



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA

Avaliação da eficiência da passagem para peixes do Açude-Ponte de Coimbra para espécies migradoras

Esmeralda Cristina Duarte Pereira

Orientação: Professor Doutor Pedro Raposo de Almeida

Coorientação: Doutor Bernardo Ruivo Quintella

Mestrado em Gestão e Conservação de Recursos Naturais

Dissertação

Évora, 2014



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA



UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA

Avaliação da eficiência da passagem para peixes do Açude-Ponte de Coimbra para espécies migradoras

Esmeralda Cristina Duarte Pereira

Orientação: Professor Doutor Pedro Raposo de Almeida

Coorientação: Doutor Bernardo Ruivo Quintella

Mestrado em Gestão e Conservação de Recursos Naturais

Dissertação

Évora, 2014

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Pedro Raposo de Almeida por enquadrar-me na problemática da gestão dos recursos em águas interiores, pela orientação, ensinamentos transmitidos e disponibilidade ao longo deste trabalho.

Ao Doutor Bernardo Quintella pela total disponibilidade, ensinamentos transmitidos e auxílio em todas as etapas deste trabalho, nomeadamente no estudo com recursos à telemetria EMG.

Ao Carlos Alexandre, à Catarina Mateus e Ana Ferreira pela presença constante, acompanhamento e auxílio nas diversas etapas, e em especial na recolha dos dados de radiotelemetria.

Aos colegas Tiago Neves, Ricardo Branca, Filipa Belo, Rui Cereja, Rui Monteiro, Sara Silva e Inês Castro pela imprescindível ajuda no trabalho de campo.

À Gabriela Cardoso, Filipa Belo e Catarina Mateus pelas informações relativas às contagens visuais.

Aos pescadores envolvidos neste trabalho, pela colaboração e amizade.

Ao Engenheiro Carlos Batista, aos Operadores do Açude-Ponte e à Agência Portuguesa do Ambiente, I. P. pelo apoio técnico

Ao Fernando Pedro pela disponibilidade e apoio informático imprescindível para a concretização deste trabalho.

Ao Filipe Serrano, Ricardo Branca, Rita Freitas, Tiago Neves e Vivina Brambilla pela amizade e incentivo.

Aos meus pais, José Pereira e Maria de Lurdes pelo apoio incondicional, por aquilo que representam e por permitirem das mais variadas formas a conclusão desta etapa.

Resumo

“Avaliação da eficiência da passagem para peixes do Açude-Ponte de Coimbra para espécies migradoras”

O presente trabalho enquadra-se no projecto de monitorização da passagem para peixes (PPP) do Açude-Ponte de Coimbra. Desde 2012 e até agosto de 2014, várias técnicas de biotelemetria (radio, EMG, PIT) foram empregues com o objectivo de avaliar a eficiência de passagem para montante deste dispositivo para lampreia-marinha (*Petromyzon marinus*), barbo do Norte (*Luciobarbus bocagei*), bogacomum (*Pseudochondrostoma polylepis*), e muge (*Liza ramada*), bem como identificar o comportamento da lampreia-marinha a jusante e no interior da PPP.

Enquanto para a lampreia-marinha e barbo do Norte a eficiência de passagem foi de 30%, a bogacomum e muge apresentaram eficiências baixas (6% e 4%, respetivamente), sendo necessária uma reavaliação. O tempo e permanência da lampreia-marinha a jusante do açude é elevado (tempo mediano = 11-14 dias) mas a transposição da PPP decorre em 3 horas, sendo o limite crítico de natação ultrapassado em menos de 1% do tempo total.

Estes resultados têm implicações no dimensionamento de novas PPP, na gestão de caudais que maximizam a respetiva eficiência para a lampreia-marinha e constituem uma base de referência a futuras monitorizações.

Palavras-chave: fragmentação do habitat, migrações para montante, monitorização, eficiência, telemetria, Rio Mondego

Abstract

“Efficiency of the Coimbra Açude-Ponte dam fishway for migratory species”

The present study is part of the Coimbra Açude-Ponte dam fishway (PPP) monitoring program in Coimbra, Portugal. From 2012 to August 2014, several bio-telemetry techniques (radio, EMG, PIT-tag) were employed with the aim of assessing this structure's upstream passage efficiency for sea lamprey (*Petromyzon marinus*), Iberian barbel (*Luciobarbus bocagei*), Iberian nase (*Pseudochondrostoma polylepis*), and thinlip grey mullet (*Liza ramada*), as well as identifying sea lamprey behavior downstream and within the PPP.

While sea lamprey and Iberian barbel passage efficiency was 30%, Iberian nase and thinlip grey mullet showed low efficiencies (6% and 4% respectively) with a new assessment being necessary. Sea lamprey spent a great amount of time downstream the Açude-Ponte (median time= 11-14 days), however once in the PPP individuals took only 3 hours to successfully negotiate this structure, and the critical swimming speed was exceeded less than 1% of the total time.

These results have implications in the development of new fishways, in flow management actions that maximize efficiency for sea lamprey, and can be used as a reference for future assessments.

Key-Words: habitat fragmentation, upstream fish migration, monitoring, efficiency, telemetry, River Mondego

Índice

Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract	III
Índice	IV
Lista de figuras	VI
Lista de tabelas	X
Lista de abreviaturas	XI
1. Introdução	1
1.1. Impacto de obras hidráulicas nas migrações piscícolas.....	1
1.2. Restauro da conectividade longitudinal: passagens para peixes	4
1.3. Monitorização de dispositivos de passagem	8
1.4. Objetivos	11
2. Metodologia	13
2.1. Área de estudo.....	13
2.1.1. Espécies migradoras.....	14
2.1.2. Passagem para peixes do Açude-Ponte de Coimbra.....	16
2.2. Monitorização da PPP do Açude-Ponte de Coimbra: eficiência e comportamento das espécies alvo	18
2.2.1. Utilização da PPP por quatro espécies migradoras (<i>Petromyzon marinus</i> , <i>Luciobarbus bocagei</i> , <i>Pseudochodrostoma polylepis</i> e <i>Liza ramada</i>).....	19
2.2.2. Comportamento de <i>Petromyzon marinus</i> a jusante da passagem para peixes.....	26
2.2.3. Comportamento de <i>Petromyzon marinus</i> no interior da passagem para peixes	29
3. Resultados	35
3.1. Utilização da PPP por quatro espécies migradoras (<i>Petromyzon marinus</i> , <i>Luciobarbus bocagei</i> , <i>Pseudochodrostoma polylepis</i> e <i>Liza ramada</i>)	35
3.1.1. <i>Petromyzon marinus</i>	36
3.1.2. <i>Luciobarbus bocagei</i>	39
3.1.3. <i>Liza ramada</i>	42
3.2. Comportamento de <i>Petromyzon marinus</i> a jusante da passagem para peixes	43
3.3. Comportamento de <i>Petromyzon marinus</i> no interior da passagem para peixes.....	46

4. Discussão	51
4.1. Utilização da PPP por quatro espécies migradoras (<i>Petromyzon marinus</i> , <i>Luciobarbus bocagei</i> , <i>Pseudochondrostoma polylepis</i> e <i>Liza ramada</i>)	51
4.1.1. <i>Petromyzon marinus</i>	51
4.1.2. <i>Luciobarbus bocagei</i>	54
4.1.3. <i>Pseudochondrostoma polylepis</i>	57
4.1.4. <i>Liza ramada</i>	58
4.2. Comportamento de <i>Petromyzon marinus</i> a jusante da passagem para peixes	59
4.3. Comportamento de <i>Petromyzon marinus</i> no interior da passagem para peixes	60
5. Considerações finais	63
6. Referências bibliográficas	67
Anexo I: Planta do dispositivo da passagem para peixes. Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente (APA)	XII
Anexo II: Panfleto informativo.	XIII
Anexo III: Mapas individuais da monitorização do comportamento migratório de <i>Petromyzon marinus</i> (2012-2013).	XIV

Lista de figuras

- Figura 1:** Desenho esquemático de PPP tradicionais. a) PPP de bacias sucessivas e fendas verticais, b) PPP de bacias sucessivas com orifícios submersos e descarregadores de superfície, e em c) PPP do tipo denil. Fonte: FAO/DVWK (2002). 5
- Figura 2:** Desenho esquemático de PPP naturalizadas. a) PPP de leito do rio modelado, b) rampas e em c) canais naturalizados. Fonte: FAO/DVWK (2002). 6
- Figura 3:** Representação esquemática de PPP especiais. Em a) eclusas, e b) ascensores. Fonte: FAO/DVWK (2002). 6
- Figura 4:** Área de estudo, onde estão representados os locais de captura (▲) e libertação (●) de *P. marinus*. Encontra-se também representado o local de captura/libertação das restantes espécies alvo (⊕) marcadas com marcas PIT. O troço (azul) e local de libertação (□) de *P. marinus* marcadas com rádio-telemetria são representados. Os principais obstáculos no Baixo Mondego, i.e., Açude da Formoselha e Açude-Ponte de Coimbra também estão representados ([]). 14
- Figura 5:** a) Detalhe da planta da PPP, onde se observam as últimas 3 bacias, o estreitamento junto à sala de monitorização e saída. Em pormenor são apresentadas as dimensões das bacias (adaptado da planta da PPP, APA). b) Pormenor das bacias sucessivas e das fendas verticais. 17
- Figura 6:** a) Representação esquemática da localização da antena PIT na PPP, a azul são identificadas as janelas de visualização, b) pormenor da antena PIT instalada e c) circulação superficial da água. .. 19
- Figura 7:** Métodos aplicados na captura das espécies alvo. a) botirão localizado a montante do Açude da Formoselha, b) botirões localizados no Alqueidão e c) pesca elétrica a jusante do Açude-Ponte de Coimbra, no canal de atração. 22
- Figura 8:** Colocação de marcas PIT em; a) *P. marinus*, b) *L. bocagei* e c) *L. ramada*. Utilização de um leitor portátil na identificação do código; d) modelo *Biomark* 601 e) modelo HPR plus reader. f) Marcação externa de *P. marinus* com T-bars. 24
- Figura 9:** Pormenores do procedimento de marcação da lampreia-marinha; a)-d) colocação do transmissor e) desinfeção da área e f) aspeto final da implantação externa do dispositivo. 27

Figura 10: Procedimento de marcação da lampreia-marinha: a) inserção do transmissor na cavidade peritoneal; b)-c) colocação dos elétrodos na musculatura axial vermelha; d)-e) sutura e desinfecção do corte. f) Local de aclimatação na zona de libertação.	31
Figura 11: Percentagem de animais de cada uma das espécies (<i>P. polylepis</i> , <i>L. ramada</i> , <i>L. bocagei</i> e <i>P. marinus</i>) que transpôs com sucesso a PPP durante a respetiva época de migração de 2014. O número absoluto de animais detetados é apresentado após cada barra.	35
Figura 12: Número de indivíduos pertencentes à espécie <i>P. marinus</i> que de acordo com a classe dimensional realizou a transposição da PPP do Açude-Ponte de Coimbra em 2014. A percentagem de animais que transpôs com sucesso a PPP é apresentada no topo de cada barra.	36
Figura 13: Distribuição diária de passagens (linha preta) e deteções de marcas PIT (barras cinzentas) de <i>P. marinus</i> na PPP do Açude-Ponte de Coimbra durante o período de estudo.	37
Figura 14: Distribuição diária das deteções de <i>P. marinus</i> e respetivo caudal médio diário (m ³ /s) a jusante do Açude-Ponte, no Rio Mondego durante a época de estudo. A linha a tracejado identifica o caudal teórico (50m ³ /s) a partir do qual a entrada no dispositivo é afetada negativamente (Cardoso, 2014).	37
Figura 15: Distribuição do número de dias entre a marcação e a primeira deteção dos espécimes de <i>P. marinus</i> marcados com marcas PIT que transpuseram com sucesso a PPP durante o período de estudo.	38
Figura 16: Distribuição do tempos entre a primeira e a última deteção dos espécimes de <i>P. marinus</i> marcados com marcas PIT que transpuseram com sucesso a PPP durante o período de estudo.	38
Figura 17: Distribuição circadiana das deteções de <i>P. marinus</i> . As barras a cinzento indicam o período da noite baseado na hora do pôr-do-sol e nascer do sol para o local e período estudado.	39
Figura 18: Número de indivíduos pertencentes à espécie <i>L. bocagei</i> que de acordo com a classe dimensional realizou a transposição da PPP do Açude-Ponte de Coimbra em 2014. A percentagem de animais que transpôs com sucesso a PPP é apresentada no topo de cada barra.	39
Figura 19: Distribuição diária de passagens (linha preta) e deteções de marcas PIT de <i>L. bocagei</i> na PPP do Açude-Ponte de Coimbra durante o período de estudo.	40

Figura 20: Distribuição diária das deteções de <i>L. bocagei</i> e respetivo caudal médio diário (m ³ /s; linha preta) a jusante do Açude-Ponte, no Rio Mondego durante a época de estudo.	40
Figura 21: Distribuição do número de dias entre a marcação e a primeira deteção dos espécimes de <i>L. bocagei</i> marcados com marcas PIT que transpuseram com sucesso a PPP durante o período de estudo.	41
Figura 22: Distribuição do número de horas entre a primeira e a última deteção dos espécimes de <i>L. bocagei</i> marcados com marcas PIT que transpuseram com sucesso a PPP durante o período de estudo.	41
Figura 23: Distribuição circadiana das deteções de <i>L. bocagei</i> . As barras a cinzento indicam o período da noite baseado na hora do pôr-do-Sol e nascer do Sol para o local e período estudado.	42
Figura 24: Distribuição do número de espécimes de <i>L. ramada</i> que efetivamente transpuseram a PPP do Açude-Ponte de Coimbra, considerando os dois períodos de marcação em 2014. A percentagem corresponde à eficiência de passagem da PPP.	42
Figura 25: Distribuição circadiana das deteções de <i>L. ramada</i> . As barras a cinzento indicam o período da noite baseado na hora do pôr-do-sol e nascer do sol para o local e período estudado.	43
Figura 26: Mapa resumo com o registo do movimento migratório dos espécimes de <i>P. marinus</i> marcados com radiotelemetria em 2012 e 2013. São identificados os locais e datas de libertação (a verde), último registo (a vermelho), e açudes existentes (a amarelo).	45
Figura 27: Comportamento da lampreia-marinha Pm3 (valores de cEMG – i.e. índice de atividade relativa,) a jusante da PPP. No eixo dos Y, a linha verde representa o valor médio do cEMG de repouso (cEMGr). O intervalo a branco corresponde a um período sem dados.	46
Figura 28: Comportamento da lampreia-marinha Pm1 (valores de cEMG – i.e. índice de atividade relativa,) no interior da PPP. No eixo dos Y, a linha verde representa o valor médio do cEMG de repouso (cEMGr) e a vermelho é apresentado o valor teórico da velocidade crítica de natação (<i>Ucrit</i>) calculado para espécie. A cada transposição de uma bacia, o número da respetiva bacia é identificado no topo do gráfico, identificando-se ainda o estreitamento associado à janela de monitorização (M) e a saída da PPP (S).	47

- Figura 29:** Comportamento da lampreia-marinha Pm2 (valores de cEMG – i.e. índice de atividade relativa, no interior da PPP. No eixo dos Y, a linha verde representa o valor médio do cEMG de repouso (cEMGr) e a vermelho é apresentado o valor teórico da velocidade crítica de natação (*Ucrit*) calculado para espécie. A cada transposição de uma bacia, o número da respetiva bacia é identificado no topo do gráfico, identificando-se ainda o estreitamento associado à janela de monitorização (M) e a saída da PPP (S). 47
- Figura 30:** Representação gráfica do tempo de permanência em cada bacia (com início na 2 bacia), considerando os valores obtidos para os dois animais monitorizados. 48
- Figura 31:** Valores médios de cEMG determinados para cada uma das bacias durante a transposição da PPP para a) Pm1 e b) Pm2. 49

Lista de tabelas

- Tabela 1:** Épocas de migração das espécies alvo. São identificadas a cinzento as migrações para montante e a azul migrações para jusante descritas na bibliografia (Rodriguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992; Almeida, 1996; Almeida et. al., 2000; Santos et al., 2005). Sem preenchimento, as migrações para montante fora do período descrito (Almeida *et al.*, 2014) que completam pelo menos 80% das observações na área de estudo 16
- Tabela 2:** Passagens para montante (cinzento) e jusante (branco) na PPP do Açude-Ponte, obtidas por contagem visual durante o ano de 2013, Fonte: Almeida *et al.* (2014) 18
- Tabela 3:** Número de animais (N), comprimento total médio - $C_t (\pm dp)$, e respetivo mínimo e máximo (mín-máx) da amostra relativa às quatro espécies marcadas com marcas tipo PIT 23
- Tabela 4:** Tabela resumo com a Informação dos espécimes de lampreia-marinha capturados e marcados com rádio- transmissores em 2012-2013, respetivo comprimento total médio - $C_t (\pm dp)$, peso total médio $P_t (\pm dp)$, e respetivo máximo e mínimo da amostra. É também apresentada a frequência do transmissor (FT), data de libertação (DL) e local de libertação (LL) 28
- Tabela 5:** Número de lampreias-marinhas marcadas com transmissores EMG, respetivo comprimento total médio - $C_t (\pm dp)$, peso total médio $P_t (\pm dp)$, sexo, data de marcação (DM) e data de libertação (DL)..... 30

Lista de abreviaturas

APA- Agência Portuguesa do Ambiente

EMG- Telemetria com registo de parâmetros fisiológicos (electromiogramas)

cEMG- EMG codificado

cEMGr- valor médio do cEMG de repouso

PIT- *Passive Integrated Transponder*

PPP- Passagem para peixes

U_{crit} - velocidade crítica de natação

1. Introdução

1.1. Impacto de obras hidráulicas nas migrações piscícolas

Os ecossistemas aquáticos continentais assumem particular importância nas sociedades humanas, uma vez que estes permitem a obtenção de diversos bens e serviços como água para diferentes usos, transporte, alimento, sequestro de carbono, controlo da erosão e serviços recreativos (Mooney *et al.*, 2009). Neste sentido, o Homem tem alterado extensivamente o funcionamento destes sistemas, designadamente através de represamentos e transvases entre bacias hidrográficas, por forma a utilizar os seus recursos e satisfazer as suas necessidades (WCD, 2000).

Como resultado da atividade antropogénica, do forte crescimento demográfico e da consequente pressão exercida nestes ecossistemas, os rios, estão entre os ecossistemas mais alterados e modificados (Larinier, 2001). A construção de barragens, açudes e pequenos aproveitamentos hidroelétricos (mini-hídricas) para a produção de energia (hidroelétrica), irrigação, controlo de cheias, fornecimento de água, uso recreativo ou de navegação (Schilt, 2007) constituem a principal intervenção e, a sua construção é fortemente impulsionada pelas necessidades económicas (Larinier, 2001) na medida em que suportam o desenvolvimento socioeconómico (McCartney, 2009). A nível mundial são identificadas mais de 45 000 grandes barragens com uma altura superior a 15 metros e, mais de metade dos grandes sistemas fluviais (172 de 292) são afetados por estas infraestruturas (Nilsson *et al.*, 2005).

No que diz respeito aos cursos de água portugueses estes são regularizados por 171 barragens, mais de 3000 pequenos açudes e aproximadamente 138 pequenos aproveitamentos hidroelétricos (potência inferior ou igual a 10 MW). A perspetiva é que este número aumente nos próximos anos como resultado da crescente aposta de Portugal no desenvolvimento do sistema energético assente na base hídrica, fomentando o aumento do potencial hídrico e a implantação de novos aproveitamentos.

Contudo, embora existam razões plausíveis para a construção destas infraestruturas, há que ter em conta que os impactos ecológicos são severos e em muitos dos casos negligenciados (Larinier, 2001).

Os rios, tal como definido por Vannote *et al.* (1980) apresentam ao longo do perfil fluvial um conjunto de gradientes de matéria e energia, que originam uma distribuição contínua das biocenoses (Teoria do contínuo fluvial), pelo que, a construção de barragens, açudes ou mini-hídricas criam uma barreira longitudinal, que resulta na consequente quebra deste contínuo fluvial (Ward & Stanford, 1995).

No que diz respeito à ictiofauna, uma das consequências diretas do efeito barreira está relacionada com o bloqueio ou atraso na migração das espécies (i.e., espécies diádromas, potamódromas) cujo ciclo de vida implica o uso de diferentes habitats para a reprodução, alimentação e/ou refúgio.

Estas movimentações são particularmente importantes para os migradores diádromos que, desenvolvem o seu ciclo de vida entre o meio dulciaquícola e o meio marinho (Larinier, 2001). Entre estas espécies, de acordo com o sentido das migrações tróficas e reprodutoras (Lucas *et al.*, 2001) identificam-se três comportamentos migratórios distintos a que correspondem três tipologias de espécies, catádromas, anádromas e anfídromas.

Dado que o impacto de um obstáculo transversal depende fortemente das espécies presentes, e do sentido das respetivas migrações, de seguida, cada um dos comportamentos migratórios é definido com base em McDowall (1997).

No caso das espécies catádromas como a enguia-europeia (*Anguilla anguilla* Linnaeus, 1758) ou a tainha (*Liza ramada* Risso, 1826) estas apresentam uma fase de alimentação e crescimento em água doce, que antecede a migração dos adultos para o mar, onde se reproduzem. No mar, os adultos não se alimentam ou caso se alimentem não é acompanhado pelo crescimento somático significativo.

Por outro lado, espécies anádromas como o salmão do Atlântico (*Salmo salar* Linnaeus, 1758), a truta-marisca (*Salmo trutta* Linnaeus, 1758), o sável (*Alosa alosa* Linnaeus, 1758), a savelha (*Alosa fallax*, Lacépède, 1803) e a lampreia-marinha (*Petromyzon marinus* Linnaeus, 1758), apresentam uma fase de alimentação e crescimento no mar que é anterior à migração reprodutiva dos adultos para ambientes dulciaquícolas, que de forma semelhante, não se alimentam, ou caso se alimentem, não é acompanhado por um crescimento somático significativo.

Já no caso das espécies anfídromas, logo após a eclosão, ainda em fase larvar, estas espécies migram para o mar, onde permanecem em crescimento e alimentação, migrando posteriormente como juvenis para água doce onde ocorre o maior período de crescimento e alimentação bem como a maturação sexual e reprodução. Não está descrita nenhuma espécie anfídroma para Portugal. É frequentes a confusão entre espécies marinhas eurihalinas vagueantes (suportam uma grande amplitude de salinidades), de que uma série de espécies pertencentes à família Mugillidae são exemplo, e as espécies diádromas (anfídromas em particular) que são sobretudo anfihalinas (suportam salinidades distintas apenas em determinadas fases do seu ciclo de vida).

À semelhança das espécies anteriores, as espécies potamódromas como a truta-de-rio (*Salmo trutta* forma residente), a boga-de-boca-recta (*Pseudochondrostoma* sp.) e o barbo (*Luciobarbus* sp.), embora completem todo o seu ciclo de vida no meio dulciaquícola, durante determinadas fases do seu

ciclo de vida dependem de movimentos longitudinais dentro do próprio rio (Larinier, 2001; Porcher & Travade, 2002). Estas movimentações ocorrem entre as zonas de reprodução e de alimentação, assegurando o acesso a habitats com características adequadas à reprodução e com os necessários recursos alimentares. Por conseguinte, a interrupção destes movimentos pode ter diferentes impactos nas populações destas espécies dependendo da disponibilidade de habitats a jusante do obstáculo (Santo, 2005).

A magnitude do impacto associado à interrupção da continuidade longitudinal dos rios não está necessariamente correlacionada com a dimensão do obstáculo. Mesmo pequenos obstáculos, como açudes com desníveis montante-jusante reduzidos, podem impedir a passagem da ictiofauna, sendo a sua transposição dependente das condições hidráulicas junto do obstáculo (caudal, velocidade, profundidade, turbulência, entre outros) e da capacidade de natação e de salto das espécies em causa (Porcher & Travade, 2002).

O decréscimo dos efetivos populacionais, ou mesmo a extinção local de algumas espécies migradoras e em particular o declínio das espécies anádromas pode também estar relacionado não só com o atraso e bloqueio, mas também com a destruição dos habitats adequados às espécies (Larinier, 2001). Esta situação tem sido descrita particularmente para espécies como o salmão do Atlântico ou o sável (Lucas & Baras, 2001; Porcher & Travade, 2002; Larinier & Marmulla, 2004), uma vez que estas são impedidas de atingirem os locais cujo habitat é mais adequado ao sucesso reprodutor.

Contudo, outros fatores como o custo energético associado à passagem destes obstáculos, o aumento da predação (como resultado da concentração de um elevado número de indivíduos junto aos obstáculos), ou a redução dos caudais durante os períodos de atividade migratória (que conduzem à perda de estímulo, alteração da dinâmica sazonal e diária da migração, entre outros), influenciam o sucesso destas espécies e, inclusive, a atratividade potencial de um rio para a entrada dos reprodutores (Larinier, 2001).

Para além dos impactos relacionados com a ictiofauna devem ainda ser considerados alguns fatores indiretos como a alteração dos regimes de caudais naturais do rio e a alteração da qualidade da água e temperatura, que levam à forte alteração da estrutura das comunidades, da produtividade e biodiversidade destes ecossistemas (Mueller *et al.*, 2011).

As alterações referidas, que conduzem a alterações da forma do canal fluvial, distribuição/disponibilidade de habitats, e alterações na composição e biomassa podem ser observadas a centenas de quilómetros a jusante da infraestrutura hidráulica responsável por estes impactos (Sheer & Steel, 2006; McCartney, 2009; Thiem *et al.*, 2012).

1.2. Restauro da conectividade longitudinal: passagens para peixes

De forma a mitigar os efeitos negativos da fragmentação dos habitats, manter a conectividade longitudinal característica do sistema fluvial e permitir a livre passagem da ictiofauna, têm sido desenvolvidos diversos sistemas de transposição piscícola (Clay, 1995) designados por passagens para peixes (PPP). O objetivo da sua aplicação assenta principalmente na minimização do impacto da interrupção na livre circulação dos peixes que efetuam migrações, permitindo o acesso aos habitats de reprodução, alimentação e/ou refúgio, por forma a manter ou aumentar os efetivos populacionais. Em determinadas situações, as PPP podem ter como objetivo o aumento da área de pesca (desde que a extensão da exploração seja compatível com a manutenção das populações) ou evitar o isolamento genético das populações (Porcher & Travade, 2002).

