Q^* = K_1 \left( \frac{y_0}{b_0} \right) - K_2 \quad (12)$$

Onde:

$K_1$  é o coeficiente de ajuste em função da declividade dado pela equação 13:

$$K_1 = 0,0135 * S^2 - 0,2826 * S + 3,2435 \quad (13)$$

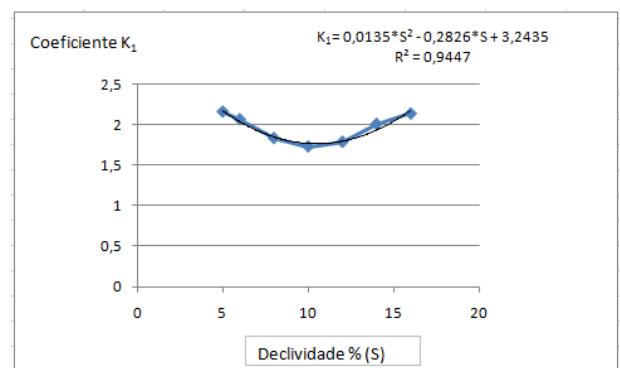
sendo “S” a declividade em %  
e

$K_2$  é o coeficiente de ajuste em função da declividade dado pela equação 14.

$$K_2 = 0,0214 * S^2 - 0,3929 * S + 1,8336 \quad (14)$$

sendo “S” a declividade em %.

O próximo passo foi encontrar os parâmetros hidráulicos do protótipo, obtidos a partir da similaridade de Froude (escala 1:7,5). Desta forma, as dimensões do tanque são: 3,75 m de comprimento, 3,00 m de largura e abertura da ranhura de 0,75 m. A tabela 4 mostra os resultados de velocidades médias e dissipação de energia para o caso do modelo reduzido e do protótipo.



