

Tensão de Reynolds e Velocidade Média em uma Escada para Peixes do Tipo Ranhura Vertical: Comportamento Preferencial da Espécie *Leporinus reinhardtii*

Bernardo Alan de Freitas Duarte*, Hersília de Andrade e Santos*

be.duarte@hotmail.com; hersilias@yahoo.com.br

Recebido: 06/07/12 - revisado: 12/08/13 - aceito: 06/11/13

RESUMO

Diante dos impactos causados por interrupções em rotas migratórias das espécies de peixes, estruturas hidráulicas como as escadas para peixes foram amplamente implantadas no Brasil durante as últimas décadas. Os desafios para construções de mecanismos eficientes estão relacionados à existência de uma grande diversidade aquática e ao desconhecimento de como as variáveis hidráulicas podem influenciar o comportamento de peixes. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento da espécie neotropical *Leporinus reinhardtii* dentro do escoamento gerado por uma escada do tipo ranhura vertical. Foram avaliados os campos de velocidade e de tensão de Reynolds para duas vazões. A escolha das posições mais frequentadas pelos peixes esteve mais relacionada com as tensões de Reynolds, entre -5 e 5 Pa, do que com o campo de velocidade. Entretanto, altos valores de tensão de Reynolds se mostraram indicativos de escoamento rápido e podem representar uma maneira de conduzir os peixes para a subida e saída do mecanismo.

Palavras-Chave: turbulência, espécie neotropical de peixe, mecanismos de transposição para peixes.

INTRODUÇÃO

Escadas para peixes são estruturas largamente construídas para permitir a passagem de espécies migradoras através de barreiras, como as barragens (ALVAREZ-VÁZQUEZ *et al.*, 2008; SCHILT, 2007). Essas estruturas são constituídas por canais com obstruções internas para promover a dissipação de energia do escoamento e redução da velocidade da água, de forma que esta não ultrapasse um valor limite suportado pelo animal.

As escadas para peixes têm sido utilizadas pelo homem para promover a mitigação de impactos ambientais há muitos anos (PIPER *et al.*, 2012; SANAGIOTTO *et al.*, 2011). No entanto, mesmo com a instalação desses mecanismos, parte da população de peixes migradores não consegue utilizar tais dispositivos (PON *et al.*, 2009; AGOSTINHO *et al.*, 2007).

Com o intuito de minimizar o impacto sobre a ictiofauna, alguns estados brasileiros promulgaram leis que regulamentam a construção de mecanismos de transposição junto aos barramentos (VIANA *et al.*, 2009). Porém, há poucos estudos

relacionados à eficácia desses mecanismos de transposição para a passagem de espécies de peixes neotropicals.

O desafio de construir mecanismos eficazes é devido à falta de informações relacionadas às demandas e preferências da ictiofauna local a ser transposta (KEMP *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2009). No Brasil, somam-se questões relacionadas à diversidade aquática neotropical.

Sabe-se que determinadas espécies de peixes apresentam preferências em relação às características dos escoamentos onde se encontram: algumas preferem áreas rápidas e outras preferem escoamentos com baixa velocidade e altas profundidades (PAVLOV, 1989).

Pesquisas de caráter multidisciplinar, que interagem conhecimentos de hidráulica e de comportamento biológico de peixes, têm sido realizadas em diferentes continentes para diferentes espécies de peixes (PIPER *et al.*, 2012; ALVAREZ-VÁZQUES *et al.*, 2008; ENDERS *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2010; WANG *et al.*, 2010).

Entretanto, ainda não há consenso sobre qual variável hidráulica melhor explica o comportamento de peixes no escoamento desses mecanismos de transposição (ALVAREZ-VÁZQUEZ *et al.*, 2008). Estudos indicam que peixes podem responder aos estímulos relacionados à turbulência (SILVA *et al.*, 2010; ENDERS *et al.*, 2007; WANG *et al.*, 2010),

*Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Nova Gameleira, Belo Horizonte – MG

à deformação hidráulica (NESTLER *et al.*, 2008), à vorticidade (LIAO, 2007), à velocidade (CASTRO-SANTOS, 2005) e à pressão (LIAO, 2007).

É de grande importância para intervenções de engenharia, o conhecimento de como as variáveis hidráulicas, tais como a velocidade e a tensão de Reynolds, podem influenciar o comportamento dos indivíduos que utilizam esses mecanismos de transposição. A partir do conhecimento dessas variáveis é possível estabelecer interferências no escoamento, que podem permitir maior eficiência da obra.

Apesar de a literatura apresentar que os peixes percebem especialmente parâmetros hidráulicos relacionados à turbulência (SANAGIOTTO *et al.*, 2011; TARRADE *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2010; ENDERS *et al.*, 2007) e ao campo de velocidades (SILVA *et al.*, 2010), as respostas biológicas a esses estímulos são pouco conhecidas em espécies neotropicais de peixes. Assim, o conhecimento das respostas biológicas aos parâmetros hidráulicos pode fornecer importantes informações para o dimensionamento de novos mecanismos de transposição mais adequados às espécies de peixes neotropicais (ROSCOE & HINCH 2010; SANTOS *et al.*, 2009; CASTRO-SANTOS *et al.*, 2009;).

Este trabalho busca responder a hipótese: Os campos de velocidades médias e de tensões de Reynolds podem ser utilizados como critérios de dimensionamento de novos mecanismos de transposição de peixes? Para isso, foram determinados dois objetivos para aceitar ou não a hipótese. O primeiro objetivo deste trabalho foi estudar o escoamento gerado em um modelo reduzido da escada para peixes do tipo ranhura vertical. Neste estudo, foi analisada a influência da turbulência no escoamento em comparação com a velocidade. A turbulência foi estudada por meio do campo de tensões de Reynolds e a velocidade, por sua vez, foi estudada por meio do campo de velocidades médias.

