

## QUAL O MELHOR REGIME DE ESCOAMENTO EM PASSAGENS PARA PEIXES POR BACIAS SUCESSIVAS?

Paulo BRANCO <sup>(1)</sup>; José M. SANTOS <sup>(2)</sup>; Teresa VISEU <sup>(3)</sup>; António N. PINHEIRO <sup>(4)</sup>;  
Teresa FERREIRA <sup>(5)</sup>

### Resumo

A construção de estruturas hidráulicas de retenção de água fragmenta a conectividade longitudinal dos rios. As passagens para peixes têm como objectivo de aumentar a conectividade em sistemas fragmentados. No entanto, tendem a não ser funcionais para espécies com ecologias díspares. O objectivo deste trabalho é estudar o comportamento e a capacidade de duas espécies ecologicamente diferentes (*Luciobarbus bocagei* – taxon bântico e *Squalius pyrenaicus* – taxon de superfície) transporem um modelo à escala real de uma passagem para peixes por bacias sucessivas. Este modelo foi testado com dois tipos de escoamento sobre o descarregador de superfície, livre e afogado, de modo a determinar o tipo de escoamento que potencia o sucesso na transposição da passagem pelas espécies. As duas espécies obtiveram mais sucesso na transposição da passagem para peixes aquando do escoamento afogado, uma vez que este aumenta a área disponível para transposição dos septos ao tornar o descarregador de superfície utilizável por espécies sem capacidade de salto. O escoamento afogado parece assim ser o mais adequado para sistemas onde exista uma grande diversidade de espécies com características e capacidades natatórias distintas.

Palavras-chave: barbo, conectividade longitudinal, escalo, escoamento afogado, escoamento com jacto livre, passagem para peixes por bacias sucessivas

---

<sup>(1)</sup> Doutor em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, email: [pjbranco@isa.ulisboa.pt](mailto:pjbranco@isa.ulisboa.pt), Tel. 213 653 489, Fax. 213 653 338

<sup>(2)</sup> Doutor em Engenharia Florestal, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, email: [jmsantos@isa.ulisboa.pt](mailto:jmsantos@isa.ulisboa.pt), Tel. 213 653 489, Fax. 213 653 338

<sup>(3)</sup> Investigadora Auxiliar, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil 101, 1700-066 Lisboa, email: [tviseu@lnec.pt](mailto:tviseu@lnec.pt), Tel. 218 443 771, Fax. 218 443 016

<sup>(4)</sup> Professor Catedrático, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, email: [antonio.pinho@tecnico.ulisboa.pt](mailto:antonio.pinho@tecnico.ulisboa.pt), Tel. 218 418 148, Fax. 218 499 242

<sup>(5)</sup> Professora Catedrática, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, 1349-017 Lisboa, email: [terferreira@isa.utl.pt](mailto:terferreira@isa.utl.pt), Tel. 213 653 487, Fax. 213 653 338

## 1. INTRODUÇÃO

As passagens para peixes (PPP) têm sido divididas em PPP por bacias sucessivas, PPP de fendas verticais, PPP do tipo Denil e PPP naturalizadas (Katopodis e Williams, 2012). Garantir que o caudal e o correspondente campo de velocidades em qualquer uma destas PPP são adequados para as várias espécies de peixes presentes em cada sistema é difícil, se não mesmo impossível. As PPP por bacias sucessivas são compostas por um canal rectangular com septos que o separam em várias bacias. Estas bacias dividem a altura a ser transposta pelos peixes em pequenos desníveis e permitem uma adequada dissipação de energia entre bacias (Larinier e Marmulla, 2004). Os septos podem ser equipados com dois tipos de aberturas, orifícios de fundo ou descarregadores de superfície, que permitem que os peixes se movimentem de uma bacia para a seguinte. A escolha, por parte do peixe, de um ou outro tipo de abertura depende da sua capacidade natatória e do regime de escoamento (livre ou afogado) que corre através dos descarregadores de superfície (Katopodis, 2005). Numa recente análise da eficiência de PPP, Noonan *et al.* (2012) descobriram que embora as PPP por bacias sucessivas fossem as mais eficientes, para salmonídeos e para não salmonídeos, muitas das PPP existentes não estão construídas de forma a acomodar as capacidades natatórias das várias espécies presentes nos sistemas fluviais. De facto, mesmo PPP que se considerem bem projectadas têm taxas de transposição muito variáveis, devido às capacidades natatórias e comportamento distinto das espécies e dos indivíduos (Hinch e Bratty, 2000; Katopodis, 2005; Katopodis e Gervais, 2012) e ainda do seu estado fisiológico (Pon *et al.*, 2009; Hasler *et al.*, 2011). Estudos de PPP por bacias sucessivas têm dado pouca atenção a espécies pequenas (Wang *et al.*, 2010), como são, em geral, os ciprinídeos (Ovidio e Philippart, 2002), que tendem a ter capacidades natatórias mais limitadas (Santos *et al.*, 2012). A Directiva Quadro da Água (DQA – European commission, 2000) considera, como uma componente essencial do restauro e da gestão fluviais, a possibilidade de migração ininterrupta e passagem efectiva de todas as espécies de peixes, mesmo das espécies com menor capacidade natatória. Existe, portanto, uma necessidade de definir directrizes de construção de PPP mais correctas para aumentar a eficiência e permitir a migração de um maior número de espécies, de modo a construir PPP mais holísticas (Kemp e O’Hanley, 2010; Winter e van Densen, 2001).