O princípio subjacente a uma PPP consiste em atrair os migradores para um determinado local específico do curso de água a jusante de um obstáculo, e incentivá-los a que estes transponham esse obstáculo. Esta transposição pode ser realizada ou passivamente através de um caminho com água (passagem para peixes - PPP), ou ativamente capturando-os numa cuba e transferindo-os para montante (ascensores e sistemas de captura e transporte) (Larinier & Marmulla, 2004).

Se a localização e as características hidráulicas destes dispositivos de transposição forem adequadas, a instalação de uma PPP pode mitigar a fragmentação dos habitats e permitir a passagem a várias espécies (Foulds & Lucas, 2013).

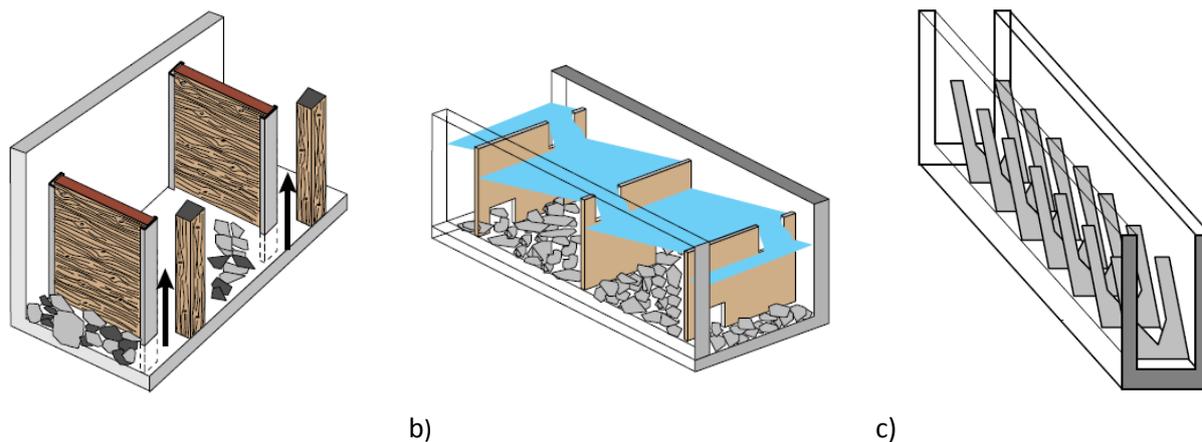
Estes sistemas de transposição foram inicialmente desenvolvidos na América do Norte e Europa para um número limitado de espécies anádromas, nomeadamente salmonídeos (salmão do Atlântico, salmão do Pacífico e truta-marisca) e clupeídeos (sável e savelha) (Larinier & Marmulla, 2004), tendo estes dispositivos sido posteriormente adaptados para várias espécies de água doce (Stuart & Mallen-Cooper, 1999; Mallen-Cooper & Stuart, 2007; Thiem *et al.*, 2012).

Existem vários tipos de passagens para peixes que permitem a migração para montante de espécies anádromas e potamódromas, podendo estas ser classificadas como tradicionais, naturalizadas e especiais (Santos, 2004). A descrição de cada um dos dispositivos encontrados em cada categoria é revisto noutros trabalhos (Larinier, 2001; Larinier & Marmulla, 2004; Santo, 2005), contudo de seguida são referidos de forma sucinta alguns dos dispositivos existentes.

No que se refere aos dispositivos tradicionais (figura 1) identificam-se as PPP por bacias sucessivas (vulgarmente denominadas por escadas para peixes). Este tipo de dispositivos constituem atualmente um dos mais utilizados para a transposição de obstáculos (Santos, 2004), e o princípio subjacente consiste em dividir a altura total a transpor em várias pequenas quedas que formam uma série

de bacias com desnível entre si, que asseguram a adequada dissipação de energia da água e possibilitam zonas de descanso. Dependendo da forma como a água passa de uma bacia para outra, este tipo de PPP pode ser constituído por fendas verticais, orifícios de fundo e/ou descarregadores de superfície.

Ainda nesta categoria encontram-se as PPP tipo Denil, que consistem num canal retilíneo em betão com defletores (em forma de U) dispostos ao longo do fundo e/ou nas paredes, o que permitem através da formação de correntes helicoidais reduzir a velocidade média do escoamento (Travade & Larinier, 2002).



a) b) c)
Figura 1: Desenho esquemático de PPP tradicionais. a) PPP de bacias sucessivas e fendas verticais, b) PPP de bacias sucessivas com orifícios submersos e descarregadores de superfície, e em c) PPP do tipo Denil. Fonte: FAO/DVWK (2002).

Entre as PPP naturalizadas, identificam-se: i) as PPP de leito do rio modelado; ii) as rampas; e iii) os canais naturalizados (figura 2). No que diz respeito às primeiras, estas permitem a suavização do gradiente hidráulico ao longo de um determinado troço (apenas aplicado em troços onde não existe regularização de caudal e em pequenos açudes abandonados), enquanto a construção de rampas à base de substrato grosseiro, quando associadas ao próprio açude permitem suavizar o declive existente e possibilitam a passagem da ictiofauna. Já os canais naturalizados ou *bypass*, visam mimetizar um curso de água natural, o que implica a criação de uma linha de água por escavação de um canal numa das margens do rio, de forma a contornar o obstáculo, assemelhando-se assim a um canal lateral (Travade & Larinier, 2002; Santos, 2004).

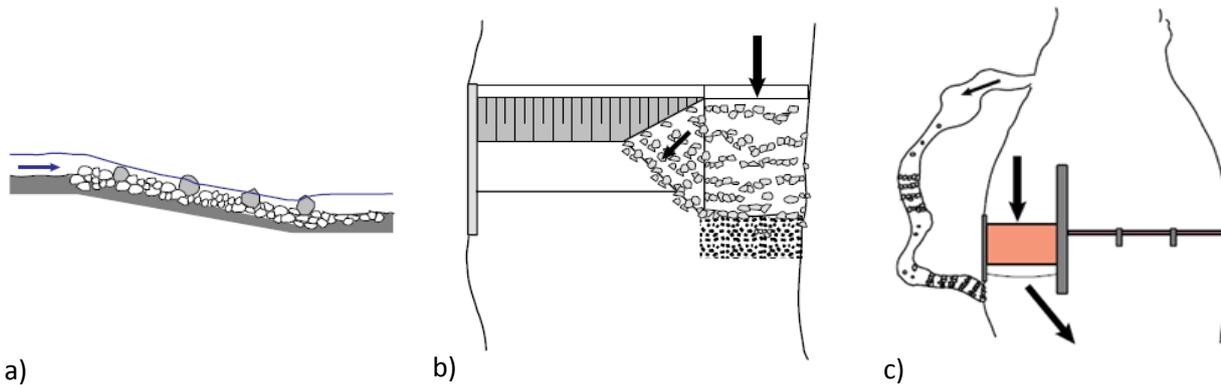


Figura 2: Desenho esquemático de PPP naturalizadas. a) PPP de leito do rio modelado, b) rampas e em c) canais naturalizados. Fonte: FAO/DVWK (2002).

Nas PPP especiais incluem-se as eclusas, e ascensores (figura 3), estes não proporcionam um caminho em si, mas forçam a subida dos peixes através de um dispositivo que os concentra a jusante e eleva para montante (Santo, 2005). No caso das eclusas, o dispositivo é composto por duas câmaras, uma câmara inferior a jusante e uma câmara superior a montante, que são conectadas por uma conduta (vertical ou inclinada). O princípio subjacente ao seu funcionamento consiste na atração dos peixes para a bacia a jusante, e a subida do peixe ocorre através da elevação do nível da água no interior da conduta, permitindo que os peixes saiam na câmara superior a montante (Larinier & Marmulla, 2004). Por outro lado, os ascensores consistem num dispositivo de elevação com uma cuba de transporte controlada mecanicamente, que permite que os peixes sejam içados de jusante para montante.

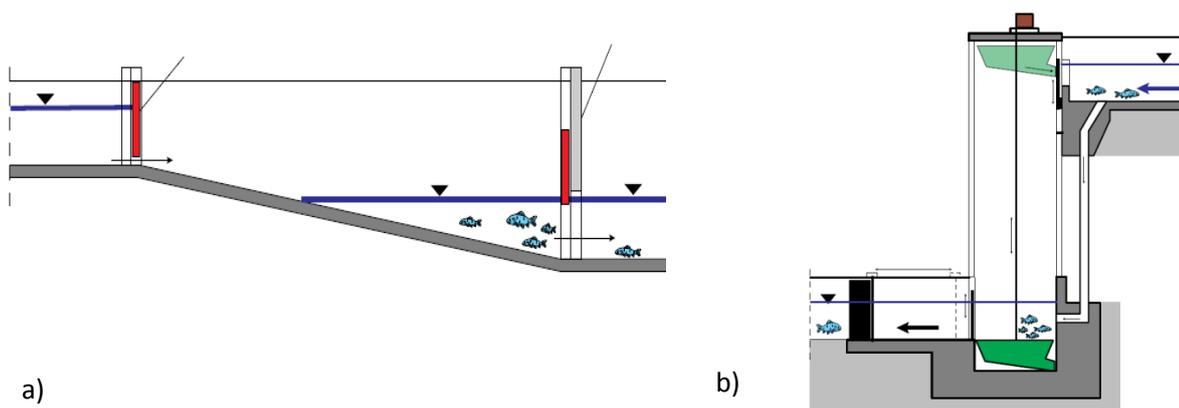


Figura 3: Representação esquemática de PPP especiais. Em a) eclusas, e b) ascensores. Fonte: FAO/DVWK (2002).

Uma vez que o sucesso destes dispositivos é fortemente dependente das condições hidráulicas como a velocidade de corrente e a turbulência existente à entrada e ao longo da passagem, ou da existência de um caudal de atração suficiente para encaminhar as respetivas espécies para a entrada da PPP (Foulds & Lucas, 2013), a construção de uma PPP e a escolha do dispositivo (bem como o desenho e

dimensionamento), deve ter em conta a comunidade piscícola, as respetivas espécies alvo, as suas características biológicas (i.e: capacidade fisiológica como a capacidade de natação ou salto, a morfologia, o comportamento e a respetiva motivação) mas também as características do obstáculo e condições hidráulicas associada.

Dos tipos de PPP referidos, é consensual que a passagem para peixes de bacias sucessivas é um dos modelos mais adequados quando o objetivo é a passagem de um grande número de espécies com diferentes requisitos comportamentais e ao nível da capacidade natatória, o que contrasta com outro tipo de passagens como do tipo Denil ou os ascensores que são altamente seletivos (Larinier & Marmulla, 2004).

No entanto, outro tipo de medidas de mitigação como a captura e o transporte de espécies podem eventualmente ser úteis em situações que envolvam o transporte dos migradores por longas distâncias ou a transposição de vários obstáculos sucessivos.

Relativamente à utilização destes dispositivos em Portugal, contabilizam-se 32 PPP de bacias sucessivas, uma PPP naturalizada (canal naturalizado), 6 eclusas Borland e 2 ascensores (Silva, 2009).

No caso específico das espécies catádromos e principalmente para a enguia-europeia, a investigação e criação de sistemas de transposição está restrita a algumas arquiteturas desenvolvidas na Europa, Japão, Nova Zelândia e Austrália (Larinier & Marmulla, 2004), que consistem na criação de passagens para enguias que têm por base a capacidade de transposição de obstáculos desta espécie na fase juvenil. Até ao momento não foi construída em Portugal nenhuma PPP dirigida especificamente para a fase meixão da enguia-europeia.

Quanto à mitigação do efeito barreira das infraestruturas hidroelétricas nas migrações para jusante, por forma a minimizar o risco de lesões ou a mortalidade das espécies diádromas e potamódromas, as soluções utilizadas têm passado pela construção de barreiras físicas e comportamentais (visuais, sonoras, campos elétricos, alteração da turbulência) que previnem a passagem destes animais pelas turbinas dos aproveitamentos hidroelétricos e, que simultaneamente, os encaminham para um canal bypass (Larinier, 2001). A aplicação destas metodologias torna-se fundamental na medida que asseguram a migração para jusante dos indivíduos que previamente utilizaram estas infraestruturas durante as suas migrações para áreas a montante.

Recentemente, a importância da implementação de PPP foi reforçada pelo desenvolvimento e aplicação de ferramentas de gestão da água como a Diretiva-Quadro da Água (Alexandre et al., 2013). Contudo, embora as PPP sejam vistas como uma solução para ultrapassar obstáculos à migração, a simples implementação de uma PPP pode não assegurar o restabelecimento da conectividade longitudinal dos sistemas fluviais para a ictiofauna e a mitigação da fragmentação causada pela barreira

(Roscoe & Hinch, 2010a; Thiem *et al.*, 2012). Mesmo na presença de um sistema de transposição, a movimentação dos adultos para montante pode ser atrasada ou inibida, bem como pode implicar o uso excessivo de energia durante a transposição do dispositivo, o que por sua vez pode levar ao aumento da mortalidade antes da desova e desta forma, comprometer os processos de maturação sexual e assim o sucesso reprodutor da espécie (Mesa *et al.*, 2003).

A eficiência e eficácia da maioria das PPP ou métodos de transferência de migradores nunca foi avaliada, ou se avaliada, em muitos dos casos revela que estes dispositivos apresentam uma reduzida eficiência, não permitindo a mitigação do efeito barreira (Roscoe & Hinch, 2010a).

Em Portugal, a partir de 1962 foi regulamentada a necessidade de instalar passagens para peixes com o objetivo de manter as populações de migradores. A partir de 1992 passou a ser obrigatória a instalação de PPP em todos os projetos para novas barragens e açudes onde as populações de migradores eram afetadas negativamente. No entanto, muitas das passagens construídas não foram avaliadas e sabe-se atualmente que não permitem mitigar os efeitos negativos já referidos (Larinier & Marmulla, 2004; Santos, 2004). Entre as causas mais comuns que levam à falha destas infraestruturas identifica-se: (i) a existência de um caudal de atração insuficiente (Clay, 1995; Lucas *et al.*, 2001; Katopodis & Williams, 2012); (ii), uma inadequada localização da entrada; (iii) falta de manutenção; e/ou (iv) condições hidráulicas desadequadas (Larinier & Marmulla, 2004; Santo, 2005).

1.3. Monitorização de dispositivos de passagem

Apesar da obrigatoriedade de implementar uma PPP, a ausência de programas de monitorização ou uma avaliação insuficiente após a sua construção explica em grande parte o facto das falhas anteriormente identificadas como causas de insucesso de uma PPP persistirem no tempo, impedindo a migração da ictiofauna e, contribuindo dessa forma para o declínio das populações (Roscoe *et al.*, 2010a). Neste sentido, os programas de monitorização tornam-se fundamentais em qualquer projeto de reabilitação fluvial que inclua a construção de uma PPP, uma vez que permitem através de um conjunto de ações, avaliar as condições de funcionamento destas infraestruturas e implementar eventuais melhorias (Larinier & Marmulla, 2004).

Atualmente, um dos conceitos propostos para o objectivo de um sistema de transposição piscícola é o de “transparência” da barreira ao movimento de espécies nativas (Castro-Santos *et al.*, 2009), ou seja, o sistema de transposição deve permitir a entrada e a passagem para montante ou jusante

da ictiofauna sem qualquer atraso na migração, custo energético elevado, stress acrescido, lesões, aumento das taxas de predação ou redução do sucesso reprodutivo. Contudo, para além desses objetivos por vezes não serem compatíveis a nível económico e biológico, não é fácil definir métricas para avaliar algumas variáveis como por exemplo o sucesso reprodutivo e stress.

Por forma a estudar as funcionalidades de uma PPP e quantificar o grau de mitigação resultante do seu funcionamento é frequentemente realizada a monitorização de aspetos hidráulicos e mecânicos, e a monitorização biológica, que visa principalmente avaliar a eficácia e eficiência do dispositivo para às espécies alvo (Larinier, 2001; Travade & Larinier, 2002).

Relativamente à monitorização biológica, a eficácia é um conceito qualitativo que consiste em verificar se um sistema de transposição permite a passagem de todas espécies alvo durante o período de migração, sendo para o efeito utilizados diferentes métodos de contagem que passam por capturas, contagens visuais ou automáticas. Este conceito é definido em relação às espécies alvo, e deve ter em consideração o número de obstáculos no curso de água e o local de cada um na bacia hidrográfica (Larinier & Marmulla, 2004). Uma passagem é considerada eficaz se for utilizada por todas as espécies alvo.

Por outro lado, a eficiência é um conceito quantitativo e que pode ser definido quer em termos de eficiência de atração, eficiência de entrada e eficiência de passagem (Roscoe & Hinch, 2010a). Estes conceitos correspondem respetivamente à proporção da população das espécies alvo que é atraída para entrada da passagem, à proporção da população que efetivamente entra na passagem, e à proporção da população piscícola a jusante de um obstáculo que efetivamente entra num dispositivo de passagem para peixes e com sucesso o utiliza num determinado período de tempo (Lucas *et al.*, 2001; Travade & Larinier, 2002; Larinier & Marmulla, 2004).

Uma vez que a eficiência de um dispositivo pode ser influenciada por vários fatores, apenas uma abordagem holística, que avalie os diferentes tipos de eficiência, permite identificar com detalhe os problemas associados à transposição de uma PPP por parte das diferentes espécies. (Roscoe & Hinch, 2010a). A eficiência é expressa quer em termos de percentagem de uma população que ultrapassa o obstáculo, quer em termos de atrasos na migração e, portanto, o tempo que uma população, ou parte dela, demora a passar o obstáculo (Larinier & Marmulla, 2004). Em oposição à eficácia, esta avaliação da eficiência tem ainda a vantagem de permitir a obtenção de informações relacionadas com o comportamento da ictiofauna (Travade & Larinier, 2002), o que adquire grande importância na deteção de potenciais problemas associados ao dispositivo de passagem que devem ser corrigidos no sentido de aumentar a sua eficiência.

Ao longo dos últimos 50 anos, a forma como estas avaliações têm sido realizadas não sofreu grandes alterações (Roscoe & Hinch, 2010a). Várias técnicas podem ser utilizadas no estudo da performance de uma PPP, todavia os problemas orçamentais têm limitado o tipo de abordagens realizadas (Castro-Santos *et al.*, 1996). A maioria dos estudos realizados na Europa são baseados na estimativa da abundância e composição de espécies que utilizam uma PPP (Schmetterling *et al.*, 2002; Santos *et al.*, 2005; Cardoso, 2014), e apenas um pequeno número de estudos avaliou a eficiência (Bunt *et al.*, 1999; 2012; Moser *et al.*, 2002a; 2002b; Thiem *et al.*, 2011) sendo raros os estudos que visam avaliar o sucesso do ciclo de vida dos exemplares que utilizam as PPP (Roscoe & Hinch, 2010b).

As técnicas de marcação-recaptura e biotelemetria estão entre as mais usadas na avaliação da eficiência das passagens para peixes e o estudo do efeito acumulativo de vários obstáculos ao longo da migração (Lariniere, 2001). Entre as técnicas de biotelemetria utilizadas, identificam-se; a radiotelemetria, a radiotelemetria com registo de parâmetros fisiológicos (eletromiogramas-EMG) e os sistemas de deteção automática de marcas tipo PIT (*Passive Integrated Transponder*) (Cooke *et al.*, 2004).

Enquanto a radiotelemetria tem sido fundamental para a recolha de dados relativos ao movimento das espécies alvo e da sua abordagem a uma PPP, o uso de transmissores que registam parâmetros fisiológicos como atividade muscular (i.e., EMG) tem potenciado a identificação de zonas de difícil passagem ao longo dos cursos de água (Hinch *et al.*, 1996; Quintella *et al.*, 2004; Almeida *et al.*, 2005), e inclusive no interior de dispositivos de transposição (Brown *et al.*, 2006; Pon *et al.*, 2009; Alexandre *et al.*, 2013). Quando calibrados em laboratório, estes transmissores EMG permitem ainda quantificar os custos energéticos associados à transposição de qualquer obstáculo ou dispositivo (Hinch & Rand, 1998; Geist *et al.*, 2000; Brown & Geist, 2002).

Os sistemas de deteção automática de marcas PIT têm sido amplamente utilizados na monitorização da migração, crescimento, sobrevivência e distribuição espaço-temporal de várias espécies, quer pela relação custo-benefício, quer pelo facto de ser um método pouco invasivo que permite a aplicação em animais pertencentes às classes dimensionais mais pequenas (Larsen *et al.*, 2013), e pelo facto de utilizar um dispositivo (*transponder*) que tem uma longevidade ilimitada já que não necessita de nenhuma fonte de energia para poder ser detetada nos locais onde foram colocadas as antenas próprias para esse registo.

A utilização integrada destes tipos de metodologias, permite avaliar com maior clareza a eficiência de uma passagem para peixes visto que o seu sucesso pode estar relacionando com a interação de vários fatores, entre eles a motivação individual, a capacidade natatória, o comportamento, as condições hidráulicas encontradas no local e as características do dispositivo (Kemp, 2012).

1.4. Objetivos

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do atual programa de monitorização biológica¹ da passagem para peixes (PPP) do Açude-Ponte de Coimbra, e tem como objetivo geral avaliar a eficiência do dispositivo para as espécies *Petromyzon marinus*, *Luciobarbus bocagei* (Steindachner, 1864), *Pseudochodrostoma polylepis* (Steindachner, 1864) e *Liza ramada* durante os respetivos períodos de migração, bem como compreender as particularidades comportamentais da espécie *P. marinus* a jusante do Açude-Ponte e a respetiva estratégia de natação e esforço muscular desenvolvido durante a transposição da PPP.

Este estudo foi estruturado em três tarefas principais:

1.1. Utilização da PPP por quatro espécies migradoras (*Petromyzon marinus*, *Luciobarbus bocagei*, *Pseudochodrostoma polylepis* e *Liza ramada*);

Nesta componente do trabalho, um sistema de deteção de marcas PIT foi utilizado para avaliar a taxa de eficiência associada à transposição da PPP no sentido jusante-montante para diferentes espécies migradoras, nomeadamente, a lampreia-marinha (anádroma), o barbo do Norte e a boga-comum (potamódromas), e o muge (catádroma).

1.2. Comportamento de *Petromyzon marinus* a jusante da passagem para peixes;

Constitui um estudo descritivo que complementa a informação obtida em 1.1 (tarefa das marcas PIT) no que diz respeito à lampreia-marinha, e visa principalmente descrever a abordagem realizada por esta espécie ao Açude-Ponte de Coimbra, e identificar a percentagem de animais que com sucesso transpõe esta barreira transversal.

1.3. Comportamento de *Petromyzon marinus* no interior da passagem para peixes;

A lampreia-marinha foi utilizada nesta tarefa como uma espécie indicadora já que apresenta uma capacidade de natação, à partida, inferior à das restantes espécies migradoras, e a transposição de zonas cuja velocidade de corrente é mais elevada requer um aumento do esforço realizado e

¹ “Apoio técnico e científico para avaliar a eficiência e a eficácia da passagem para peixes (PPP) construída no Açude-Ponte de Coimbra, no âmbito das exigências da Lei da Água, da Diretiva-Quadro da Água e do Regulamento (CE) N.º 1100/2007”

do tempo necessário. O objetivo desta tarefa consiste em avaliar o comportamento (padrões de atividade) e esforço muscular desenvolvido durante a transposição da PPP, bem como determinar o tempo de passagem requerido.

Adicionalmente, os dados obtidos foram utilizados com o intuito de compreender se a transposição destes dispositivos pode estar associado a algum padrão de aprendizagem, tendo sido colocada a hipótese de que se existir um padrão de aprendizagem durante a transposição, é de esperar que o tempo despendido por bacia e/ou o esforço (valores de cEMG) diminuam com a progressão no interior da PPP.

Os dados resultantes deste trabalho vão permitir inferir sobre eventuais atrasos na migração, grau de melhoria da conectividade longitudinal proporcionada pela PPP para as diferentes espécies migradoras alvo deste estudo, e compreender o comportamento em detalhe da lampreia-marinha numa PPP de bacias sucessivas e fendas verticais, o que permitirá identificar a existência de eventuais pontos críticos no interior do dispositivo.

A informação obtida poderá ser utilizada para otimizar a eficiência da PPP (e.g. atratividade), e poderá ser útil para identificar, e posteriormente corrigir, problemas existentes em outros dispositivos deste tipo, ou melhorar o dimensionamento de novas PPP dirigidas às espécies em estudo.

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido na zona do Baixo Mondego e teve particular incidência no troço de rio próximo da PPP do Açude-Ponte de Coimbra (40°12'56"N; 8°26'24"O, Datum WGS84), localizado junto à cidade de Coimbra (figura 4).

O Rio Mondego é um dos maiores rios portugueses, que nasce na Serra da Estrela e desagua no Oceano Atlântico junto à Figueira da Foz. Localizado na Região Centro do país, este rio apresenta um comprimento de 234 km, uma bacia hidrográfica com uma área total de 6644 km² e um escoamento anual médio de 20808 hm³. O sistema fluvial associado ao Rio Mondego constitui a segunda maior bacia hidrográfica totalmente em território português. Além do troço principal contam ainda cinco afluentes principais, que referidos de jusante para montante são: rios Pranto, Arunca, Ceira, Alva e Dão.

À semelhança dos grandes rios europeus, o Rio Mondego é um rio bastante regularizado, a sua intervenção hidráulica teve início em 1972, com o propósito de controlar as cheias e produzir eletricidade. Parte dessa regularização resultou na construção de vários pequenos açudes e barragens, entre elas as barragens da Agueira e da Raiva (localizada a 66 km da foz, constitui atualmente o limite superior da área disponível para as espécies migradoras), que constituem grandes aproveitamentos hídricoelétricos com uma produtividade média anual de 209GWh e 45 GWh respetivamente, mas também noutros aproveitamentos hidráulicos como a barragem de Fronhas (transvase) no Rio Alva (PGRH Vouga, Mondego e Lis, 2012). No baixo Mondego, esta regularização resultou na construção do Açude-Ponte de Coimbra em 1981, que visa principalmente o controlo de cheias e o abastecimento hidroagrícola e industrial do Baixo-Mondego, bem como no estabelecimento de vários travessões de pedra submersos (construídos no início dos anos oitenta) (Quintella *et al.*, 2004) que se estendem por 11 km a jusante do açude, e pela construção do Açude da Formoselha que marca o limite da influência tidal e que constitui o primeiro obstáculo parcial à migração das espécies piscícolas (Domingos *et al.*, 2006).

