

## NOVAS FORMAS DE APROVEITAMENTO DE AÇUDES TRADICIONAIS, AUMENTANDO A SUA PERMEABILIDADE À MIGRAÇÃO PISCÍCOLA. O CASO DO MOINHO-AÇUDE DE CURALHA

Joaquim de JESUS<sup>1</sup>; Amílcar TEIXEIRA<sup>2</sup>; Simone VARANDAS<sup>3</sup>; Samantha HUGHES<sup>4</sup>; Vítor PEREIRA<sup>5</sup>; Cátia SANTOS<sup>6</sup>; Marisa LOPES<sup>7</sup>; Isabel BESSA<sup>8</sup>; Tiago ASSUNÇÃO<sup>9</sup>; Rui CORTES<sup>10</sup>

<sup>1</sup> Mestre, Laboratório de Ecologia Fluvial, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, [jjesus@utad.pt](mailto:jjesus@utad.pt)

<sup>2</sup> Professor Coordenador, CIMO, Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, [amilt@ipb.pt](mailto:amilt@ipb.pt)

<sup>3</sup> Professora Auxiliar, CITAB, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, [simonev@utad.pt](mailto:simonev@utad.pt)

<sup>4</sup> Post-Doc, CITAB, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, [shughes@utad.pt](mailto:shughes@utad.pt)

<sup>5</sup> Eng<sup>o</sup>, Laboratório de Ecologia Fluvial, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, [vpereira@utad.pt](mailto:vpereira@utad.pt)

<sup>6,7,8,9</sup> Mestre, Laboratório de Ecologia Fluvial, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, <sup>6</sup>[cfsantos@utad.pt](mailto:cfsantos@utad.pt), <sup>7</sup>[molopes@utad.pt](mailto:molopes@utad.pt), <sup>8</sup>[isabelb@utad.pt](mailto:isabelb@utad.pt), <sup>9</sup>[tiagoa@utad.pt](mailto:tiagoa@utad.pt)

<sup>10</sup> Professor Catedrático, CITAB, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, [rcortes@utad.pt](mailto:rcortes@utad.pt)

### Resumo

A conectividade fluvial e piscícola no rio Tâmega encontra-se prejudicada devido à elevada fragmentação provocada por uma sucessão de pequenos açudes ao longo do seu curso, que à semelhança do açude de Curalha promovem a descontinuidade fluvial, para as espécies potamódromas presentes. O presente projeto, estabelecido para este açude e respetivo moinho de água, pretende exemplificar um caso de adaptação de um sistema electroprodutor num moinho tradicional, conferindo-lhe nova função económica e social, assim como o restabelecimento da conectividade fluvial e piscícola naquele importante e sensível setor do Tâmega através da implantação de um Sistema de Transposição para Peixes Naturalizado (STP), complementado com uma inovadora barreira comportamental acústica repulsiva, localizada junto da tomada de água das turbinas, minimizando assim a mortalidade dos peixes naquelas estruturas hidráulicas. Foram também propostas medidas de restabelecimento e conservação das galerias ripícolas e estabilização das margens, promovendo a melhoria das condições de ensombramento, abrigo e alimento, além de estabelecer a diversidade paisagística e valorização cénica da paisagem.

Trata-se de um sustentável desafio e um bom exemplo da mudança de paradigma que se impõe aos novos empreendedores, respeitando assim os valores arquitetónicos e naturais que importa preservar. Por outro lado será estratégico repensar a gestão das reservas de água perante os novos desafios das alterações climáticas e nomeadamente as reservas de proximidade e de pequenas dimensões, em que a minimização de impactos se apresenta mais eficaz.

**Palavras-chave:** Conectividade fluvial, Sistema de transposição para peixes, Barreira comportamental acústica, Galeria ripícola, Ictiofauna.