O segundo objetivo deste trabalho foi identificar respostas biológicas comportamentais positivas à transposição de peixes aos parâmetros hidráulicos de estudo com uma espécie de peixe neotropical dentro do modelo reduzido. Para isto foi utilizada a espécie *Leporinus reinhardtii*, (piauí três pintas), de ocorrência na Bacia do Rio São Francisco.

Escada para peixes do tipo ranhura vertical

No Brasil, a escada do tipo ranhura vertical é um dos modelos mais construídos e estudados. Rajaratnam *et al.* (1986) elaboraram o primeiro trabalho a descrever o escoamento deste modelo de escada, por meio de campos de velocidades e por

meio de outras variáveis hidráulicas como a dissipação de energia média por volume.

As ranhuras são os espaços formados entre anteparos transversais ao escoamento, que são dispostas no canal de forma a criar um fluxo principal do escoamento e áreas de recirculação (SANAGIOTTO *et al.*, 2011). Diferentes modelos de ranhura vertical podem ser criados em função da disposição desses anteparos. Destaca-se o modelo descrito (FIG. 1) em Rajaratnam *et al.* (1986) e identificado como modelo 2, cuja dissipação de energia é melhor quando comparada à outros modelos.

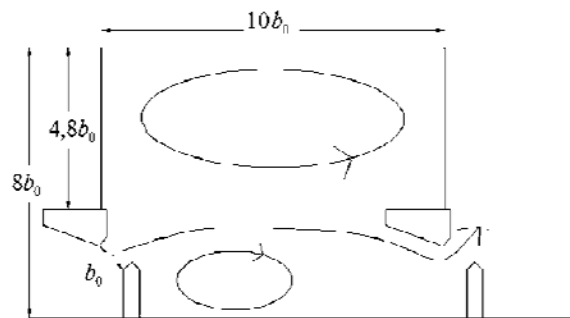


Figura 1 – Modelo da escada de acordo com Rajaratnam *et al.* (1986)

Velocidade

A velocidade é uma variável hidráulica importante no escoamento de obras hidráulicas (SANTOS *et al.*, 2009). Em escadas para peixes, a velocidade pode ser um fator limitante, caso estas excedam à capacidade natatória dos indivíduos que a utilizam (ALVAREZ-VÁZQUEZ *et al.*, 2008).

Tensão de Reynolds

A tensão de Reynolds representa a força por unidade de área que surge quando duas massas de água de velocidades paralelas se movem uma em relação à outra (SILVA *et al.*, 2010). A tensão de Reynolds pode ser definida como um tensor formado por 6 componentes simétricas, que formam três planos: O plano horizontal (XY), o plano vertical (XZ) e o plano transversal (YZ) (WHITE, 2010).

Silva *et al.* (2010) apontaram a tensão de Reynolds como uma variável hidráulica determinante no comportamento de espécies migradoras em mecanismos de transposição de peixes, pelo fato de os indivíduos evitarem áreas com altos valores de

tensão de Reynolds, em especial os de menor tamanho. Sanagiotto *et al.* (2011) também indicaram esse parâmetro hidráulico como relevante no comportamento dos indivíduos testados.

METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Máquinas Hidráulicas do CEFET-MG (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais). O laboratório apresenta um canal construído em concreto armado com inclinação fixa de 4,5%. O canal apresenta 4,0m de comprimento, 0,86m de largura e 1,2m de profundidade. O modelo reduzido da escada para peixes foi construído dentro deste canal. O sistema é abastecido por uma bomba centrífuga de 25cv.

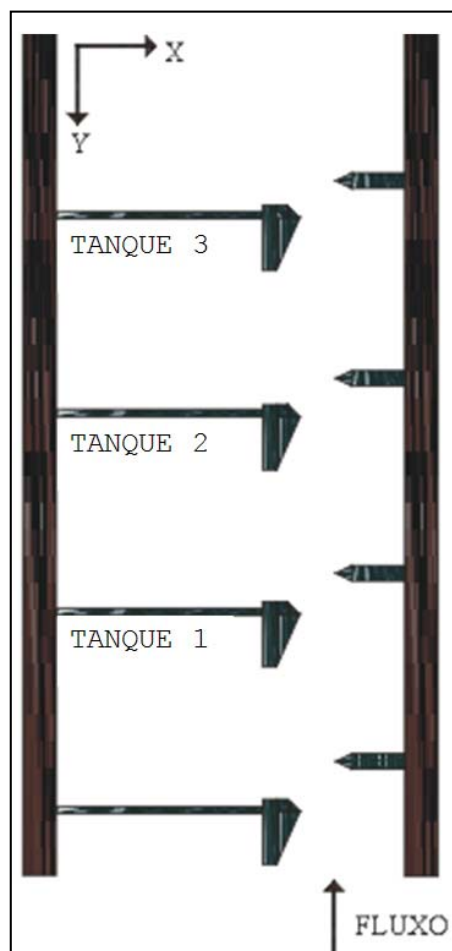


Figura 2 – Numeração dos tanques e principais dimensões do modelo reduzido

Este trabalho foi conduzido em 3 etapas: Inicialmente, foram instalados os anteparos do modelo reduzido no canal; em seguida foram coletados os dados hidráulicos e finalmente foram realizados os experimentos com peixes dentro do modelo reduzido.