O principal objectivo deste trabalho é estudar os movimentos de espécies de ciprinídeos com diferentes características morfoecológicas num modelo à escala real de uma PPP por bacias sucessivas, com orifícios de fundo e com descarregadores de superfície, para dois regimes de escoamento diferentes através dos descarregadores de superfície: livre e afogado. Foram seleccionadas duas espécies, o barbo-comum (doravante barbo) - *Luciobarbus bocagei* (Steidachner, 1864) - uma espécie bântica, e o escalão do Sul (doravante escalão) - *Squalius pyrenaicus* (Günther, 1868) - uma espécie de superfície. Tendo em consideração a ecologia das espécies, é de esperar que o barbo prefira usar o orifício de fundo para realizar os seus movimentos e que o escalão prefira o descarregador de superfície. Espera-se ainda que o regime de escoamento não tenha efeito no número de sucessos do barbo, mas que o escalão tenha um maior número de sucessos no escoamento afogado.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Modelo experimental

As experiências foram conduzidas num modelo à escala real (1:1) de uma passagem para peixes por bacias sucessivas localizado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil. O modelo é constituído por um canal com painéis laterais de acrílico transparente, possibilitando uma visualização de todos os processos que ocorrem no interior do modelo. O canal compreende seis bacias (1,9 m de comprimento X 1,0 m de largura X 1,2 m de altura) separadas por septos de polipropileno compacto com orifícios de fundo e com descarregadores de superfície. Cada septo incorpora um orifício de fundo num dos lados e um descarregador de superfície no outro; a localização dos orifícios e descarregadores alterna entre septos. O declive do canal é de 8,5% sendo a queda entre bacias de 16,2 cm. Detalhes adicionais sobre o modelo e um desenho da estrutura estão incluídos em Branco *et al.* (2012) e Santos *et al.* (2012). Foram testados dois regimes de escoamento (Rajaratnam *et al.*, 1988; Clay, 1995; Ead *et al.*, 2004). De forma a poder caracterizar o campo de velocidades nas bacias da PPP, foram medidas as três componentes da velocidade com um medidor Doppler (Vectrino 3C ADV - Nortek AS). As medições foram feitas num plano horizontal, paralelo ao fundo e próximo da superfície (ca. 78% da altura de água na bacia – *hm*) (Quadro 1), onde se regista maior influência do descarregador de superfície (Branco *et al.* 2013). Foram ainda realizadas medições de velocidade num plano vertical, a meia largura do descarregador de superfície para melhor caracterizar as diferenças entre os dois regimes. De modo a conseguir cobrir toda a área da bacia, foi criada uma rede de pontos (97 – 105 pontos) com menor espaçamento (5 cm) junto aos orifícios e descarregadores e maior espaçamento no centro da bacia (10 - 15 cm). A velocidade em cada ponto foi medida durante 90 s, com uma frequência de 25 Hz. As medições foram feitas na segunda bacia (jusante-montante), que é representativa das condições de escoamento em todas elas, com excepção das bacias extremas. As medições instantâneas de velocidade foram filtradas usando a técnica de Goring e Nikora (2002) modificada por Wahl (2002) através do programa WINADV (Wahl, 2001).