Apesar do Açude-Ponte de Coimbra apresentar uma PPP desde a sua construção, esta provou ser ineficiente (Larinier & Marmulla, 2004) quer pela falta de atratividade da entrada do dispositivo, quer pelo desajuste das condições hidráulicas no interior do mesmo (Santo, 2005). Pelo que até à construção da nova PPP, o Açude-Ponte de Coimbra, que representa um desnível a vencer de 4,60 m, constituía o

primeiro obstáculo intransponível à migração (Almeida *et al.*, 2000; Almeida *et al.*, 2002; Quintella *et al.*, 2004).

Neste sentido, a extensão de área disponível para as espécies diádromas nesta bacia estava restrita aos primeiros 45 km a jusante do Açude-Ponte (Almeida *et al.*, 2000). Este aspeto é particularmente importante pois para além da importância desta bacia para os recursos hídricos, esta adquire também uma grande importância no que diz respeito às espécies migradoras em Portugal, à sua conservação e gestão.

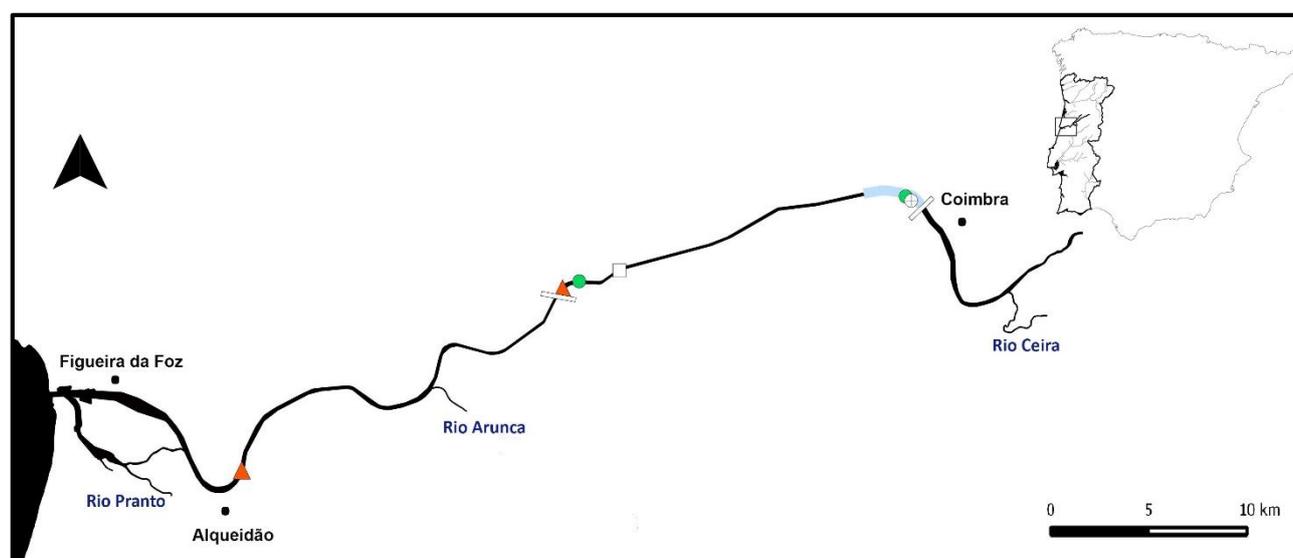


Figura 4: Área de estudo, onde estão representados os locais de captura (▲) e libertação (●) de *P. marinus*. Encontra-se também representado o local de captura/libertação das restantes espécies alvo (⊕) marcadas com marcas PIT. O troço (azul) e local de libertação (□) de *P. marinus* marcadas com rádio-telemetria são representados. Os principais obstáculos no Baixo Mondego, i.e., Açude da Formoselha e Açude-Ponte de Coimbra também estão representados (□).

2.1.1. Espécies migradoras

Embora as espécies anádromas sejam bastante vulneráveis e particularmente afetadas pelas atividades humanas, no caso do Rio Mondego, mesmo estando circunscritas aos primeiros 45 km (até 2011), ainda ocorrem três espécies: a lampreia-marinha (*P. marinus*), e os clupeídeos, sável (*A. alosa*) e savelha (*A. fallax*).

Estas espécies possuem uma grande importância socioeconómica para a região sendo exploradas comercialmente. Em termos conservacionistas, o sável, a nível nacional apresenta o estatuto de *Em perigo*, e as restantes espécies possuem um estatuto de conservação *Vulnerável* em Portugal e Espanha (a nível global - *Pouco Preocupante*) tendo em comum o facto de as suas populações

encontrarem-se em declínio continuado sendo a construção de barreiras transversais identificada como a principal causa (Cabral *et al.*, 2005).

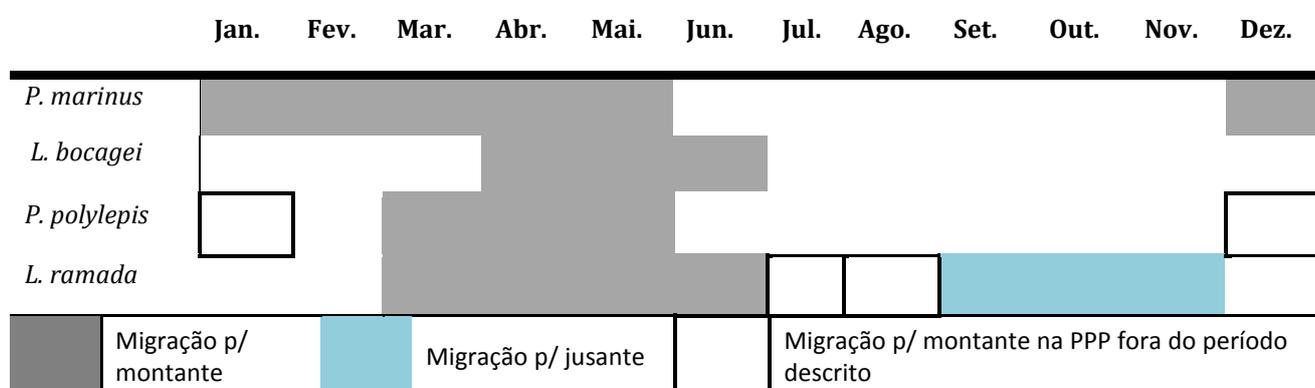
Quanto às espécies catádromas, ainda ocorre no Rio Mondego a enguia-europeia (*A. anguilla*), uma espécie com grande valor económico e que se encontra em declínio acentuado desde a década de oitenta (Costa *et al.*, 2008), apresentando um estatuto de conservação de *Em Perigo* a nível nacional (Cabral *et al.*, 2005). Entre as causas de declínio encontra-se a sobrepesca de todas as suas fases, e inclusive a pesca ilegal na fase juvenil (meixão), mas também a perda de habitat e a existência de obstáculos à migração.

O muge (*L. ramada*) constitui outra das espécies migradoras catádromas (fase trófica do ciclo de vida decorre quase exclusivamente no estuário e zona fluvial adjacente) presentes no Rio Mondego, e apresenta dois picos de migração que correspondem à migração primaveril/estival para ambientes dulçaquícolas em busca de alimento ou refúgio (juvenis), e a migração outonal de reprodução (Almeida, 1996). Embora não possua a importância económica das espécies anteriormente referidas, dada a posição estratégica que ocupam na teia trófica, adquirem grande importância ecológica na transformação de matéria orgânica em decomposição e microalgas em proteínas de elevado valor nutricional, com consequências na estrutura e funcionamento dos troços fluviais (Almeida, 1996), particularmente daqueles mais a montante.

Para além dos migradores diádromos, podem ainda ser identificados alguns migradores potamódromos como é o caso do barbo do Norte (*L. bocagei*), a boga-comum (*P. polylepis*), e a truta-de-rio (*S. trutta*).

Na tabela 1, encontram-se descritos os períodos de migração das espécies alvo de acordo com a bibliografia e adaptados aos períodos de migração para montante observados no Açude-Ponte em 2013, assegurando desta forma que pelo menos 80% dos movimentos para montante da espécie neste local são representados.

Tabela 1: Épocas de migração das espécies alvo. São identificadas a cinzento as migrações para montante e a azul migrações para jusante descritas na bibliografia (Rodriguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992; Almeida, 1996; Almeida et. al., 2000; Santos et al., 2005). Sem preenchimento, migrações para montante fora do período descrito (Almeida et al., 2014) que completam pelo menos 80% das observações na área de estudo



2.1.2. Passagem para peixes do Açude-Ponte de Coimbra

Inaugurada em 2011, a nova PPP² é constituída por bacias sucessivas e fendas verticais, localiza-se na margem esquerda do rio e foi dimensionada e direcionada para espécies como o sável, a savelha e a lampreia-marinha. Apresenta um comprimento total de 125 metros e, de forma a ultrapassar os 4,60 metros de desnível entre montante e jusante é constituída por 23 bacias com uma queda entre duas bacias sucessivas de 0,25 m (c.f. anexo 1). Cada bacia tem a dimensão de 3,00 m x 4,50 m, e as fendas 0,50 m de largura (Barbosa et al., 2004) (figura 5). De acordo com os resultados da determinação de velocidades realizadas por técnicos da APA, a velocidade média nas fendas verticais é de 1,2 m/s (valores obtidos para as três últimas fendas a montante; dados não publicados).

Após a última bacia a montante, é de realçar o facto de existir uma zona de estreitamento, que corresponde à sala de monitorização, e onde foi registada uma velocidade máxima entre os 1.048 m/s e 1.130 m/s (resultado da determinação de velocidade em dois locais na zona de estreitamento).

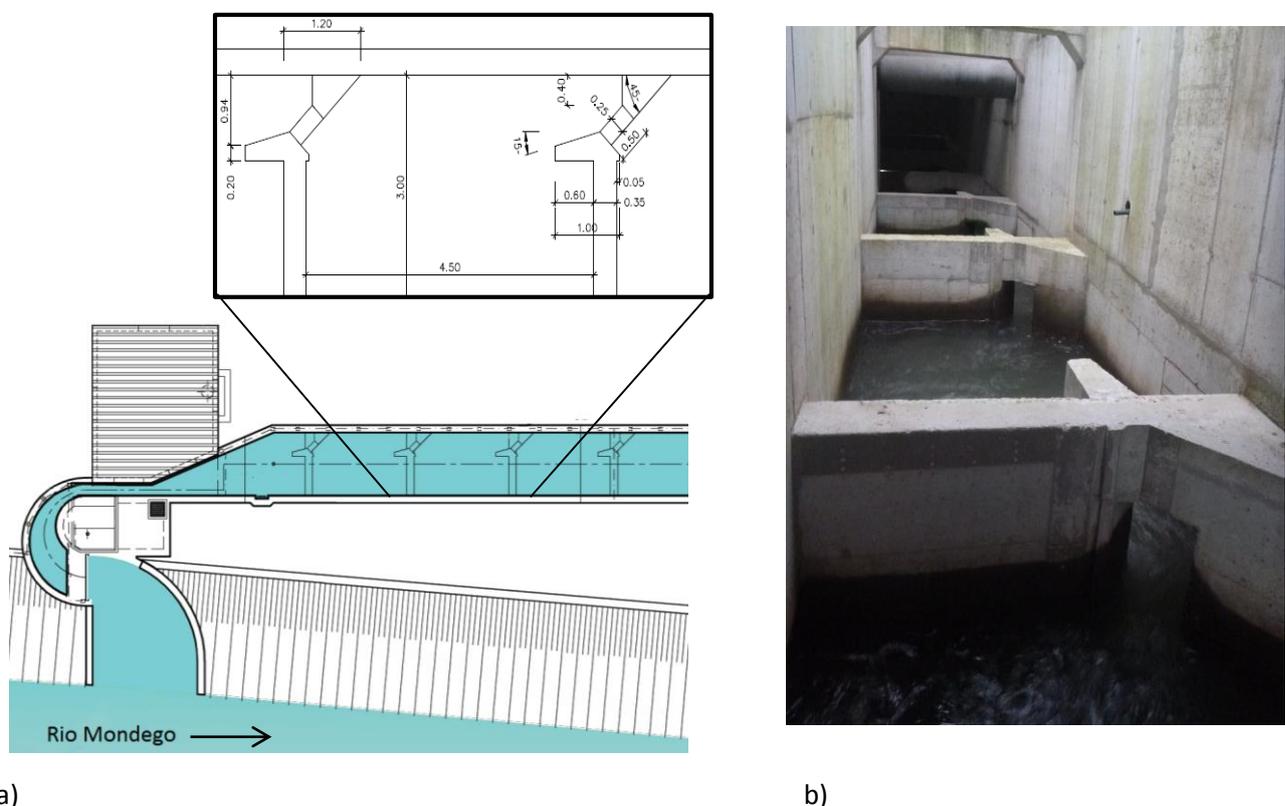
Por outro lado, a saída da passagem apresenta uma geometria em curva, que interceta perpendicularmente o leito do rio, o que resulta numa redução da velocidade média, observado assim

² Proposta pelo INAG e co-financiada através do Programa Operacional Regional do Centro (POR Centro) do Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN) permite o acesso das espécies diádromas e potamódromas ao troço entre o Açude-Ponte e a Barragem da Raiva (37.5 km) (Almeida et al., 2002).

uma velocidade de corrente que varia entre os 0.439 m/s e 0.294 m/s consoante a aproximação à saída da PPP.

O caudal de funcionamento da passagem varia entre 1,00 m³/s e 1,50 m³/s e o caudal adicional de atração lançado na última bacia jusante varia entre 1,00m³/s e 0,5m³/s por forma a garantir um caudal permanente de 2.0m³/s na entrada do dispositivo (Barbosa *et al.*, 2004), sendo a velocidade média neste local da entrada da PPP de 0.530 m/s.

A jusante da entrada da PPP encontra-se um canal de atração com uma extensão de aproximadamente 256 metros de comprimento por 6 de largura, que tem por objetivo encaminhar a ictiofauna para a entrada da passagem.



a)

b)

Figura 5: a) Detalhe da planta da PPP, onde se observam as últimas 3 bacias, o estreitamento junto à sala de monitorização e saída. Em pormenor são apresentadas as dimensões das bacias (adaptado da planta da PPP, APA). b) Pormenor das bacias sucessivas e das fendas verticais.

De acordo com as contagens visuais efetuadas em 2013 (tabela 2) (Almeida *et al.*, 2014), desde a entrada em funcionamento da PPP, um grande número de indivíduos utilizou este dispositivo, e embora a grande maioria das deslocações tenha sido realizada para montante, um número considerável de animais efetuou um movimento para jusante. Entre estas espécies identificam-se *P. marinus* (0.86% do total dos espécimes que utilizou a PPP), *Alosa* spp. (0.77%), *L. bocagei*, e *P. polylepis*, que apresentam uma maior proporção de passagens para montante (2.09% e 5.39% respetivamente), *A. anguilla*, *L.*

ramada, *S. trutta*, e ainda, embora em proporções muito reduzidas (0.01%), algumas espécies exóticas como o *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758) e o *Micropterus salmonoides* (Lacépède, 1802).

Grande parte das movimentações observadas corresponde a espécimes de *L. ramada* com uma proporção superior a 90%.

Tabela 2: Passagens para montante (cinzento) e jusante (branco) na PPP do Açude-Ponte, obtidas por contagem visual durante o ano de 2013, Fonte: Almeida *et al.* (2014)

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total
<i>P. marinus</i>	10	78	725	6657	846	5	1	4	0	0	0	7	8333
<i>Alosa spp.</i>	0	10	6	3267	3731	373	106	10	0	0	0	0	7503
<i>L. bocagei</i>	51	18	232	7964	5210	2716	1014	733	1007	530	342	504	20321
	1	2	1	32	195	242	797	635	599	204	59	7	2773
<i>P. polylepis</i>	4976	1213	7851	17197	2602	2011	183	170	51	24	228	15945	52451
	3	19	27	57	1382	202	97	95	26	11	136	110	2165
<i>L. ramada</i>	44	0	0	16912	38892	70012	490557	170096	80075	13544	70	3	880205
	15	0	0	10	18	3214	24657	131039	220553	35104	453	4	415067
<i>A. anguilla</i>	0	0	19	45	16	244	204	16	3	5	1	0	553
	0	0	3	16	45	3	32	10	10	13	1	5	138
<i>S. trutta</i>	1	3	0	5	16	159	39	4	4	0	5	7	243
	1	0	1	0	1	5	0	0	0	0	1	4	13
Exóticas	0	0	0	2	3	13	1	6	44	25	22	0	116
	0	0	0	0	0	1	2	0	5	3	16	1	28

■ Migração p/ montante □ Migração p/ jusante

2.2. Monitorização da PPP do Açude-Ponte de Coimbra: eficiência e comportamento das espécies alvo

Com vista a atingir os objetivos propostos, foram utilizados três métodos de marcação distintos, que consistiram na utilização de radiotelemetria, telemetria EMG e telemetria PIT. A informação referente à eficiência da PPP para as quatro espécies alvo foi obtida pela aplicação do método de telemetria PIT, enquanto a radiotelemetria convencional e a que envolve o registo de EMGs foram utilizadas exclusivamente para a lampreia-marinha, por forma a obter informação relacionada com o comportamento desta espécie, respetivamente, na área imediatamente a jusante do açude e ao longo da PPP. No caso específico da radiotelemetria, os dados analisados nesta dissertação, foram previamente recolhidos no âmbito do projeto de monitorização da PPP do Açude-Ponte de Coimbra por elementos da equipa responsável pelo mesmo.

A secção que se segue descreve a metodologia aplicada em cada um dos casos.

2.2.1. Utilização da PPP por quatro espécies migradoras (*Petromyzon marinus*, *Luciobarbus bocagei*, *Pseudochodrostoma polylepis* e *Liza ramada*)

2.2.1.1. Equipamento de Telemetria

Durante o mês de novembro de 2013, um sistema de deteção automático de marcas do tipo PIT (IS1001™ *Multiplexing Transceiver System* (MTS), *Biomark*, Idaho, EUA) foi instalado no edifício de monitorização e na PPP do Açude-Ponte de Coimbra.

A antena do sistema de deteção utilizada é uma antena retangular com 2,50 metros de altura e 0.68 metros de largura, e foi instalada na última bacia a montante da PPP (figura 6), localizando-se a jusante da janela da sala de monitorização. Esta localização assegura que qualquer indivíduo que realize a migração para montante com êxito através da PPP passe na antena e seja detetado.

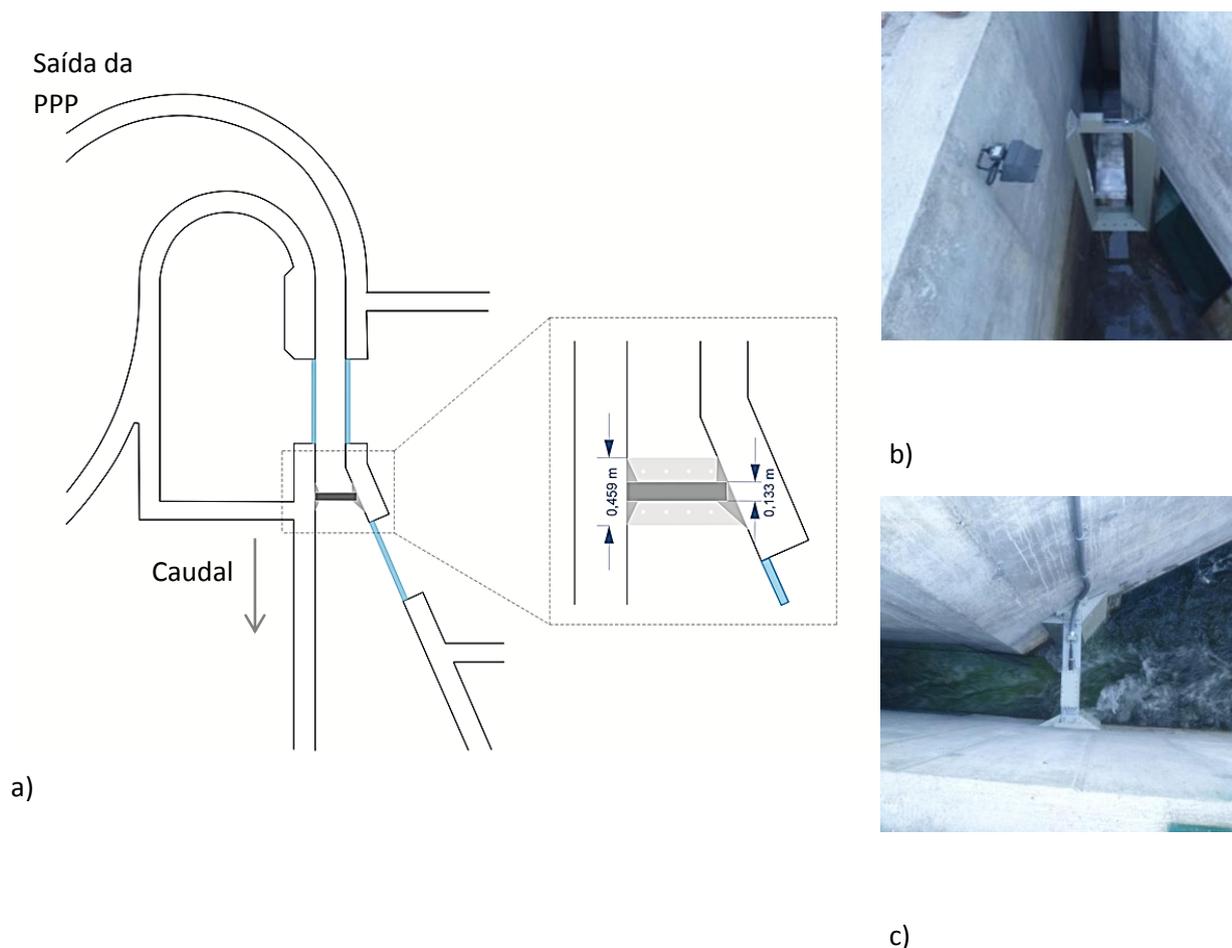


Figura 6: a) Representação esquemática da localização da antena PIT na PPP, a azul são identificadas as janelas de visualização, b) pormenor da antena PIT instalada e c) circulação superficial da água.

Este sistema funciona por rádio frequência e é bastante suscetível a interferências eletromagnéticas do meio envolvente (i.e. interruptores, quadros elétricos) que são interpretadas pelo nóculo de controlo (IS1001-24V) como “ruído” e provocam uma diminuição do campo de deteção da antena. Para reduzir o ruído ambiente e maximizar o campo de deteção, o sistema é alimentado por um conjunto de baterias que fornece 24 V. Desta forma é possível manter o sistema a funcionar com um nível de ruído inferior a 14%, o que garante a otimização do processo de deteção dos peixes marcados com uma eficiência de deteção de 100% para situações em que apenas uma marca PIT se encontra dentro do campo de deteção da antena.

A corrente elétrica da antena é automaticamente ajustada em casos de alterações no ambiente (como profundidade da água, temperatura) por forma a maximizar o campo de deteção e a performance do sistema. Esta funciona com uma frequência de 33Hz, e o campo de deteção máximo é de 30 cm.

A integridade e sensibilidade do sistema (100%) foram verificadas a cada 360 minutos através de um teste realizado com uma marca “virtual” criada pelo próprio equipamento.

Todas as vezes que um animal marcado se aproximou do campo de deteção da antena e foi identificado, o seu ID foi gravado (código hexadecimal) juntamente com a data e hora.

A informação obtida pelo sistema em tempo real ficou disponível no sistema de armazenamento interno (16MB) do controlador geral do sistema (IS1001MC), e num dispositivo de armazenamento externo (*flash drive* - até 16 GB).

Periodicamente foi realizado o *download* da informação para um computador utilizando o programa *BioTerm* (*Biomark*).

2.2.1.2. Captura, marcação e libertação

Captura

Com vista à marcação de *P. marinus*, *L. bocagei*, *P. polylepis* e *L. ramada* com marcas tipo PIT, entre os meses de abril e julho de 2014 procedeu-se à captura de indivíduos adultos a jusante do Açude-Ponte de Coimbra. As capturas de cada espécie foram levadas a cabo durante o respetivo período de migração.

O método e local selecionado para as capturas diferiram de acordo com a espécie, pelo que de seguida é sumariado o método aplicado e o local de captura das diferentes espécies.

No caso de *P. marinus* foi utilizado o botirão, um aparelho de pesca passiva autorizado para o exercício da pesca profissional dirigida a esta espécie em algumas bacias hidrográficas nacionais. Durante o mês de abril foi montado um botirão a montante do açude da Formoselha (40°11' 04"N, 8°36'55"O, Datum WGS84), área que corresponde ao fim da zona de pesca profissional do Baixo Mondego, encontrando-se a cerca de 16 km a jusante do Açude-Ponte de Coimbra e, no fim do período de pesca da lampreia-marinha (a partir de 21 de abril), durante quatro dias, foram também utilizados três botirões localizados na zona de pesca profissional do Baixo Mondego (40°07' 04"N, 8°46'21"O, Datum WGS84) junto à povoação de Alqueidão (figura 4).

Os botirões pescaram ininterruptamente e foram levantados em intervalos de tempo que variaram entre 24 horas e 48 horas, dependendo do número de capturas realizadas ao longo dos dias. A verificação destes aparelhos decorreu durante a preia-mar ou baixa-mar.

Este procedimento contou com o auxílio de pescadores profissionais, que operaram diariamente no local e que definiram o local de colocação dos aparelhos de pesca por forma a maximizar as capturas.

Para as restantes espécies, a captura foi efetuada com recurso a um equipamento de pesca elétrica (Hans Grassl EL62, 600V DC, 10A), operado a partir de uma embarcação pneumática (Mark I, Zodiac), propulsionada por um motor fora-de-borda (Marine BF15, Honda) (figura 7).