As dimensões do canal hidráulico determinaram o comprimento dos tanques e largura das ranhuras (b_0). Foram instalados quatro conjuntos de ranhuras, que formaram três tanques. A numeração dos tanques seguiu a ordem de montante para jusante (FIG. 2). De acordo com o modelo adotado e as relações de dimensões dispostas por Rajaratnam *et al.* (1986), a abertura da ranhura (b_0) foi 0,11m, e as dimensões do tanque foram 0,87m de largura e 1,08m de comprimento.

Coleta dos dados hidráulicos

Para a análise do escoamento foi criada uma malha horizontal de 62 retângulos com dimensões 0,11m X 0,07m uniformemente distribuídos por toda área de cada tanque do modelo construído (Fig. 3). Os dados hidráulicos foram coletados no centro de cada retângulo.

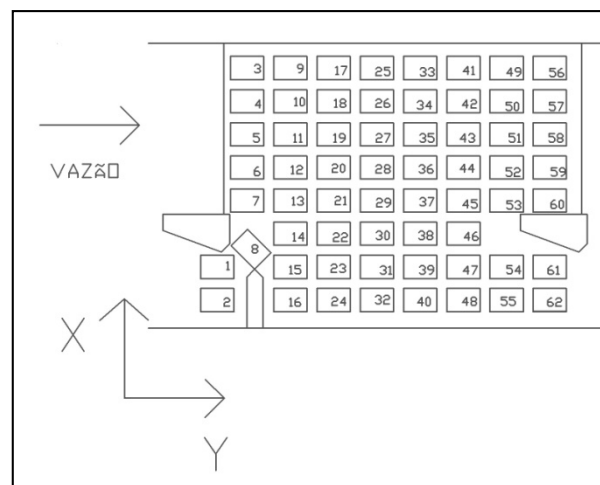


Figura 3 – Malha horizontal de medição de velocidades

Foi utilizado um velocímetro do tipo molinete para as medições com processador eletrônico acoplado, cuja precisão era de 0,01m/s. As medições foram realizadas em planos paralelos ao chão do canal separados por intervalos regulares de 0,1m de altura.

Neste trabalho, foram coletadas as componentes horizontais (X,Y) da velocidade média e da

velocidade máxima no escoamento. As vazões de estudo foram de 20 l/s e 35 l/s para produzirem uma lâmina de água com altura mínima necessária para os experimentos com peixes e ao mesmo tempo adequadas com a capacidade natatória da espécie testada, ou seja, as velocidades produzidas não excedem a capacidade natatória da espécie de peixe utilizada. A lâmina de água para vazão de 20 l/s foi de 23,5 cm e para a vazão de 35 l/s foi de 31,5 cm.

As medições de velocidades no canal hidráulico exigiram a criação de um posicionador para o velocímetro. Para isso, utilizou-se uma tábua de madeira de compensado naval e foram realizados furos para permitir a sustentação do velocímetro no posicionador. Para controle da vazão foi instalado um medidor de vazão eletromagnético junto ao sistema.

Cálculo das tensões de Reynolds

Neste trabalho foram analisadas somente as componentes horizontais (XY) da tensão de Reynolds. Pois, de acordo com Wu *et al.* (1999), o escoamento na escada ranhura vertical é bidimensional para inclinações próximas de 5%, não havendo componente de velocidade vertical significativa. Além disso, o trabalho de Silva *et al.* (2010) indicou a componente horizontal da tensão de Reynolds como a mais significativa em termos de valores e relevante em função do comportamento dos peixes.

Define-se a componente horizontal da tensão de Reynolds como (WHITE, 2010):

$$\tau = \rho \cdot u' \cdot v' \quad (1)$$

Onde: ρ é a massa específica da água (Kg/m³), u' é a flutuação de velocidade na componente X do eixo (m/s) e v' é a flutuação de velocidade na componente Y do eixo (m/s).

Nesse trabalho o cálculo das flutuações de velocidade seguiram a metodologia descrita por Duarte *et al.* (2012).

Cálculo do termo de flutuação de velocidade

Os termos de flutuação de velocidade pontual foram calculados pela diferença da componente de velocidade máxima pela componente de velocidade média pontual, de acordo com as seguintes fórmulas:

$$t_x = u_{m\acute{a}x} - u_{med} \quad (2)$$

$$t_y = v_{m\acute{a}x} - v_{med} \quad (3)$$

Onde: $u_{m\acute{a}x}$ e $v_{m\acute{a}x}$ é, respectivamente, a velocidade máxima em relação a componente X e Y do eixo e u_{med} e v_{med} é a velocidade média em relação a componente X e Y do eixo, respectivamente.

Experimentos com indivíduos de espécie neotropical

Após a coleta e análise dos dados hidráulicos do modelo reduzido da escada de peixes do tipo ranhura vertical, foram realizados experimentos com peixes da espécie neotropical *Leporinus reinhardtii*.

Os indivíduos foram coletados no município de Três Marias (MG) e transportados até o laboratório de Máquinas Hidráulicas do CEFET-MG, em Belo Horizonte, para a realização dos experimentos. Os indivíduos permaneciam em observação por 24 horas, em aquários com sistema de recirculação de água e com oxigenação artificial. Os experimentos ocorreram no período que corresponde ao período de migração natural (piracema) dos peixes no Brasil (novembro a abril).