**Tema:** Qualidade da água e dos ecossistemas.

## 1. INTRODUÇÃO

O moinho tradicional hidráulico para a moagem de cereais, com registos na civilização europeia desde o Séc. I a.C. (Oliveira et al 1983) constituiu um ambicioso processo tecnológico evolutivo, com o abandono do processo mecânico de força animal e a utilização do recurso natural água, para a produção de energia (Usher, 1973)

A importância estratégica do serviço de ecossistemas proporcionados pelas linhas de água em espaços de montanha, quer para a agricultura/pecuária, quer para atividades transformadoras como a moagem, alterou-se profundamente nas últimas décadas. Assim, o processo gradual de desertificação das zonas do interior, incluiu o abandono das atividades tradicionais ligadas à energia hidráulica, resultando num conjunto de estruturas obsoletas que importa reavaliar.

O Dec. Lei 49/2015 de 10 de abril estabelece o regime especial aplicável à adaptação de moinhos ou outras infraestruturas hidráulicas para a produção de energia hidroelétrica, permitindo reabilitar um valioso património local disperso, ambientalmente integrado, potenciando ainda a dinamização de áreas rurais atualmente abandonadas, desde que salvaguardados os valores naturais e as condições de conectividade fluvial existentes.

O açude de Curalha encontra-se verdadeiramente encastrado entre o açude junto à ETAR de Chaves (a cerca de 1500m a montante) e o açude de Moure (a cerca de 1500m a jusante), sendo que qualquer destas estruturas promovem a descontinuidade fluvial, constituindo barreiras efetivas à migração das espécies potamódromas presentes.

As condicionantes referidas relativamente à fragmentação do rio Tâmega, são ainda amplificadas com a perda de habitat imposta pelo Projeto Hidroelétrico do Tâmega, agora em construção, tornam especialmente importante estes setores que se estendem para montante do NPA da futura albufeira do Alto Tâmega, com 466 ha de área inundada, devendo equacionar-se o estabelecimento da continuidade genética das comunidades piscícolas, assim como os fluxos migratórios que permitam a procura de zonas de alimentação, reprodução e abrigo.

O presente projeto, estabelecido para o açude e moinho de água de Curalha, pretende exemplificar um caso de adaptação de um moinho tradicional, conferindo-lhe nova função económica e social, assim como o restabelecimento da conectividade fluvial e piscícola naquele importante e sensível setor do Tâmega, assim como a implementação de um Sistema de Transposição para Peixes Naturalizado. De forma complementar, foram propostas medidas de minimização e salvaguarda das espécies piscícolas na tomada de água com o sistema inovador repulsivo acústico (barreira comportamental para peixes), assim como o restabelecimento e conservação das galerias ripícolas e estabilização das margens, promovendo a melhoria das condições de ensombramento, abrigo e alimento, além de estabelecer a diversidade paisagística e valorização cénica da paisagem

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O Projeto que nos propusemos realizar compreende a instalação de uma mini-hídrica – conversão de moinho em produtor de eletricidade, no rio Tâmega, local e freguesia de Curalha em Chaves. O açude é uma infraestrutura de reduzida dimensão com cerca de 1,4

metros de desnível em rampa, entre planos de água inferior e superior, com um comprimento de cerca de 60 m entre margens (Figura 1). O projeto não prevê qualquer alteração das condições de represamento, ou interferência exterior nos elementos atualmente construídos, nomeadamente o moinho ou o açude.



Figura 1: Foto do moinho e o respetivo açude

O edifício do moinho existente destinava-se à moagem de cereais e a sua capacidade compreendia 5 mós de farinação. A adaptação do moinho à produção hidroelétrica inclui a substituição das 5 mós (mantendo os pousios) por 5 suportes de gerador, com acoplamento a geradores assíncronos e a utilização da tomada de água e restituição do moinho original. A estimativa de produção de energia será da ordem dos 0,54GWh.

Mercê da reduzida capacidade de armazenamento da albufeira, as modificações introduzidas pelo turbinamento são limitadas, quer seja um ou os 5 grupos geradores em funcionamento. Na verdade quanto maior o caudal (exceto em situação de ponta com afogamento superfície inferior) maior o nº de grupos em funcionamento pelo que a carga hidráulica (altura da coluna de água) no início do dispositivo é pouco variável (os valores rondam os 0,30 m).