Durante os meses de abril e maio, as capturas foram dirigidas às espécies *L. bocagei* e *P. polylepis* enquanto a captura de *L. ramada* decorreu maioritariamente durante o mês de julho tendo no entanto ocorrido também a marcação ocasional de espécimes de *L. ramada* quando capturados no período dirigido às espécies potamódromas.

De forma a assegurar que os indivíduos capturados se encontravam em migração (particularmente no caso das espécies potamódromas) e assim minimizar a captura e marcação de indivíduos residentes que naturalmente não têm apetência para migrar e, como tal, utilizar a passagem durante esse percurso, a pesca elétrica decorreu maioritariamente a jusante do Açude-Ponte de Coimbra e, quando possível, isto é, quando os caudais o permitiam (caudal efluente do Açude-Ponte inferior a 80 m³/s), esta pesca foi efetuada na área correspondente ao canal de atração da PPP.

Dada a reduzida eficiência do método de pesca elétrica em sectores abertos de grande dimensão na captura de *L. ramada*, em virtude do comportamento particular desta espécie (comportamento de fuga imediata em resposta à mínima perturbação na água), foram utilizadas adicionalmente duas redes barreira, com 16 metros de comprimento por 2 metros de altura de modo a fechar parte do canal de atração e reduzir a fuga dos indivíduos desta espécie da área de captura. A pesca elétrica a partir de uma embarcação pneumática decorreu com recurso a remos o que permitiu assim reduzir a perturbação provocada pelo ruído de um motor.

Com vista à marcação com marcas PIT, foram capturados um total de 732 exemplares: 225 *P. marinus*, 250 *L. bocagei*, 47 *P. polylepis* e 210 *L. ramada* (tabela 3).



Figura 7: Métodos aplicados na captura das espécies alvo. a) botirão localizado a montante do Açude da Formoselha, b) botirões localizados no Alqueidão e c) pesca elétrica a jusante do Açude-Ponte de Coimbra, no canal de atração.

Marcação e libertação

Após a captura e, quando necessário, o transporte, os animais foram colocados em redes nassas junto à margem do rio e procedeu-se à marcação com marca PIT, de forma semelhante ao procedimento de marcação descrito por outros autores (Ombredane *et al.*, 1998; Columbia Basin Fish and wildlife Authority, 1999).

Cada indivíduo, exceto da espécie *L. ramada*, foi anestesiado por imersão numa solução de 2-phenoxy-ethanol com uma concentração de 0,4 ml/l (*P. marinus*) ou 0,3 ml/l (*L. bocagei* e *P. polylepis*). Foi utilizado um leitor portátil (HPR PLUS READER, 134.2 FDX-B, HDX; ou Biomark 601 handheldreader: Biomark, Idaho, EUA) para confirmar que o animal capturado não era uma recaptura de uma anterior campanha de marcação.

Para cada animal marcado, foi registado o comprimento total (C_t) e no caso das espécies potamódromas, de acordo com a idade e tamanho da maturação sexual, animais com o tamanho inferior a 180mm para *L. bocagei* (Herrera *et al.* 1988; Alexandre *et al.* 2014) e a 160mm para *P. polylepis* (Lobon - Cervia & Elvira 1981) foram libertados. Alguns animais com um tamanho aproximado ao referido e por apresentarem sinais externos de maturidade sexual (e.g. tubérculos nupciais nos machos) acabaram por ser marcados. Este procedimento teve por objetivo não marcar indivíduos juvenis que, em virtude de não terem iniciado o processo de maturação das gónadas não migram para as áreas de desova e, muito provavelmente, a probabilidade de utilizarem a PPP é bastante inferior à fração da população que efetua o comportamento migratório.

Tabela 3: Número de animais (N), comprimento total médio - C_t (\pm desvio padrão), e respetivo mínimo e máximo (mín-máx) da amostra relativa às quatro espécies marcadas com marcas tipo PIT

Espécie	N	C_t médio \pm dp	mín-máx (mm)
<i>Petromyzon marinus</i>	225	852,3 \pm 53	700 - 997
<i>Luciobarbus bocagei</i>	250	369,2 \pm 138,3	175 - 602
<i>Pseudochondrostoma polylepis</i>	47	198 \pm 32,3	150 - 289
<i>Liza ramada</i>	210	279,06 \pm 60,5	115 - 425

Os animais foram colocados numa mesa cirúrgica de formato em V (*P. marinus*), ou imobilizados na mão dependendo do seu comprimento, com o ventre para cima e a barbatana caudal no sentido do dedo polegar (o mais afastado do operador), e com o auxílio de uma pistola de marcação *Biomark*, modelo MK-25, foi injetada uma marca PIT (12 MM, 134.2 kHz ISO: *Biomark*, Idaho, US) na cavidade peritoneal do animal (figura 8).

No caso dos teleósteos, uma a duas escamas foram retiradas entre o ápice da barbatana peitoral e a linha médio-ventral, por forma a auxiliar a penetração da agulha.

A sequência alfanumérica de cada marca (código hexadecimal) foi identificada e registada utilizando o leitor portátil ligado a um computador através do software *Biomark tag manager* (*Biomark*). A cada nova marcação foi utilizada uma nova agulha, o que permitiu agilizar o processo e reduzir o risco de infeções.

Adicionalmente, e apenas para a espécie *P. marinus*, com o auxílio de uma pistola de marcação, foi colocada uma etiqueta externa do tipo T-bar (67mm de comprimento, coloração amarela com identificação e contacto do centro de investigação) na zona de inserção da primeira barbatana dorsal, do lado direito. Esta marcação permite identificar animais com marcas internas, e por outro lado, ao obter algum retorno de informação por parte da comunidade piscatória, detetar eventuais situações em que a transposição do obstáculo não tenha sido realizada pela PPP, mas antes pelas comportas do açude. Ao mesmo tempo, esta informação obtida através das recapturas permitiria quantificar a intensidade ou pressão exercida por atividades piscatórias ilegais (furtivismo). Na eventualidade de serem realizadas capturas destes animais, foi elaborado um panfleto informativo (anexo II) que foi distribuído pelas comunidades piscatórias e localidades ribeirinhas em zonas consideradas problemáticas no que respeita o furtivismo.

As informações recolhidas sobre cada indivíduo marcado e os respetivos códigos foram gravados diretamente num ficheiro de modo a permitir a correlação direta entre capturas, mortalidade e passagens efetivas pela PPP.

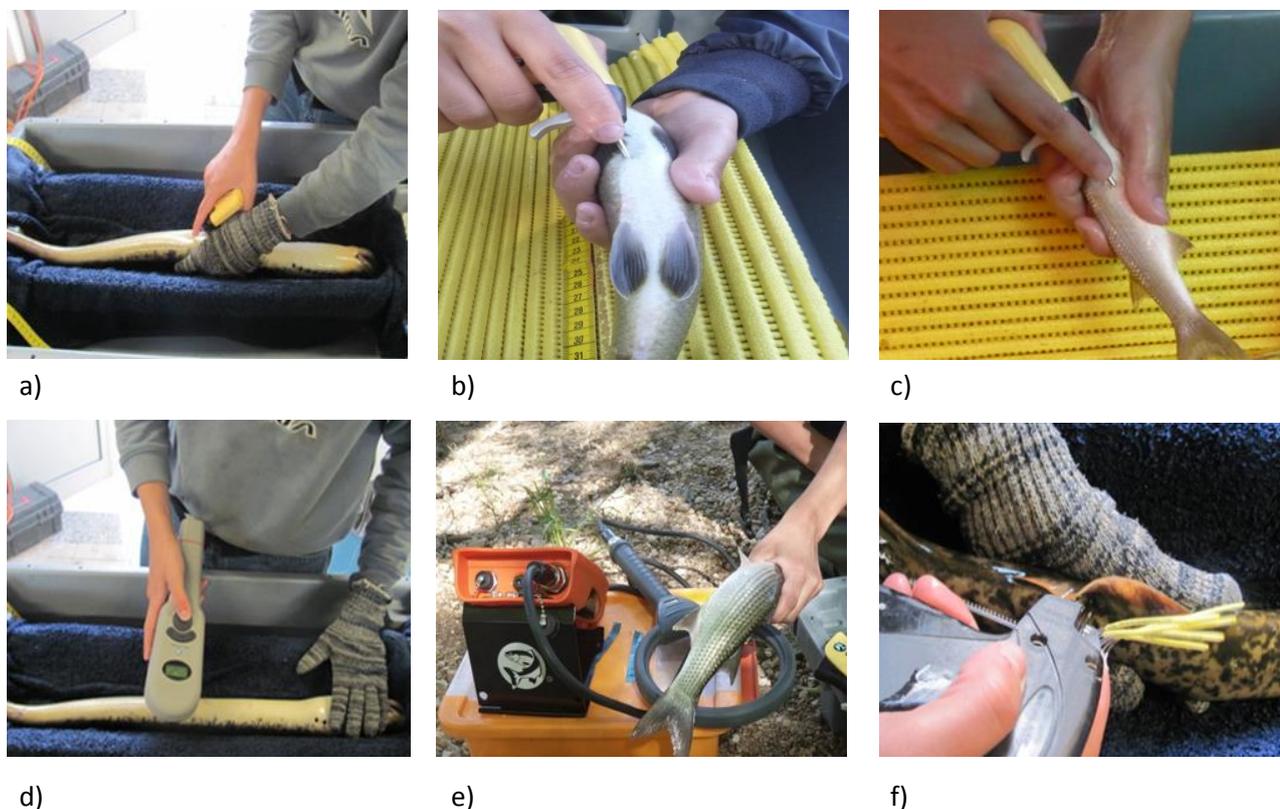


Figura 8: Colocação de marcas PIT em; a) *P. marinus*, b) *L. bocagei* e c) *L. ramada*. Utilização de um leitor portátil na identificação do código; d) modelo *Biomark 601* e) modelo *HPR plus reader*. f) Marcação externa de *P. marinus* com *T-bars*.

Com exceção dos exemplares de *P. marinus* capturados na Formoselha, que foram libertados neste mesmo local (40 11' 13" N, 8°36' 18"O, figura 4), os restantes animais foram libertados a jusante da PPP (entre 0,4 e 1,5 km, figura 4).

2.2.1.3. Análise de dados

Os dados obtidos foram filtrados por código de identificação, data e hora da primeira e última deteção.

Dada a ausência de informação relativa à eficiência de atração e de entrada, que resulta da ausência de uma antena detetora de marcas PIT na entrada da PPP, a eficiência de passagem foi definida

como a proporção de animais marcados que foram detetados pela antena localizada após a última bacia da passagem para peixes, e é expressa pela seguinte fórmula (1):

$$E = 100 \times \left(\frac{Nd}{Nm} \right) \quad (1)$$

onde E é a eficiência da PPP expressa em percentagem, Nd o número de animais marcados detetados na antena e Nm número de animais marcados e libertados a jusante. A eficiência de passagem foi apresentada para todas as espécies alvo deste estudo.

Devido à baixa representatividade dos dados obtidos para a boga-comum, resultantes de um número reduzido de animais capturados e marcados, este trabalho analisa para esta espécie apenas e exclusivamente a eficiência de passagem para montante, não se reporta a mais nenhuma análise. De forma semelhante, no caso do muge, devido à baixa representatividade dos dados resultante do baixo número de animais detetados, foi analisado apenas o efeito do período de marcação (abril-maio/julho) na respetiva eficiência do dispositivo e o padrão circadiano das passagens.

Para as restantes duas espécies, ainda no que diz respeito à eficiência, por forma a avaliar o efeito das classes dimensionais (lampreia-marinha: [700-800 [, [800-900 [e [> 900 [; barbo do Norte: [<300 [, [300-400 [, [400-500 [, [> 500[) e do período de marcação (lampreia-marinha: 4/04-14/04 e 15/04-26/04; barbo do Norte: abril/maio) na eficiência de passagem, foi utilizado o teste G-de-independência (Sokal & Rohlf, 1995), que permitiu comparar a proporção entre as frequências absolutas do número de animais que transpôs ou não o açude, de acordo com as variáveis classe dimensional e período de marcação.

Relativamente às passagens efetuadas com sucesso, foi analisada a distribuição diária do número de primeiras deteções de marcas PIT em relação i) às passagens para montante da espécie alvo identificadas com recurso a contagens visuais, e ao ii) caudal médio diário. Com vista a analisar a correlação entre a distribuição diária das deteções de marcas PIT (considerando a primeira deteção) e as variáveis: distribuição diária de passagens para montante (contagens visuais), caudal médio diário (disponibilizados pela APA), temperatura média diária e a turbidez média diária (obtidos através da sonda multiparamétrica), foi aplicado o teste de Spearman (Sokal & Rohlf, 1995). Devido à ausência de dados de temperatura e turbidez para o período que correspondeu a 65% da passagem do barbo do Norte, esta análise de correlação não foi realizada para esta espécie.

Adicionalmente para a lampreia-marinha, dado que esta espécie apresentou tempos de passagem de aproximadamente 3 horas (ver resultados da tarefa 1.3), foi analisado o efeito do caudal efluente desfasado 3 horas na deteção dos indivíduos.

O comportamento destas espécies foi ainda analisado através da distribuição de frequências absolutas das seguintes variáveis: (i) tempo entre marcação e primeira deteção, considerando classes de tempo de 2 dias (lampreia-marinha) ou 1 dia (barbo do Norte), e (ii) tempo entre primeira deteção e última deteção, considerando classes de 1 hora. Uma vez que a lampreia-marinha foi libertada em dois locais distintos, previamente à análise dos tempos entre marcação e primeira deteção, diferenças entre locais foram verificadas com o teste de Mann-Whitney (Sokal & Rohlf, 1995).

Por fim, foi feita uma análise da distribuição circadiana da primeira deteção de cada indivíduo.

Com exceção dos testes G-de-independência analisados através de uma tabela de contingência, todas as análises foram realizadas com o programa SPSS versão 22.0.

2.2.2. Comportamento de *Petromyzon marinus* a jusante da passagem para peixes

2.2.2.1. Equipamento de telemetria e tracking

A recolha de informação relativa à localização e movimento da lampreia-marinha a jusante do Açude-Ponte de Coimbra foi realizada com recurso a radiotelemetria. Foram utilizados radiotransmissores externos (ATS-Modelo F2020), cilíndricos com 12 mm de diâmetro por 43 mm de comprimento, um peso inferior a 1% do peso corporal das lampreias marcadas (8.6 g no ar) e uma bateria com uma longevidade máxima de 6 meses, fabricados pela ATS - *Advanced Telemetry Systems*.

A monitorização dos animais marcados decorreu com uma periodicidade semanal e as respetivas localizações foram realizadas através de um procedimento de triangulação do sinal emitido pelo transmissor, utilizando para esse efeito um recetor modelo R2000 e uma antena YAGI de três elementos.

2.2.2.2. Captura, marcação e libertação

Durante o período de migração da lampreia-marinha, durante os anos de 2012 e 2013, foram marcados vinte e quatro exemplares desta espécie (tabela 4). Os animais foram capturados na Figueira da Foz, tendo sido adquiridos aos pescadores locais, e após o seu transporte (em tanque próprio para o efeito, equipado com um sistema de oxigenação da água) para os locais de libertação, foram anestesiados por imersão numa solução de 2-phenoxyethanol com uma concentração de 0,4 ml/l. Após a indução da anestesia, procedeu-se à medição (C_t - precisão de 1 cm), pesagem (P_t - precisão de 1 g) e colocação do

animal numa mesa cirúrgica em forma de V, com o ventre virado para baixo. De seguida os indivíduos foram marcados externamente (figura 9), na base da barbatana dorsal de acordo com o procedimento de marcação descrito por Almeida *et al.* (2000) e igualmente utilizado por outros autores (Almeida *et al.*, 2002; Andrade *et al.*, 2007).

Após um período de recuperação não inferior a meia hora em redes nassas mantida no rio, os animais marcados em 2012 (n=4) foram libertados imediatamente a jusante da PPP, enquanto os exemplares marcados em 2013 (N=20) foram libertados 13 km a jusante do Açude-Ponte de Coimbra (zona de Pereira) (c.f. figura 4).

2.2.2.3. Análise de dados

A percentagem de animais que transpôs com sucesso o Açude-Ponte de Coimbra foi calculada, e para cada indivíduo de *P. marinus* marcado, foi criado um mapa com sua localização ao longo do período de monitorização (Anexo III). As informações referentes a cada indivíduo no que diz respeito ao local/data de libertação e da última monitorização foram resumidas num mapa geral.

Para cada indivíduo que transpôs o açude, foi calculado o tempo entre a última deteção a jusante do açude e a primeira deteção a montante.

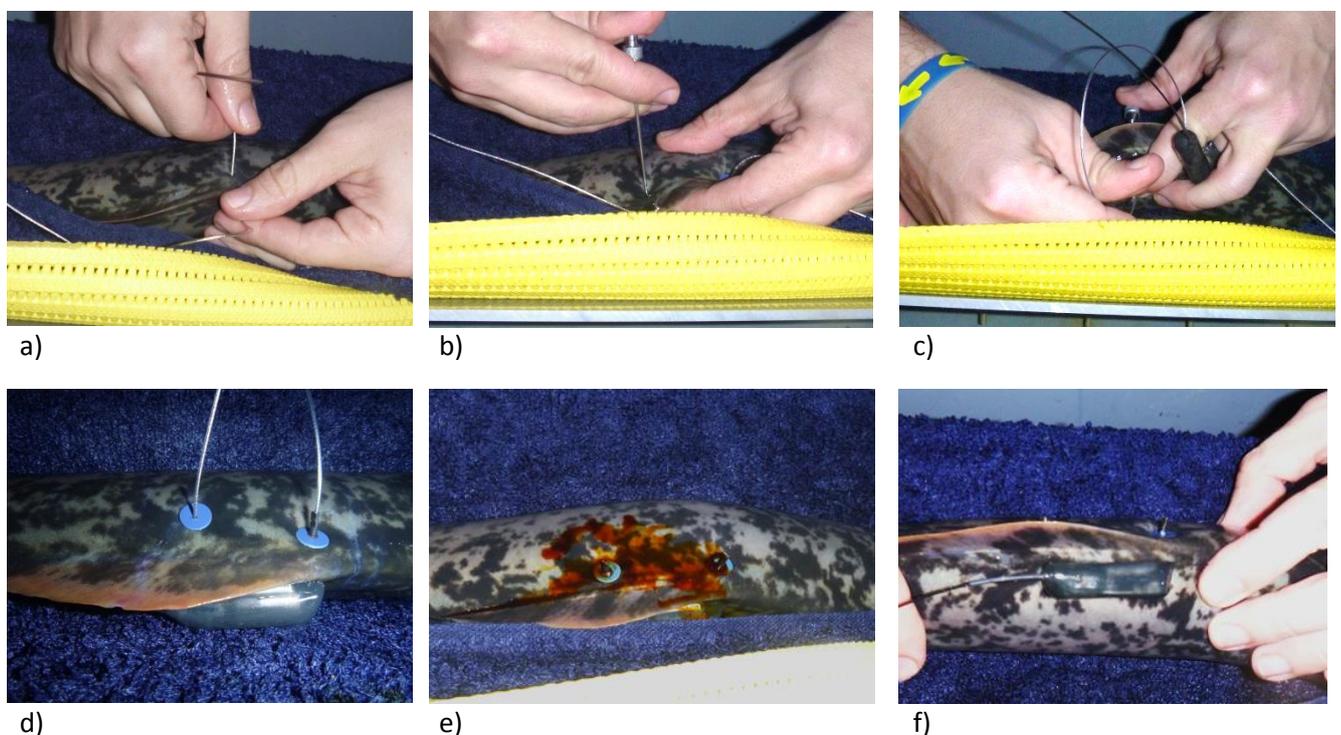


Figura 9: Pormenores do procedimento de marcação da lampreia-marinha; a)-d) colocação do transmissor e) desinfecção da área e f) aspeto final da implantação externa do dispositivo.

Tabela 4: Tabela resumo com a Informação dos espécimes de lampreia-marinha capturados e marcados com rádio- transmissores em 2012-2013, respetivo comprimento total médio - C_t (\pm dp), peso total médio P_t (\pm dp), e respetivo máximo e mínimo da amostra. É também apresentada a frequência do transmissor (FT), data de libertação (DL) e local de libertação (LL)

ID Lampreia	C_t (mm)	P_t (g)	FT	DL	LL
Lm 1	820	1165	150.487	08/02/2012	Canal de atração
Lm 2	820	1145	150.407	08/02/2012	Canal de atração
Lm 3	905	1340	150.686	03/03/2012	Jusante do açude
Lm 4	950	1510	150.726	03/03/2012	Canal de atração
Lm 5	900	1255	150.263	21/02/2013	Ponte Pereira
Lm 6	920	1615	150.273	21/02/2013	Ponte Pereira
Lm 7	910	1460	150.303	21/02/2013	Ponte Pereira
Lm 8	865	1210	150.314	21/02/2013	Ponte Pereira
Lm 9	910	1480	150.322	21/02/2013	Ponte Pereira
Lm 10	850	1320	150.343	21/02/2013	Ponte Pereira
Lm 11	895	1440	150.364	21/02/2013	Ponte Pereira
Lm 12	885	1410	150.372	21/02/2013	Ponte Pereira
Lm 13	895	1310	150.393	21/02/2013	Ponte Pereira
Lm 14	925	1445	150.442	21/02/2013	Ponte Pereira
Lm 15	895	1180	150.333	02/03/2013	Ponte Pereira
Lm 16	905	1175	150.404	02/03/2013	Ponte Pereira
Lm 17	895	1340	150.382	02/03/2013	Ponte Pereira
Lm 18	935	1640	150.412	02/03/2013	Ponte Pereira
Lm 19	920	1520	150.433	02/03/2013	Ponte Pereira
Lm 20	905	1555	150.282	08/03/2013	Ponte Pereira
Lm 21	915	1585	150.352	08/03/2013	Ponte Pereira
Lm 22	870	1520	150.293	09/03/2013	Ponte Pereira
Lm 23	940	1535	150.422	09/03/2013	Ponte Pereira
Lm 24	940	1420	150.253	24/03/2013	Ponte Pereira
Média (\pm dp)	898 \pm 34	1399 \pm 152			
Mínimo-máximo	820 - 950	1145 - 1640			

2.2.3. Comportamento de *Petromyzon marinus* no interior da passagem para peixes

2.2.3.1. Equipamento de telemetria

Para a concretização desta tarefa foi utilizado um método de telemetria fisiológica, nomeadamente de electromiogramas (EMG), que utiliza os sinais de EMG como uma medida quantitativa de atividade associada à musculatura axial. Os sinais de EMG detetados pelos respetivos transmissores resultam de alterações na voltagem bioelétrica (potencial) entre elétrodos implantados na musculatura axial (i.e. musculatura vermelha), sendo o potencial criado proporcional ao grau e duração da contração muscular (Kaselloo *et al.*, 1992; Cooke *et al.*, 2004)

Os sinais EMG foram registados utilizando elétrodos associados aos radiotransmissores. Estes dispositivos são programados em fábrica para emitir um sinal codificado que para além de identificar a frequência do transmissor emite uma média de valores de EMG amostrados durante um período de tempo de 2 segundos. Antes do envio da informação, esta é processada e transformada num nível de atividade que varia entre 0 e 50 (cEMG). Quanto maior o valor de cEMG, maior a atividade muscular (Cooke *et al.*, 2004).

Para o efeito, foram utilizados transmissores modelo CEMG-R11-25 (Lotek Wireless Inc., Newmarket, Ontario), de forma cilíndrica, com um comprimento de 56 mm por 12 mm de diâmetro e um peso 12 g, que representa um peso inferior a 1% do peso corporal dos animais marcados. Numa das extremidades apresentam uma antena e um par de elétrodos, aos quais foi adicionado um elétrodo de ouro de 19 quilates (7x1mm), que facilita a implantação e fixação dos elétrodos (em forma de T) na musculatura (Booth & Mckinley, 1997; Quintella *et al.* 2004). Cada transmissor operou numa frequência única (que variou entre 142.000-142.445), o que permitiu identificar, localizar e gravar os sinais de cEMG de cada animal marcado através do uso de uma antena de três elementos (YAGI) e de um recetor rádio portátil modelo SRX 400w 32C (LotekWireless Inc.) (Quintella *et al.*, 2005; Alexandre *et al.*, 2013).

Os dados armazenados no recetor SRX 400 foram diariamente descarregados para um computador através da porta de comunicação RS-232 utilizando o *software* WINHOST.

2.2.3.2. Captura, marcação e libertação

Entre os dias 2 e 10 de Abril de 2014, foram capturados três exemplares de *P. marinus* (tabela 5) a montante do Açude da Formoselha (c.f. figura 4), com recurso a um botirão.

Os animais foram anestesiados por imersão numa solução de 2-phenoxyethanol com uma concentração de 0,4 ml/l, e após a ausência de resposta à manipulação foi registado o respetivo comprimento - C_t (precisão de 1cm), o peso - P_t (precisão de 1g) e identificado o sexo.

O processo de marcação teve início com a colocação dos animais numa mesa cirúrgica em forma de V, com a região ventral para cima. De seguida procedeu-se à realização de uma incisão, os transmissores EMG foram colocados na cavidade peritoneal e o par de elétrodos com o terminal em forma de T foi colocado paralelamente, do lado esquerdo na musculatura axial junto à derme, numa região do corpo do animal onde se concentram as fibras associadas à musculatura vermelha. O local da colocação dos elétrodos e a distância entre eles foi padronizada de acordo com o trabalho de Quintella *et al.* (2004) onde é descrito em pormenor o procedimento utilizado (figura 10).

Durante este período de tempo, a anestesia e oxigenação foi assegurada através de contínuo fornecimento de uma solução anestésica a uma concentração inferior (0.2 ml /l de 2-phenoxyethanol).

Com vista à deteção destes indivíduos na antena de marcas tipo PIT e identificação dos indivíduos marcados, foram também implantadas marcas PIT e um T-*bar* externo. O código da marca tipo PIT foi obtido logo após a marcação com o auxílio de um recetor portátil, de forma semelhante ao que já foi descrito no ponto 2.2.1.2.