**Quadro 1.** Descrição dos dois regimes de escoamento testados e locais de medição dos valores de velocidade instantânea – Plano horizontal (altura); Plano vertical (distância da parede lateral adjacente ao descarregador). Q – Caudal; *hm* – altura de água média na bacia

Regime de escoamento	Q (l.s <sup>-1</sup> )	Área do orifício de fundo (m <sup>2</sup> )	Largura do descarregador de superfície (m)	<i>hm</i> (m)	Plano horizontal (m)	Plano vertical (m)
Livre	59.3	0.04	0.2	0.9	0.705	0.1
Afogado	78.5	0.04	0.2	1.0	0.782	0.1

## 2.2 Experiências

Foram testados dois regimes de escoamento distintos – livre e afogado (Quadro 1). Cada experiência teve 3 réplicas, sendo cada uma constituída por um cardume de 5 peixes de uma espécie. Tentou-se que cada cardume fosse constituído por peixes com comprimentos semelhantes para evitar fenómenos de dominância. Nestas experiências foram estudadas duas espécies de peixes: *Luciobarbus bocagei* (barbo) como espécie representante de peixes bênticos e *Squalius pyrenaicus* (escaló) como representante de peixes de superfície. Foram testados 30 indivíduos selvagens de cada espécie. Os barbos foram capturados no rio Lizandro e os escalos no rio Jamor. A captura foi feita de acordo com metodologias *standard* de pesca eléctrica (European Committee for Standardization - CEN norma 14011, Março 2003). Após a captura, os peixes foram transportados para o laboratório em arcas contendo água do rio e continuamente arejadas com arejadores portáteis de modo a minimizar o *stress* do transporte para os animais. No laboratório os peixes foram mantidos em tanques de 700 l onde foram aclimatados à temperatura ambiente com fotoperíodo natural durante um mínimo de 48 horas antes de cada ensaio. A alimentação cessou pelo menos 24 h antes de cada ensaio. A qualidade da água foi monitorizada diariamente e substituída cerca de 150 l de água em cada tanque. As experiências foram realizadas durante a Primavera - a época de migração das espécies. Os peixes foram aclimatados na zona mais a jusante da PPP durante 30 min. Após este tempo, um painel de rede, colocado para obstruir o acesso aos orifícios do septo, foi removido e os peixes foram deixados para se moverem livremente sem qualquer constrangimento externo. Cada experiência teve uma duração de 90 min e foi realizada entre o crepúsculo e o início da noite (17 h – 01 h) de modo a reflectir o período natural de migração (Santos *et al.*, 2002, 2005). Cada peixe foi utilizado apenas uma vez e as experiências foram monitorizadas por dois observadores independentes. Foi considerado um movimento para montante sempre que um peixe transpunha completamente o septo no sentido jusante-montante e um sucesso quando um peixe atingia a bacia mais montante da PPP, ou seja quando transpunha o 5º septo no sentido jusante-montante.

## 2.3 Análise de dados

Para testar diferenças no número de movimentos para montante realizados pelas duas espécies em cada regime de escoamento (livre e afogado) e através de cada abertura (orifício de fundo e descarregador de superfície) aplicou-se um teste de proporções baseado em distribuições de Chi-quadrado. O mesmo teste foi aplicado para testar diferenças entre o número de sucessos que cada espécie atingiu em cada um dos regimes de escoamento. Para testar o efeito do regime de escoamento, do tipo de abertura e da sua interacção (regime de escoamento \* tipo de abertura) nos movimentos das duas espécies estudadas realizaram-se testes de PERMANOVA (permutações de resíduos com um modelo reduzido (Anderson e Robinson, 2001)). Este método estatístico é uma técnica não paramétrica com base em permutações facilitando testes de significância mesmo para amostras reduzidas (Walters e Coen, 2006). Testes de Chi-quadrado foram executados no programa MedCalc (Medcalc Software bvba) e teste de PERMANOVA foram realizados no pacote PERMANOVA para PRIMER+v6.0 (Clarke e Gorley, 2006; Anderson *et al.*, 2008).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 PEIXES