**Figura 4 – Valor de  $K_1$  para o MTP estudado**

**Tabela 4 – Parâmetros hidráulicos da escada em modelo e protótipo**

modelo reduzido						protótipo escala 1:7,5				
So	Q(m <sup>3</sup> /s)	y <sub>0</sub> (m)	Δ h (m)	k (W/m <sup>3</sup> )	V(m/s)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Y <sub>0</sub> (m)	Δ h (m)	k (W/m <sup>3</sup> )	V(m/s)
0,05	9,72E-03	0,22	0,025	53,44	0,44	1,50	1,67	0,19	146,34	1,20
0,05	1,11E-02	0,25	0,025	53,68	0,44	1,71	1,90	0,19	147,00	1,20
0,05	1,25E-02	0,28	0,025	54,48	0,45	1,93	2,10	0,19	149,20	1,22
0,05	1,39E-02	0,31	0,025	54,93	0,45	2,14	2,32	0,19	150,43	1,23
0,05	1,53E-02	0,34	0,025	54,94	0,45	2,35	2,55	0,19	150,46	1,23
0,06	9,72E-03	0,21	0,03	67,72	0,46	1,50	1,58	0,22	185,45	1,27
0,06	1,11E-02	0,24	0,03	68,53	0,47	1,71	1,78	0,22	187,68	1,28
0,06	1,25E-02	0,27	0,03	68,46	0,47	1,93	2,01	0,22	187,47	1,28
0,06	1,39E-02	0,29	0,03	69,14	0,47	2,14	2,21	0,22	189,34	1,29
0,06	1,53E-02	0,32	0,03	69,79	0,48	2,35	2,41	0,22	191,14	1,30
0,08	9,72E-03	0,19	0,04	99,88	0,51	1,50	1,43	0,30	273,53	1,40
0,08	1,11E-02	0,21	0,04	101,08	0,52	1,71	1,61	0,30	276,81	1,42
0,08	1,25E-02	0,24	0,04	100,43	0,51	1,93	1,82	0,30	275,04	1,41
0,08	1,39E-02	0,27	0,04	100,66	0,52	2,14	2,02	0,30	275,68	1,41
0,08	1,53E-02	0,30	0,04	100,11	0,51	2,35	2,24	0,30	274,16	1,40
0,10	9,72E-03	0,17	0,05	136,32	0,56	1,50	1,31	0,37	373,32	1,53
0,10	1,11E-02	0,20	0,05	135,56	0,56	1,71	1,50	0,37	371,24	1,52
0,10	1,25E-02	0,23	0,05	134,14	0,55	1,93	1,71	0,37	367,37	1,50
0,10	1,39E-02	0,25	0,05	133,77	0,55	2,14	1,90	0,37	366,34	1,50
0,10	1,53E-02	0,28	0,05	135,30	0,55	2,35	2,07	0,37	370,54	1,52
0,12	9,72E-03	0,17	0,06	166,06	0,57	1,50	1,29	0,45	454,77	1,55
0,12	1,11E-02	0,19	0,06	175,09	0,60	1,71	1,40	0,45	479,50	1,64
0,12	1,25E-02	0,21	0,06	173,31	0,59	1,93	1,59	0,45	474,63	1,62
0,12	1,39E-02	0,24	0,06	172,35	0,59	2,14	1,77	0,45	471,99	1,61
0,12	1,53E-02	0,26	0,06	172,76	0,59	2,35	1,94	0,45	473,12	1,61
0,14	9,72E-03	0,17	0,07	190,63	0,56	1,50	1,31	0,52	522,05	1,53
0,14	1,11E-02	0,18	0,07	211,79	0,62	1,71	1,35	0,52	580,00	1,70
0,14	1,25E-02	0,20	0,07	215,66	0,63	1,93	1,49	0,52	590,61	1,73
0,14	1,39E-02	0,22	0,07	215,10	0,63	2,14	1,66	0,52	589,06	1,72
0,14	1,53E-02	0,24	0,07	214,46	0,63	2,35	1,83	0,52	587,32	1,72
0,16	9,72E-03	0,17	0,08	229,16	0,59	1,50	1,24	0,60	627,58	1,61
0,16	1,11E-02	0,18	0,08	245,05	0,63	1,71	1,33	0,60	671,09	1,72
0,16	1,25E-02	0,19	0,08	257,92	0,66	1,93	1,42	0,60	706,34	1,81
0,16	1,39E-02	0,21	0,08	258,96	0,66	2,14	1,57	0,60	709,19	1,81
0,16	1,53E-02	0,23	0,08	259,36	0,66	2,35	1,73	0,60	710,30	1,82

Pela análise da tabela 4 observa-se que no modelo os parâmetros limitadores, velocidade média (2m/s) não seriam atingidos mesmo que se colocasse a escada na declividade de 16%, e dissipação de energia (0,191kW/m<sup>3</sup>) não seria atingida até a declividade de 12%.

No protótipo o maior valor de velocidade média atingida para a declividade de 16% foi de 1,82 m/s, sendo inferior a velocidade limite nesse tipo de mecanismo de transposição de peixes. Entretanto ao se analisar a dissipação de energia limite para o protótipo, observa-se que a declividade não poderá ser superior a 6% pois

## Verificação da Variação do Comportamento Hidráulico em um Mecanismo de Transposição de Peixes do Tipo Escada em Diferentes Declividades

acima desse valor a dissipação de energia seria superior ao aceitável para a subida dos peixes sem que ocorresse estresse.

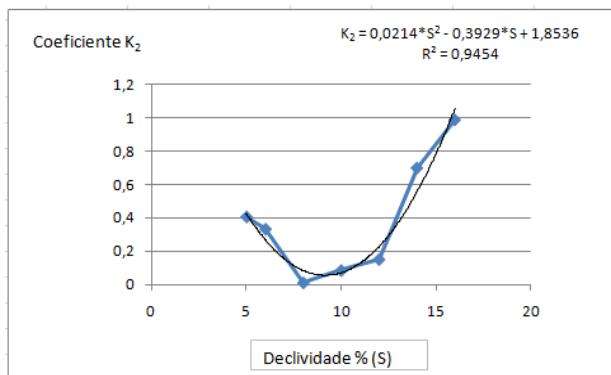


Figura 5 – Valor de  $K_2$  para o MTP estudado

As figuras 6 e 7 apresentam a potência dissipada e a velocidade média esperada, no protótipo, em função da declividade do MTP.

