

ESTUDO DO PADRÃO DE ESCOAMENTO DA ESCADA DE RANHURA VERTICAL PARA FINS DE AVALIAÇÃO DE SELETIVIDADE DE ESPÉCIES MIGRADORAS NEOTROPICAIS

Bernardo Alan de Freitas Duarte¹ & Hersília de Andrade e Santos²

RESUMO - Atualmente algumas externalidades negativas devido a impactos ambientais são comuns nos rios brasileiros. Interrupções nos rios, como as barreiras causadas por barragens promovem impacto negativo na comunidade aquática. As espécies migradoras são diretamente afetadas porque, em alguma fase da sua vida, elas precisam se deslocar ao longo do rio. A fim de resolver este problema ambiental, estruturas foram desenvolvidas para permitir a passagem dos peixes através de barragens. As escadas para peixes têm sido amplamente construídas em todo o mundo. Em Minas Gerais, o mecanismo mais conhecido e utilizado é a ranhura vertical, baseada na hipótese de que ele não é seletivo para os peixes. Com o objetivo de estudar esta suposição, um modelo de escada para peixes do tipo ranhura vertical foi construído no CEFET-MG (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais) com a escala de 1:3,5. Os resultados indicam variações significativas na média de velocidades ocorridas ao longo das diferentes profundidades. Estudos recentes têm mostrado a seletividade para diferentes peixes neotropicais em algumas escadas construídas no Brasil. Além disso, os primeiros resultados mostraram um aumento das velocidades médias ao longo da escada, sendo maiores nas últimas piscinas, indicando uma possível seleção hidráulica no começo do mecanismo.

ABSTRACT – Currently, some negative externalities due to environmental impacts are common in Brazilian rivers. Interruptions in rivers, as the barriers caused by dams promote negative impact on the aquatic community. Migratory species are directly affected because in some stage of their life, they need to move along the river. In order to solve this environmental problem, structures have been developed to allow the passage of fish through dams. The fish ladders have been widely built around the world. In Minas Gerais state, the mechanism most constructed is the vertical slot, based on the assumption that it is not selective for the fish. In order to study this assumption, a vertical slot fish ladder was built in CEFET-MG (Federal Center for Technological Education of Minas Gerais) with the scale of 1:3,5. The results indicate significant variations in mean velocities that occurred for the different depths. Recent studies have shown selectivity for different neotropical fish on some fish ladders built in Brazil, in addition, the first results showed an increase on the mean velocity along the fish ladder, being higher in last pools, indicating a possible selection at the beginning of this hydraulic mechanism.

Palavra Chave: Escada de Ranhura Vertical, Espécies Migradoras Neotropicais, velocidades

¹ Aluno de Engenharia de Produção Civil. Av. Amazonas 7675, Cep: 30510-000. Belo Horizonte. E-mail be@jl.adm.br

² Professora do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Av. Amazonas 7675, Cep: 30510-000. Belo Horizonte E-mail: hsantos@civil.cefetmg.br

INTRODUÇÃO

Desde as mais remotas civilizações, os cursos d'água têm sofrido os efeitos da ação antrópica, direta ou indiretamente. Com o passar do tempo, as intervenções no escoamento dos rios começaram a ser maiores, modificando a sua dinâmica e até sua fauna associada (McAllister *et al.*, 1997).

Para solucionar esse problema ambiental, foram desenvolvidas estruturas que permitem ao peixe a transposição desses obstáculos. Conhecidas como mecanismos de transposição de peixes (MTP), tais estruturas passaram a ser amplamente utilizadas em todo o mundo (Clay, 1995).

As escadas se caracterizam por serem os mecanismos mais populares e constituem canais com obstruções internas para redução da velocidade da água (Larinier, 2002). Entre os modelos mais adotados de escadas para peixes no Brasil estão a de ranhura vertical (ou *slot* vertical) (Figura 1a) e a de piscina com vertedor (*pool and weir*) (Figura 1b.).



Figura1 - a) Modelo ranhura vertical e b) Modelo piscina com vertedor

No campo da engenharia hidráulica, existe um consenso de que as escadas de ranhura vertical são menos seletivas que os demais modelos, uma vez que permitem a passagem de peixes em qualquer profundidade. Entretanto, a veracidade de tal fato nunca foi constatada experimentalmente, em especial para a ictiofauna neotropical.