Considerando que os caudais de chegada influenciam os caudais turbinados (sistema a fio de água) e que a diferença de cotas entre o açude e a tomada de água é de 0,10m, poderemos concluir, que numa situação de reduzido caudal, teríamos um caudal turbinado de cerca 0,35 m<sup>3</sup>/s. Este caudal, utilizado no cenário mais crítico, não afetará o funcionamento do STP, na medida em que o histórico de caudais registados no rio Tâmega, na hidrométrica de Curalha (Curalha 03L/02H - Fonte: SNIRH), apresenta valores de caudais médios diários muito superiores, nomeadamente nos meses de migração dos ciprinídeos

No âmbito do licenciamento do presente projeto, foram identificadas, através de parecer do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF), um conjunto de medidas a implementar, nomeadamente: o restauro do estado de conservação das galerias ripícolas, conectividade fluvial e piscícola, bem como medidas de minimização de mortalidade associada ao circuito hidráulico.

No sentido de dar resposta às medidas solicitadas, foi delineado um conjunto de ações integradas de forma a corresponder à sensibilidade ecológica dos aspetos abordados:

## 2.1 Caracterização das comunidades piscícolas do rio Tâmega

A caracterização das comunidades piscícolas presentes no troço do rio Tâmega constitui um dos aspetos fundamentais no sentido do delineamento das propostas de intervenção, quer ao nível das condicionantes relacionadas com o sistema de transposição, quer ao nível das medidas de proteção na tomada de água.

A amostragem, com recurso à pesca elétrica, percorreu os habitats presentes na tentativa de obter resultados representativos das comunidades presentes. Os resultados obtidos podem-se observar nos Gráficos 1 a 3:

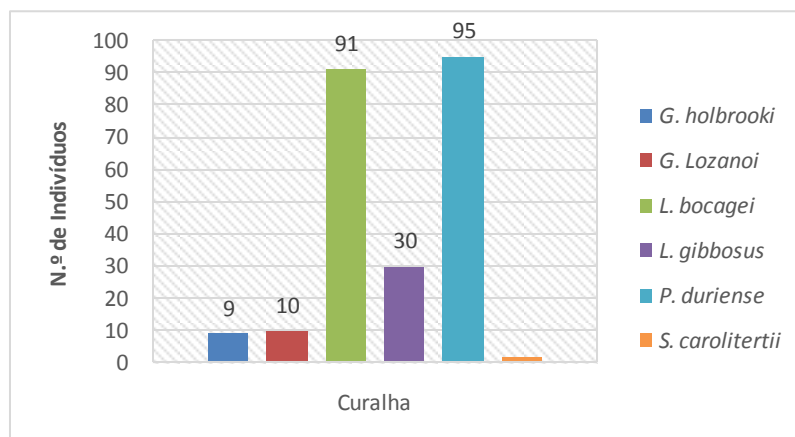


Figura 2: Abundância das espécies piscícolas presentes.

Foram capturadas as espécies autóctones: *Pseudoschondrostoma duriense* (boga), *Luciobarbus bocagei* (barbo), *Squalius carolitertii* (escalo) e as espécies exóticas: *Lepomis gibbosus* (perca-sol), *Gobio lozano* (góbio), *Gambusia holbrooki* (gambúsia). De referir também que a amostragem coincidiu com um fluxo migratório da boga e do barbo, literalmente condicionado pela presença do açude, verificando-se uma maior abundância à medida que as capturas se aproximavam a jusante daquela estrutura. Esta constitui, na verdade, uma barreira à migração destas espécies para os habitats de reprodução, dado que não existe atualmente qualquer sistema de transposição para montante/jusante. Considerando particularmente as espécies nativas boga e barbo, é possível analisar em detalhe, nos Gráficos 2 e 3, a sua frequência de distribuição por classes de tamanho:



