

DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE PASSAGEM DO BARBO IBÉRICO EM DISPOSITIVOS DE PASSAGEM PARA PEIXES DE FENDAS VERTICAIS

Joana SIMÃO¹, Filipe ROMÃO¹, Ana L. QUARESMA¹, Francisco J. BRAVO-CÓRDOBA², Teresa VISEU³, Francisco J. SANZ-RONDA², António N. PINHEIRO¹

1. CERis – Civil Engineering for Research and Innovation for Sustainability, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal, joanasimao@tecnico.ulisboa.pt, filipe.romao@tecnico.ulisboa.pt, analopesquaresma@tecnico.ulisboa.pt, antonio.pinheiro@tecnico.ulisboa.pt.

2. U. D. de Hidráulica e Hidrología, Grupo de Ecohidráulica Aplicada (GEA-ecohidraulica.org), Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal, E.T.S.I.I.A.A., Universidad de Valladolid, Avda. Madrid, 44, 34004 Palencia, Espanha, francisco.bravo@iaf.uva.es, jsanz@iaf.uva.es.

3. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento Hidráulica e Ambiente, Núcleo Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas, Av. Do Brasil 101 1700-066 Lisboa, Portugal, tviseu@lnec.pt

RESUMO

A construção de açudes e barragens fragmenta a conectividade longitudinal dos rios, impossibilitando a passagem de peixes e outros organismos aquáticos. As passagens para peixes (PPP) são estruturas hidráulicas projetadas para mitigar os impactos negativos dessas barreiras. Contudo apresentam em muitos casos, baixa eficiência, sendo essencial investir em investigação para readaptar as linhas gerais de projeto das PPP e as adequar a multi-espécies. O presente estudo foca-se no comportamento de um ciprinídeo ibérico, o barbo ibérico (*Luciobarbus bocagei*) em PPP de bacias sucessivas. Os ensaios foram efetuados numa instalação experimental, com inclinação de 15 %. Foram utilizadas duas geometrias: fenda vertical (FV) e fenda vertical com soleira (FVS). Em cada geometria, foram testados, usando diferentes caudais (FV: Q = 110 e 81 l/s; FVS: Q = 99 e 71 l/s) duas profundidades médias de água nas bacias, o que permitiu gerar uma potência dissipada por unidade de volume (P_v) entre 188 e 222 W/m³, consideravelmente superior ao valor máximo de referência indicado na literatura ($P_{v_{max}} \leq 150$ W/m³ para ciprinídeos). Os ensaios experimentais com peixes (N = 100) foram realizados durante o período de migração e a monitorização individual do comportamento dos peixes foi realizada através de telemetria, utilizando um sistema de marcas PIT (*Passive Integrated Transponder*). Os resultados mostram que para a motivação, a probabilidade de existir uma tentativa de passagem é o dobro para a FV com Q = 81 l/s ($P_v = 222$ W/m³) em comparação com as outras configurações. Na análise de ascensão a probabilidade de sucesso da geometria FV e configuração FVS Q = 71 l/s é, em média, 80% maior do que a probabilidade de sucesso com a configuração FVS_Q = 99 l/s ($P_v = 188$ W/m³). No geral, estes resultados mostram que, mesmo com P_v elevada, o barbo apresenta uma eficiência de passagem considerável. De facto, na configuração FV Q = 110 l/s de $P_v = 222$ W/m³, o barbo exibiu uma eficiência total de passagem de 68%. Estes resultados fornecem informações adicionais sobre os limites ecohidráulicos de espécies de ciprinídeos que podem ser usadas para estabelecer novas diretrizes de projeto para PPP.

Palavras-Chave: Ecohidráulica; Passagem para Peixes; Barbo ibérico; PIT; Turbulência.

1. INTRODUÇÃO

A fragmentação dos rios causada por barragens e açudes tem impactos ambientais significativos nos organismos aquáticos (Santos et al., 2012), sendo o impacto na comunidade de peixes substancial, uma vez que essas estruturas hidráulicas os impedem de atingir os seus habitats de desova (Santos et al., 2012; Romão et al., 2017).

A importância das PPP foi reforçada com a Diretiva-Quadro da Água (DQA; 2000/60 / EC). O uso deste tipo de estrutura tem sido progressivamente visto como a principal solução para permitir e melhorar a conectividade para as comunidades de peixes na Europa.