Objetivando esclarecer esta suposição, foi montado no CEFET-MG (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais) um modelo reduzido da escada ranhura vertical na escala de 1: 3.5. Foram levantados vários perfis de velocidade ao longo das três piscinas formadas.

Os primeiros resultados mostram que as piscinas apresentam perfis de velocidade significativamente diferentes, com um aumento das velocidades médias ao longo da escada o que pode influenciar o processo de migração de peixes.

RANHURA VERTICAL

Nesse modelo, barreiras são instaladas em intervalos regulares ao longo de uma distância para criar uma série de piscinas, onde o peixe pode descansar e facilmente manter sua posição. Porém, para atravessar as piscinas, é necessário um esforço, pois a velocidade é máxima nesse caso. A vantagem do modelo ranhura vertical (Figura 2) está na sua capacidade de manipular grandes variações dos níveis d' água. (Katopodis, 1992).

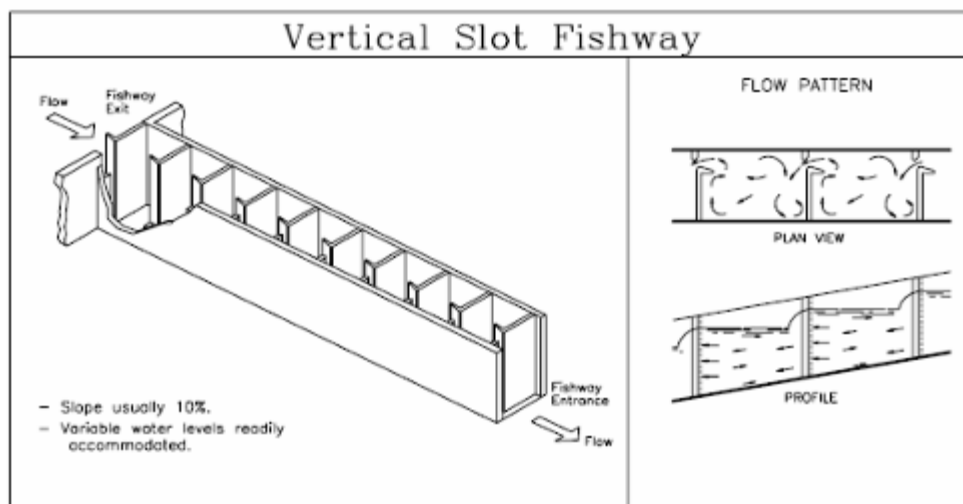


Figura 2- Esquema da escada ranhura vertical. Fonte: Katopodis, 1992

O processo de dimensionamento de uma escada (figura 3) do tipo slot vertical inicia-se com a definição de três variáveis hidráulicas: abertura da ranhura (b_o), altura da lâmina d' água (y_o) e inclinação da escada (S_o), sendo os dois primeiros relacionados às características da ictiofauna e o último relacionado às características do obstáculo a ser transposto.

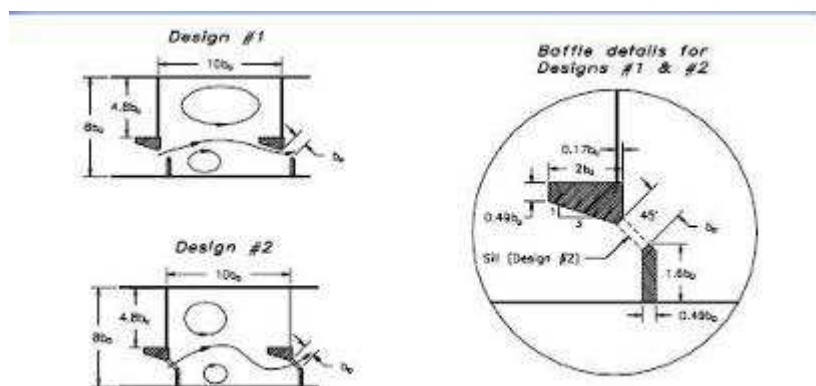


Figura 3- Esquema de dimensionamento da escada slot vertical. Fonte: Katopodis, 1992

No Brasil, estudos sobre as características biométricas das principais espécies migradoras, a serem consideradas no projeto de escada, são bastante recentes (Santos *et al.*, 2009). Desta forma, muitos dos mecanismos já construídos no Brasil não contemplam as características da ictiofauna local.