Pela figura 6 observa-se que o aumento da declividade de 5% para 6% altera em aproximadamente  $30 \text{ W/m}^3$ , no entanto, a passagem de 6% para 8% promove uma elevação da dissipação de energia em aproximadamente  $90 \text{ W/m}^3$  superando os limites aceitáveis de turbulência dentro do tanque. Portanto ao se tentar utilizar declividades superiores a 8% deve-se verificar com cuidado qual o valor da dissipação de energia, pois mesmo que se obtenham valores de velocidades inferiores a velocidade de nado dos peixes o limite de dissipação de energia se constitui em uma barreira para o aumento da declividade.

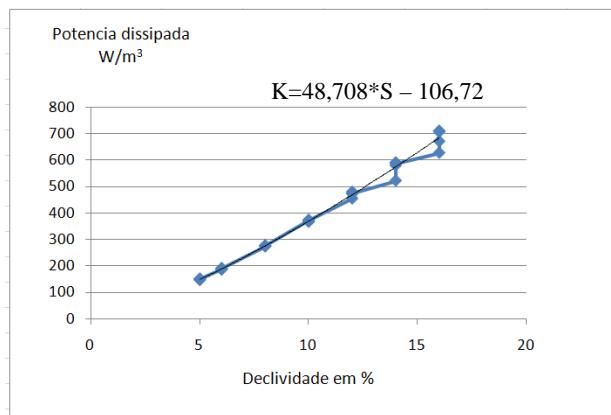


Figura 6 – Potencia dissipada em  $\text{W/m}^3$  para o MTP estudado

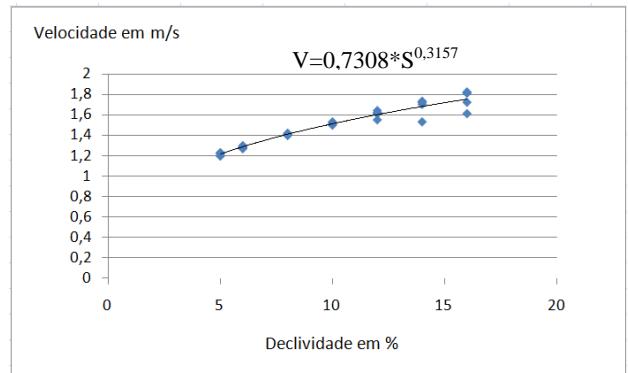


Figura 7 – Velocidade média no centro do tanque em função da declividade para o MTP estudado

Em seguida elaboraram-se curvas que caracterizassem o percentual de elevação da dissipação de energia e da velocidade com o aumento da declividade. A relação do aumento da declividade e da velocidade é conseguida através da equação 15.

$$\% k = \frac{(k_x\%) - k_{(x-1)\%})}{k_x\%} \times 100 \quad (15)$$

Onde  $x$  é a declividade e  $(x-1)$  é a declividade anterior

Estes dados podem ser observados pelas figuras 8 e 9.

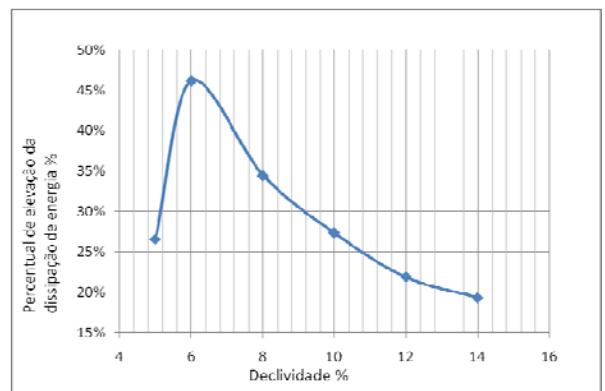
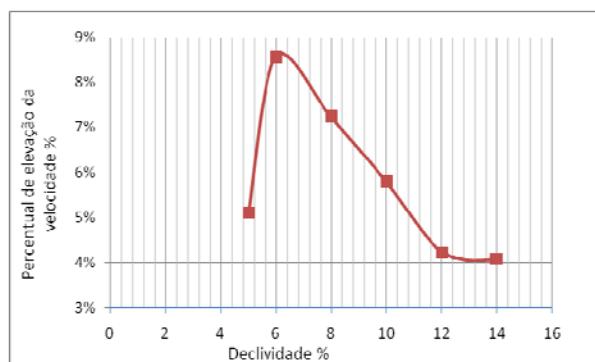