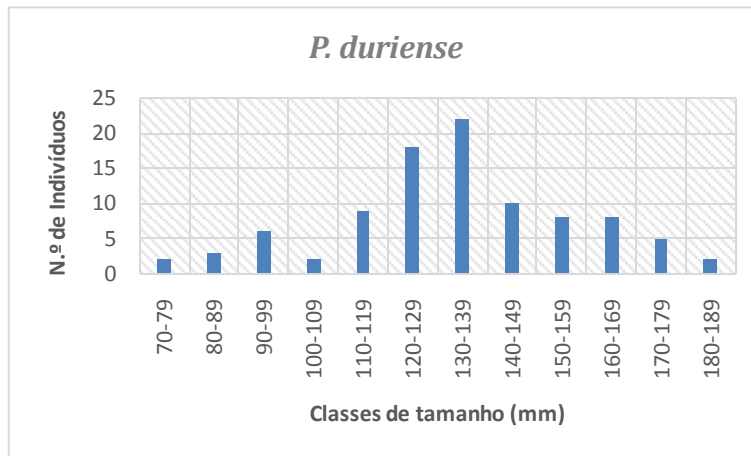


Figura 3: Classes de tamanho da espécie boga

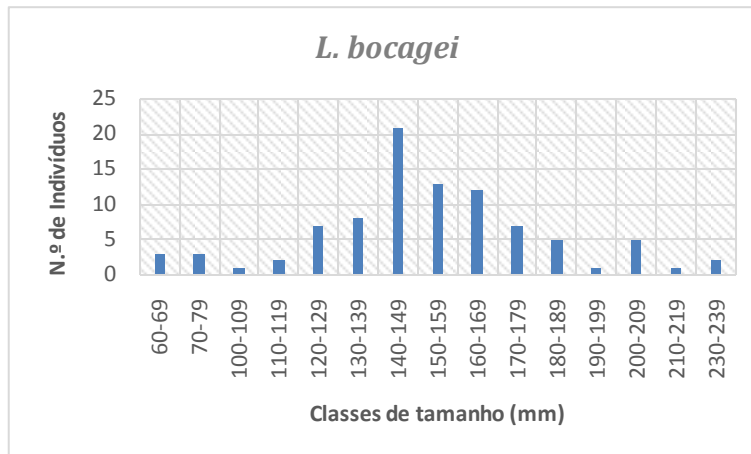


Figura 4: Classes de tamanho da espécie barbo

É possível observar uma elevada amplitude classes de tamanho. É possível assim associar as classes de tamanho à presença de indivíduos em fluxo migratório reprodutor, nomeadamente um pico nas classes de tamanho entre os 12cm e os 18cm para a espécie boga e 12cm a 17cm para o barbo.

## 2.2 Sistema de Transposição para Peixes Naturalizado

O presente estudo considera para o açude de Curalha a implementação de um sistema de transposição para peixes especialmente adaptado às espécies ciprinícolas presentes.

De forma a permitir a migração de peixes entre o nível superior e inferior do açude propõe-se a integração de um Sistema de Transposição para Peixes (STP) naturalizado, do tipo rápido-remanso em rampa, com declive entre 5% e 10%.

O STP (Figura 4) terá uma superfície rugosa, com seixos cravados na rampa e alguns blocos rochosos salientes ao plano de água. A inserção de blocos pretende aumentar a rugosidade hidráulica e aumentar a dissipação de energia, calculada pela fórmula de Darcy-Wiesbach em  $136.64 \text{ Wm}^3/\text{s}$ , propiciando velocidades aceitáveis para as espécies, nem muito baixas, para criar atratividade, nem muito altas de modo a não ultrapassarem as suas capacidades natatórias (velocidade de ponta).