CAPACIDADE NATATÓRIA DAS ESPÉCIES MIGRADORAS NEOTROPICAIS

Dentre os peixes de água doce, as espécies migradoras constituem um grupo pequeno em relação ao número de espécies, quando comparadas com as não migradoras. No entanto, em muitos rios, elas podem representar uma parte considerável da biomassa, o que torna freqüente e de grande relevância os problemas com a ictiofauna causados por barramentos. Além disso, estas espécies também se destacam pelo grande valor comercial uma vez que, na maioria das vezes, apresentam grande porte. Dessa forma, os mecanismos de transposição de peixes instalados no Brasil e nos principais rios da América do Sul visam permitir a passagem das espécies migradoras, que são principalmente potamódromas (Santos, 2007).

Na bacia do Rio São Francisco, destacam-se as espécies migradoras *Pimelodus maculatus*, *Leporinus reinhardti* e *Prochilodus costatus* (Tabela 1). O valor máximo da velocidade denominada prolongada para indivíduos de primeira maturação destas espécies é 1,23m/s, 1,68 m/s e 1,60 m/s respectivamente (Santos *et al.* 2007; Santos *et al.* 2008 e Santos, 2007).

METODOLOGIA

As escadas de peixes são dimensionadas a partir da fixação de variáveis que são essenciais para limitar a dissipação máxima de energia em cada piscina. A partir dos dados atuais da literatura, foi construído o modelo de escada para peixes em escala reduzida (escala 1:3,5). Trata-se de um canal que possui 4 ranhuras que formam 3 piscinas (Figura 4)

Tabela 1.- Espécies escolhidas para estudos




	<p>Espécie: <i>Pimelodus maculatus</i> (mandi) Família: Pimelodidae Distribuição: Bacias do Prata e do São Francisco</p>
	<p>Espécie: <i>Leporinus reinhardti</i> (piauí) Família: Anostomidae Distribuição: Bacia do rio São Francisco</p>
	<p>Espécie: <i>Prochilodus costatus</i>. (curimbatá) Família: Prochilodontidae Distribuição: Bacia do rio São Francisco</p>

FOTO: Paulo Pompeu

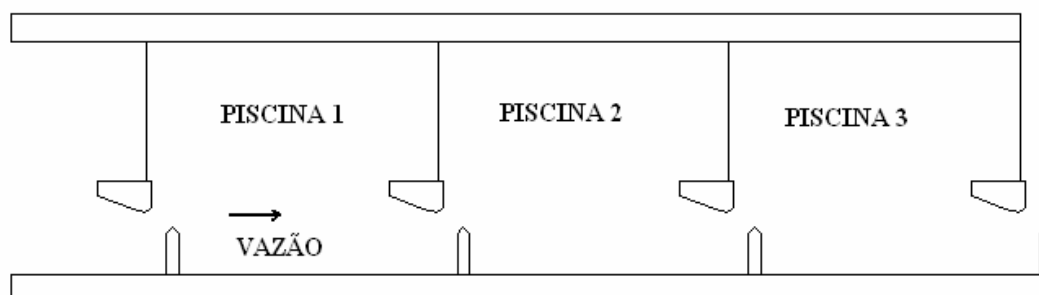


Figura 4: Layout do modelo ranhura vertical construído

O canal possui 4.0m de comprimento e 0,87 m de largura. As estruturas do modelo da ranhura vertical foram construídas com madeira. As peças de madeira foram revestidas com placas de zinco por meio de parafusos e fixadas no canal pelo chão e paredes. Outras partes da estrutura da escada foram criadas com PVC que foi recortado e instalado nos locais determinados (Figura 5).



Figura 5: Estruturas de PVC afixadas

Após a construção das ranhuras e a fixação dessas estruturas no canal foram realizados os experimentos de medição de velocidade da água. Para isso, utilizou-se um fluxímetro que mediria o campo de velocidades da água em cada piscina da escada para diferentes profundidades e vazões. Em cada piscina da escada foram selecionados 62 pontos, onde se realizariam as medições de velocidades médias e máximas da água nas direções x e y (Figura 6).