Como o principal objetivo dos experimentos com peixes era determinar a existência de áreas de preferência no escoamento, foi necessário instalar um sistema de gravação de imagens no canal hidráulico. Os experimentos com peixes eram registrados por duas filmadoras (uma no topo do canal e outra na lateral do canal) que filmavam o tanque 2. O tanque 2 foi utilizado para as gravações por apresentar o escoamento mais estável hidraulicamente e por apresentar uma janela de vidro em sua lateral, que permite a visualização do deslocamento dos indivíduos em diferentes alturas.

Foram realizados cinco experimentos para a vazão de 20 l/s e cinco experimentos para a vazão de 35 l/s. Cada experimento durou 30 minutos e foram utilizados cinco indivíduos da espécie *Leporinus reinhardtii* em cada teste.

Após os experimentos, os peixes eram medidos e pesados, sendo conduzidos para o sistema de manutenção. Após um período de 2 semanas, os peixes eram transportados e introduzidos de volta no rio.

Para compreender o comportamento dos peixes em relação às variáveis hidráulicas de estudo, foi desenhada no chão do canal, a malha com os 62 pontos de medição de velocidades para determinar

as posições de preferência dos peixes pela análise dos vídeos.

Após as gravações, os filmes foram analisados, de acordo com a observação da posição em que cada indivíduo ocupava a cada minuto. As áreas de preferência dos indivíduos testados foram obtidas com o cálculo da moda (ferramenta estatística que fornece o valor com maior frequência de ocorrência) das posições contadas nas observações (SAM-PAIO, 2007).

Para cada experimento, foi calculado um valor de moda para as posições ocupadas pelos indivíduos testados. No total, foram calculadas 5 modas de posições por vazão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os indivíduos de *Leporinus reinhardti* utilizados no trabalho tiveram comprimento total em média de 14 cm (FIG. 4).

De acordo com Santos *et al.* (2007), o comprimento médio dos indivíduos testados é superior ao comprimento médio relatado na literatura como comprimento à primeira maturação, ou seja, os indivíduos testados estavam aptos a realizarem a migração para reprodução, tal como ocorre na natureza.

Logo, a população de peixes utilizada como amostra neste trabalho pode ser considerada representativa do universo de populações dessa espécie migradora, e assim os resultados obtidos tem validade

de para compreender o comportamento dos animais dentro dos mecanismos de transposição em larga escala.

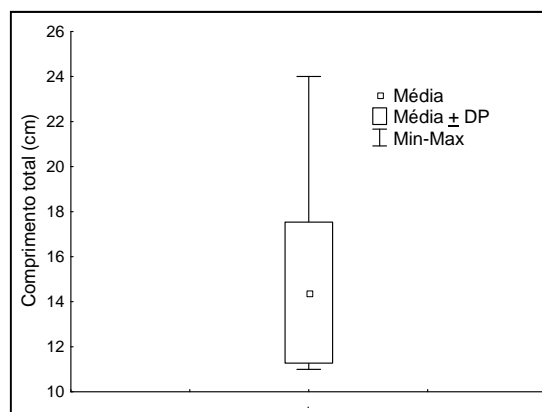


Figura 4 – Gráfico do comprimento dos peixes testados

Velocidade média

Foi observado que os dados de velocidade obtidos ratificam estudos anteriores, demonstrando a existência de um escoamento composto por um fluxo principal com velocidades médias mais altas e duas áreas de recirculação com velocidades mais baixas (FIG. 5 e 6).

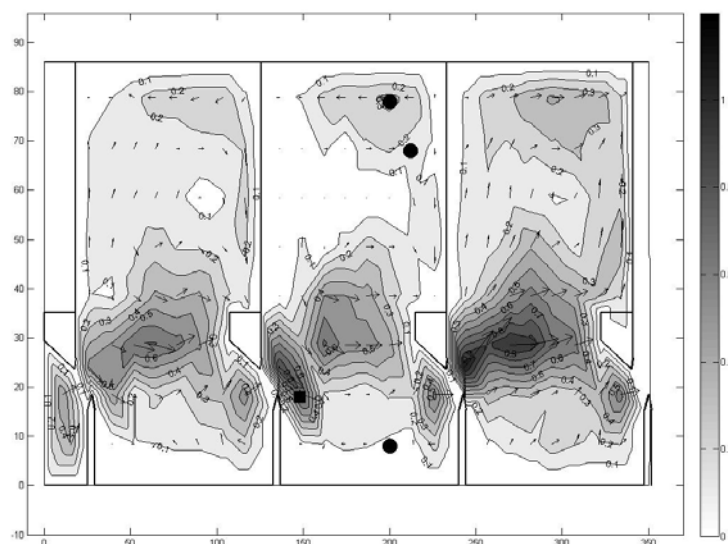


Figura 5 – Gráfico de velocidades médias para vazão de 20l/s com posições mais frequentes dos peixes indicadas por círculos (cada círculo em preto indica a moda de cada experimento e o quadrado em preto representa a ocorrência de 2 círculos pretos na mesma posição). A escala da grade do gráfico está em centímetros.

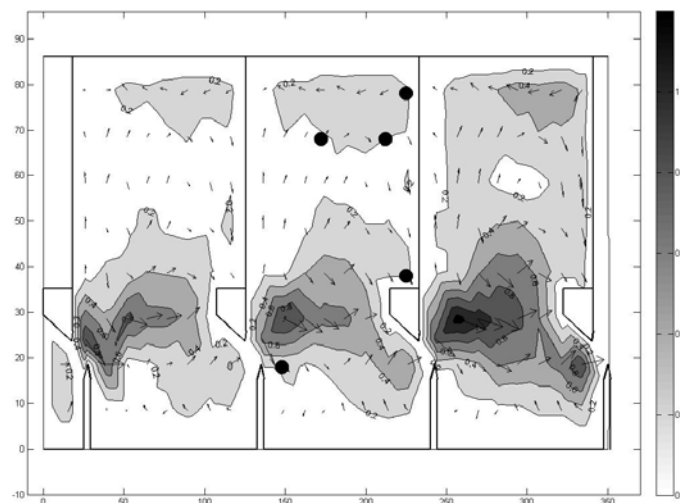


Figura 6 – Gráfico de velocidades médias para vazão de 35l/s com posições mais frequentes dos peixes indicadas por círculos (cada círculo em preto indica a moda de cada experimento. A escala da grade do gráfico está em centímetros.