Os resultados mostram que as duas espécies usaram os orifícios de forma diferente em cada regime de escoamento. Durante o escoamento com jacto livre, 94% de todos os movimentos para montante foram realizados através do orifício de fundo ( $\chi^2 = 136,189$ ;  $p < 0,0001$ ). Verificou-se que, quando analisados os movimentos para montante realizados durante o escoamento afogado, os peixes preferiram utilizar o descarregador de superfície (57%) em vez do orifício de fundo (43%) ( $\chi^2 = 10,208$ ;  $p < 0,0014$ ). Quando testamos as diferenças relativas ao total de movimentos para montante vemos que também há diferenças em relação ao regime de escoamento, tendo a maioria dos movimentos (74%) ocorrido durante o escoamento afogado ( $\chi^2 = 180,599$ ;  $p < 0,0001$ ). Esta diferença no número de movimentos também se refletiu no número de sucessos, sendo que 74% de todos os sucessos foram atingidos no regime de escoamento afogado.

A análise dos dados de movimentos de cada espécie revelou também diferenças (Quadro 2). Nos barbos o regime de escoamento teve um efeito significativo (PERMANOVA -  $p = 0,01$ ), tendo 80% dos movimentos dos barbos sido efectuados durante o escoamento afogado. O efeito do tipo de abertura não teve um efeito significativo (PERMANOVA -  $p = 0,27$ ), tendo o número de movimentos de barbos efectuados através do orifício de fundo (62%) e através do descarregador (38%) sido considerados semelhantes. Este facto fez com que a interação, regime de escoamento \* tipo de abertura, fosse também não significativa (PERMANOVA -  $p = 0,54$ ). Nos ensaios realizados com jacto livre os barbos mostraram preferência pelo orifício de fundo ( $\chi^2 = 64,474$ ;  $p < 0,0001$ ) através do qual foram realizados 97% dos movimentos. No entanto, durante o escoamento afogado estes peixes dividiram quase igualmente os seus movimentos pelos dois tipos de abertura ( $\chi^2 = 1,571$ ;  $p = 0,21$ ), tendo realizado 54% dos movimentos através do orifício e 46% através do descarregador. O descarregador foi utilizado pelo barbo para os seus movimentos para montante quase exclusivamente durante o escoamento afogado ( $\chi^2 = 132,250$ ;  $p < 0,0001$ ) uma vez que 99% de todos os movimentos através do descarregador foram efectuados neste regime. De facto, quando testamos as diferenças no número de vezes que um barbo atingiu o final da PPP (sucesso) vemos que o escoamento afogado potencia uma maior taxa de sucesso (76%) em relação ao regime livre ( $\chi^2 = 32,508$ ;  $p < 0,0001$ ). Nos escalos o padrão de movimentos é ligeiramente diferente. Para além do efeito significativo que o tipo de regime de escoamento teve nos movimentos (PERMANOVA -  $p = 0,008$ ), sendo o escoamento afogado responsável pela maioria dos movimentos (68%), e do tipo de abertura não ter tido um efeito significativo (PERMANOVA -  $p = 0,79$ ) uma vez que os peixes dividiram os seus movimentos pelo orifício de fundo (51%) e pelo descarregador de superfície (49%), a interação (regime de escoamento \* tipo de abertura) foi significativa (PERMANOVA -  $p = 0,006$ ) o que indica que o tipo de escoamento afectou os movimentos de forma diferente dependendo do tipo de abertura no septo. De facto, quando analisamos apenas o escoamento com jacto livre verificamos uma preferência dos escalos pelo orifício de fundo (93%) ( $\chi^2 = 95,559$ ;  $p < 0,0001$ ), mas durante o regime de escoamento afogado preferiram o descarregador de superfície (68%) ( $\chi^2 = 36,126$ ;  $p < 0,0001$ ). A maioria dos movimentos do escalo através do descarregador de superfície foram efectuados durante o regime de escoamento afogado (95%) ( $\chi^2 = 164,349$ ;  $p < 0,0001$ ), traduzindo-se numa maior taxa de sucesso no

escoamento afogado (78%) do que no escoamento com jacto livre (22%) ( $\chi^2 = 27,174$ ;  $p < 0,0001$ ).

**Quadro 2.** Número de movimentos para montante efectuados por cada espécie através do orifício de fundo e do descarregador de superfície e número de sucessos (número de vezes que um peixe atingiu o topo da passagem para peixes) nos dois regimes de escoamento testados.