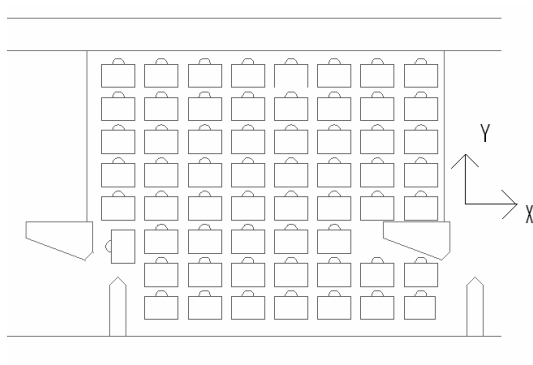


Figura 6: Representação de uma piscina com a indicação dos 62 pontos onde se realizaram as medições de velocidade da água.

Para o posicionamento do fluxímetro foi construída uma placa em madeira com furações (Figura 7).



Figura 7: Aparato de sustentação do fluxímetro

A vazão do canal é controlada por um registro gaveta e medida por um medidor do tipo eletromagnético. Foram levantados os campos de velocidade para diferentes vazões (8,5; 13; 20 e 35L/s) e para diferentes profundidades (10 cm e 20 cm) dependendo da vazão.

RESULTADOS

Com a velocidade máxima de cada piscina da escada, foi construído um gráfico desta variável em função da variação da altura da lamina d'água. Os valores encontrados se aproximam da curva construída (Rajaratnam *et al.*, 1986) para diferentes vazões.

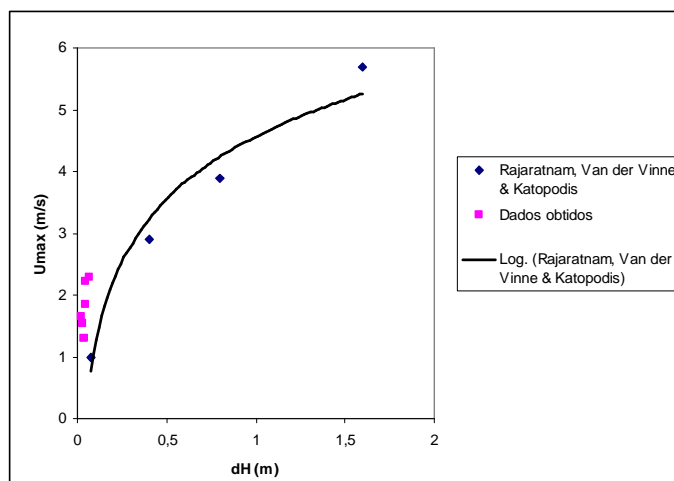


Figura 8- Gráfico de U_{max} em função da diferença de cotas

Adotando o eixo de coordenadas mostrado na Figura 9, construiu-se um gráfico (Figura 10) que indica a velocidade máxima do jato para diferentes alturas. O mesmo se refere à piscina 2 e os dados nele representados foram obtidos na ordenada $x = 0,2m$. Comparando os dados (Rajaratnam *et al.*, 1986), foi obtido um comportamento de velocidades médias semelhantes, em que quanto mais próximos da abertura da ranhura, maiores são as velocidades médias.

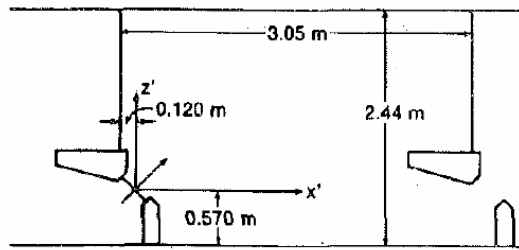


Figura 9– Posicionamento do eixo de coordenadas dentro de uma piscina.

Fonte: Rajaratnam *et al.*, 1986.