Tabela 5: Número de lampreias-marinhas marcadas com transmissores EMG, respetivo comprimento total médio - C_t (\pm dp), peso total médio P_t (\pm dp), sexo, data de marcação (DM) e data de libertação (DL)

ID Lampreia	C_t (mm)	P_t (g)	Sexo	DM	DL
Pm1	815	1200	Fêmea	02/04/2014	03/04/2014
Pm2	935	1600	Fêmea	03/04/2014	04/04/2014
Pm3	895	1370	Fêmea	10/04/2014	11/04/2014

Terminada a colocação dos transmissores, os animais foram colocados num tanque retangular previamente preparado (com filtro, refrigerador e arejador), com 400 l de capacidade.

A libertação decorreu entre 22 e 28 horas após a cirurgia, período no qual foi obtido um valor de cEMG médio correspondente ao valor de repouso.

Previamente à libertação da lampreia (tabela 5) pela estimulação táctil foi testado o correto funcionamento dos transmissores (certificar que existe uma boa relação entre a atividade do indivíduo e o registo cEMG e que este aumenta à medida que o nível de atividade do animal marcado também aumenta) e foi realizado o respetivo transporte para a primeira bacia de jusante da passagem para peixes, onde ficaram em período de aclimação à zona de libertação numa rede nassa até ao início do período noturno.

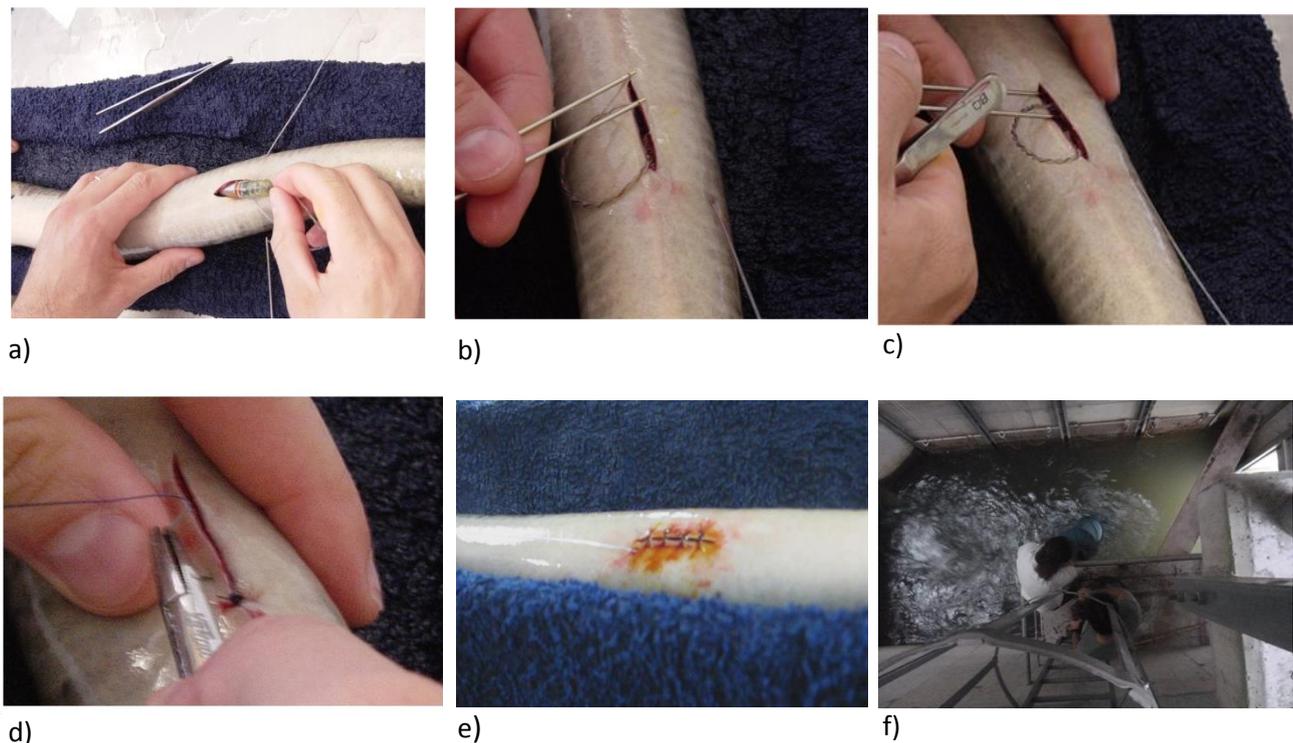


Figura 10: Procedimento de marcação da lampreia-marinha: a) inserção do transmissor na cavidade peritoneal; b)-c) colocação dos elétrodos na musculatura axial vermelha; d)-e) sutura e desinfeção do corte. f) Local de aclimação na zona de libertação.

2.2.3.3. Monitorização do comportamento durante a transposição da PPP

Por forma a identificar a localização dos exemplares de *P. marinus* marcados com cEMG durante a transposição das 23 bacias que constituem a passagem para peixes, foi realizado um *tracking* contínuo

desde o momento da libertação na primeira bacia até à saída do dispositivo, e sempre que possível foi identificado o momento (hora) de transposição entre bacias.

Em situações em que o animal marcado tenha saído da PPP, em vez de progredir o movimento ao longo do dispositivo de passagem, optou-se por montar a antena de três elementos e o recetor rádio portátil numa estrutura junto ao Açude-Ponte, o que permitiu continuar a registar os sinais de cEMG de forma autónoma durante o dia que se seguiu à libertação (até as 16 horas). Após este período deu-se por finalizada a recolha de dados relativos ao cEMG, e a eventual transposição da PPP passou a ser identificada apenas pelo sistema de deteção de marcas PIT.

2.2.3.4. *Análise de dados*

Ao conjunto de dados contínuos obtidos para cada um dos animais que transpôs com sucesso a PPP foram identificados os valores de cEMG associados a cada bacia e ao momento em que ocorreu a sua transposição através da fenda vertical.

Uma vez que para cada indivíduo os valores de cEMG não foram calibrados com a velocidade de natação, no presente estudo a velocidade de natação foi obtida através de uma regressão linear entre o valor de cEMG de repouso de cada indivíduo (velocidade de natação = 0 m/s), e o valor máximo de cEMG associado à transposição de uma fenda cuja velocidade é conhecida (1,14 m/s). Estes dados foram posteriormente utilizados para determinar o tempo que cada indivíduo permaneceu em atividade acima do valor crítico de natação médio calculado para *P. marinus* ($U_{crit}=1,03$ m/s; Almeida *et al.*, (2007)). Importa ressaltar que esta forma de calibrar o registo cEMG com a velocidade de natação serve apenas para uma análise mais grosseira. Para calibrar corretamente teria de ser seguido um procedimento semelhante ao utilizado por Quintella *et al.* (2009).

No caso do animal marcado não transpor a PPP, os dados contínuos obtidos são apresentados, sendo acompanhados do respetivo valor de cEMG de repouso.

Com vista a testar a hipótese de aprendizagem ao longo do movimento de transposição do dispositivo de passagem, foi identificado o esforço (valores de cEMG) associados a cada bacia, e foi calculado o respetivo tempo médio. Casos em que o indivíduo esteve por mais que uma vez numa determinada bacia, foram considerados apenas os valores que corresponderam à primeira passagem do animal nessa bacia.

O teste de Kruskal-Wallis, seguido de testes de comparações múltiplas *a posteriori* foram utilizados na comparação dos valores de cEMG durante a transposição das 22 bacias da PPP (primeira bacia excluída por constituir o local de libertação). Visto que os valores de cEMG não foram calibrados,

não permitindo desta forma a existência de valores de cEMG padronizados, a análise desta variável foi realizada por indivíduo.

Para cada uma das variáveis, foi realizada a análise descritiva dos dados, que incluiu a representação gráfica dos valores de cEMG e tempo médios por bacias e respectiva regressão linear.

As análises estatísticas foram realizadas com o programa STATISTICA versão 12.

3. Resultados

3.1. Utilização da PPP por quatro espécies migradoras (*Petromyzon marinus*, *Luciobarbus bocagei*, *Pseudochodrostoma polylepis* e *Liza ramada*)

Os resultados apresentados são referentes ao período que decorreu entre o dia 4 de abril e 29 de agosto de 2014.

Neste período, a eficiência da PPP do Açude-Ponte de Coimbra diferiu entre as espécies alvo (figura 11), sendo que a espécie anádroma *P. marinus* foi a que apresentou a percentagem mais elevada de indivíduos marcados com marcas PIT que transpôs com sucesso o dispositivo (30%). No caso das espécies potamódromas identificou-se uma eficiência de 14% para o barbo do Norte e de 6% para a boga-comum *P. polylepis*. Relativamente à espécie catádroma *L. ramada*, apenas 4% dos indivíduos marcados transpuseram a PPP até à data do último registo (descarregamento de dados) apresentado nesta tese.

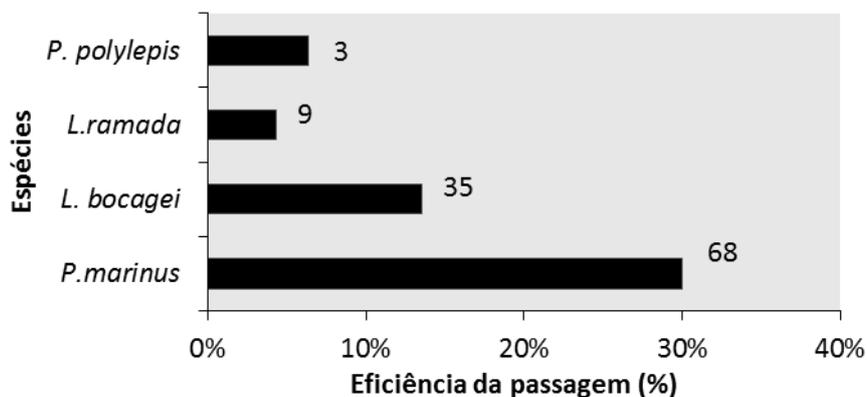


Figura 11: Percentagem de animais de cada uma das espécies (*P. polylepis*, *L. ramada*, *L. bocagei* e *P. marinus*) que transpôs com sucesso a PPP durante a respetiva época de migração de 2014. O número absoluto de animais detetados é apresentado após cada barra.

3.1.1. *Petromyzon marinus*

De um total de 225 espécimes de lampreia-marinha marcados, 68 foram identificadas pelo sistema de deteção de marcas PIT, e pelo menos um dos animais foi recapturado por furtivos a jusante ao Açude-Ponte, uma vez que a sua marca externa foi devolvida.

A eficiência de passagem da PPP foi semelhante para todas as classes dimensionais consideradas (G-test, $df=2$, $p>0,05$) (figura 12), e esta não foi influenciada pela data de marcação dos indivíduos (G-test, $df=1$, $p>0,05$), pois se considerarmos dois intervalos de tempo correspondentes ao período inicial e final de capturas, verifica-se que a percentagem de animais que utilizou a PPP foi de 27% no primeiro período de capturas (de 4 abril a 14 abril) e de 31% no segundo (de 15 abril a 26 abril).

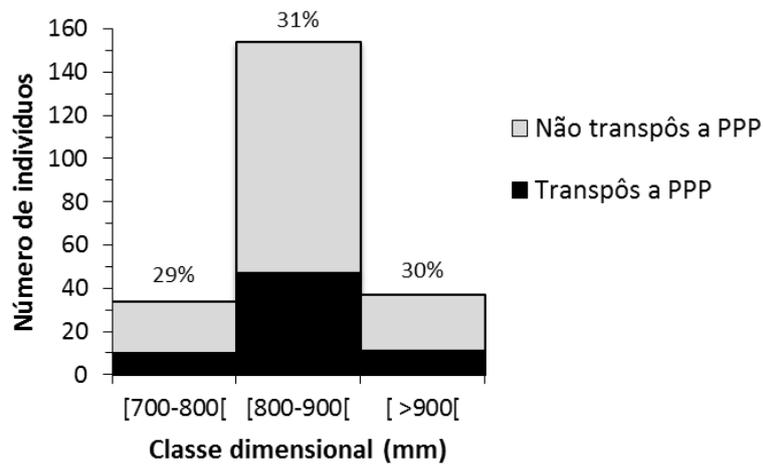


Figura 12: Número de indivíduos pertencentes à espécie *P. marinus* que de acordo com a classe dimensional realizou a transposição da PPP do Açude-Ponte de Coimbra em 2014. A percentagem de animais que transpôs com sucesso a PPP é apresentada no topo de cada barra.

A primeira deteção de lampreia-marinha registada pelo sistema associada à antena PIT instalada na PPP foi no dia 10 de abril de 2014 e a última no dia 17 de maio de 2014.

Durante este período ocorreram dois picos de migração, o primeiro nos dias 26 e 27 de abril, em que passaram 16 indivíduos, e o segundo nos dias 10 e 11 de maio, período durante o qual passaram 23 indivíduos. Estas deteções foram significativas e positivamente correlacionadas com o número de passagens para montante identificadas por contagem visual (correlação de Spearman: $r=0,640$, $p<0,01$) (figura 13).

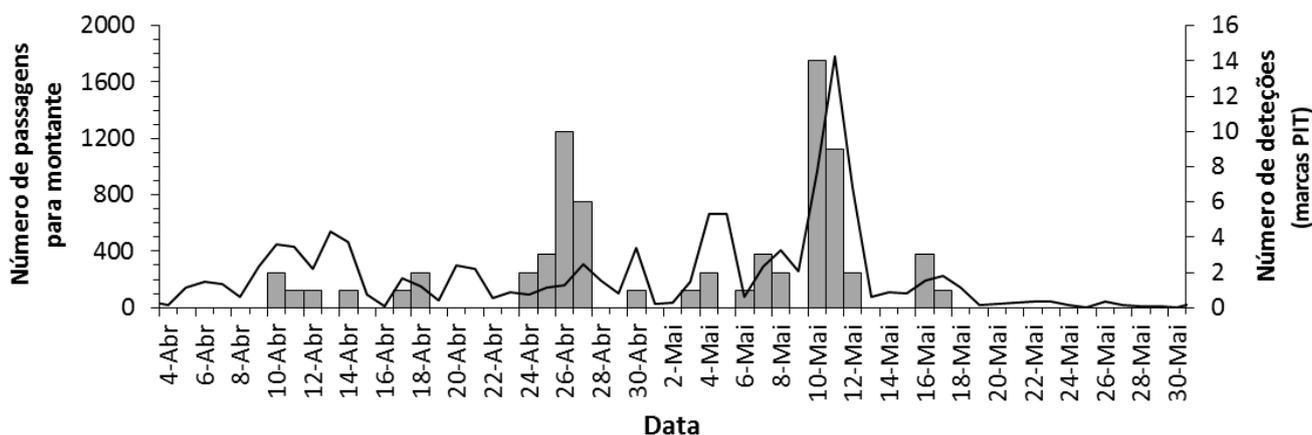


Figura 13: Distribuição diária de passageiros (linha preta) e detecções de marcas PIT (barras cinzas) de *P. marinus* na PPP do Açude-Ponte de Coimbra durante o período de estudo.

O número de detecções foi ainda significativamente e negativamente correlacionado com o caudal médio diário (correlação de Spearman: $r = -0,285$, $P = 0,038$) e, considerando o caudal efluente total desfasado 3 horas, verificou-se que a maioria dos eventos ocorreu com um caudal inferior a $50 \text{ m}^3/\text{s}$ (88%), tendo 42% das primeiras detecções ocorrido com um caudal inferior a $20 \text{ m}^3/\text{s}$ (figura 14).

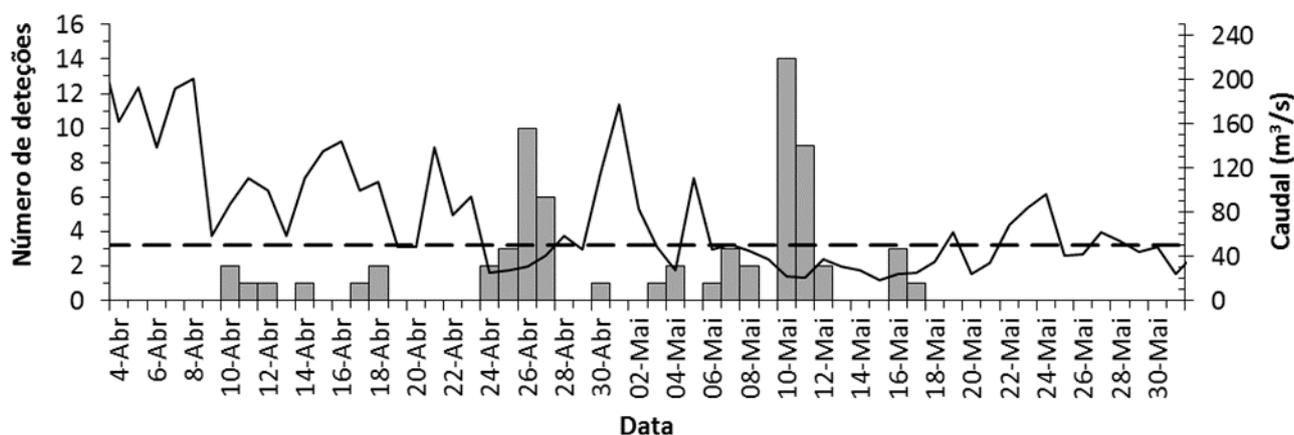


Figura 14: Distribuição diária das detecções de *P. marinus* e respetivo caudal médio diário (m^3/s) a jusante do Açude-Ponte, no Rio Mondego durante a época de estudo. A linha a tracejado identifica o caudal teórico ($50 \text{ m}^3/\text{s}$) a partir do qual a entrada no dispositivo é afetada negativamente (Cardoso, 2014).

Não foi encontrada uma correlação significativa entre o número de detecções e outros fatores abióticos como a temperatura média diária (correlação de Spearman: $r = 0,187$, $p = 0,176$) ou turbidez média diária (correlação de Spearman: $r = 0,166$, $p = 0,229$).

No que diz respeito ao tempo decorrido entre a marcação e a primeira detecção de cada animal pela antena, não foram detetadas diferenças entre os locais de libertação ($U = 293$, $df = 67$, $p = 0,12$), e o

valor mediano da distribuição conjunta dos tempos foi de 14 dias (com intervalo de 7,31 h - 34 dias), sendo que 28% dos animais marcados foram detetados dois dias após a marcação, e 38% demorou entre 14 a 18 dias (figura 15). Neste sentido, observa-se que na maioria dos casos (84%) o tempo necessário até à primeira deteção foi de até duas semanas e meia, embora 15% das ocorrências tenham ainda ocorrido após 3 semanas e até 5 semanas.

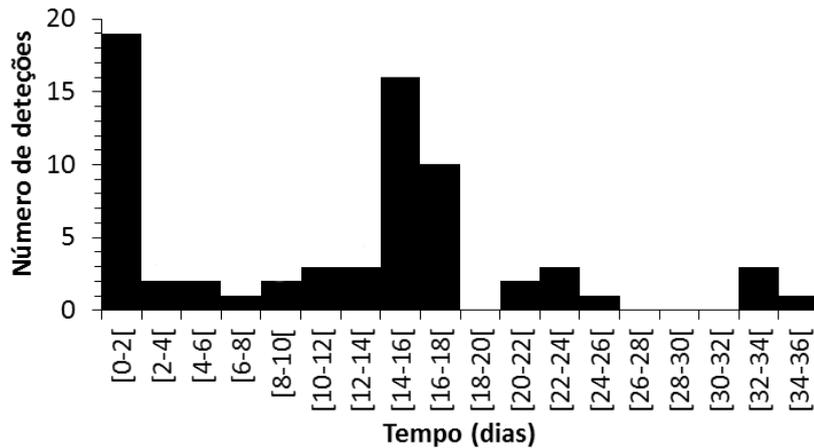


Figura 15: Distribuição do número de dias entre a marcação e a primeira deteção dos espécimes de *P. marinus* marcados com marcas PIT que transpuseram com sucesso a PPP durante o período de estudo.

De acordo com o tempo decorrido entre a primeira e a última deteção, foi possível agrupar os indivíduos em três classes distintas (figura 16): (i) a primeira classe que representa os animais cujo tempo entre a primeira e a última deteção foi inferior a uma hora, esta foi a classe mais representativa, com 72% das passagens, sendo que 44% destes animais passou nos primeiros cinco minutos; (ii) a segunda classe representa os animais cuja última deteção decorreu entre um período de uma a seis horas (20%); e (iii) a terceira classe representa intervalos de deteção superior a 12 horas (dois animais) e superior a 24h (dois animais).

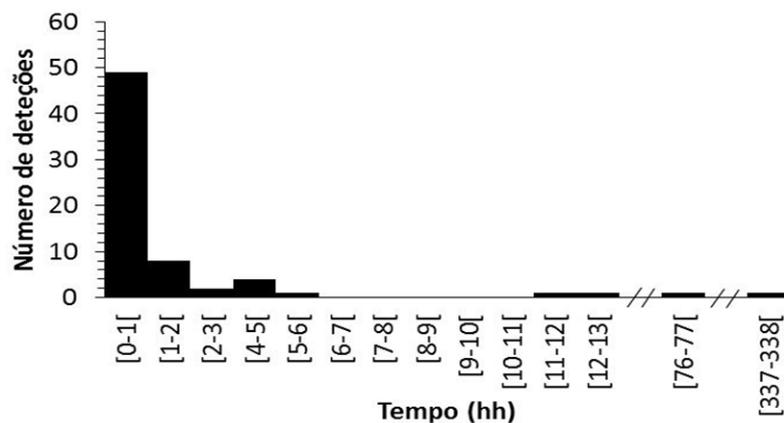


Figura 16: Distribuição do tempos entre a primeira e a última deteção dos espécimes de *P. marinus* marcados com marcas PIT que transpuseram com sucesso a PPP durante o período de estudo.

Quanto ao padrão circadiano das primeiras detecções, este mostrou claramente que a maioria dos eventos ocorreu durante o período noturno, com 88% das passagens contabilizadas entre o nascer e pôr-do-sol. (figura 17).

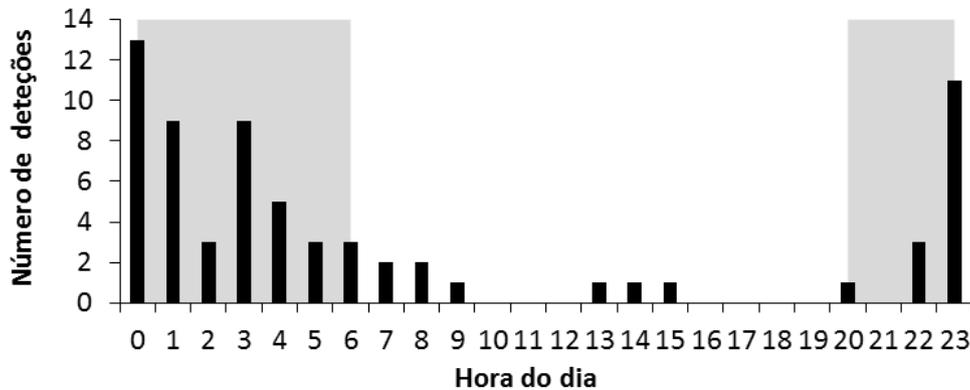


Figura 17: Distribuição circadiana das detecções de *P. marinus*. As barras a cinzento indicam o período da noite baseado na hora do pôr-do-sol e nascer do sol para o local e período estudado.

3.1.2. *Luciobarbus bocagei*

A eficiência de passagem obtida para esta espécie durante o período estudado foi de 14 %, e esta variou significativamente entre classes dimensionais (G-test, $df=3$, $p<0,01$) (figura 18), sendo que as classes de dimensão até 400 mm representaram a maioria dos animais que transpuseram com sucesso a PPP.

A eficiência de passagem foi independente do período de marcação (i.e., abril e maio) (G-test, $df=1$, $p>0,05$).

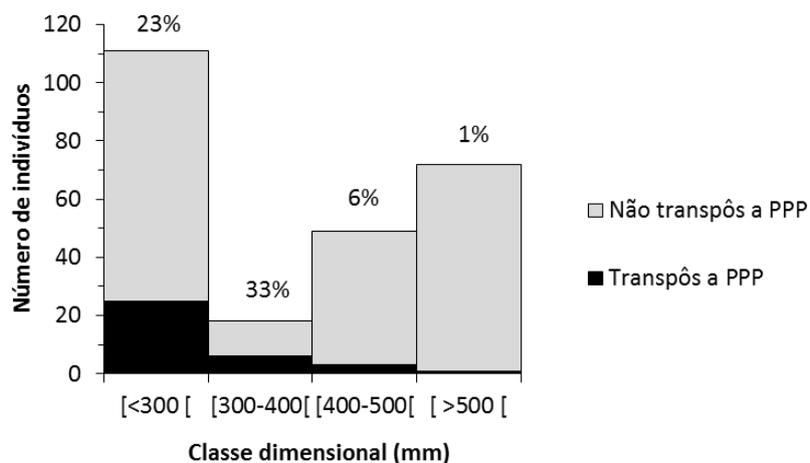


Figura 18: Número de indivíduos pertencentes à espécie *L. bocagei* que de acordo com a classe dimensional realizou a transposição da PPP do Açude-Ponte de Coimbra em 2014. A percentagem de animais que transpôs com sucesso a PPP é apresentada no topo de cada barra.

O primeiro indivíduo de *L. bocagei* foi detetado no dia 27 de abril, e o último a 8 de agosto, não tendo sido identificada uma correlação significativa com o número de passagens para montante identificadas por contagem visual (correlação de Spearman: $r=0,138$, $p=0,301$) (figura 19). Durante este período foram sendo realizadas deteções, embora raramente tenha ocorrido mais de uma passagem por dia. Apenas durante os dias 17 e 18 de maio (3 deteções) e 1 de junho (5 deteções) foram detetados mais do que um animal por dia.