As PPP de bacias sucessivas de fendas verticais apresentam vantagens significativas para permitir a passagem de espécies com diferentes preferências, uma vez que permitem a passagem dos peixes a diferentes profundidades

(Quaresma, et al., 2018, Sanz-Ronda et al., 2016). Além disto, estes tipos de passagens permanecem operacionais mesmo com grandes flutuações nos níveis de água tanto a montante como a jusante e têm também baixos custos de manutenção comparando com PPP com orifícios e descarregadores.

A maioria das PPP instaladas foram projetadas com base em critérios desenvolvidos em rios da Europa Central e do Norte (Santos et al., 2012), critérios esses que, não são adequados às capacidades natatórias das espécies ibéricas (Santos et al., 2012). É assim importante encontrar soluções direcionadas para as comunidades piscícolas ibéricas, de modo a permitir a sua livre migração.

Neste contexto, este estudo avaliou e comparou o desempenho de passagem do barbo ibérico (*Luciobarbus bocagei*) em dois tipos de PPP em bacias sucessivas: fenda vertical (FV) e fenda vertical com soleira (FVS). Para essa avaliação foram consideradas duas métricas: motivação e ascensão. O principal objetivo foi gerar mais informação para melhorar o desempenho das PPP para ciprinídeos ibéricos.

2. METODOLOGIA

2.1. Instalação experimental

Os ensaios foram desenvolvidos no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) no Departamento de Hidráulica e Ambiente, Lisboa. O canal tem 10 m de comprimento, 1 m de largura e 1.2 m de altura, com estrutura de aço e painéis de vidro nas duas paredes laterais para permitir a visualização do comportamento dos peixes (Fig. 1). A PPP é constituída por seis bacias divididas por fendas verticais de 0.1 m de largura (feitas de madeira com 22 mm de espessura). A inclinação da PPP é de 15%.

Foram testadas duas configurações distintas: fendas verticais (FV) e fendas verticais com soleira (FVS). A soleira de FVS tem 0.1m de altura. Foram testados os caudais de 110 e 81 l/s para a geometria FV e os caudais de 99 e 71 l/s para a FVS com valores de P_v de 208 e 222 W/m^3 , para a geometria FV, e 188 e 194 W/m^3 para FVS, respetivamente.



Figura 1. Instalação experimental

2.2. Peixes

A captura do barbo ibérico foi realizada no rio Lisandro. Todos os 100 peixes foram pescados entre 28 de junho e 17 de julho, dentro do período de migração, através de pesca elétrica utilizando uma voltagem reduzida (Hans Grassl IG-200). Após a captura, os peixes foram transportados para o laboratório com água proveniente do rio com aeração (para minimizar o stress). De seguida, após aproximadamente 48h (período de recuperação) todos os peixes foram anestesiados com uma solução de 25mg/l de eugenol e marcados intraperitonealmente com marcas do tipo PIT, através de uma incisão posterior à barbatana peitoral e inserindo o transmissor na cavidade peritoneal. Nenhum peixe morreu durante ou após o processo de marcação. Após 48h da marcação iniciaram-se os ensaios. O tempo total dos ensaios foi de 120 minutos compreendendo 30 minutos de aclimação dos peixes e 90 minutos de ensaio.

Foram realizados 20 ensaios (5 ensaios, 2 geometrias e 2 caudais), cada um com cardumes de 5 peixes de tamanho semelhante (mínimo de 12.8 cm e máximo de 24.5 cm). A monitorização dos peixes foi realizada através de observação visual e deteção de passagem dos peixes nas antenas posicionadas na fenda vertical 1 e 6 (V1 e V6). A avaliação do número de tentativas de entrada na PPP foi efetuada através da análise vídeo dos movimentos que ocorreram na fenda V1.

2.3. Análise de dados

Aplicando modelos de regressão de análise de sobrevivência, foram avaliadas duas componentes: motivação e a ascensão. Desta forma, foi considerada para a análise da motivação todo o cardume, censurando os peixes que não passaram V1 e atribuindo-lhes um tempo igual à duração total do ensaio. Para análise da ascensão foram apenas considerados os peixes que passaram em V1 e censurou-se os que não passaram V6 atribuindo a esses a duração total do ensaio.