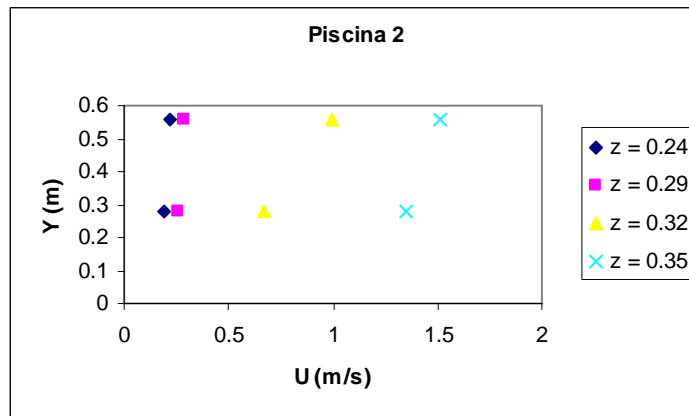


Figura 10 – Campo de velocidades da piscina 2 na ordenada X = 0,2m

Para análise de outros resultados foram montados gráficos Box-plot no software Statistica 6.0. Comparando os valores de velocidade média entre as três piscinas para uma mesma vazão percebe-se que a piscina 3 apresenta as maiores velocidades pontuais (Figura 11 e Figura 12). Através do teste Duncan (95% de confiança), constatou-se que em média a piscina 3 é diferente das piscinas 1 e 2 tanto para a vazão de 20 L/s como para a vazão 35 L/s.

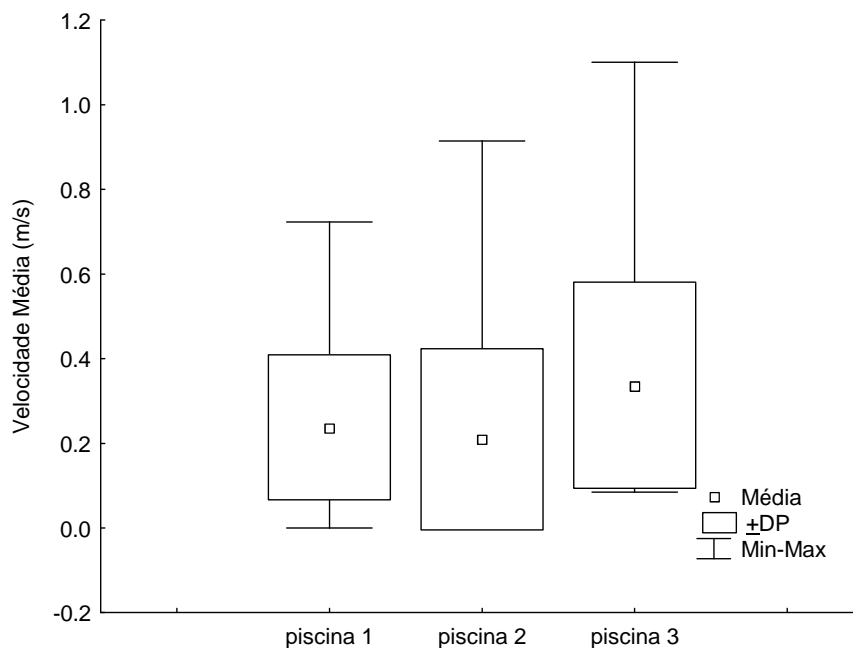


Figura 11 – Box-plot de velocidade média pontual ao longo das três piscinas para vazão de 20 l/s