Foi observada para a vazão de 20 l/s, uma inversão da direção do fluxo na área de recirculação do terceiro tanque da escada, em relação ao relatado na literatura. Provavelmente, esse fato se deve a combinação de dois fatores: a baixa vazão utilizada e a falta de controle de montante em função do baixo número de tanques construídos (três).

testes na vazão de 20 l/s. Provavelmente, os indivíduos posicionados no fluxo principal ilustraram o processo de negociação de passagem para o tanque a montante (o tanque 1). Os indivíduos que permaneceram a maior parte do tempo em áreas de recirculação, provavelmente, preferiram áreas com menores velocidades por dificuldade de natação.

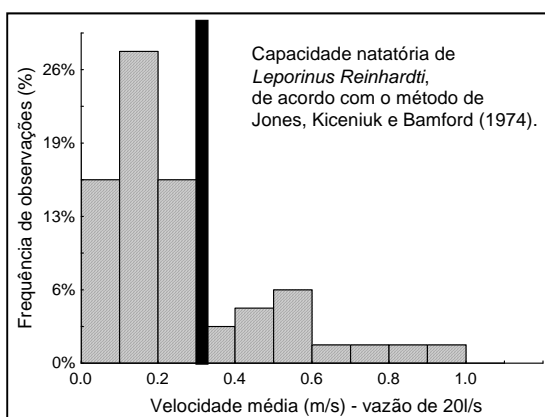


Figura 7 – Histograma das velocidades médias para a vazão de 20l/s

De acordo com os campos de velocidade média obtidos, foi observado que alguns peixes permaneceram na maior parte do tempo em áreas de recirculação, onde há menores velocidades. Entretanto, alguns indivíduos também permaneceram na maior parte do tempo no fluxo principal em dois

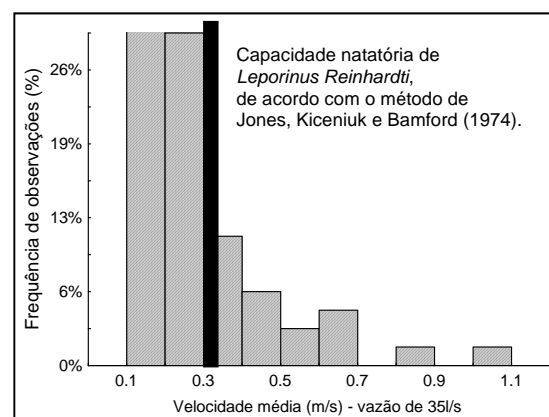


Figura 8 – Histograma das velocidades médias para a vazão de 35l/s

Foi observado que cerca de 25% das velocidades encontradas pelos peixes para a vazão de 20 l/s e 35 l/s excedem à capacidade natatória da espécie testada (SANTOS *et al.*, 2007), de acordo com o método de Jones, Kiceniuk e Bamford (1974) (FIG. 7 e 8), cujo valor é de 0,32 m/s.

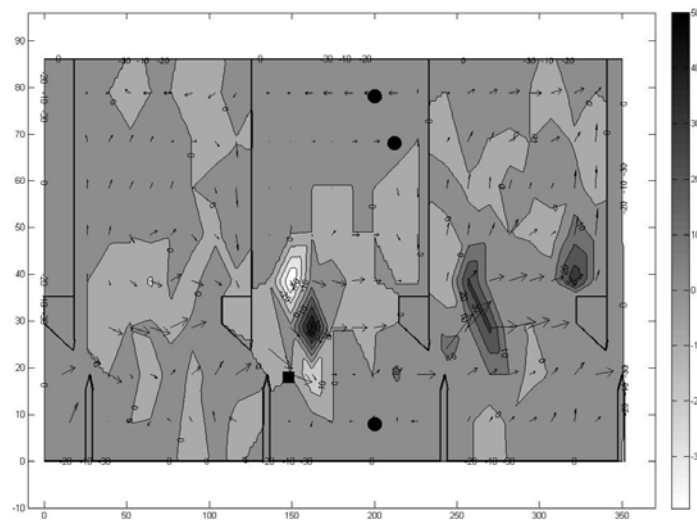


Figura 9 – Gráfico da tensão de Reynolds para vazão de 20l/s com posições mais frequentes dos peixes indicadas por círculos (cada círculo em preto indica a moda de cada experimento e o quadrado em preto representa a ocorrência de 2 círculos pretos na mesma posição). A escala da grade do gráfico está em centímetros.