Espécies	Regime de escoamento	Orifício de Fundo	Descarregador de superfície	Total	Sucessos
Barbo	Livre	37	1	38	15
	Afogado	71	83	154	48
Chub	Livre	63	5	68	10
	Afogado	46	98	144	36

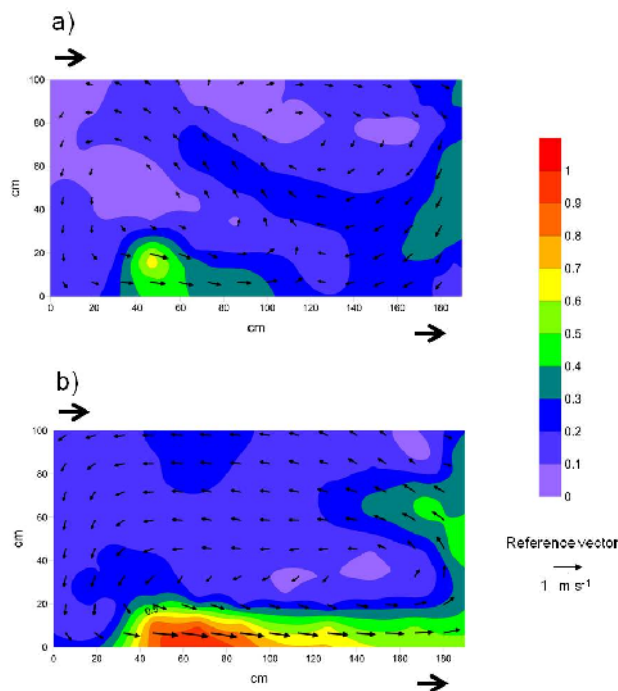
### 3.2 HIDRÁULICA

A Figura 1 mostra as isolinhas e vectores de velocidade do plano horizontal dominado pelo descarregador de superfície. No regime de escoamento com jacto livre pode distinguir-se um pico de velocidade ( $0,66 \text{ m.s}^{-1}$ ) resultante da queda de água que cria um jacto no sentido jusante que é interrompido pela corrente dominante (sentido montante) na bacia ( $0,2 - 0,3 \text{ m.s}^{-1}$ ). No regime de escoamento afogado o padrão de circulação foi diferente notando-se um jacto contínuo desde o descarregador de superfície até ao septo oposto (velocidade máxima de  $0,99 \text{ m.s}^{-1}$ ), sendo que o resto da bacia é ocupado por uma corrente de recirculação ( $0,1 - 0,3 \text{ m.s}^{-1}$ ). A Figura 2 mostra as isolinhas e vectores de velocidade do plano vertical dominado pelo descarregador de superfície. No escoamento com jacto livre, é possível observar dentro da bacia uma corrente ascendente na periferia do jacto. O diagrama de velocidades do escoamento afogado permite verificar que nesta situação toda a corrente ao longo da bacia e em toda a coluna de água tem o mesmo sentido (jusante). As velocidades observadas para o escoamento afogado atingiram valores mais elevados como resultado directo do caudal mais elevado, e da conseqüente maior carga hidráulica, que este regime de escoamento necessita para ser atingido.

### 4. DISCUSSÃO

Espécies de peixes diferentes têm capacidades natatórias e preferências hidráulicas distintas (Videler e Wardle, 1991; Katopodis e Gervais, 2012) como resultado de morfologias (Chan, 2001) e ecologias diferentes. Analisaram-se os movimentos e os sucessos de transposição por duas espécies de peixes com morfologias e ecologias diferentes num modelo à escala real de uma PPP por bacias sucessivas com regimes de escoamento distintos (livre e afogado). Este estudo, contrariamente a outros realizados no meio natural, por ser levado a cabo num ambiente controlado, permitiu manipular as variáveis de interesse, mantendo as outras variáveis constantes ao longo da experiência (Kondratieff e