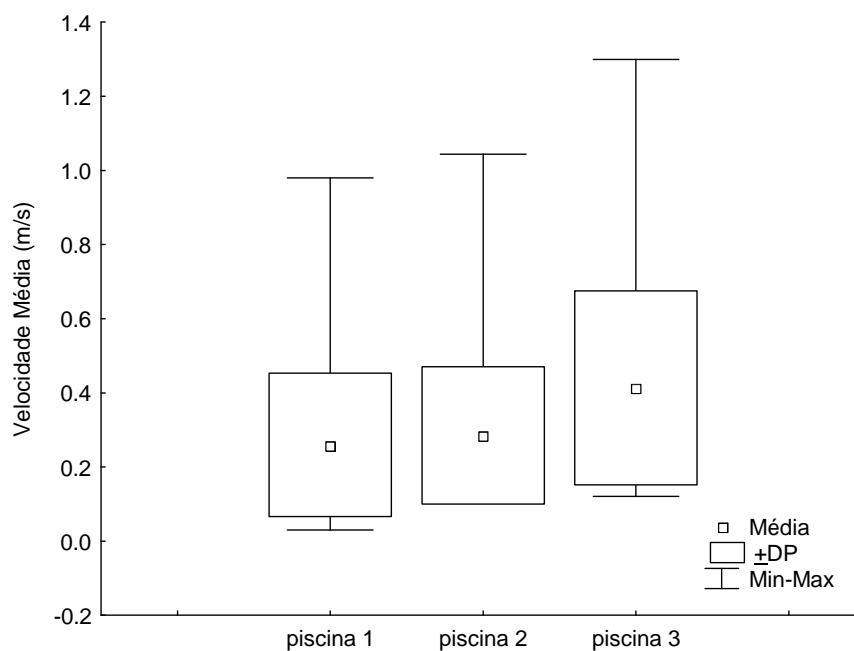


Figura 12– Box-plot de velocidade média pontual ao longo das três para vazão de 35 l/s

Analisando as velocidades para diferentes vazões em uma mesma piscina, percebe-se um aumento da velocidade pontual à medida que a vazão aumenta. Isto ocorre para todas as piscinas (Figura 13 e Figura 14). No entanto, as piscinas mais próximas da saída (final da escada é representado pela piscina 3) apresentam uma variação de velocidade média, para diferentes vazões, significativamente maior do que as piscinas mais a montante da escada.