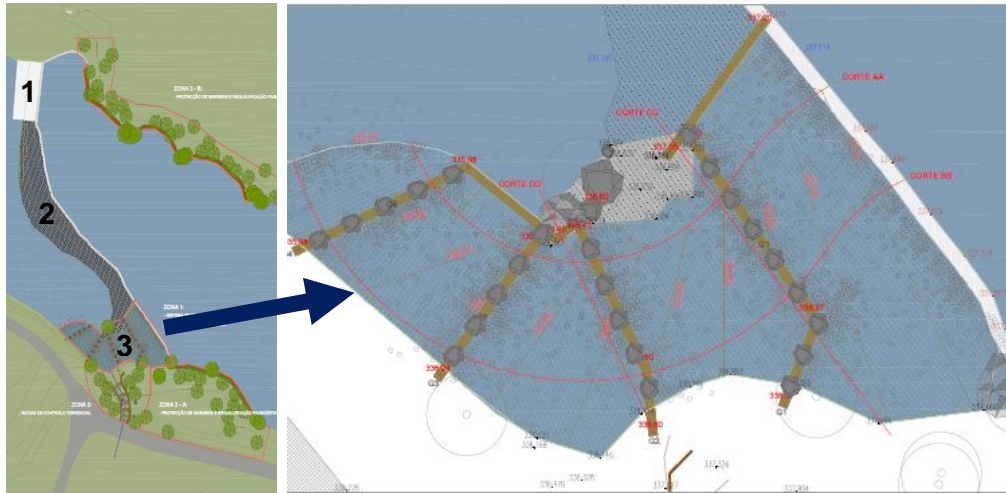


Figura 4: Moinho (1), açude (2) e STP(3) (esquerda) e pormenor do SPT (direita)

A Tabela 1 resume os dimensionamentos das variáveis consideradas.

Dimensão dos blocos ( $D_s$ )	0,3-0,4 m (depende/profundidade)
Distância longitudinal entre blocos ( $L$ )	3,5 m
Distância transversal entre blocos	0,45-0,60 m
Desnível entre lâminas ( $\Delta h$ )	0,15 m
Materiais do leito da rampa ( $D_{sr}$ )	0,12-0,15 m
Declive da rampa ( $i$ )	5-10 %

Tabela 1: Dimensionamento dos vários materiais naturais a colocar na rampa

O sistema proposto, não só possibilita a transposição do obstáculo, como também, promove a diversidade de condições ambientais, permitindo a passagem em ambos os sentidos e a utilização também por parte de outros organismos da fauna aquática. O desenho da rampa tem um perfil desnivelado tanto longitudinal como transversal, o que permitirá um gradiente suave entre zonas de maior e menor profundidade. A implantação sinuosa e meanderizada da rampa, adaptada às condições topográficas existentes, permite também criar zonas de distintas velocidades de corrente, para afeiçãoamento das espécies aí existentes, diminuindo a sua seletividade relativamente às espécies presentes.

A localização proposta e a integração da estrutura em rampa, volumetricamente abaixo do nível do plano de água e encaixada nos afloramentos rochosos existentes, permitem que o dispositivo evidencie impactes visuais reduzidos, ou mesmo nulos, face à situação atual.

Deste modo, o dimensionamento do dispositivo foi feito de modo a contemplar, do ponto de vista hidráulico, as necessidades destas espécies, potenciando o sucesso para a sua

progressão reprodutora, permitindo assim o contínuo genético necessário para a salvaguarda da biodiversidade.

### 2.3 Barreira comportamental acústica

As infraestruturas hidráulicas transversais (diques, açudes, barragens) perturbam a conectividade dos rios e impõem severas restrições às migrações de peixes, nomeadamente em comunidades de peixes diádromas e potamodromas (Noatch & Sushi, 2012). Por outro lado, órgãos hidráulicos e principalmente as tomadas de água e adutores das turbinas hidroelétricas causam elevada mortalidade nas comunidades piscícolas, nomeadamente quando sujeitas a mudanças bruscas na pressão, cavitação, forças de cisalhamento, turbulência e choque mecânico (Becker et al., 2003).

As barreiras comportamentais para peixes, baseadas em estímulos repulsivos como a acústica, a luz ou o campo elétrico (Noatch & Sushi, 2012) têm sido testadas com sucesso na minimização da mortalidade de várias espécies, nomeadamente com o efeito repulsivo que exercem nos peixes para o seu afastamento dos órgãos hidráulicos de açudes e barragens (Abernethy et al., 2001). A sua utilização pode ser estendida à proteção de populações nativas em fluxos migratórios, através do seu encaminhamento para habitats de substituição ou passagens para peixes (Coutant & Whitney, 2000).

No presente estudo é proposta a instalação de uma inovadora barreira comportamental acústica com a utilização da frequência modular SweepUp (0 - 2000Hz) na zona de tomada de água, evitando assim que os fluxos migratórios para jusante, nomeadamente os que são protagonizados pelos juvenis, não utilizem os órgãos hidráulicos da mini-hídrica, ocasionando um efeito de repulsa e fuga dos peixes das zonas perigosas. Esta proposta específica tem por base o estudo realizado durante 2 anos na estação aquícola de Castrelos - projeto PISCIS (2012), em que foram testados vários estímulos acústicos em 2 espécies nativas presentes no açude de Curalha: boga e barbo.