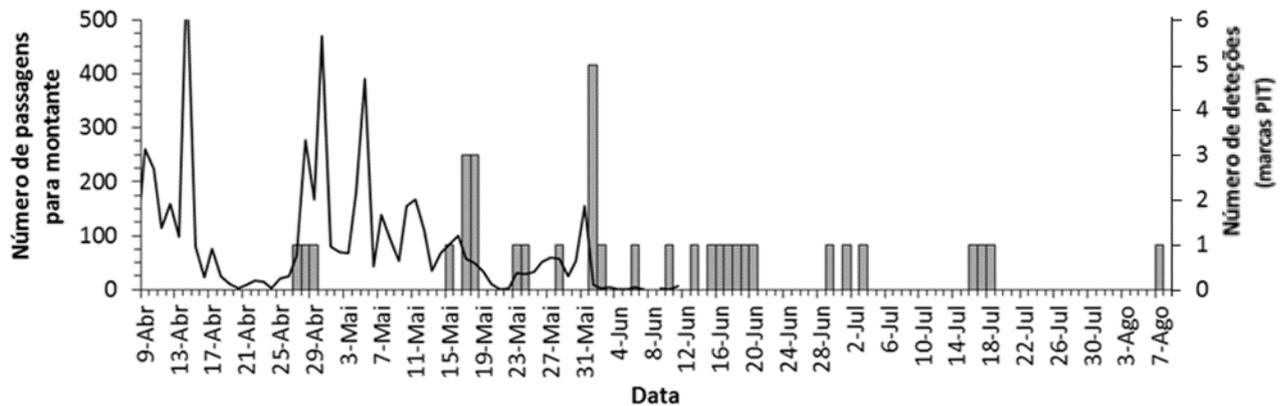


Figura 19: Distribuição diária de passagens (linha preta) e deteções de marcas PIT de *L. bocagei* na PPP do Açude-Ponte de Coimbra durante o período de estudo.

Uma vez que não foi possível obter os valores de temperatura e turbidez para a totalidade do período com registos de passagens devido a um problema com a sonda multiparamétrica, não foi avaliada a correlação entre o número de deteções e estes fatores. Relativamente à correlação entre o número de deteções e o caudal médio diário, para esta espécie, não foi encontrada nenhuma correlação entre as passagens e este fator (correlação de Spearman: $r= -0,062$, $P=0,491$) (figura 20).

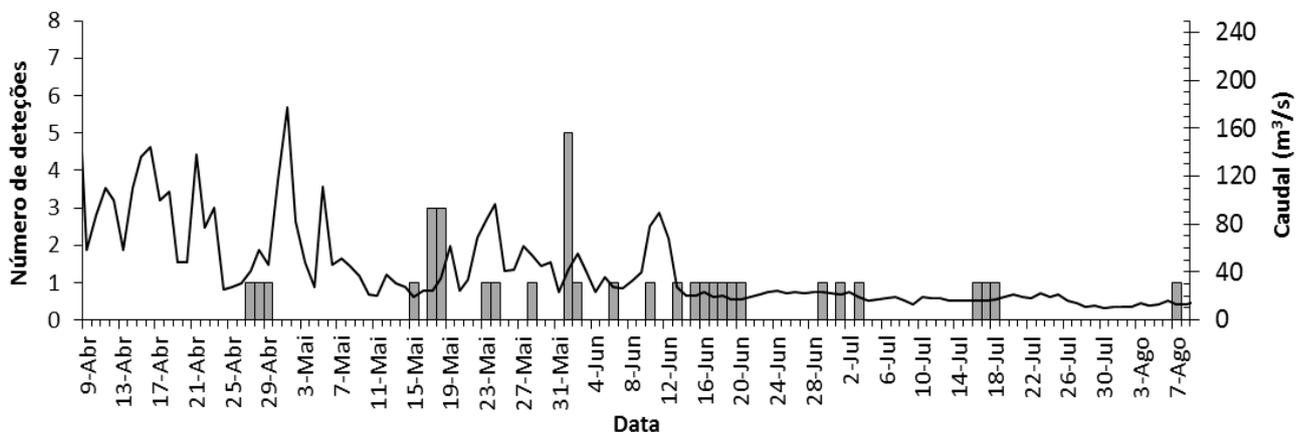


Figura 20: Distribuição diária das deteções de *L. bocagei* e respetivo caudal médio diário (m^3/s); linha preta) a jusante do Açude-Ponte, no Rio Mondego durante a época de estudo.

Quanto ao tempo decorrido entre a marcação e a primeira detecção na antena da PPP, este não foi influenciado pela data de marcação ($n=35$, $r^2=0,00$, $p=0,917$) e o valor mediano da distribuição de frequências conjunta foi de 23 dias (com intervalo de 7h – 84 dias) (figura 21).

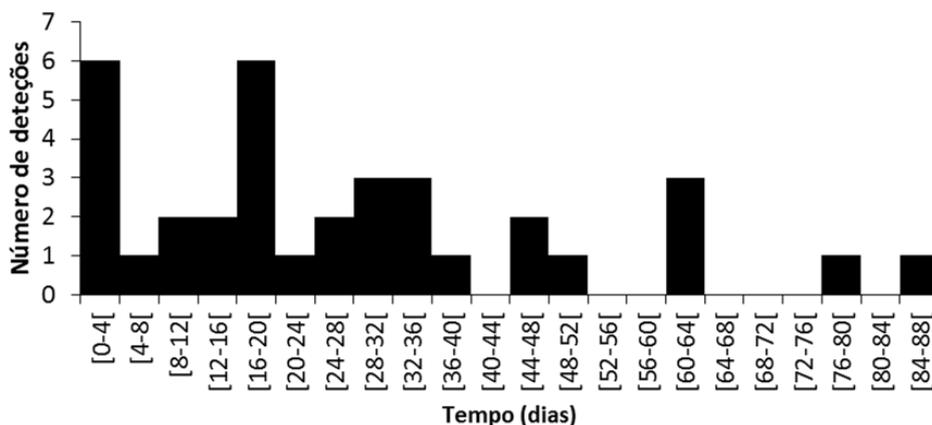


Figura 21: Distribuição do número de dias entre a marcação e a primeira detecção dos espécimes de *L. bocagei* marcados com marcas PIT que transpuseram com sucesso a PPP durante o período de estudo.

No que diz respeito ao intervalo de tempo decorrido entre a primeira e a última detecção (figura 22), também no caso do barbo do Norte se observam três classes distintas de tempos. (i) Uma primeira classe, e a mais representativa (66% das passagens), que correspondeu a animais cujo tempo entre a primeira e a última detecção foi inferior a 1 hora, sendo que destes, 54% realizaram a transposição desta zona em menos de 2 minutos, apresentando assim um comportamento mais direcionado; (ii) uma segunda classe que representou os animais cuja última detecção decorreu entre um período de uma a sete horas (6%), e (iii) uma terceira classe, que representa animais cujos intervalos de detecção foram superior a 14 horas, sendo que foram registadas detecções desfasadas em 15 a 25 dias (3 ocorrências), em 41 a 55 dias (5 ocorrências) e em 71 dias (apenas uma ocorrência).

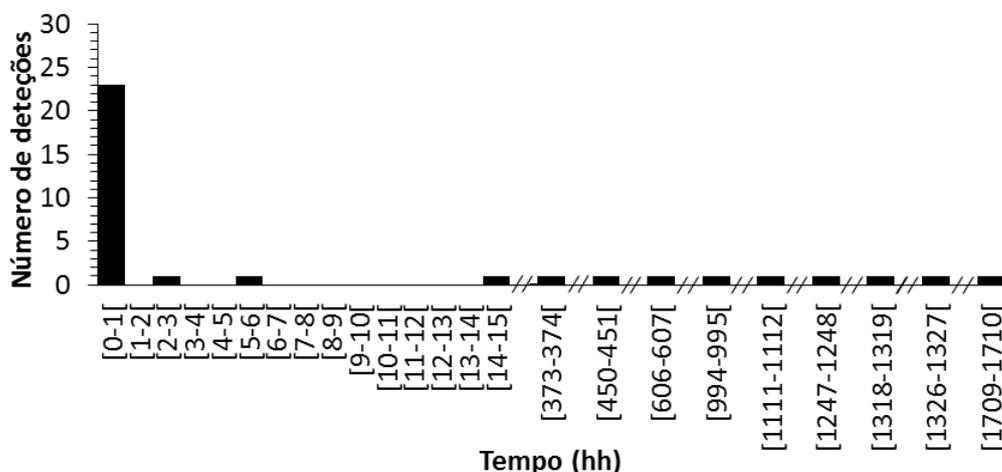


Figura 22: Distribuição do número de horas entre a primeira e a última detecção dos espécimes de *L. bocagei* marcados com marcas PIT que transpuseram com sucesso a PPP durante o período de estudo.

O padrão circadiano das primeiras detecções mostrou que a maioria dos eventos ocorreu durante o período diurno (figura 23).

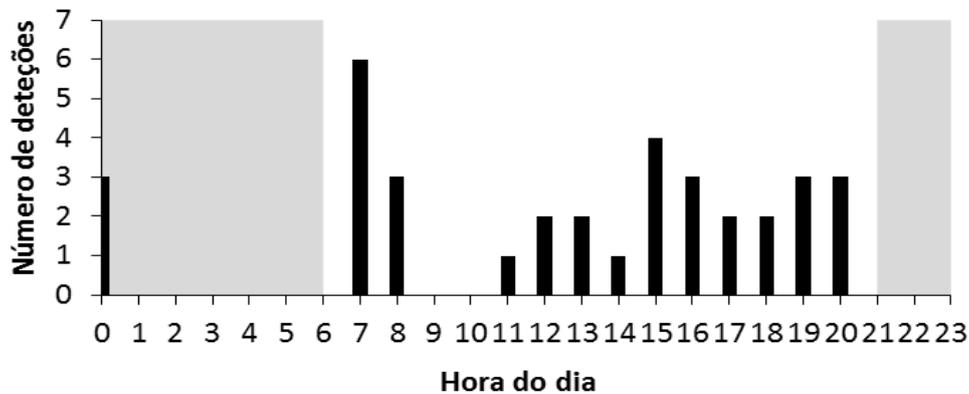


Figura 23: Distribuição circadiana das detecções de *L. bocagei*. As barras a cinzento indicam o período da noite baseado na hora do pôr-do-Sol e nascer do Sol para o local e período estudado.

3.1.3. *Liza ramada*

A eficiência da PPP para esta espécie foi de 4%, o que correspondeu à detecção de apenas 9 dos 210 indivíduos marcados.

A totalidade das detecções correspondeu a animais marcados durante os meses de abril e maio, que corresponde ao primeiro período de marcação (figura 24).

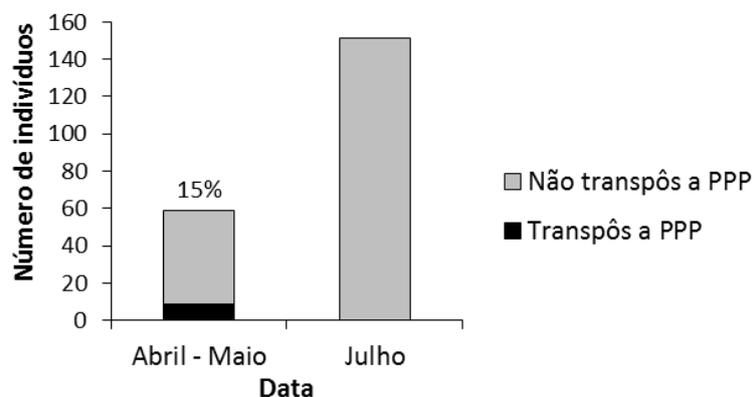


Figura 24: Distribuição do número de espécimes de *L. ramada* que efetivamente transpuseram a PPP do Açude-Ponte de Coimbra, considerando os dois períodos de marcação em 2014. A percentagem corresponde à eficiência de passagem da PPP.

Embora o tamanho da amostra seja reduzido, a observação do padrão circadiano das passagens permitiu verificar que todos os animais foram detetados durante o período diurno (figura 25).

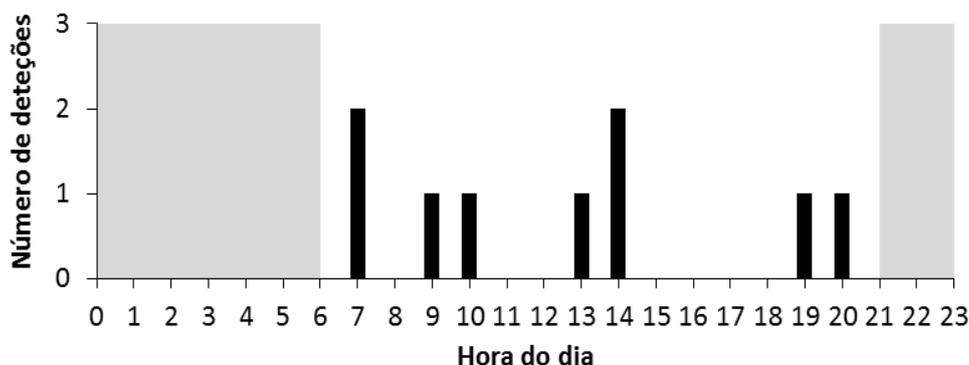


Figura 25: Distribuição circadiana das detecções de *L. ramada*. As barras a cinzento indicam o período da noite baseado na hora do pôr-do-sol e nascer do sol para o local e período estudado.

3.2. Comportamento de *Petromyzon marinus* a jusante da passagem para peixes

Os resultados apresentados resultam de dois períodos de monitorização: o primeiro que decorreu entre o momento da libertação (8 de fevereiro) e o mês de abril (até 11/04) em 2012, e o segundo entre o momento da libertação (21 de fevereiro) e o mês de julho (11/07) em 2013 (tabela 5).

Das 24 lampreias marcadas com radiotransmissores e libertadas a jusante do Açude-Ponte de Coimbra, seis (25%) conseguiram transpor com sucesso o Açude-Ponte (Lm 5, Lm 8, Lm 9, Pm11, Lm 18, Lm 24) (figura 26). Nenhum destes animais foi identificado novamente junto ao Açude-Ponte, tendo continuado a sua migração para montante no próprio troço principal (Lm 9, Lm 11, Lm 18) ou pelo primeiro afluente com alguma dimensão a montante do Açude-Ponte, o Rio Ceira (Lm 5, Lm 8, Lm 24).

Visto que os animais não foram seguidos continuamente durante a migração mas sim semanalmente, não foi possível verificar com exatidão o tempo entre a libertação, transposição do Açude-Ponte e a localização final (identificada no fim do período de monitorização). No entanto, para as seis lampreias que conseguiram transpor com sucesso o Açude-Ponte, o tempo decorrido entre a data de libertação e a data de monitorização onde se identificou a primeira localização a montante do Açude-Ponte variou entre 10 (Lm 5, Lm 8, Lm 9) e 22 dias (Lm 18), o que corresponde a um período de permanência a jusante do obstáculo superior a uma semana e que pode estender-se até três semanas.

No caso das lampreias Lm 11 e Lm 24 verificou-se um período de 12 e 16 dias, respetivamente, pelo que o tempo mediano da distribuição foi de 11 dias.

A localização final mais a montante identificada para as 18 lampreias que não conseguiram transpor com sucesso o Açude-Ponte, foi a entrada da passagem para peixes e a soleira do Açude-Ponte. Dois dos animais marcados (Lm 14, Lm 22) não chegaram a esta área, tendo ficado no troço entre o local de libertação e o Açude-Ponte, em zonas que podem ter as características adequadas para a reprodução desta espécie, nomeadamente no que diz respeito à granulometria do substrato e tipo de fluxo.

A localização de cada uma das lampreias marcadas e monitorizadas durante o período referido é apresentada nos mapas individuais em anexo (anexo III).

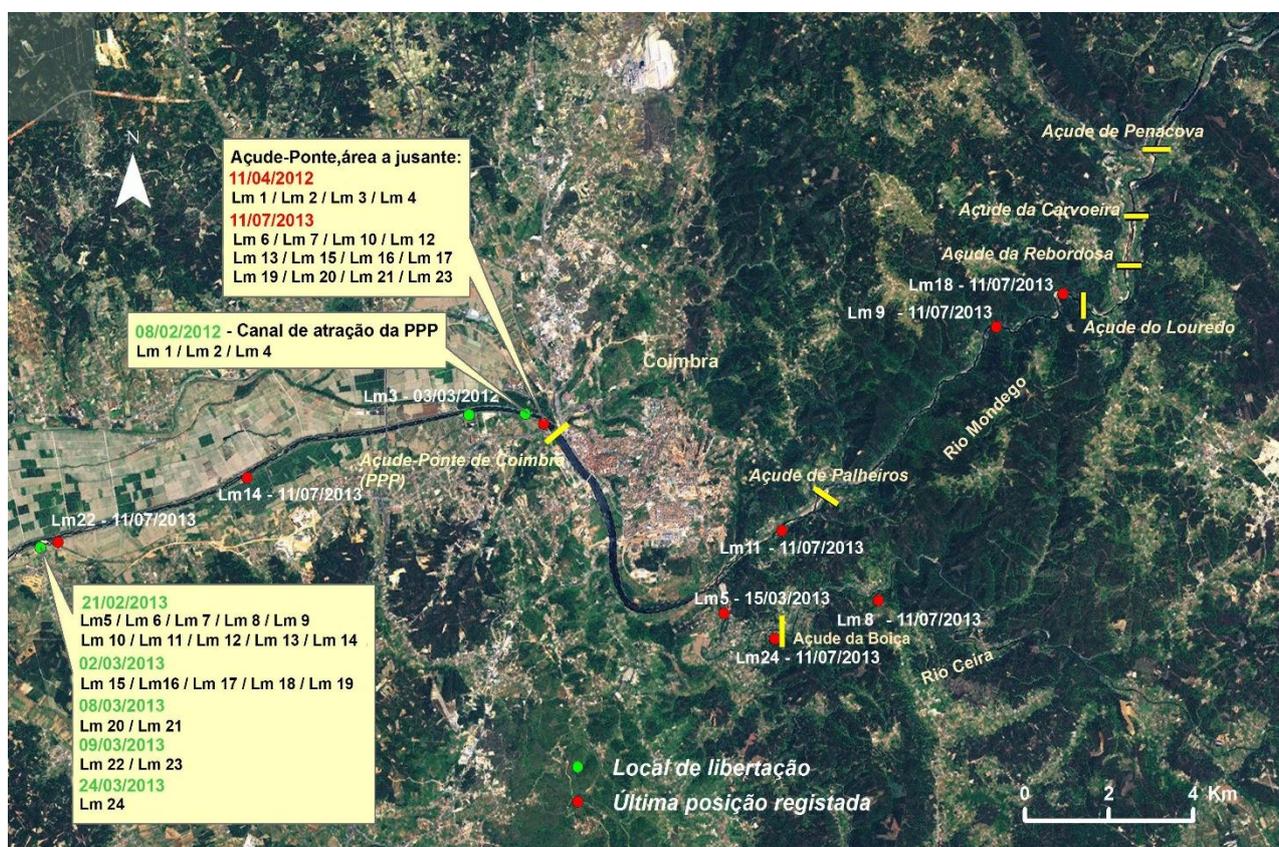


Figura 26: Mapa resumo com o registo do movimento migratório dos espécimes de *P. marinus* marcados com radiotelemetria em 2012 e 2013. São identificados os locais e datas de libertação (a verde), último registo (a vermelho), e açudes existentes (a amarelo).

3.3. Comportamento de *Petromyzon marinus* no interior da passagem para peixes

Dos três animais marcados com transmissores cEMG e libertados, dois realizaram a transposição da PPP com sucesso (Pm1 e Pm2), enquanto a terceira lampreia (Pm3) saiu da PPP logo após a libertação. Esta última lampreia, após sair da PPP e durante o período entre a libertação e o dia seguinte, continuou junto à entrada da PPP, em frente ao descarregador de superfície do Açude-Ponte, numa zona de elevada turbulência, onde desenvolveu uma atividade caracterizada por picos de atividade de elevada intensidade ($cEMG_{\text{repouso}}=4$; $cEMG_{\text{médio}}=7$; $cEMG_{\text{máx}}=46$) (figura 27), que demonstram que o animal continuou a tentar ultrapassar o Açude-Ponte com a intenção de prosseguir a migração para montante. Da observação dos caudais verificou-se que no momento da libertação (22h) o caudal efluente era de $79 \text{ m}^3/\text{s}$ e que no período que se seguiu manteve-se acima dos $136 \text{ m}^3/\text{s}$ (até as 06h), o que justifica assim a dificuldade deste indivíduo em localizar a entrada da PPP e iniciar a sua transposição. O seu código da marca PIT nunca foi identificado pela antena de deteção, verificando-se que a transposição pela PPP nunca ocorreu.

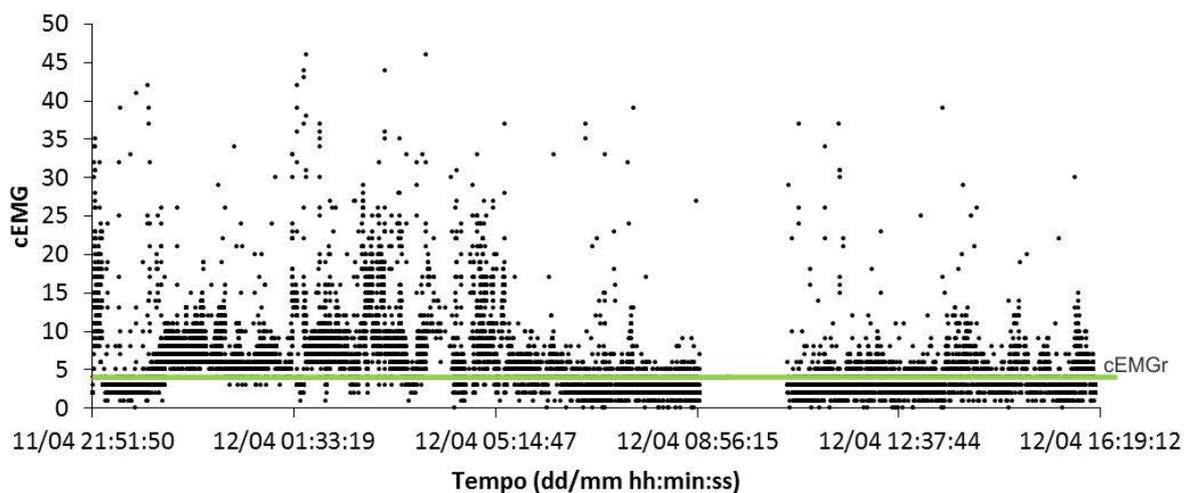


Figura 27: Comportamento da lampreia-marinha Pm3 (valores de cEMG – i.e. índice de atividade relativa,) a jusante da PPP. No eixo dos Y, a linha verde representa o valor médio do cEMG de repouso ($cEMGr$). O intervalo a branco corresponde a um período sem dados.

No que diz respeito às duas lampreias que efetuaram a transposição da PPP com sucesso, ambas demoraram um período de aproximadamente 3 horas entre a libertação na primeira bacia e a saída deste dispositivo (figura 28 e 29).

Durante a transposição identificou-se uma sucessão de períodos de atividade intensa que se caracterizam por movimentos rápidos e de curta duração (*burst swimming*), que contrastam com períodos de menor atividade ou repouso. Os picos de atividade mais elevada estão na sua maioria associados à passagem pelas fendas verticais, ou tentativas de passagem.

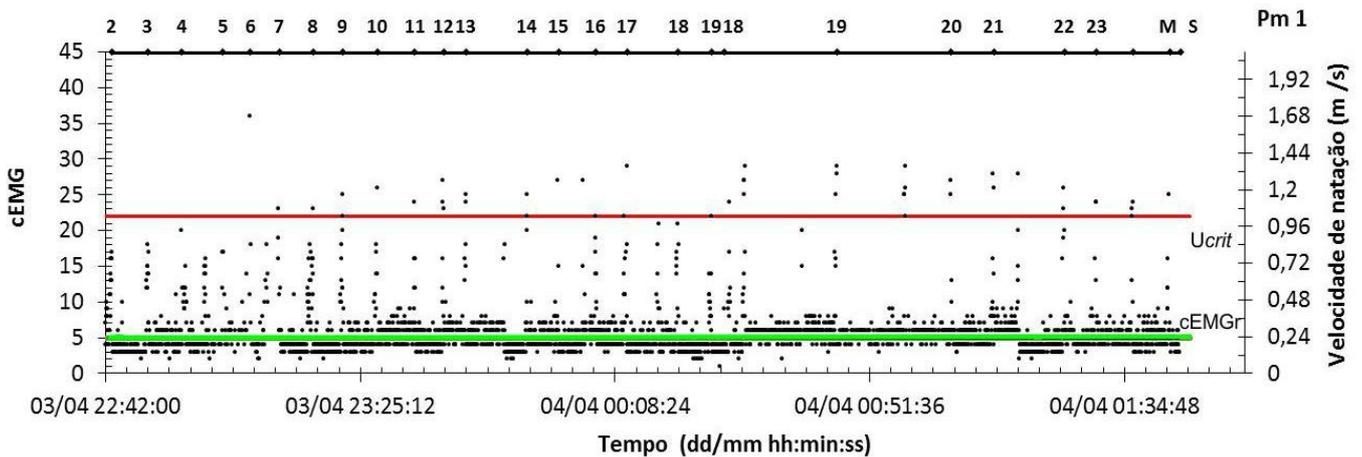


Figura 28: Comportamento da lampreia-marinha Pm1 (valores de cEMG – i.e. índice de atividade relativa,) no interior da PPP. No eixo dos Y, a linha verde representa o valor médio do cEMG de repouso (cEMGr) e a vermelha é apresentada o valor teórico da velocidade crítica de natação (U_{crit}) calculado para espécie. A cada transposição de uma bacia, o número da respetiva bacia é identificado no topo do gráfico, identificando-se ainda o estreitamento associado à janela de monitorização (M) e a saída da PPP (S).