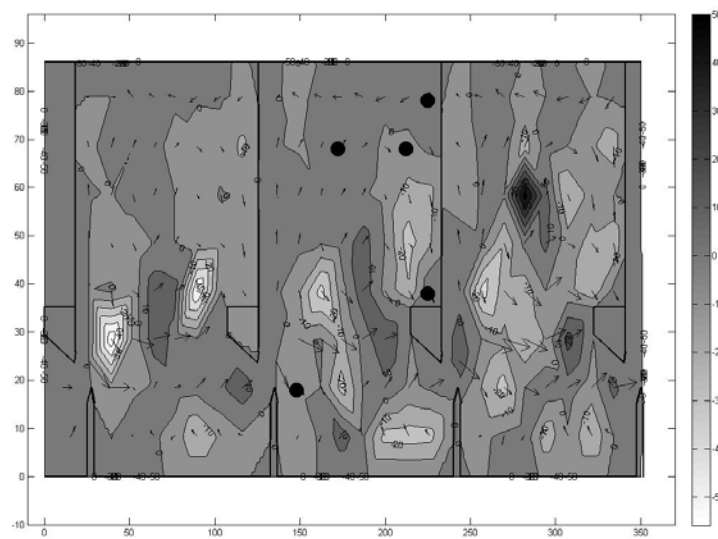


Figura 10 – Gráfico da tensão de Reynolds para vazão de 35l/s com posições mais frequentes dos peixes indicadas por círculos (cada círculo em preto indica a moda de cada experimento). A escala da grade do gráfico está em centímetros.

O método de Jones, Kiceniuk e Bamford (1974) se baseia no conceito de velocidade prolongada crítica. Esse método é considerado conservador e indica a velocidade máxima que um peixe poderia suportar no escoamento, cujo valor é progressivamente aumentado até a fadiga. Este teste é

adequado a metodologia do trabalho por ser aplicado em situações de duração de 5 a 60 minutos (SANTOS *et al.*, 2009).

Os peixes tendem a evitar fluxos imprevisíveis e grandes flutuações na velocidade (SANTOS *et al.* 2009; LIAO, 2007; ENDERS *et al.* 2003). Porém,

de acordo com Breder (1965), peixes podem nadar entre áreas turbulentas para negociar fluxos mais baixos e nadar em ambientes mesmo com altas vazões. Wang *et al.* (2009) também descrevem essa estratégia utilizada por peixes em um escoamento turbulento em escada do tipo ranhura vertical.

Dessa maneira, os picos de valores dos termos de flutuação de velocidade no escoamento podem ser percebidos pelos peixes como uma orientação para a natação, pois os indivíduos exploraram na maior parte do tempo áreas com baixos valores do termo de flutuação de velocidade, mas próximas a esses picos de valores.

Tensão de Reynolds

Foi observado que os peixes permaneceram durante todos os experimentos em pontos com baixos valores de tensões de Reynolds (FIG. 9 e 10). Esse resultado corrobora ao trabalho de Silva *et al.* (2010) e de Sanagiotto *et al.* (2011).

Foi observado que os indivíduos tenderam a se afastar de pontos onde há picos de tensões, assim como o trabalho de Silva *et al.* (2010) e Sanagiotto *et al.* (2011) conclui. Na vazão de 35l/s, é mais fácil identificar essa estratégia de natação dos indivíduos, porque nesta vazão há maiores áreas com valores altos de tensão de Reynolds.

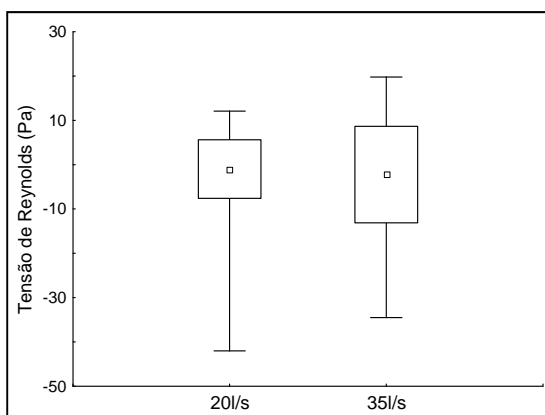


Figura 11 – Gráfico comparativo da tensão de Reynolds para vazão de 20l/s e 35l/s.

Provavelmente, a tensão de Reynolds é percebida pelos peixes, com a utilização de alguns elementos anatômicos como a linha lateral. Dado que os peixes não são igualmente sensíveis a perturbações em todos os planos, a direção da perturbação em relação ao corpo desempenha um papel fundamental na determinação do comportamento do

indivíduo (WEBB, 2004). Ao avaliar o campo de tensões do tanque 2, foi observado que a vazão de 20l/s e a de 35l/s possuem tensão de Reynolds média próxima de 0. Porém, a vazão de 35l/s apresenta um desvio padrão superior ao da vazão de 20l/s, havendo maior concentração de altos valores de tensão de Reynolds na vazão de 35l/s (FIG. 11).

Pode-se observar que o tanque 2, para as vazões de 20l/s e de 35l/s, apresentou a maior parte da área com tensões de Reynolds próximas de 0 e -5Pa (FIG. 12 e 13).