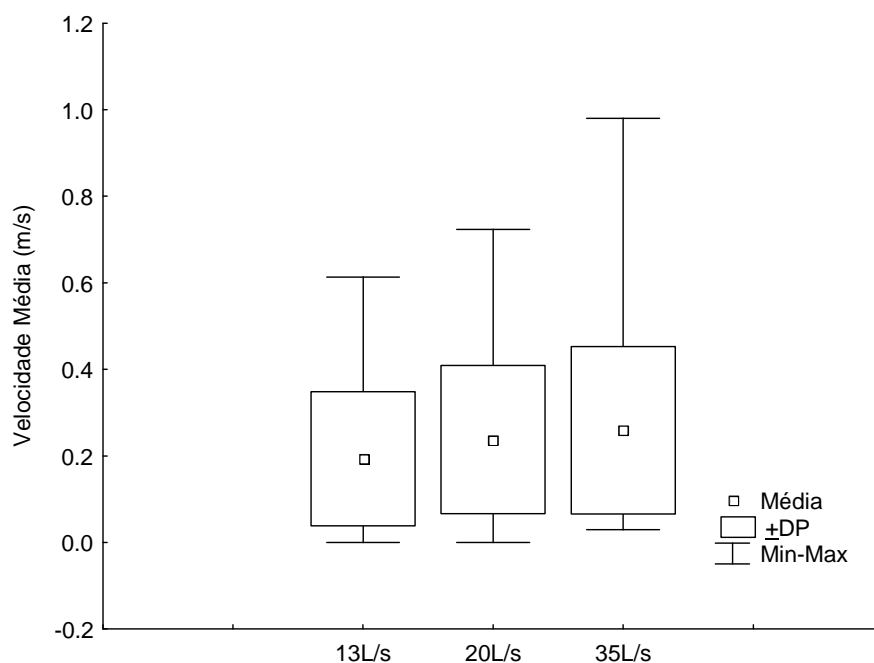


Figura 13– Velocidade Média da água para diferentes vazões na piscina 1

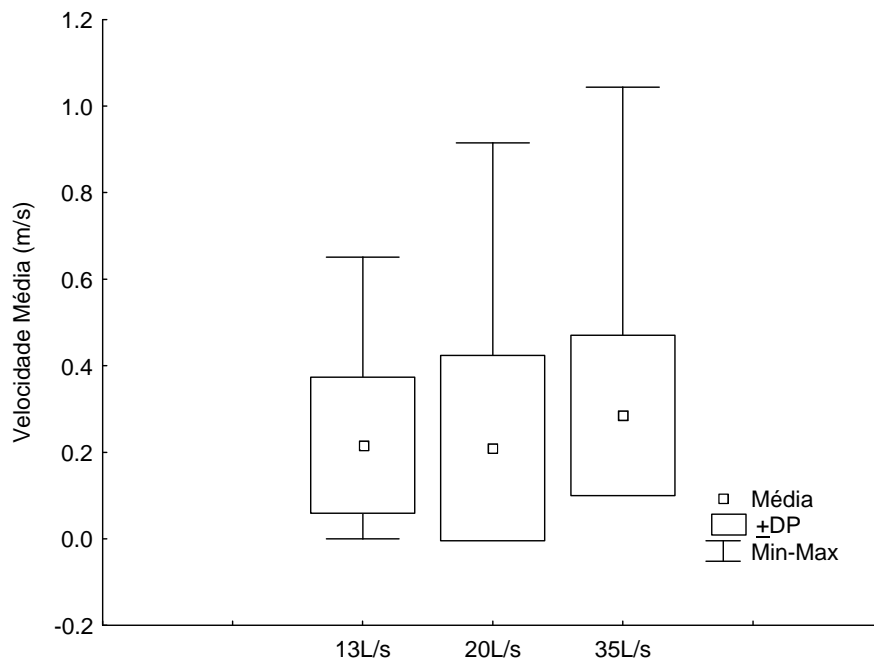


Figura 14– Velocidade Média da água para diferentes vazões na piscina 2

Através do teste Duncan, a vazão de 13 L/s é significativamente diferente da vazão de 35 L/s na piscina 1 com p-valor de 0,05. Já na piscina 2, a vazão de 13 L/s é significativamente diferente da vazão de 35 L/s (p-valor 0,04) e da vazão de 20 L/s (p-valor 0,03).

A produção de mapas de velocidade também permite visualizar o aumento das velocidades nas piscinas mais a jusante (Figura 15 e Figura 16).

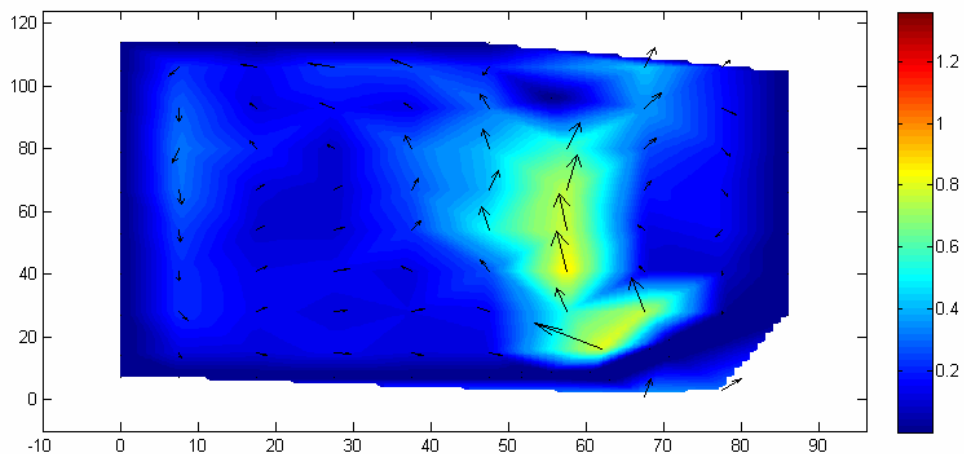


Figura 15- Gráfico do campo de velocidades médias de cada ponto para a vazão de 35L/s na piscina 1 com profundidade de 0.2m

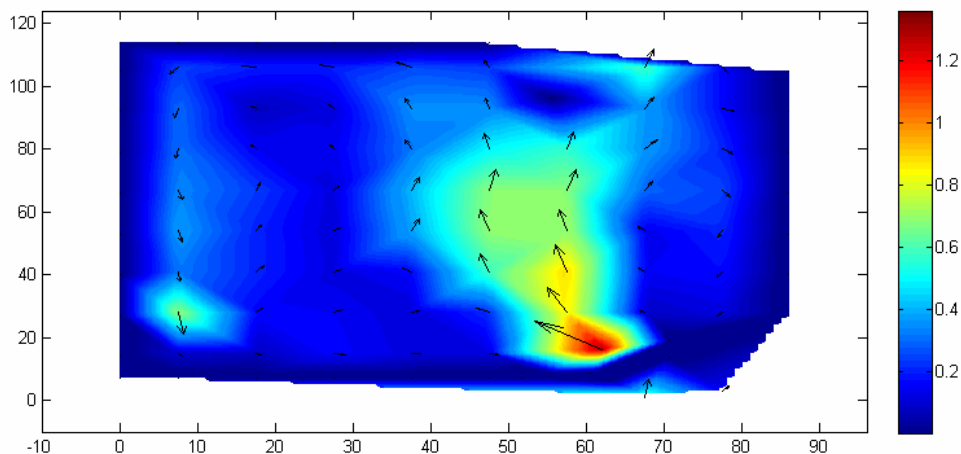


Figura 16: Gráfico do campo de velocidades médias de cada ponto para a vazão de 35L/s na piscina 2 com profundidade de 0.2m