Para a motivação são analisadas duas métricas: eficiência de entrada (percentagem de sucessos em relação ao número de tentativas) e a proporção de tentativa (proporção de tentativas por unidade de tempo) analisada

através da Regressão de Risco Proporcional de Cox. Nesta métrica avaliaram-se duas situações: i) se existia influência de k (fator de condição dos peixes) nas configurações e ii) se existia diferenças na motivação dos peixes entre as várias configurações.

Para a avaliação da ascensão analisou-se o tempo de passagem (tempo que o peixe leva a passar de V1 até V6): o método aplicado foi a Regressão de Risco Proporcional de Cox que, permitiu comparar estatisticamente a ascensão entre diferentes configurações.

3. RESULTADOS

3.1. Motivação

A geometria FV apresenta valores de eficiência de entrada que parecem superiores a FVS, embora, ambas tenham valores de eficiência muito reduzidos (Tabela 1). No caso da avaliação da influência de k entre as diferentes configurações, avaliada pela proporção de tentativa, indica que o fator k apresenta diferença significativa ($p < 0.05$), sendo a HR (taxa de risco) igual a 0.0086, ou seja, por cada unidade de alteração do fator k a taxa de tentativa variará em 99.14% $[((\exp(\beta)) - 1) \times 100]$, o que significa que por cada aumento de 0.1 no valor k, existe uma redução de 9.91% de taxa de tentativa. Relativamente à comparação entre as várias configurações verifica-se que VF_Q = 110 l/s não apresenta diferenças significativas ($p > 0.05$) com a geometria FVS (Tabela 3). FV_Q = 81 l/s apresenta diferenças significativas com todas as outras configurações ($p < 0.05$). O modelo estatístico indica que existe uma proporção de tentativa de 61, 53 e 62% $[((\exp(\beta)) - 1) \times 100]$ para FVS_Q = 71 l/s, FVS_Q = 99 l/s e FV_Q = 110 l/s, respetivamente (Tabela 3). Isto significa que a configuração FV_Q = 81 l/s apresenta aproximadamente o dobro de probabilidade de um peixe realizar uma tentativa de entrar na passagem, em relação a todas as outras configurações.

Tabela 1. Número médio de tentativas; tempo de entrada médio; eficiência de entrada; percentagem de sucesso de ascensão; tempo de passagem médio e tempo de passagem por metro de altura para as configurações testadas.

	FV_Q=110 l/s	FV_Q=81 l/s	FVS_Q=99 l/s	FVS_Q=71 l/s
Número médio de tentativas	(2-28)* 17.2	(7-31) 18.8	(21-54) 40.4	(11-53) 26.2
Tempo de entrada médio (min)	(13 - 40) 22	(3 - 65) 30	(14 - 66) 46	(20 - 78) 53
Eficiência de entrada média	9.3%	18.1%	1.5%	4.6%
Percentagem de sucesso de ascensão	32%	68%	12%	24%
Tempo de passagem médio (min)	(8 - 58) 27	(8 - 47) 21	(7 - 40) 22	(22 - 45) 36
Tempo de passagem médio por metro de altura (min/m)	23	19	20	31

*(mínimo – máximo)

Tabela 2. Estimativa dos parâmetros de Regressão de Risco Proporcional de Cox (β : coeficiente de regressão; HR: taxa de risco; SE: erro padrão). Referência k

	$\beta \pm SE$	p-valor	HR
Motivação	-4.753 \pm 2.05	0.025	0.0086
Ascensão	-3.095 \pm 3.52	0.380	0.0453

Tabela 3. Estimativa dos parâmetros de Regressão de Risco Proporcional de Cox (β : coeficiente de regressão; HR: taxa de risco; SE: erro padrão). Análise de motivação.

	Referência FV_Q = 81 l/s			Referência VF_Q = 110 l/s			
	$\beta \pm SE$	p-valor	HR		$\beta \pm SE$	p-valor	HR
FVS_Q = 71 l/s	-0.933 \pm 0.40	0.020	0.3935	FVS_Q=71 l/s	0.025 \pm 0.46	0.957	1.0249
FVS_Q = 99 l/s	-0.745 \pm 0.38	0.049	0.4749	FVS_Q=99 l/s	0.212 \pm 0.44	0.630	1.2370
FV_Q = 110 l/s	-0.957 \pm 0.41	0.021	0.3839	FV_Q=81 l/s	0.957 \pm 0.41	0.021	2.6045