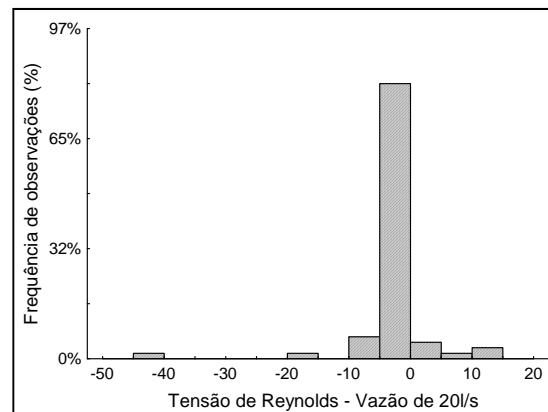


Figura 12 – Histograma da tensão de Reynolds para vazão de 20l/s

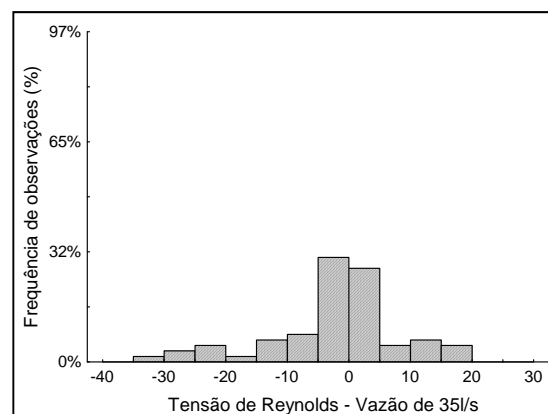


Figura 13 – Histograma da tensão de Reynolds para vazão de 35l/s

CONCLUSÕES

A escada para peixes do tipo ranhura vertical produz escoamento adequado para espécies neotrópicas, pois apresenta campo de velocidades

médias com valores inferiores à capacidade natatória da espécie testada, quando operada na faixa de vazão de estudo.

Tanto o termo de velocidade média quanto à tensão de Reynolds são parâmetros hidráulicos importantes no dimensionamento de mecanismos de transposição de peixes, porque são variáveis que indicam influência no posicionamento de indivíduos da espécie testada no presente estudo.

A Tensão de Reynolds é uma variável hidráulica que está diretamente relacionada à variação de velocidades e deve, portanto, ser percebida pelos peixes como ambientes turbulentos e instáveis. A tensão de Reynolds apresenta variações no padrão do campo de tensões em função de diferentes vazões, pois para a maior vazão houve o surgimento de grandes áreas com tensões onde na vazão menor não havia. Para isso, são necessários mais estudos para verificar o comportamento do campo de tensões de Reynolds para diferentes vazões, já que indica ser altamente variável e ao mesmo tempo imprevisível por afetar diretamente o comportamento dos peixes.

O modelo ranhura vertical apresentou grandes áreas com tensões entre 0 e 5 Pa, indicada como mais frequentadas pela espécie *Leporinus reinhardtii*. Além disso, sugere-se que a existência de picos de tensão poderia orientar fluxos de natação aos peixes e evitar a falta de sucesso de passagem dos peixes nas escadas.

AGRADECIMENTOS

Somos gratos ao apoio técnico do laboratório de Máquinas Hidráulicas do CEFET-MG e também à permissão do uso do canal hidráulico durante o estudo. Agradecemos também à FAPEMIG e ao CNPQ por disponibilizar recursos para a realização deste projeto. Em especial, agradecemos aos funcionários do laboratório: Wenceslau e Itamar.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, C.S.; AGOSTINHO, A.A.; PELICICE, F.; ALMEIDA, D.A. de; MARQUES, E.E. Selectivity of fish ladders: a bottleneck in neotropical fish movement. *Neotropical Ichthyology*, v. 5, n. 2, p. 205-213, 2007.
- ALVAREZ-VÁZQUEZ, L.J.; MARTINEZ, A.; VÁZQUEZ-MENDEZ, M.E.; VILAR, M.A. An optimal shape problem related to the realistic design of river fishways. *Ecological Engineering*, v. 32, p. 293-300, 2008.
- BREDER, C.M. Vortices and fish schools. *Zoologica*, vol. 50, p. 97-114, 1965.
- CASTRO-SANTOS, T. Optimal swim speeds for traversing velocity barriers: an analysis of volitional high-speed swimming behaviour of migratory fishes. *Journal of Experimental Biology*, vol. 208, p. 421-432, 2005.
- CASTRO-SANTOS, T.; COTEL, A.; WEBB, P.W. Fishway evaluations for better bioengineering: an integrative approach. In: HARO, A.J.; SMITH, K.L.; RULIFSON, C.M.; KLAUDA, R.J.; DADSWELL, M.J.; CUNJAK, R.A.; COOPER, J.E.; BEAL, K.L.; AVERY, T.S. Challenges for Diadromous Fishes in a Dynamic Global Environment. Bethesda, American Fisheries Society Symposium, p. 557-575, 2009.
- DUARTE, B.A.F.; RAMOS, I.C.R.; SANTOS, H.A. Reynolds shear-stress and velocity: Positive biological response of neotropical fishes to hydraulic parameters in a vertical slot fishway. *Neotropical Ichthyology*, v. 10, n. 4, p. 813-819, 2012.
- ENDERS, E.C.; CASTRO-SANTOS, T.; PEAKE, S.; HARO, A.; SCRUTON, D.A. The effects of horizontally- and vertically-oriented vortices on the swimming performance of upstream migrating brook charr (*Salvelinus fontinalis*). In: Proceedings of the 6 International Conference on Ecohydraulics, Christchurch 18-23 February, 2007.
- ENDERS, E.C.; BOISCLAIR, D.; ROY, A.G. The effect of turbulence on the cost of swimming for juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fish and Aquatic Sciences*, vol. 60, p. 1149-1160, 2003.
- KEMP, P.S.; ANDERSON, J.J.; VOWLE, A.S. Quantifying behaviour of migratory fish: application of signal detection theory to fisheries engineering, *Ecological Engineering*, v. 41, p. 22-31, 2012.
- JONES, D.R.; KICENIUK, J.W.; BAMFORD, O. S. Evaluation of the swimming performance of several fish species from the Mackenzie River. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, v. 31, n. 10, p. 1641-1647, 1974.
- LIAO, J.C. A review of fish swimmin mechanics and behaviour in altered flows, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 362, n. 1487, p. 1973-1993, 2007.