DISCUSSÃO

Estudos sobre o comportamento de peixes em escadas construídas no Brasil constataram uma grande seletividade destes dispositivos, o que tem-se tornado um gargalo nas iniciativas de transposição de peixes visando a conservação dos estoques ou da diversidade (Agostinho *et al.*, 2007). As hipóteses para esta seletividade são várias: simplificação de ambientes físicos (o rio apresenta muito mais unidades físicas como cascatas, piscinas entre outros), localização da estrutura de transposição e a não adequação do modelo de escada à necessidade dos peixes neotropicais.

Com relação a esta última hipótese, verifica-se que a capacidade natatória das espécies *Pimelodus maculatus*, *Leporinus reinhardti* e *Prochilodus costatus* é compatível com valor máximo de velocidade no modelo (1,3 m/s), mas não é compatível com o valor máximo no protótipo (2,24 m/s na piscina 3).

Por outro lado percebe-se que os maiores valores de velocidade são encontrados na piscina 3 e que a mesma apresenta um comportamento diferente das demais piscinas, estatisticamente significativo. Isto acontece porque as ranhuras funcionam como um controle de jusante e assim, o escoamento nas primeiras piscinas é mais estável.

Como sugerido por Katopodis (1992), as escadas não devem ter o escoamento afogado, pois isto reduziria a atração dos peixes. Por outro lado, as diferenças no escoamento da piscina 3 estão relacionadas também com o não afogamento do fluxo.

Os resultados obtidos no modelo reduzido sugerem que, no modelo reduzido, a instabilidade do escoamento na última piscina pode explicar a seletividade da entrada dos mecanismos de transposição. Entretanto, ressalta-se a formação de um fluxo principal dentro deste modelo de

escada, o que pode atrair os peixes migradores que apresentam maior preferência por áreas mais movimentadas.

Todas estas considerações devem ser avaliadas em experimentos com peixes, tentando-se comparar as características hidráulicas do mecanismo com as preferências das diferentes espécies.

BIBLIOGRAFIA

AGOSTINHO, C. S., AGOSTINHO, A. A., PELICICE, F., ALMEIDA, D. A. e MARQUES, E. E. (2007) “*Selectivity of fish ladders: a bottleneck in Neotropical fish movement*”. *Neotropical Ichthyology*, V. 5 (2), p. 205-213.

CLAY, C. H. (1995) *Design of Fishways and Other Fish Facilities*. Second Edition, CRC Press, Boca Raton, Florida. 248p.

KATOPODIS, C. (1992) *Introduction to fishway design*. Freshwater Institute, Dept. of Fisheries and Oceans, Winnipeg, Canada.

LARINIER, M. Fishways: General Considerations. *Bulletin Fr. Pêche Piscic.* 364: 21- 77, 2002.

MCALLISTER, D.E; Hamilton, A.L. & Harvey, B. (1997) “*Global freshwater biodiversity: striving for the integrity of freshwater ecosystems.*” *Sea Wind* 11(3):1-142.

RAJARATNAM, N.; Van der Vinne, G. & Katopodis, C. (1986). “Hydraulics of vertical slot fishways”, *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*. V. 112, 909-917.

SANTOS, H. A.; POMPEU, P. S. e MARTINEZ, C. B. (2007) “*Swimming performance of the migratory Neotropical fish *Leporinus reinhardtii* (Characiformes: Anostomidae)*”, *Neotropical Ichthyology*, V. 5 (2), p. 139-146.

SANTOS, H. S. (2007) *A influência da capacidade natatória de peixes neotropicais no projeto de mecanismos de transposição*. Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Recursos Hídricos, Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais, 2007.

SANTOS, H. S.; POMPEU, P. S.; MARTINEZ, C. B (2008) Swimming performance of the freshwater neotropical fish: *Pimelodus maculatus*. Brazilian Journal of Biology, Vol 68(3).