A barreira comportamental inclui um sistema de som subaquático, amplificador/equalizador, hidrofone e reproduzidor seletivo de frequências acústicas.

Esta tecnologia, baseada no comportamento repulsivo dos peixes, permite de forma seletiva adaptar e utilizar o estímulo acústico de acordo com as sensibilidades acústicas/auditivas das espécies presentes. Os resultados indicam de forma evidente que a frequência acústica proposta produz efeitos repulsivos nas espécies estudadas e presentes no açude de Curalha, permitindo assim o seu afastamento da zona de tomada de água e o seu encaminhamento para o STP localizado no lado oposto

O sistema requer ainda um programa de monitorização de avaliação de eficácia, a estabelecer por um período de 3 anos, findo os quais será reavaliado.

### 2.4 Intervenção na faixa ribeirinha

O corredor ripário apresenta uma extensão transversal variável, sendo essencial a sua presença ao longo das margens para garantir a sua estabilidade. A reduzida expressão que apresenta atualmente a cortina ribeirinha nesta zona (essencialmente *Alnus glutinosa*, amieiro, e *Salix spp*, várias espécies de salgueiros) motivam a sua densificação, também no

sentido de limitar a provável expansão de espécies invasoras, as quais, por si só, podem também alterar a morfologia do canal.

O restabelecimento da cortina ripária e consolidação das margens revelam grande importância para o ecossistema aquático e ribeirinho, nomeadamente:

- Alimento, abrigo e proteção para um elevado número de espécies aquáticas (peixes e invertebrados) e ribeirinhas - avifauna e mamofauna entre outros;
- Ensombreamento, que permite a diminuição da temperatura da água e da evaporação.
- Controlo da poluição difusa.
- Riqueza e diversidade paisagística e valorização cénica da paisagem;

As intervenções a realizar vão de encontro a esta multiplicidade de fatores, sendo obviamente localizadas, tendo em conta a reduzida dimensão espacial do projeto e o facto dos terrenos limítrofes pertencerem a vários proprietários. Acresce que, para assegurar a estabilização das margens, se torna conveniente, paralelamente, aplicar algumas medidas de engenharia natural complementares. Um aspeto a salientar é que não serão removidos quaisquer exemplares de porte arbustivo e arbóreo existente na área de intervenção.

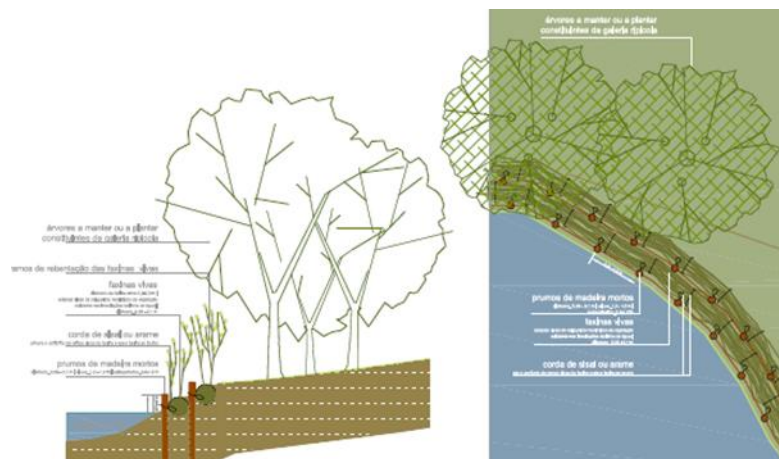


Figura 8: Restabelecimento da galeria ripária e colocação de faxinas

A continuidade da galeria irá ser restabelecida através da colocação de faxinas de salgueiros (*Salix sp.*) (Figura 8), na linha de contacto direto com a água, a área mais exposta à ação erosiva da corrente, e através da plantação de amieiros (*Alnus glutinosa*). A solução pela faxina deve-se às vantagens associadas à execução rápida e simples, consolidação e redução da erosão imediatas à finalização da construção e a rápida regeneração dos feixes de salgueiro, que criarão uma cortina de vegetação na margem do rio.



### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância estratégica do rio, quer para a agricultura/pecuária ou atividades transformadoras como a moagem, alterou-se profundamente nas últimas décadas. Assim, o processo de desertificação das zonas do interior, levando as pessoas a migrar para outros países/regiões na procura de trabalho remunerado e melhor condição de vida, promoveu o abandono das atividades económicas tradicionais, remetendo o rio para um plano complementar ou secundário. A reabilitação deste património local disperso e ambientalmente integrado, potencia a dinamização de áreas rurais atualmente abandonadas, desde que salvaguardados os valores naturais (Dec. Lei 49/2015 de 10 de abril)

De acordo com os vários Planos de Gestão da Região Hidrográfica, estima-se que em Portugal Continental existam cerca de 7.000 barragens e açudes, sendo os açudes tradicionais e outras pequenas estruturas a sua esmagadora maioria. Esta elevada fragmentação representa um efeito muito significativo na qualidade ecológica dos nossos rios.

A complexidade dos ecossistemas ribeirinhos e aquáticos impõe uma abordagem sensível de geometria variável, sem tipificar soluções estanques e de aplicação generalizada. Se por um lado é conhecido o efeito de isolamento genético promovido pela fragmentação longitudinal dos troços de rio para as comunidades íctias, por outro lado conhecemos os níveis de adaptabilidade e interdependência desenvolvidos pelo biota nesses meios fortemente modificados.

A integração de medidas dirigidas à salvaguarda do património cultural e natural, aliadas a um sistema de vigilância de eficácia, promovidas em aproveitamentos que garantam sustentabilidade económica apresentam, em geral, condições de sucesso apreciáveis. Este caso do açude de Curalha é assim abordado como um exemplo sustentável do restabelecimento das condições fluviais e ecológicas fundamentais, num segmento de rio severamente fragmentado por pequenas estruturas e poderá ser um incentivo para o aproveitamento de estruturas semelhantes, ao mesmo tempo que se mitiga o seu impacto ambiental.

Trata-se de um sustentável desafio e um bom exemplo da mudança de paradigma que se impõe aos novos empreendedores, respeitando assim os valores que importa preservar. Por outro lado será estratégico repensar a gestão das reservas de água perante os novos desafios das alterações climáticas e nomeadamente as reservas de proximidade e de pequenas dimensões, em que a minimização de impactes é um procedimento que deve acompanhar sempre tais projetos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abernethy, C. S., Amidan, B. G. & Cada, G. F. (2001). Laboratory Studies of the Effects of Pressure and Dissolved Gas Supersaturation on Turbine- Passed Fish. Tech. rep. 18. Pacific Northwest National Laboratory

Becker, J. M., Abernethy C. S. & Dauble, D. D. (2003). Identifying the effects on fish of changes in water pressure during turbine passage. Hydro Review 22(5), 32–42.

Coutant, C. C. & Whitney, R. R. (2000). Fish behavior in relation to fish passage through hydropower turbines: a review, Transactions of the American Fisheries Society 129, 351-380.

Noatch, M. R. & Suski, C. D. (2012). Non-physical barriers to deter fish movements. Environmental Reviews 20, 71-82. doi: 10.1139/A2012-001.

Oliveira E.V., Galhano F., Pereira B. (1983). Tecnologia Tradicional Portuguesa – Sistemas de Moagem. Etnologia 2, INIC – Instituto Nacional de Investigação Científica, Centro de Estudos de Etnologia, Lisboa

PISCIS – Desenvolvimento de uma Barreira Comportamental para Peixes (2012). Projeto financiado no âmbito do Programa QREN – Refª 13737. Co-promoção I&D entre Joaquim de Jesus – OriginAL Consulting e Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real

Usher A.P. (1973). História das Invenções Mecânicas. Vitorino Magalhães Godinho (Dir.), Maria Ludovina Couto (Trad.), Vol. 1, Edições Cosmos, Lisboa, 1973