- NESTLER, J.M.; GOODWIN, R.A.; SMITH, D.L.; ANDERSON, J.J.; LI, S. Optimum fish passage and guidance designs are based in the hydrogeomorphology of natural rivers. *River research and applications*, v. 24, p. 148-168, 2008.
- PAVLOV, D.S. Structures assisting the migrations of nonsalmonid fish: USSR. *FAO*, 97 p., 1989.
- PIPER, A.T.; WRIGHT, R.M.; KEMP, P.S. The influence of attraction flow on upstream passage of European eel (*Anguilla anguilla*) at intertidal barriers. *Ecological Engineering*, v. 44, p. 329-336, 2012.
- PON, L.B.; HINCH, S.G.; COOKE, S.J.; PATTERSON, D.A.; FARRELL, A.P. Physiological, energetic and behavioural correlates of successful fishway passage of adult sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* in the Seton River, British Columbia. *Journal of Fish Biology*, vol. 74, p. 1323-1336, 2009.
- RAJARATNAM, N.; VAN DER VINNE, G.; KATOPODIS, C. Hydraulics of vertical slot fishways. *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 112, p. 909-917, 1986.
- ROSCOE, D.W.; HINCH, S.G. Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns and future directions. *Fish and Fisheries*, v. 11, p. 12-33, 2010.
- SAMPAIO, I.B.M. Estatística aplicada à experimentação animal, Ed. FEP-MZV, Belo Horizonte, 2007.
- SANAGIOTTO, D.G.; PINHEIRO, A.N.; ENDRES, L.A.M.; MARQUES, M.G. Estudo Experimental das Características do Escoamento em Escadas para Peixes do Tipo Ranhura Vertical — Turbulência do Escoamento. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* v. 16, n. 4, 195-205, 2011.
- SANTOS, H.A.; POMPEU, P.S.; MARTINEZ, C.B. Estabelecimento de Parâmetros Hidráulicos para Escadas de Peixes do Tipo Ranhura Vertical Baseados em Características de Espécies Neotropicais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 14, p. 99-112, 2009.
- SANTOS, H.A.; POMPEU, P.S.; MARTINEZ, C.B. Swimming performance of the migratory Neotropical fish *Leporinus reinhardtii* (Characiformes: Anostomidae). *Neotropical Ichthyology*, V. 5, n. 2, p. 139-146, 2007.
- SCHILT, C.R. Developing fish passage and protection at hydropower dams. *Applied Animal Behaviour Science*, v. 104, p. 295-325, 2007.
- SILVA, A.T.; FERREIRA, M.T.; PINHEIRO, A.N.; KATOPODIS, C. Effects of water velocity and turbulence on the behaviour of Iberian barbel (*Luciobarbus bocagei*, Steindachner 1864) in an experimental pool-type fishway. *River Research and Applications*, 2010.
- SILVA, A.T.; SANTOS, J.M.; FRANCO, A.C.; FERREIRA, M.T.; PINHEIRO, A.N. Selection of Iberian barbel *Barbus bocagei* (Steindachner, 1864) for orifices and notches upon different hydraulic configurations in an experimental pool-type fishway. *Journal of Applied Ichthyology*, vol. 25, p. 173-177, 2009.
- TARRADE, L.; PINEAU, G.; CALLUAUD, D.; TEXIER, A.; DAVID, L.; LARINIER, M. Detailed experimental study of hydrodynamic turbulent flows generated in vertical slot fishways. *Environmental fluid mechanics*, v. 11, n. 1, p. 1-21, 2011.
- VIANA, E.M.F.; FARIA, M.T.C.; MARTINEZ, C.B. Levantamento das Curvas do Comportamento Hidráulico do Mecanismo de Transposição de Peixes da UHE de Igarapava. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 14, p. 113-122, 2009.
- WANG, R.W.; DAVID, L.; LARINIER, M. Contribution of experimental fluid mechanics to the design of vertical slot fish passes. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, v. 396, n. 2, 2010.
- WEBB, P.W. Response latencies to postural differences in three species of teleostean fishes. *Journal of Experimental Biology*, vol. 207, p. 955-961, 2004.
- WHITE, F.M. *Mecânica dos Fluidos*, 5ª edição, Editora MacGraw Hill, Rio de Janeiro, Brasil, 2010.
- WU, S.; RAJARATNAM, N.; KATOPODIS, C. Structure of flow in vertical slot fishway. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, v. 125, n. 4, p. 351-360, 1999.

Reynolds Shear-stress And Velocity In Vertical Slot Fishway: Behavior Of The Leporinus Reinhardtii Specie

ABSTRACT

Hydraulic structures such as fish passages have been constructed in Brazil in order to mitigate the impact of dams on migration routes. The challenge for the construction of efficient fishways is the huge biodiversity in Brazilian rivers and lack of knowledge concerning how the hydraulic variables can change fish behavior. The aim of this work was to evaluate the behavior of neotropical specie *Leporinus reinhardtii* in flow which was created by a vertical slot fish ladder. The flow was studied using the mean velocity field and the Reynolds shear stress field for a range

of discharges. The neotropical specie *Leporinus reinhardtii* remained longer in areas of low Reynolds shear-stress values which go from -5 to 5 Pa. The Reynolds shear-stress and the velocity fluctuation appear to best determine the areas preferred by the fish, instead of mean velocity fields in flow. In addition, fish may be oriented by high values of velocity variations (Reynolds shear stress and velocity fluctuation), and also remain at low values.

Key-words: turbulence, neotropical fish specie, fishway mechanisms.