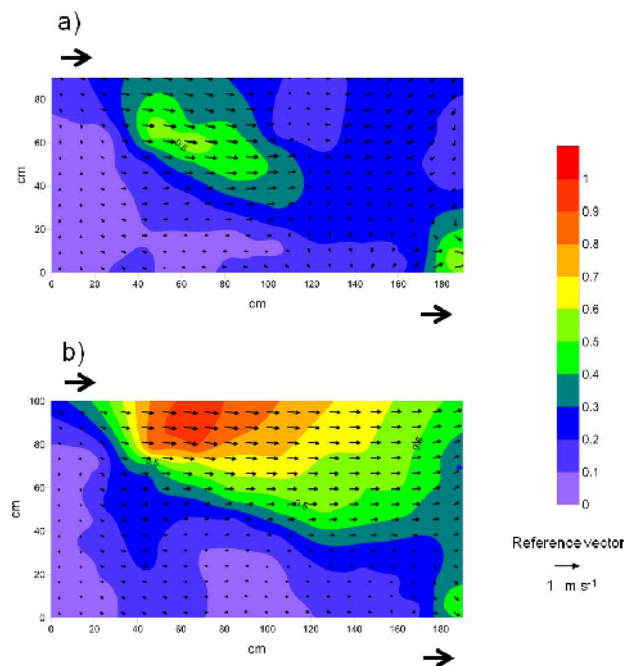
Myrick, 2005). A importância deste estudo é ainda reforçada pelo facto de a maioria dos estudos em PPP deste tipo não abordar o escoamento afogado, focando-se exclusivamente no regime mergulhante (Katopodis e Williams, 2012). No desenvolvimento e implementação de PPP há uma preocupação crescente sobre a adequabilidade das estruturas para um número alargado de espécies e, ao testar duas espécies com características tão díspares, este estudo contribui para a criação e desenvolvimento de PPP técnicas de carácter mais holístico ou multi-específicas.



**Figura 1.** Diagrama com isolinhas e vectores de velocidade da água (resultante -  $V_{xyz}$ ) no plano de água horizontal dominado pelo descarregador de superfície. a) Regime de escoamento com jacto livre; b) Regime de escoamento afogado. As setas fora do diagrama representam os locais de entrada e de saída de água.

Em termos de velocidade da água, ambos os regimes testados apresentaram padrões de velocidade adequados às espécies estudadas, por serem compatíveis com as suas capacidade de natação (Mateus *et al.*, 2008; Romão *et al.*, 2012). Na maior parte da bacia, a velocidade nunca ultrapassou  $0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (apenas atingindo valores mais elevados junto às aberturas dos septos). A quase totalidade dos movimentos das duas espécies, durante o regime mergulhante, foi efectuada pelo orifício de fundo, o que demonstra que durante o regime de escoamento com jacto livre o descarregador de superfície é uma abertura que não está disponível para ser usada por estas espécies não saltadoras (Bunt, 2001). Ficke *et al.* (2011) concluíram que PPP que obriguem os peixes a ter que transpor (saltar) alturas superiores a 10 cm não permitem uma transposição significativa por parte de espécies pequenas e com uma limitada capacidade de salto. Por outro lado, Stuart (1962) num estudo experimental numa PPP por bacias sucessivas a operar num regime de escoamento com jacto livre, encontrou um padrão diferente e demonstrou que salmões do Atlântico

(*Salmo salar* Linnaeus, 1758) preferem usar o descarregador de superfície em detrimento do orifício de fundo. Os resultados dos movimentos efectuados durante o regime de escoamento afogado tornam evidente que este regime torna o descarregador de superfície uma abertura útil para a transposição dos septos, aumentando assim a área de abertura disponível o que fez com que, contrariamente ao inicialmente suposto, ambas as espécies atingissem um maior número de vezes o topo da PPP, aumentando assim o sucesso de transposição. Verifica-se também que a ecologia afecta o modo como os peixes optam por transpor os septos: os barbos, mais orientados para o fundo, durante o escoamento afogado, e tendo por isso o descarregador disponível, dividiram os seus movimentos pelos dois tipos de abertura (o que não se verificou no escoamento com jacto livre). Por outro lado, os escalos, mais orientados para a superfície, preferiram claramente utilizar durante o escoamento afogado o descarregador de superfície (não se verificando o mesmo durante o escoamento com jacto livre). Os resultados hidráulicos suportam os resultados biológicos sobretudo porque durante o regime de escoamento com jacto livre, este é interrompido, limitando a atracção e a orientação dos peixes para montante. Este padrão altera-se durante o regime de escoamento afogado, onde a corrente que tem origem no descarregador cria um jacto ininterrupto até ao septo contrário. Este padrão é ainda mais notório no plano vertical, em que há uma continuidade da corrente ao longo da bacia e em toda a coluna de água, mantendo os peixes permanentemente atraídos e orientados para montante.