3.2. Ascensão

Não existem diferenças significativas entre k e as diferentes configurações ($p > 0.05$) para o êxito na ascensão (Tabela 2). A configuração FVS_Q = 71 l/s não apresenta diferenças significativas ($p > 0.05$) com a geometria FV. Para a configuração FVS_Q = 99 l/s existem diferenças significativas para todas as outras configurações ($p < 0.05$). O modelo estatístico indica que a o êxito da ascensão é 78% superior para FVS_Q = 71 l/s, 75% superior para FV_Q = 110 l/s e 84% para FV_Q = 81 l/s em relação à configuração de referência FVS_Q=99 l/s $[(\exp(\beta)) - 1] \times 100$ (Tabela 4). Ou seja, a probabilidade de êxito por unidade de tempo na ascensão é aproximadamente 80% menor para a configuração FVS_Q = 99 l/s do que o resto das configurações.

Tabela 4. Estimativa dos parâmetros de Regressão de Risco Proporcional de Cox (β : coeficiente de regressão; HR: taxa de risco; SE: erro standard). Análise de ascensão

Referência FVS_Q = 99 l/s				Referência FVS_Q = 71 l/s			
	$\beta \pm SE$	p-valor	HR		$\beta \pm SE$	p-valor	HR
FVS_Q = 7 l/s	1.499 \pm 0.72	0.0374	4.4765	FVS_Q=99 l/s	-1.499 \pm 0.72	0.037	0.2234
FV_Q = 110 l/s	1.379 \pm 0.69	0.0469	3.9719	FV_Q=110 l/s	-0.120 \pm 0.56	0.832	0.8873
FV_Q = 81 l/s	1.851 \pm 0.63	0.0033	6.3672	FV_Q=81 l/s	0.352 \pm 0.48	0.467	1.4224

4. CONCLUSÃO E DISCUSSÃO

O presente estudo indica que existe influência da condição física (k) do barbo nas diferentes configurações, expressa pela redução de 9.91%, na proporção de tentativa, por cada aumento de 0.1 no valor k . Na motivação a configuração FV_Q = 81 l/s revelou-se duas vezes mais eficiente, relativamente à proporção de tentativa, que as outras configurações. Na ascensão, todas as configurações apresentam em média uma probabilidade de êxito por unidade de tempo de, aproximadamente 80% mais do que FVS_Q = 99 l/s.

Conclui-se que, a configuração que apresenta melhores resultado de motivação e ascensão, para o barbo, é a FV_Q = 81 l/s que apresentava uma $P_v = 222 \text{ W/m}^3$ (o maior valor de turbulência testado entre todas as configurações analisadas). Estes resultados mostram a necessidade de aprofundar esta investigação de forma a compreender com maior detalhe o desempenho de passagem de espécies ibéricas e melhorar as PPP tornando-as em estruturas hidráulicas de elevada eficiência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- European Commission (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for the Community action in the field of water policy. Off. J. Eur. Comm. Legis. 327, 1–72.
- Larinier M. (2001). Environmental issues, dams and fish migration. In Marmulla, G. (ed.), FAO Fisheries Technical Paper 419. Dams, Fish and Fisheries. Opportunities, Challenges and Conflict Resolution. FAO, Rome, 45–89.
- Quaresma, A.L., Romão, F., Branco, P., Ferreira, M.T., Pinheiro, A.N. (2018). Multi slot versus single slot pool-type fishways: A modelling approach to compare hydrodynamics. Ecol. Eng. 122, 197-206
- Romão, F., Quaresma, A. L., Branco, P., Santos, J. M., Amaral, S., Ferreira, M. T., Katopodis, C., Pinheiro, A. N., (2017). Passage performance of two cyprinids with different ecological traits in a fishway with distinct vertical slot configurations. Ecol. Eng. 105, 180–188.
- Santos, J. M., Silva, A., Katopodis, C., Pinheiro, P., Pinheiro, A., Bochechas, J., & Ferreira, M. T. (2012). Ecohydraulics of pool-type fishways: getting past the barriers. Ecological Engineering, 48, 38-50.
- Sanz-Ronda, F.J., Bravo-Córdoba, F.J., Pérez-Fuentes, J.F., Castro-Santos, T. (2016). Ascent ability of brown trout, *Salmo trutta*, and two iberian cyprinids – Iberianbarbel, *Lucobarbus bocagei*, and northern straight-mouth nase, *Pseudochondrostoma duriense* – in a vertical slot fishway. Knowl. Manag. Aquat. Ecosyst. 417, 10.