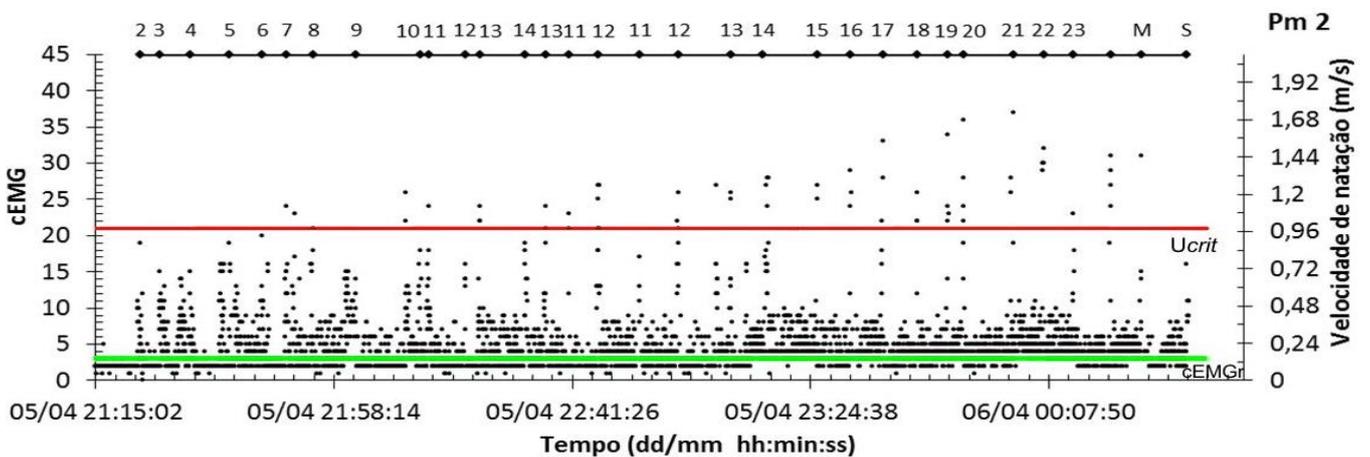


Figura 29: Comportamento da lampreia-marinha Pm2 (valores de cEMG – i.e. índice de atividade relativa,) no interior da PPP. No eixo dos Y, a linha verde representa o valor médio do cEMG de repouso (cEMGr) e a vermelha é apresentada o valor teórico da velocidade crítica de natação (U_{crit}) calculado para espécie. A cada transposição de uma bacia, o número da respetiva bacia é identificado no topo do gráfico, identificando-se ainda o estreitamento associado à janela de monitorização (M) e a saída da PPP (S).

Em ambos os casos, menos de 1% ($Pm1=0,7\%$ e $Pm2=0,9\%$) do tempo total de transposição correspondeu a uma velocidade de natação superior ao valor teórico do limite crítico da velocidade de natação (U_{crit}) calculado para *P. marinus* (1,03 m/s).

Relativamente ao tempo de permanência dos indivíduos marcados em cada uma das 22 (das 23) bacias que constituem a PPP, o gráfico de dispersão, permitiu verificar que não existe uma tendência clara que revele um aumento ou decréscimo do tempo ao longo da transposição e progressão das bacias (figura 30)

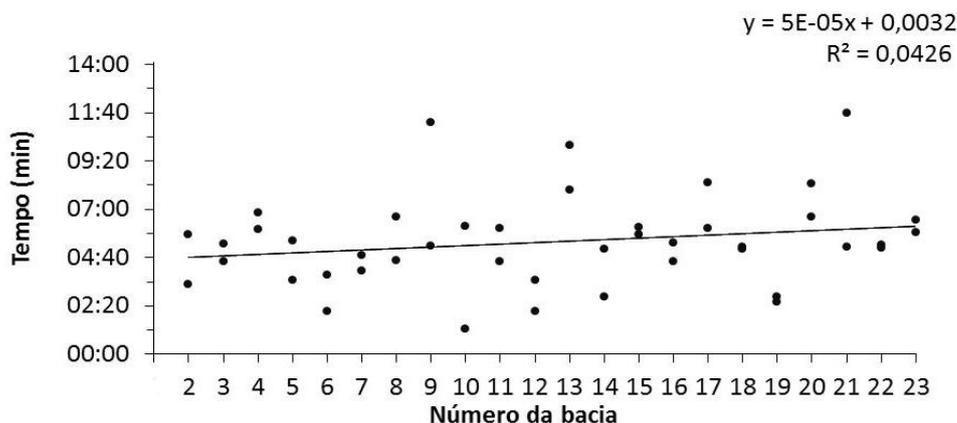


Figura 30: Representação gráfica do tempo de permanência em cada bacia (com início na 2 bacia), considerando os valores obtidos para os dois animais monitorizados.

Em relação aos valores de cEMG por bacia, a análise foi realizada para cada indivíduo, uma vez que não se procedeu à calibração prévia dos valores cEMG, impossibilitando assim a comparação direta dos valores de cEMG entre *P. marinus* marcadas.

Tendo sido aplicado o teste de Kruskal-Wallis na comparação dos valores de cEMG por bacia para cada uma das lampreias, verificou-se que existem diferenças significativas quer no caso da Pm1 ($X^2=207,6$, $df=21$, $p < 0,05$) quer da Pm2 ($X^2=469,2$, $df=21$, $p < 0,05$). A comparação múltipla efetuada *a posteriori* permitiu verificar que o esforço dado pelo índice de atividade relativa em cada uma das bacias variou durante a transposição sem que existisse um padrão suficientemente nítido (figura 31).

No caso da lampreia Pm 2, resultados da regressão linear ($r^2=0.19$, $p < 0.05$) permitiram verificar que 19% da proporção de variação total é explicada pela variável “número da bacia” e que esta é uma relação significativa. Embora a relação seja fraca, observa-se que este indivíduo durante a transposição tendeu a desenvolver um esforço mais elevado.

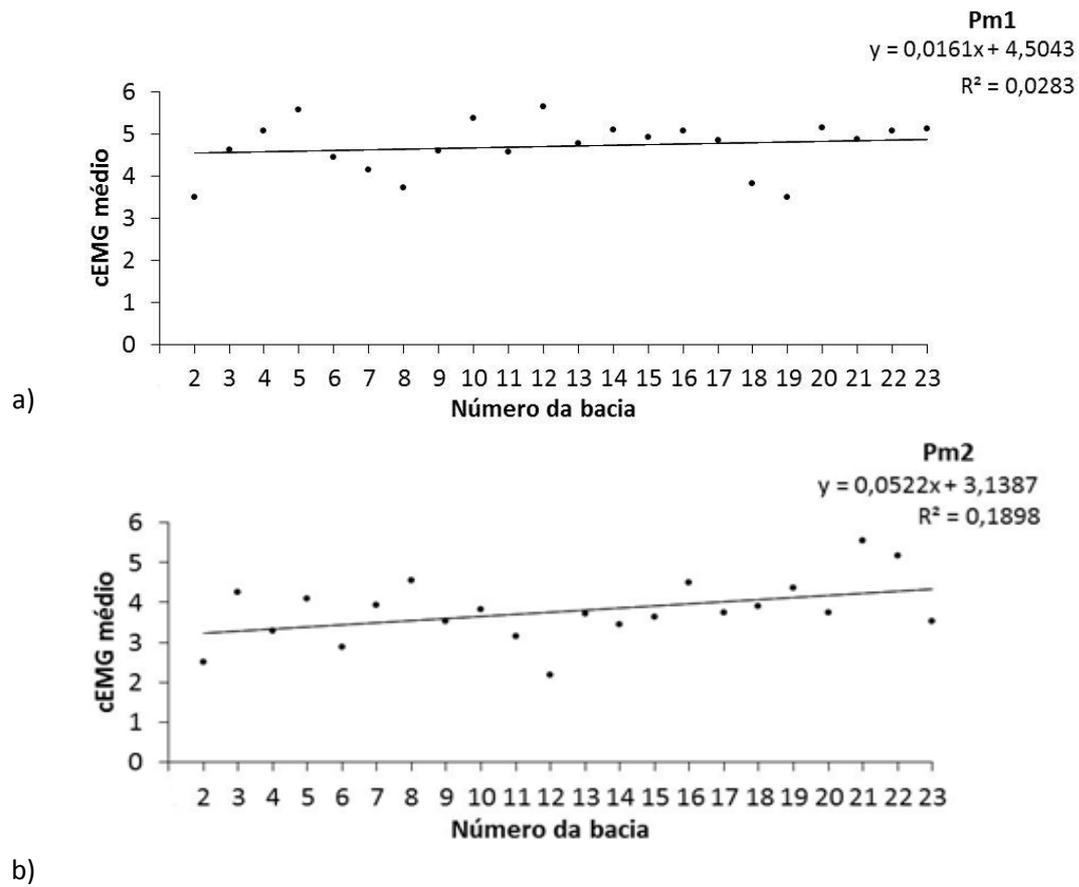


Figura 31: Valores médios de cEMG determinados para cada uma das bacias durante a transposição da PPP para a) Pm1 e b) Pm2.

4. Discussão

4.1. Utilização da PPP por quatro espécies migradoras (*Petromyzon marinus*, *Luciobarbus bocagei*, *Pseudochodrostoma polylepis* e *Liza ramada*)

Com vista à mitigação dos impactos resultantes de barreiras transversais, uma PPP deve assegurar a passagem para montante e jusante de todas as espécies migradoras. Posto isto, embora não exista um valor mínimo de eficiência estabelecido, Lucas & Baras (2001) consideraram que a eficiência destes dispositivos deve aproximar-se de 90 a 100%, tanto para as espécies diádromas como potamódromas.

No presente estudo, a utilização de um sistema de deteção automático de marcas PIT permitiu avaliar a eficiência da PPP do Açude-Ponte de Coimbra (sentido jusante-montante) para diferentes espécies migradoras durante o período de migração de 2014.

Das espécies avaliadas, os valores de eficiência obtidos para a lampreia-marinha (30%) representaram a eficiência máxima detetada para as diferentes espécies, ficando muito abaixo dos valores ótimos esperados para uma PPP.

Para as espécies com menores eficiências (boga-comum e muge), a baixa eficiência obtida deverá estar relacionada com algumas questões associadas ao procedimento de captura, como a data de captura dos espécimes (boga-comum), e/ou o efeito da manipulação durante a captura e marcação (exemplo do muge).

É de realçar que durante o período de estudo o sistema funcionou sem anomalias, não foram registados quaisquer alarmes associados a baixas eficiências do equipamento, ou interrupções no campo magnético provocadas por ruídos exteriores, pelo que foi assegurada a identificação de todos os códigos que se aproximaram do campo de deteção.

4.1.1. *Petromyzon marinus*

No que diz respeito à lampreia-marinha, a PPP apresentou como previamente referido uma eficiência de 30%, o que está abaixo dos valores para os quais é associado um grau elevado de mitigação

dos impactos, porém vai ao encontro do valor identificado por Noonan *et al.* (2012), numa revisão de 65 artigos (publicados até 2011) sobre a avaliação quantitativa da eficiência de diferentes PPP, para diferentes espécies. De acordo com a compilação de trabalhos feito por estes autores, da análise de cinco estudos relacionados com a família Petromyzontidae, a eficiência de passagem (para montante) em média convergiu para um valor aproximado de 30%. Pelo que o resultado obtido, embora não seja um valor ótimo, representa um valor comum a outros trabalhos onde é avaliada a adequabilidade de PPP para esta família.

Quanto à influência da dimensão dos indivíduos na eficiência de PPP, alguns autores como Keefer *et al.* (2010) identificaram que o sucesso de passagem da lampreia do pacífico (*Entosphenus tridentatus*, Richardson, 1837) ao longo da bacia do Rio Columbia e respectivas PPP foi dependente da classe dimensional, com os animais de maiores dimensões a apresentar uma maior probabilidade de transpor uma PPP.

No caso da lampreia-marinha, num estudo de Cardoso (2014) onde foi avaliada a distribuição de frequências do comprimento total de uma subamostra (n=1000) de indivíduos que transpuseram com sucesso a PPP do Açude-Ponte de Coimbra, foi observada uma distribuição normal de frequências, com as classe dimensional 900-950 mm a apresentar a maior frequência e as classes <700 mm e> 1050 mm as menores frequências observadas. Contudo, de acordo com os dados obtidos neste trabalho a eficiência de passagem não diferiu entre as classes dimensionais representadas.

É de salientar no entanto que as classes dimensionais consideradas neste trabalho diferem das classes estabelecidas em Cardoso (2014) como resultado de uma amostra mais reduzida (n= 225) e da necessidade de estabelecer classes dimensionais mais abrangentes. Para além disso durante o período de marcação, não foram capturados indivíduos com menos de 700 mm (como resultado da seletividade do botirão) ou mais de 1000 mm, pelo que as classes menos observadas em Cardoso (2014) não foram representadas neste trabalho.

Um dos resultados associados à baixa eficiência de uma PPP é a acumulação de um elevado número de animais a jusante do obstáculo, o que acaba por atrair a atenção de potenciais predadores, e também de pescadores furtivos (Beach, 1984; Taylor, 2001).

Ao longo do período de migração da lampreia-marinha, observações realizadas junto ao Açude-Ponte demonstraram que a pressão exercida sobre este recurso parece ser bastante elevada, todavia, da campanha de devolução das marcas T-bar, apenas uma marca foi devolvida (animal recapturado junto ao Açude-Ponte). Num estudo de Andrade *et al.* (2007), onde foi analisado o impacto do furtivismo sobre esta espécie no Rio Vouga, num ano particularmente seco o que pode ter potenciado a recaptura, os autores verificaram que 76% das lampreias marcadas com radiotransmissores foram recapturadas por

furtivos, desta forma, face à pressão observada, é expectável que o número de animais marcados e recapturados por furtivos seja considerável.

Relativamente ao período em que ocorreram as primeiras deteções, verificou-se que estas foram positivamente correlacionadas com o número de passagens identificadas através de contagens visuais, tendo-se verificado um maior número de deteções durante o maior pico de passagens desta espécie na PPP, e após a deteção do último animal marcado ocorreu uma redução drástica do número de passagens. Isto indica que as lampreias marcadas não passaram isoladas, mas sim aquando da passagem de grande parte dos indivíduos e seguindo o padrão migratório habitualmente verificado para esta espécie (Almeida *et al.*, 2000).

Embora as marcações tenham ocorrido durante o fim da época de migração e inclusive após o fim da época de pesca profissional (21 de abril), como resultado das já mencionadas condições atmosféricas adversas que impediram que este trabalho se iniciasse antes, a avaliação da eficiência para esta espécie parece não estar relacionada com a fase da época migratória. Para além de não terem sido observadas diferenças de eficiência entre períodos de marcação, da observação da distribuição diária de passagens, observa-se também que durante a migração desta espécie na PPP durante o ano de 2014, esta apresentou o maior pico de migração durante o mês de maio (entre 10/05 e 12/05), o que se traduz num desfasamento de 13 dias quando comparado com os resultados descritos por Cardoso (2014) para a época de migração de 2013.

A primeira deteção de cada animal que transpôs a PPP foi negativamente correlacionada com o caudal, e considerando o total desfasado 3 horas, verificou-se que grande parte destas passagens (88%) ocorreu com caudais inferiores a 50 m³/s. Estes resultados são corroborados pelo trabalho de Cardoso (2014), onde através de um modelo explicativo-preditivo foi identificado que o caudal total (desfasado 2 horas) foi a variável que melhor explicou a entrada e passagem desta espécie, e que caudais superiores a 50m³/s inibiam a transposição da PPP por esta espécie. Estes resultados explicam assim o facto de independentemente do local de libertação, os tempos entre a marcação e primeira deteção terem sido semelhantes já que a transposição da PPP está sobretudo associada aos caudais efluentes do Açude-Ponte, pelo que os picos de passagem de lampreia-marinha podem ser constituídos por animais que chegaram ao obstáculo em alturas muito díspares. Sendo esta uma espécie reófila, a existência de caudais elevados libertados pelas comportas do Açude-Ponte, diminuem a atratividade da PPP, ou seja, independentemente do dia ou local de libertação, a extensão do atraso associada à entrada e transposição da PPP está fortemente dependente dos caudais existentes.

Desde a libertação até à primeira deteção decorreram uma mediana de 14 dias (intervalo 7,31h-34dias), e se forem considerados apenas os casos em que a transposição da zona junto à antena de

deteção ocorreu durante as seis horas que se seguiram (94%), verifica-se que este resultado vai ao encontro do tempo de passagem identificado por Keffer *et al.* (2010) e Johnson *et al.* (2009) para a lampreia do Pacífico no Rio Columbia (EUA). De acordo com Keefer *et al.* (2010) os animais marcados com radiotransmissores e libertados 3 km a jusante do obstáculo necessitaram em média de 10,4 dias para transpor o primeiro obstáculo à migração, e resultados de Johnson *et al.* (2009) identificaram um período de tempo que variou entre as 16.9 horas e os 67 dias (média 9.5 dias).

Dos animais que transpuseram a PPP, a análise do comportamento junto à antena de deteção permitiu verificar que à exceção de alguns animais (quatro casos), grande parte dos indivíduos transpôs rapidamente esta zona do dispositivo de passagem.

A variação interindividual observada entre o tempo da primeira e última deteção pode ser explicada por comportamentos natatórios distintos, como a escolha de rotas de migração mais adequadas no interior da PPP (Hinch & Bratty, 2000; Thiem *et al.*, 2011), ou a escolha de velocidades de natação apropriadas durante a transposição das fendas verticais, onde a velocidade do caudal pode exceder a respetiva velocidade crítica (Castro-Santos, 2005). Estas escolhas comportamentais vão determinar o custo energético associado à transposição da PPP e o respetivo grau de exaustão que condicionará o sucesso de passagem e provavelmente, o posterior sucesso reprodutor (Hinch & Rand, 1998; Hatry, 2012; Alexandre *et al.*, 2013).

Os resultados obtidos com radiotelemetria convencional e radiotelemetria com registo do nível de atividade muscular não identificaram situações em que tenha ocorrido movimento para jusante após atingir a última bacia da PPP ou após a sua transposição, contudo a ausência de sistemas de deteção em ambos os extremos da PPP não permite avaliar com exatidão a extensão e direção dos movimentos ocorridos no caso dos animais que apresentaram tempos entre deteções superiores ao normal.

No que diz respeito ao padrão circadiano de passagens, observou-se que a maioria das deteções ocorreu maioritariamente durante o período noturno e madrugada (88%), o que está de acordo com o descrito na bibliografia como sendo o período preferencial de movimentação da lampreia-marinha durante o período de migração (Almeida *et al.*, 2000; Cardoso, 2014).

4.1.2. *Luciobarbus bocagei*

Para o barbo do Norte a eficiência obtida foi de 14%, tendo variado significativamente entre as classes dimensionais marcadas, com os indivíduos de maiores dimensões a apresentarem eficiências muito reduzidas.

Uma grande parte destes animais pode não ter migrado para áreas a montante por constituírem uma fração da população que é residente. Este fenómeno designado de migração parcial tem sido identificado em várias espécies, foi ainda descrito em ciprinídeos como *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) (Chapman *et al.*, 2011) e o trabalho recente de Neves (2014) sobre o padrão sazonal dos movimentos do barbo do Norte no Rio Vouga e Mondego parece evidenciar o carácter parcial da migração reprodutora associada a esta espécie potamódroma.

A elevada disponibilidade alimentar durante todo o ano associada a estas zonas regularizadas a jusante de barreiras transversais, como identificado em Alexandre *et al.* (2014) num estudo sobre diferenças na disponibilidade de recursos e respetiva dieta do barbo do Norte, e por outro lado a existência de áreas adequadas à reprodução das espécies litófilas, pode resultar no estabelecimento de indivíduos nestas zonas.

Esta dificuldade de distinguir entre animais que se estabelecem em áreas a jusante de uma PPP e animais que estão a migrar necessitando eventualmente de transpor um obstáculo, aquando da avaliação da eficiência de um dispositivo da passagem, é enfatizada por Bunt *et al.* (1999) e Ovidio & Philippart (2002). No presente estudo, a captura dos barbos de maiores dimensões ocorreu numa zona mais a jusante, onde as condições presentes podem ter potenciado a reprodução destes indivíduos nestes locais.

Num estudo que pretendeu avaliar a eficiência de passagem do barbo do Norte numa passagem para peixes de bacias sucessivas com escoamento através de orifícios numa instalação experimental, Silva *et al.* (2010) utilizaram apenas animais com um comprimento total entre ao 15 cm e os 35 cm, considerando que estas dimensões correspondiam a animais maduros que migram.

Desta forma, se considerarmos apenas a fração da população que neste estudo apresentou uma maior proporção de migradores ([<300], [300,400]), a eficiência da PPP do Açude-Ponte de Coimbra é de 29%, o que se aproxima assim do valor obtido para a espécie *P. marinus* no presente estudo (*i.e.* 30%). Este resultado é corroborado pela revisão realizada por Noonan *et al.* (2012), que identifica uma eficiência semelhante entre as espécies de não salmonídeos (onde se incluem estudos realizadas com 12 ordens diferentes), sendo esse valor de eficiência na ordem dos 30% no caso das bacias sucessivas com fendas verticais.

Relativamente aos animais que migraram utilizando a PPP, 80% dos animais foi detetado pela primeira vez durante o período de migração da espécie, que ocorre entre os meses de Abril-Junho (Santos *et al.*, 2005).

No máximo estes animais demoraram até 40 dias para serem detetados pela primeira vez. Os dois picos identificados para a primeira deteção corresponderam a 17-18 de Maio e 1 de Junho, e dizem

respeito a animais que demoraram até quatro dias e entre dezasseis a vinte dias, respetivamente. O que sugere que tenha existido uma combinação de fatores, como o caudal e temperatura (Cardoso, 2014), que levou a que os animais tenham iniciado a transposição da PPP em momentos específicos. Contudo, o número de deteções das marcas PIT não esteve correlacionado com o número de passagens para montante identificadas por contagens visuais.

As deteções de animais identificados pela primeira vez fora do período de migração, isto é após Junho (20% dos casos) podem resultar de movimentos não relacionados com a reprodução. Baras *et al.* (1994) durante o controlo regular da utilização de uma PPP do tipo Denil para a espécie *Barbus barbus* (Linnaeus, 1758) identificaram também uma utilização deste dispositivo num período que antecedeu a reprodução, tendo estes autores considerado que a migração observada não era atribuída à atividade reprodutiva.

Porém, a identificação tardia pode também ter resultado do aumento do tempo necessário para atingir a zona final da PPP. Em Alexandre *et al.* (2013) o sucesso de passagem desta espécie numa PPP experimental de bacias sucessivas com escoamento através de orifícios foi influenciado pelos diferentes níveis de atividade identificados na entrada da PPP, e a respetiva velocidade de natação resultou da resposta comportamental e fisiológica de cada indivíduo às condições presentes associadas sobretudo a níveis de turbulência (principalmente à componente horizontal da tensão de Reynold) no interior da PPP.

Sendo esta uma PPP de fendas verticais, constituída por 23 bacias de grandes dimensões, de acordo com Tarrade *et al.* (2008) em cada bacia, como resultado do fluxo de água que passa pela fenda vertical (com maior velocidade e turbulência) são criadas duas grandes áreas de recirculação, que apresentam baixos valores de tensão de Reynolds e energia cinética turbulenta, que contrastam com o forte gradiente de velocidade junto à fronteira do fluxo de água principal. Embora as áreas de recirculação sejam associadas a zonas de refúgio ou repouso (Liao, 2004), estas áreas podem funcionar como “armadilhas”, uma vez que os vórtices a elas associados podem induzir desorientação (nomeadamente a indivíduos de menores dimensões), e o forte gradiente de velocidades pode restringir os movimentos dos animais a estas zonas, contribuindo para o aumento do tempo necessário para realizar a transposição destes dispositivos de passagem. De acordo com Santos *et al.* (2012) e Alexandre *et al.* (2013), a permanência desta espécie em zonas de recirculação está correlacionada com tempos de transposição maiores.

Relativamente ao tempo decorrido entre a primeira e última deteção, o facto de independentemente do tempo necessário para atingir a zona da antena, 25 % dos indivíduos (9 caso) apresentar um desfasamento superior a 15 horas, enfatiza a hipótese de que o comportamento de cada indivíduo e a respetiva capacidade de natação determinam o sucesso com que esta zona é transposta.

Quanto ao padrão circadiano da atividade do barbo do Norte na PPP do Açude-Ponte de Coimbra, o estudo de Cardoso (2014) identificou que 50% dos movimentos ocorriam entre as 12 e as 19 horas, divergindo assim do padrão de atividade normalmente descrito para a espécie durante a migração, i.e. preferência pela atividade noturna (Santos *et al.*, 2002; 2005). No presente estudo, pela análise da hora do dia em que ocorreu a primeira deteção de cada animal, verificou-se que 91% das deteções ocorreram durante o período diurno, e tal como identificado por Cardoso (2014) 54% correspondeu a deteções entre as 12 e as 19h.

4.1.3. *Pseudochondrostoma polylepis*

Resultados prévios da monitorização biológica realizada identificaram através de contagens visuais que mais de 50 000 indivíduos desta espécie utilizaram a PPP na movimentação para montante durante o ano de 2013 (Almeida *et al.*, 2014), e durante o presente ano, até ao início de junho foram contabilizadas mais de 28 000 indivíduos. Desta forma, uma vez que apenas 3 dos 47 animais marcados foram identificados na PPP (6%), os resultados de eficiência obtidos não foram ao encontro das expectativas e não parecem corresponder à realidade da eficiência da PPP para esta espécie.

A baixa eficiência do dispositivo de passagem para esta espécie pode dever-se à marcação tardia dos espécimes, que decorreu entre 17 de Abril e 16 de Maio, período que corresponde ao fim do período da migração reprodutora, que está descrito entre Março e Maio (Rodriguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992), e que de acordo com os dados de monitorização da PPP em 2013 (Almeida *et al.*, 2014) ocorre entre Dezembro e Maio (94% das movimentações).

Contudo, as condições atmosféricas adversas que se verificaram durante o início do ano de 2014, não permitiram realizar o trabalho de campo durante o mês de Março, como inicialmente planeado, contribuindo assim para um atraso generalizado na captura das diferentes espécies em estudo (exceto para o muge), e principalmente para a boga-comum, cujo número de indivíduos capturados foi bastante baixo (47 espécimes).

O atraso previamente referido pode ter comprometido e enviesado a avaliação da eficiência da PPP para esta espécie, facto que é confirmado por dados recentes das contagens visuais de 2014 que mostram que grande parte dos movimentos de migração na PPP durante o período de migração de 2014 concentra-se nos meses de Dezembro (de 2013), Janeiro, Março e Abril.

Este resultado aponta para a necessidade de repetir a avaliação da eficiência do dispositivo para a boga-comum, sendo fundamental que a captura e marcação sejam realizadas entre Janeiro e Março.