**Figura 2.** Diagrama com isolinhas e vectores de velocidade da água (resultante -  $V_{xyz}$ ) no plano de água vertical dominado pelo descarregador de superfície. a) Regime de escoamento com jacto livre; b) Regime de escoamento afogado. As setas fora do diagrama representam os locais de entrada e de saída de água.



O escoamento afogado em PPP por bacias sucessivas com descarregadores de superfície e orifícios de fundo mostrou ser o regime mais adequado às espécies estudadas que são ecologicamente e morfologicamente diferentes. Este escoamento cria um campo de velocidades dentro das bacias que é mais propício aos movimentos para montante das duas espécies e aumenta a área disponível para transposição. É então um regime de escoamento adequado a sistemas em se encontrem espécies com características morfoecológicas variadas. Este resultado deve ser tido em conta aquando do desenvolvimento e construção de novas PPP, tentando garantir que mesmo com caudais reduzidos, se obtenham escoamentos sem jacto livre. Estudos futuros devem também focar-se no comportamento de outras espécies não salmonícolas em PPP por bacias sucessivas, para garantir que todas as espécies presentes num dado sistema consigam transpor a PPP.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a André Fabião pela ajuda na captura e transporte dos peixes. Os autores gostariam ainda de agradecer a Susana Amaral, Miguel Monteiro, Ana Sofia Alves e Gonçalo Duarte pela sua colaboração durante as experiências. Este estudo foi suportado financeiramente pelo projecto FISHMOVE (PTDC/AGR-CFL/117761/2010) financiado pela Fundação Ciência e Tecnologia (FCT). Paulo Branco foi financiado por uma bolsa de doutoramento financiada pela FCT (SFRH/BD/44938/2008).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson M.J., Robinson J. (2001). Permutation tests for linear models. *Australian and New Zealand Journal of Statistics* 43, 75-88.
- Anderson M.J., Gorley R.N., Clarke K.R. (2008). *PERMANOVA? For PRIMER: guide to software and statistical methods*. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- Branco P., Boavida I., Santos J.M., Pinheiro A., Ferreira M.T. (2012). Boulders as building blocks: improving habitat and connectivity for river fish. *Ecohydrology* 6(4), 627-634.
- Branco P., Santos J.M., Katopodis C., Pinheiro A., Ferreira M.T. (2013). Effect of flow regime hydraulics on passage performance of Iberian chub in an experimental pool-and-weir fishway. *Hidrobiologia* 714(1), 145-154.
- Bunt C.M. (2001). Fishway entrance modifications enhance fish attraction. *Fish Management and Ecology* 8, 95-105.
- Chan M.D. (2001). *Fish ecomorphology: predicting habitat preferences of stream fishes from their body shape*. PhD Dissertation, Virginia Tech. Blacksburg, VA.
- Clay C.H. (1995). *Design of Fishways and Other Fish Facilities*. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida.