Figura 8 – Variação percentual da dissipação de energia em função do aumento da declividade para o MTP estudado

Pelas figuras 8 e 9 observa-se que com o aumento da declividade ocorre uma pequena elevação percentual, da dissipação de energia e velocidade, seguida por redução gradual até

aproximadamente sua estabilização. Vê-se que o aumento da declividade de 6 para 8 % é percentualmente maior se comparado com os demais para a determinação dos dois parâmetros.



**Figura 9 – Variação percentual da velocidade em função do aumento da declividade para o MTP estudado**

## CONCLUSÃO

A partir dos dados analisados chega-se a conclusão que esse arranjo de MTP pode ser instalado com declividades iguais ou menores que 6%. Declividades acima desse valor vão apresentar um limitador no que diz respeito a dissipação de energia. Valores de dissipação de energia superiores a 191 W/m<sup>3</sup> são considerados prejudiciais aos peixes, pelo fato de desorientá-los, e devem ser evitados. Os valores obtidos são superiores aos encontrados para outros arranjos de MTP tipo ranhura vertical. Como exemplo pode-se citar o MTP da UHE Igarapava que possui uma dissipação de energia de aproximadamente 115 W/m<sup>3</sup> para declividade de 6%, (VIANA, 2005). Esse mecanismo da UHE Igarapava admite uma maior declividade respeitando os limites de dissipação de energia e de velocidade. Esse trabalho mostra que a utilização de um desenho da ranhura simplificada com uma configuração similar a geometria 9 apresentada por Rajaratnam et al. (1992) pode representar uma economia quando comparada a geometria utilizada na UHE de Igarapava que possui bordas arredondadas e seção variável (VIANA et. al., 2007 e VIANA, 2005). Entretanto essa economia pode não ser vantajosa frente a limitação da declividade que implica em dispositivos mais extensos e portanto com um custo de implantação maior. Portanto recomenda-se que antes de se fazer a opção por esse arranjo

de MTP seja levantada a viabilidade econômica do sistema. Internacionalmente considera-se que um MTP seja aceito quando as velocidades médias e a dissipação de energia se limitem a 2,0 m/s e a 191 W/m<sup>3</sup> (BELL 1973). As velocidades máximas que ocorrem dentro dos tanques do mecanismo não são consideradas pois as mesmas se constituem em regiões evitadas pelos peixes durante a transposição, como observado na natureza e em mecanismos já implantados em campo (VIANA, 2005). A utilização da potência dissipada por volume (W/m<sup>3</sup>) na representação da dissipação de energia por tanque está relacionada a facilidade de cálculo dessa grandeza (Eq.1). A representação da dissipação em função de uma potência (W) por um volume (m<sup>3</sup>/s) incorpora grandezas referentes aos efeitos de turbulência e de tensões de cisalhamento que são fatores de estresse e desorientação nos peixes (MAGALHÃES, 2010) e que se constituem em mais um obstáculo para a transposição dos peixes.

## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ-VÁZQUEZ, L. J., MARTÍNEZ, A., RODRÍGUEZ, C., VÁZQUEZ-MÉNDEZ, M.E., VILAR, M. A. *Optimal shape design for fishways in Rivers. Mathematics and computers in simulation*, 218-222 p., 2007;
- BELL, M. C., *Fisheries Handbook of Engineering Requirements and Biological Criteria*, Corps of Engrs., North Pacific Div., Portland, Oreg., 490 pp., 1973;
- ECO 92 - Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, Brasil, 1992;
- FISHING GUIDE, *The Best Fishing Plans in Brazil*, Editora Almeida Prado & Conceição, 1a Edição, 1996;
- GODINHO, A.L. E os peixes de Minas em 2010 Ciência Hoje, 16(91): 44-49, 1993;
- GODINHO, Alexandre Lima et al. *Centro de Estudos de Mecanismos de Transposição de Peixes. II Simpósio Sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas*, Canela, RS, Brasil, abril, 2000;
- GODOY, Manuel Pereira de, *A Questão dos Peixes de Piracema e as Escadas de Peixes*, Revista Aruanã,

Verificação da Variação do Comportamento Hidráulico em um Mecanismo de Transposição de Peixes do Tipo Escada em Diferentes Declividades

Editora Aruanã, Ano VI, no 31, Brasil, dezembro, 1992;

LARINIER, M. L., TRAVADE, F.. *The developement and Evolution of Downstream By Passes for juvenile Salmonoides at Small Hydroelectric Plants in France*, American Fisheries Society, EUA, 1999;

MAGALHÃES, V. P. F. "Metodologia para avaliação dos efeitos de pressão e turbulência em peixes". Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 215 p. 2010.

MORITA, K., YOKOTA, A., *Populaton viability os stream-resident salmonids alter havitat fragmentation: a case study with whit-spotted charr (Salvelinus leucomaen) by an individual based model*, Ecol. Modell, 115, 85-94, 2002 – in Rodríguez, T.J., Agudo, J.P., Mosquera, L.P., e González, E.P., *Evaluating vertical-slot fishway designs in terms of fish swimming capacities*, Ecological Engineering, 27, p.37-48, 2006;

THEMAG ENGENHARIA, *Usina e Eclusa Porto Primavera, Projeto Executivo, Elevador de Peixes*, Manual de Operação Hidráulica, 13701-EP24-RT-0233-26230, São Paulo, Brasil, 1999;

RAJARATNAM, N., KATOPODIS, C. e SALANKI, S., *New Designs for Vertical Slot Fishways*, Canadian Journal of Civil Engineering, n. 19, Ottawa, Canada, 1992;

RODRÍGUEZ, T.J., AGUDO, J.P., MOSQUERA, L.P., e GONZÁLEZ, E.P., *Evaluating vertical-slot fishway designs in terms of fish swimming capacities*, Ecological Engineering, 27, p.37-48, 2006.

VIANA E. M.F.; *Mapeamento do Campo de Velocidades em Mecanismo de Transposição de Peixes do Tipo Slot Vertical em Diferentes Escalas*. Programa de Pós Graduação em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia UFMG, Belo Horizonte, 226 p. 2005.

VIANA, E. M. F., MARTINEZ, C.B., MARQUES, M.G. *Mapeamento do Campo de Velocidades em Mecanismos de Transposição de Peixes do Tipo Ranhura*

*Vertical Construído na UHE Igarapava, Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, volume 12 n.1 Jan/Mar pag. 5-15 Porto Alegre , 2007; VIANA, E. M.F., MARTINEZ, C.B., FARIA, M. T.C., *Estudo do comportamento hidráulico de um novo projeto de mecanismo de transposição de peixes do tipo escada*, XXIV Congresso Latinoamericano de Hidráulica, Punta Del Este, Uruguai, Novembro 2010.

**Variation Of Hydraulic Behavior in A Ladder Type Fish Passage Facility With Different Slopes**

**ABSTRACT**

*It is well known that dam construction is one of the main reasons for the decline of fish stocks in rivers worldwide. Among the most efficient measures and actions capable of attenuating the ecological impact of dams is the installation of fish passage facilities (FPF). Fishways must offer adequate hydraulic conditions to attract the fishes and create a route for them to ascend from pool to pool using the recirculation rest areas. In order to reduce the design and maintenance costs of FPF, the channel slope can be increased to meet the fish biokinetic capability satisfactorily. New arrangements of fishways, with different channel slopes, have been studied to render novel designs that can satisfy the requirements of low cost and a fish-friendly system. This work deals with an experimental investigation of an arrangement of a vertical slot fishway, with a simplified baffle geometry, operating at different channel slopes. The fishway analyzed in this work presents some constructive advantages compared with other fishway designs encountered in the technical literature. The pool head losses, the dimensionless flow rate, the energy dissipation, the model velocity field and the prototype velocity field are estimated to evaluate the proposed fishway configuration. The experimental results obtained in this work show that the maximum operating channel slope must be compatible with the swimming capability of fish species in Brazilian rivers*

**Key-words:** *fish passage facilities (FPF), new ladder, hydraulic parameters*