- 
- Ead S.A., Katopodis C., Sikora G.J., Rajaratnam N. (2004). Flow regimes and structure in pool and fishways. *Journal of Environmental Engineering and Science* 3, 379–390.
- Clarke K.R., Gorley R.N. (2006). *PRIMER v6: User manual/ tutorial*. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- 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. Official Journal of the European Commission – Legis 327: 1–72.
- European Committee for Standardization (2003). CEN, Water quality – Sampling of fish with electricity. Document EN 14011:2003 E, 2003. The European Commission – Legis. 327: 1–72.
- Ficke A.D., Myrick C.A., Jud N. (2011). The Swimming and Jumping Ability of Three Small Great Plains Fishes: Implications for Fishway Design. *Transactions of the American Fisheries Society* 140(6), 1521-1531
- Goring D.G., Nikora V.I. (2002). Despiking acoustic Doppler velocimeter data. *Journal of Hydraulic Engineering* 128, 117–126.
- Hasler C.T., Donaldson M.R., Sunder R.P.B., Guimond E., Patterson D.A., Mossop B., Hinch S.G., Cooke S.J. (2011). Osmoregulatory, metabolic, and nutritional condition of summer-run male Chinook salmon in relation to their fate and migratory behavior in a regulated river. *Endangered Species Research* 14, 79–89.
- Hinch S.G., Bratty J.M (2000). Effects of swim speed and activity pattern on success of adult sockeye salmon migration through an area of difficult passage. *Transactions of the American Fisheries Society* 129, 604–612.
- Katopodis C. (2005). Developing a toolkit for fish passage, ecological flow management and fish habitat works. *IAHR Journal of Hydraulic Research* 43, 451-467.
- Katopodis C., Gervais R. (2012). Ecohydraulic analysis of fish fatigue data. *River Research and Applications* 28, 444–456. DOI: 10.1002/rra.1566
- Katopodis C., Williams J.G. (2012). The development of fish passage research in a historical context. *Ecological Engineering* 28, 407-417. DOI: 10.1002/rra.1551
- Kemp P.S., O’Hanley J.R. (2010). Procedures for evaluating and prioritising the removal of fish passage barriers: a synthesis. *Fisheries Management and Ecology* 17, 297–322.
- Kondratieff M.C., Myrick C.A. (2005). Two adjustable waterfalls for evaluating fish jumping performance. *Transactions of the American Fisheries Society* 134(2), 503–508.
- Larinier M., Marmulla G. (2004). Fish passes: types, principles and geographical distribution an overview. In *Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries*, 11–14 February 2000, Kingdom of Cambodia pp. 183-205.
- Mateus C.S., Quintella B.R., Almeida P.R. (2008). The critical swimming speed of Iberian Barbel *Barbus bocagei* in relation to size and sex. *Journal of Fish Biology* 73, 1783-1789.
- Noonan M.J., Grant J.W., Jackson C.D. (2012). A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries* 13, 450-464.

- 
- Ovidio M., Phillipart J.C. (2002). The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish. *Hydrobiologia* 483, 55–69.
- Pon L.B., Hinch S.G., Cooke S.J., Patterson D.A., Farrell A.P. (2009). 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* 74, 1323–1336.
- Rajaratnam N., Katopodis C., Mainali A. (1988). Plunging and streaming flows in pool and weir fishway. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 114, 939–944.
- Romão F., Quintella B.R., Pereira T.J., Almeida P.R. (2012). Swimming performance of two Iberian cyprinids: the Tagus nase *Pseudochondrostoma polylepis* (Steindachner, 1864) and the bordallo *Squalius carolitertii* (Doadrio, 1988). *Journal of Applied Ichthyology* 28(1), 26-30.
- Santos J.M., Ferreira M.T., Godinho F.N., Bochechas J. (2002). Performance of fish lift recently built at the Touvedo dam on the Lima River, Portugal. *Journal of Applied Ichthyology* 18, 118-123.
- Santos, J. M., M. T. Ferreira, F. N. Godinho & J. Bochechas, 2005. Efficacy of a nature-like bypass channel in a Portuguese lowland river. *Journal of Applied Ichthyology* 21: 381–388.
- Santos J.M., Silva A.T., Katopodis C., Pinheiro P.J., Pinheiro A.N., Bochechas J., Ferreira M.T. (2012). Ecohydraulics of pool-type fishways: getting past the barriers. *Ecological Engineering* 48, 38-50.
- Stuart T.A. (1962). The leaping behaviour of salmon and trout at falls and obstructions. *Freshwater and Salmon Research* 28, 1-46.
- Videler J.J., Wardle C.S. (1991). Fish swimming stride by stride: speed limits and endurance. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 1, 23-40.
- Videler J.J. (1993). *Fish swimming*. Chapman and Hall, London, New York.
- Wahl T.L. (2001). WINADV. A free-ware software program for the analysis of ADV data. Bureau of Reclamation Water Resources Research Laboratory, Denver, Colorado.
- Wahl T.L. (2002). Discussion of "Despiking Acoustic Doppler Velocimeter Data". *Journal of Hydraulic Engineering* 129, 484-487.
- Walters K., Coen L.D. (2006). A comparison of statistical approaches to analyzing community convergence between natural and constructed oyster reefs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 330, 81-95.
- Winter H.V., van Densen W.L.T. (2001). Assessing opportunities for upstream migration of non-salmonid fishes in the weir-regulated River Vecht. *Fisheries Management and Ecology* 8, 513–532.