4.1.4. *Liza ramada*

Tem sido dada pouca importância ao impacto dos obstáculos transversais nos Mugilídeos, nomeadamente de *L. ramada*, uma espécie catádroma cujo ciclo de vida inclui uma migração trófica (primaveril) para ambientes dulçaquícolas onde durante vários meses se alimenta (Almeida, 1996). Em Sauriau *et al.* (1994) é referido que adultos desta espécie migravam para áreas de alimentação em ambiente dulciaquícolas que se estendiam até 300-350 km de distância do estuário de Saint-Nazaire (França).

A monitorização biológica dos dispositivos de transposição piscícola e as respetivas avaliações da eficácia têm permitido obter alguma informação sobre a adequabilidade destes dispositivos para a família Mugilidae, e mais propriamente para as espécies *L. ramada* e *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758), (e.g Stuart *et al.*, 1999; Santos, 2004).

Num estudo de Stuart *et al.* (1999), onde o objetivo passou por avaliar a eficácia de uma PPP de bacias sucessivas e fendas verticais na Austrália, os autores identificaram que entre as espécies estudadas, a passagem apresentava uma maior eficácia para a espécie *M. cephalus*, contudo da amostragem com pesca elétrica a jusante da PPP, esta espécie não era a mais abundante. De forma semelhantes Santos *et al.* (2005), identificou que a mesma espécie foi a mais abundante na utilização de uma PPP naturalizada em Portugal, contudo da aplicação da metodologia de pesca elétrica a jusante da PPP não foram capturados indivíduos desta espécie. Estes resultados, tal como identificado por Santos *et al.* (2005) estão relacionados com o facto da utilização da pesca elétrica não constituir o método de captura mais eficiente para o muge.

No caso específico da PPP do Açude-Ponte, os resultados da monitorização biológica permitiram verificar que os movimentos migratórios de *L. ramada*, quer para montante quer para jusante representam a larga maioria (90-95% respetivamente) dos indivíduos que utilizam a PPP (Almeida *et al.* 2014). Neste sentido, os valores de eficiência obtidos neste trabalho ficaram claramente abaixo do esperado.

Embora a utilização da pesca elétrica não constitua o método de captura mais eficiente, um total de 210 animais foram capturados. No entanto, após o primeiro dia de capturas dirigidas a esta espécie, como resultado da perturbação do local, ocorreu uma redução drástica do número de animais a jusante do Açude-Ponte (observações visuais), e inclusive não foram realizadas recapturas. Pela observação dos registos da antena de deteção, verificou-se que nenhum dos animais marcados foi detetado, confirmando assim que após o primeiro dia de amostragens com pesca elétrica os animais que se encontravam a jusante do Açude-Ponte movimentaram-se para áreas mais a jusante.

Apesar do procedimento de marcação ser pouco intrusivo, e sem implicações ao nível do estímulo ou capacidade de natação (Castro-Santos, 1996) bem como no crescimento ou sobrevivência de diferentes espécies (Ombredane *et al.*, 1998, Acolas *et al.*, 2007), os resultados obtidos para esta espécie podem ter sido influenciados pelo stress associado à manipulação durante a captura e marcação (Thomas, 1984; Close, 2001; Baker *et al.*, 2008). Este stress pode ter sido acentuado durante o período de capturas que decorreu em julho, pela existência de temperaturas mais elevadas, tornado este último período de capturas pouco adequado para a marcação desta espécie.

Posto isto, torna-se necessário estabelecer uma metodologia mais adequada ao comportamento da espécie, que permita em primeira análise (i) a marcação de animais fora do período onde se concentram as migrações para montante (pelo menos anterior ao mês de Maio), permitindo assim a recuperação da manipulação e do estímulo para migrar para áreas a montante, e ao mesmo tempo (ii) um número de capturas elevado.

Quanto ao padrão circadiano das passagens, verificou-se que as deteções observadas ocorreram entre o período da manhã e início da noite (7h-20h) o que corresponde à utilização da PPP identificada por Cardoso (2014), porém a reduzida amostra não permitiu observar a preferências por períodos da tarde/ início de noite e período da manhã como referido pelo mesmo autor

4.2. Comportamento de *Petromyzon marinus* a jusante da passagem para peixes

A utilização de radiotelemetria convencional no presente estudo constituiu a primeira abordagem realizada após a construção da nova PPP, que permitiu monitorizar o comportamento da lampreia-marinha e quantificar o número de animais que na situação atual consegue transpor o Açude-Ponte de Coimbra.

O número de animais que transpôs com sucesso o Açude-Ponte de Coimbra nesta primeira abordagem (25%) aproximou-se bastante do valor de eficiência obtido para a PPP pela aplicação de telemetria PIT (30%), e de forma semelhante, também os valores medianos das distribuições do tempo necessário para realizar a transposição do obstáculo não diferiram muito, tendo variado entre os 11 dias (radiotelemetria convencional) e 14 dias (telemetria PIT). Trabalhos realizados por Almeida *et al.* (2000; 2002) onde foi estudado o comportamento da lampreia-marinha durante a migração reprodutora no Rio Mondego, quer pela aplicação de telemetria acústica ou radiotelemetria permitiram determinar o tempo necessário para realizar a migração entre a Formoselha e o Açude-Ponte (2d 17h) e do Açude-Ponte à Barragem da Raiva (3d 12h).

Perante estes dados, seria expectável que na ausência do Açude-Ponte, os animais libertados a montante da Formoselha migrassem até ao troço superior do Rio Mondego e alguns tributários de elevada importância para reprodução, como os Rios Ceira e Alva (Almeida *et al.*, 2002) em sensivelmente 6d 5h. Contudo, este corresponde apenas a aproximadamente metade do tempo observado para um animal mediano (em termos estatísticos), podendo-se assim considerar que o Açude-Ponte continua a representar um atraso considerável na migração dos animais que conseguem negociar este obstáculo. Este atraso é ainda mais notório quando considerados os intervalos de tempos identificados de permanência a jusante do Açude-Ponte, que corresponderam no mínimo a uma semana e meia, e no máximo um período de até 3 semanas, e que vão ao encontro dos tempos identificados pela utilização de telemetria PIT, em que 84% das deteções ocorreram até duas semanas e meia após a marcação.

O facto de todos os animais que transpuseram o Açude-Ponte terem continuado a migração para áreas a montante demonstrou que mesmo com a redução da velocidade de caudal junto à saída da PPP e falta de estímulo associada à área de regolfo do açude, estes animais continuam a sua migração, acabando contudo por ficar retidos em pequenos açudes localizados mais a montante (e.g. Palheiros e Louredo, no Rio Mondego e Boiça no Ceira).

No que diz respeito aos animais que não transpuseram o Açude-Ponte (75%), apenas dois indivíduos não chegaram a abordar o açude, confirmando-se assim que um elevado número de indivíduos se acumula imediatamente a jusante desta área, onde acabam por sofrer uma enorme pressão associada a atividades furtivas.

4.3. Comportamento de *Petromyzon marinus* no interior da passagem para peixes.

A obtenção de informação relacionada com o modo como as espécies transpõem uma determinada PPP e a identificação dos locais que constituem zonas de dificuldade acrescida é fundamental para compreender até que ponto uma PPP pode constituir uma barreira em si, ou contribuir para gastos energéticos mais elevados que comprometam a reprodução das espécies.

No presente trabalho a utilização de telemetria com registo de electromiograma (cEMG) permitiu identificar com sucesso, a uma escala mais fina, o comportamento da lampreia-marinha no interior da PPP.

Embora o tamanho da amostra seja bastante reduzido, os dois animais que transpuseram a PPP apresentaram tempos de passagem semelhantes, cerca de três horas, e durante a transposição da PPP

apresentaram o comportamento típico descrito por Quintella *et al.* (2004; 2009) e Almeida *et al.* (2005) para esta espécie durante a migração em áreas consideradas de difícil transposição.

O número de *burst movements* (picos de intensa actividade) verificaram-se sobretudo aquando da passagem entre bacias estando assim associados ao número de fendas da PPP. Considerando o limite de velocidade crítica de natação calculado por Almeida *et al.* (2007) para esta espécie (1,03 m/s), observa-se que durante a transposição da PPP as lampreias só precisaram de efetuar um esforço sustentado, sobretudo, pelo metabolismo anaeróbia durante a transposição das fendas entre bacias, e do estreitamento associado à janela de monitorização na parte terminal do dispositivo. A utilização de um esforço sustentado pela musculatura branca (i.e. aneróbio) durante a transposição de uma PPP foi também identificado por Gowans *et al.* (2003) para o salmão do Atlântico, e de acordo com Brown *et al.* (2006) também o salmão-real (*Oncorhynchus tshawytscha* Walbaum, 1792) apresentou velocidades de natação superiores ao U_{crit} que corresponderam a 17% do tempo total de transposição da PPP em Bonneville, considerando desta forma que o custo energético associado podia ser considerável.

No entanto no presente estudo, em ambos os casos avaliados, o tempo em que a velocidade de natação foi superior ao U_{crit} foi igual ou inferior a 1% do tempo total, o que representa assim uma pequena fração do tempo necessário para transpor a PPP, pelo que é expectável que o esforço realizado por estes animais durante a transposição da PPP seja revertido num curto espaço de tempo, visto que a recuperação após atividade intensa em termos fisiológicos (restauro das reservas de glicogénio e fosfocreatina) corresponde a aproximadamente uma hora para a *P. marinus* (Boutilier, 1993).

Confirma-se assim que tal como referido por Quintella *et al.* (2004), um padrão de atividade que se caracteriza pela alternância entre curtos períodos de atividade intensa associados a períodos de reduzida atividade, ou repouso quando fixa ao fundo ou às paredes da PPP através do disco oral, constitui a forma de natação mais eficiente para a transposição de obstáculos naturais ou neste caso a transposição de uma PPP.

Contudo, é de realçar que os dados do presente trabalho descrevem apenas o comportamento da lampreia-marinha no interior da passagem, e não têm em conta o comportamento a jusante da PPP, que corresponde ao local mais exigente, onde são requeridas maiores velocidades de natação e gastos energéticos. Brown *et al.* (2006) identificou velocidades de natação 23% mais elevadas do que as observadas no interior da PPP no caso do salmão-real.

A utilização de telemetria EMG pretendeu também avaliar a existência de um padrão de aprendizagem, uma vez que a habituação aos estímulos ou a aprendizagem de rotas de migração mais adequadas às condições hidráulicas existentes (Odling-Smee & Braithwaite, 2003) podem contribuir para a melhoria da circulação dos animais durante a transposição destes dispositivos (Laine, 1990).

Uma vez que a PPP avaliada é constituída por bacias sucessivas, que apresentam condições hidráulicas semelhantes, teoricamente era esperado que a lampreia-marinha adquirisse algum conhecimento de aprendizagem que permitisse uma redução do esforço, e/ou uma redução no tempo de permanência por bacia, porém os resultados obtidos, tanto ao nível de tempo por bacia como nível de atividade médio, não apontam para a existência de um padrão definido que revele este tipo de comportamento. Porém, num dos casos, embora a relação entre as variáveis tenha sido relativamente baixa, existem indícios de que tenha ocorrido um ligeiro aumento do esforço médio.

Face aos resultados de eficiência obtidos por Moser *et al.* (2002b) para a lampreia do Pacífico na bacia do Rio Columbia, onde se observou um aumento da eficiência de passagem na transposição da segunda PPP, os autores sugeriram, numa primeira fase, que os animais que passavam com sucesso uma PPP tinham mais sucesso nas tentativas de passagem subsequentes. Contudo a identificação de eficiências de passagem inferiores na terceira PPP levaram estes autores a atribuírem o sucesso de passagem observado à configuração mais adequada e não à aprendizagem.

No que diz respeito à possível aprendizagem em outras espécies, Bunt *et al.* (1999) na avaliação da eficiência de duas PPP do tipo Denil (captura-recaptura e radiotelemetria) para *Catostomus commersoni* (Lacépède, 1803) e *Micropterus dolomieu* (Lacépède, 1802) refere não ter sido provada a existência de aprendizagem entre os animais. Já no caso do barbo do Norte, durante a transposição de uma PPP numa instalação experimental, Alexandre *et al.* (2013) embora não tenha observado uma redução do esforço muscular desenvolvido (telemetria EMG) os tempos de passagem diferiram após a segunda passagem.

Relativamente aos resultados apresentados no presente trabalho é de realçar, que estes tiveram por base apenas os dados de dois indivíduos, e portanto devem ser interpretados com precaução, até à obtenção mais informação resultante da marcação de um maior número de animais.

5. Considerações finais

A informação reunida no presente trabalho permitiu inferir com alguma robustez a eficiência da PPP do Açude-Ponte de Coimbra (sentido jusante-montante) para duas das espécies alvo, a lampreia-marinha e o barbo do Norte, mas também sobre o comportamento da lampreia-marinha em relação às características hidráulicas a jusante e no interior deste dispositivo.

O trabalho que foi desenvolvido constitui uma base de referência a futuras modificações ou alterações realizadas com o objetivo de melhorar a eficiência deste dispositivo, ou na avaliação de outro tipo de dispositivos de transposição. Podendo inclusive ser útil no dimensionamento, implementação de novas PPP e gestão adequada dos caudais quando dirigidos à lampreia-marinha.

A utilização de telemetria PIT neste contexto confirmou ser uma metodologia bastante adequada e uma mais-valia na monitorização de dispositivos de passagem para peixes, com o potencial de poder ser utilizada como uma ferramenta para avaliar a mobilidade piscícola entre o troço inferior (jusante do Açude-Ponte) e intermédio (montante do Açude Ponte) do Rio Mondego a longo prazo. Em casos cujo estudo da mobilidade de uma determinada espécie revele a existência de períodos de migração distintos do descrito na bibliografia ou inclusive mais que um pico de migração, como identificado em Almeida *et al.* (2014) para a boga-comum, a aplicação da telemetria PIT, poderá ainda ser útil na determinação de diferenças de tamanho, condição física e/ou sexo na utilização da PPP que expliquem os padrões observados.

De acordo com os dados obtidos no presente trabalho, a eficiência da PPP do Açude-Ponte de Coimbra foi aproximadamente 30% quer para a lampreia-marinha quer para o barbo do Norte. Este nível de eficiência vai de encontro aos valores descritos na literatura sobre a avaliação da eficiência de PPP para não salmonídeos. No entanto, no caso da boga-comum (6%) e do muge (4%), apesar destas espécies negociarem com sucesso a PPP, tendo em conta número de indivíduos que utilizou a passagem nos dois sentidos durante o ano de 2013 e 2014 (Cardoso, 2014; Almeida et al., 2014), os valores de eficiência obtidos revelam a necessidade de proceder a uma reavaliação da eficiência para estas espécies.

No que diz respeito à lampreia-marinha, o valor de eficiência obtido por telemetria PIT foi ainda corroborado pelos resultados obtidos através da radiotelemetria, onde se verificou que aproximadamente 25% dos animais marcados transpõe com sucesso o Açude-Ponte e continua a sua migração para áreas de reprodução a montante, sem ser negativamente afetado pela ausência de estímulo após a saída da PPP, durante o movimento ao longo da área de regolfo a montante do Açude-Ponte de Coimbra.

Durante a transposição da PPP esta espécie apresenta o comportamento típico, previamente descrito para áreas de difícil transposição (Quintella *et al.*, 2004), e que se caracteriza pela alternância entre períodos de repouso ou inatividade, associados à permanência nas bacias por fixação do disco oral às paredes ou ao fundo da PPP, que contrastam com as tentativas de transpor as fendas verticais, que correspondem a períodos de atividade intensa (*burst swimming* -natação explosiva), que por breves segundos podem ultrapassar a sua capacidade máxima aeróbia associada ao movimento natatório.

Embora não tenha sido identificado um padrão de aprendizagem que resulte na redução do esforço ou do tempo necessário para transpor cada bacia, a transposição deste dispositivo por parte dos animais marcados com telemetria EMG ocorreu em três horas. Durante o movimento ao longo da parte terminal deste dispositivo não se observaram movimentos para jusante, como habitualmente observados para esta espécie em particular na janela de monitorização, e o esforço desenvolvido acima da velocidade crítica de natação (i.e., capacidade máxima aeróbia) correspondeu a menos de 1% do tempo total necessário. Esta informação sugere que após a entrada de um animal na PPP, a capacidade fisiológica não constitui um fator limitante ao sucesso de passagem, pelo que este dispositivo não constitui, por si só, um obstáculo à migração e posterior sucesso reprodutor da lampreia-marinha. Não obstante, futuramente torna-se necessário proceder à marcação de um maior número de espécimes de lampreia-marinha com telemetria EMG por forma a consolidar os resultados aqui descritos.

No entanto, este trabalho permitiu confirmar que a entrada na PPP é fortemente condicionada pelo caudal existente a jusante do Açude-Ponte, observando-se que com caudais superiores a 50m³/s a probabilidade de um animal ser atraído e negociar a PPP reduz-se drasticamente. Independentemente do tempo de chegada ao Açude-Ponte, e da adequabilidade da PPP, estes animais permanecem a jusante do açude até que as condições hidráulicas referidas estejam reunidas (no presente trabalho identificou-se tempos medianos de 11 e 14 dias), aumentando assim a probabilidade de serem capturadas por furtivos junto às comportas do açude.

Apesar da eficiência de atração da PPP não ter sido avaliada no âmbito deste trabalho, a informação reunida para a lampreia-marinha reforça a hipótese de que os valores de eficiência observados estão condicionados sobretudo pelos caudais libertados a jusante do Açude-Ponte e enfatiza a necessidade de, tal como identificado por Cardoso (2014), proceder à gestão adequada dos caudais durante a época de migração desta espécie no sentido de potenciar a eficiência do dispositivo.

Uma vez que os picos de passagem desta espécie identificados por contagem visual em 2013 e 2014 (anos de elevada precipitação) revelam que os meses de abril e maio são fulcrais, representando respectivamente 80% e 75% da totalidade das observações em cada ano, e a utilização da PPP ocorre maioritariamente no período noturno, com aproximadamente 49% dos animais marcados com marcas

PIT a ser detetado entre as 23 horas e a 01 horas. O facto da transposição da PPP decorrer em aproximadamente três horas, leva a inferir que a entrada destes indivíduos na PPP tenha ocorrido preferencialmente entre as 20h e as 23h. Neste sentido, a gestão adequada, deve passar por permitir que durante os meses de abril e maio, períodos de maior utilização da PPP, pelo menos entre as 20 e as 23h (espaço de tempo de maximiza as passagens) o caudal efluente do Açude-Ponte seja mantido abaixo dos 50m³/s.

Dado que esta gestão envolve vários intervenientes (aproveitamento Agueira- Raiva- Fronhas e Açude-Ponte), a viabilidade desta medida e a respectiva frequência com que poderá ser implementada, deve ser aferida junto dos mesmo. No entanto é fundamental que pelo menos um dia por semana, e no mínimo durante o período referido, estas condições sejam asseguradas, possibilitando assim que o tempo a jusante da PPP seja minimizado.

Com as informações reunidas até ao momento, as perdas económicas ou impactos associados a esta gestão podem ser minimizados e o número de animais que utiliza este dispositivo maximizado, sem implicações para outros migradores já que tanto os ciprinídeos como clupeídeos utilizam este dispositivo em períodos diferentes do dia (período diurno).

Adicionalmente, face à intensidade do furtivismo observado, é primordial estabelecer uma fiscalização regular e eficiente, não só no Açude-Ponte de Coimbra (mas principalmente se implementada a gestão dos caudais) onde continuam a acumular-se bastantes animais, mas também nas principais áreas a montante do açude identificadas pela radiotelemetria como sendo zonas de difícil transposição, isto é, os açudes de Palheiros, Louredo e Boiça. As ações de fiscalização devem incidir com particular enfoque durante o período de março a junho.

Relativamente ao barbo do Norte, para além de ter sido possível determinar a eficiência de passagem para montante deste dispositivo (29%; valor estimado não contabilizando os indivíduos pertencentes à classe dimensional > 400 mm), foram ainda identificadas algumas questões que devem ser consideradas e analisadas com alguma atenção. Seria desejável desenvolver algum trabalho adicional para perceber o que levou a que as maiores classes dimensionais (> 400 mm) tenham apresentado menores eficiências de passagem, e por outro lado identificar as potenciais causas (comportamentais ou fisiológicas) responsáveis pelos tempos elevados entre deteções na antena PIT. Dos 35 indivíduos que negociaram com sucesso a PPP, 25% apresentaram tempos de passagem superiores a 15 horas, o que parece indiciar a existência de tempos de transposição completa do dispositivo elevados. Esta demora na transposição pode resultar de um aumento do tempo por bacia associado há permanência nas áreas de recirculação, ou ao próprio comportamento desta espécie em dispositivos de passagem (Quintella, com. pess).

Quanto à funcionalidade deste dispositivo, por forma a completar a sua avaliação é fundamental proceder ainda à avaliação da eficiência de atração, e eficiência de entrada. Esta questão é particularmente importante uma vez que os animais podem passar longos períodos de tempo a jusante do açude.

A instalação de uma antena PIT junto à entrada da PPP possibilitaria para além da avaliação da eficiência anteriormente referida, compreender a relação direta dos fatores abióticos na atração e entrada das diferentes espécies na PPP, e obter os tempos de passagem das diferentes espécies o que permitiria ainda, inferir sobre o movimento dos animais no interior deste dispositivo e a potencial dificuldade em transpor com sucesso a PPP.

6. Referências bibliográficas

- Acolas, M.L., J. M. Roussel., J. M. Lebel & J.L. Baglinière (2007). Laboratory experiment on survival, growth and tag retention following PIT injection into the body cavity of juvenile brown trout (*Salmo Trutta*). *Fisheries Research* **86**: 280-284.
- Alexandre, C. M., B. R. Quintella., A. T. Silva., C. S. Mateus., F. Romão & P. Branco (2013). Use of electromyogram telemetry to assess the behavior of the iberian barbel (*Luciobarbus bocagei* Steindachner, 1864) in a pool-type fishway. *Ecological Engineering* **51**: 191– 202.
- Alexandre, C. M., M. T. Ferreira & P. R. Almeida (2014). Life history of a cyprinid species in non-regulated and regulated rivers from permanent and temporary Mediterranean basins. *Ecohydrology*.
- Almeida, P. R (1996). *Biologia e ecologia de Liza ramada (Risso, 1826) e Chelon labrosus (Risso, 1826) (Pisces, Mugilidae) no estuário do Mira (Portugal). Inter-relação com o sistema estuarino*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 233p.
- Almeida, P. R., H. T. Silva & B. R. Quintella (2000). The migratory behaviour of the sea lamprey *Petromyzon marinus* L., observed by acoustic telemetry in River Mondego (Portugal). In Moore, A. & I. Russel (eds), *Advances in fish telemetry*. CEFAS: Lowestoft, Suffolk, 99–108.
- Almeida, P. R., B. R. Quintella & N. M. Dias (2002). Movement of radio-tagged anadromous sea lamprey during the spawning migration in the River Mondego (Portugal). *Hydrobiologia* **483**: 1-8.
- Almeida, P. R., B. R. Quintella., A. Koed & N. O. Andrade (2005). Using electromyogram telemetry to study the spawning migration of sea lamprey (*Petromyzon marinus* L.). In Spedicato, M. T., G. Lembo & G. Marmulla (eds), *Aquatic Telemetry, advances and applications*. FAO-COISPA, Rome, 3–11.
- Almeida, P.R., I. Póvoa., B. R. Quintella (2007). Laboratory protocol to calibrate sea lamprey (*Petromyzon marinus* L.) EMG signal output with swimming. *Hydrobiologia* **582**: 209-220.
- Almeida, P.R., B. R. Quintella., A. F. Ferreira., C. M. Alexandre., C. S. Mateus., G. Cardoso., E. Pereira *et al.*, (2014). *Programa de Monitorização da Passagem para Peixes do Açude-Ponte de Coimbra*. 4º Relatório de progresso. Contrato Nº2012/017/APA, I.P. 41p.
- Andrade, N. O., B. R. Quintella., J. Ferreira., S. Pinela., I. Póvoa., S. Pedro & P. R. Almeida (2007). Sea lamprey (*Petromyzon Marinus* L.) spawning migration in the Vouga River basin (Portugal): poaching impact, preferential resting sites and spawning grounds. *Hydrobiologia* **582**(1): 121–32.
- Baker, D. W., S. J. Peake & J. D. Kieffer (2008). The effect of capture, handling, and tagging on hematological variables in wild adult lake sturgeon. *North American Journal of Fisheries Management* **28**: 296-300.

- Baras, E., H. Lambert & J.-C. Philippart (1994). A comprehensive assessment of the failure of *Barbus barbus* spawning migrations through a fish pass in the canalized River Meuse (Belgium). *Aquatic Living Resources* **7**: 181-189.
- Barbosa, A., C. Ramos & G. Jorge (2004). *Dimensionamento da Passagem de Peixes do Açude-Ponte de Coimbra*, 7º Congresso da Águas.
- Beach, M. H (1984). *Fish pass design-criteria for the design and approval fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers*. MAFF Fisheries Research Technical Report 78. 46 p.
- Booth, R. K., R. S. McKinley., F. Økland & M. M. Sisak (1997). In situ measurement of swimming performance of wild atlantic salmon (*Salmo salar*) using radio transmitted electromyogram signals. *Aquatic Living Resources* **10**: 213-219.
- Boutilier, R. G., R. A. Ferguson., R. P. Henry & B. L. Tufts (1993). Exhaustive exercise in the sea lamprey (*Petromyzon marinus*): relationship between anaerobic metabolism and intracellular acid-base balance. *Journal of Experimental Biology* **178**, 71–88.
- Brown, R S, D. R. Geist & M.G Mesa (2002). *The use of electromyogram (EMG) telemetry to assess swimming activity and energy use of adult spring chinook salmon migrating through the tailraces , fishways , and forebays of Bonneville dam , 2000 and 2001*. US Army Corps of Engineers, Portland District. Report no. W66QK10432368, Contract DE-AC0676RLO1830, 94p.
- Brown, R. S., D. R. Geist & M. G. Mesa (2006). Use of electromyogram telemetry to assess swimming activity of adult Chinook salmon migrating past a Columbia River dam. *Transactions of the American Fisheries Society* **135**: 281–287.
- Bunt, C.M., C. Katopodis & R.S McKenley (1999). Attraction and passage efficiency of white suckers and smallmouth bass by two Denil fishways. *North American Journal of Fisheries and Management* **19**: 793–803.
- Bunt, C. M., Castro-Santos, T & A. Haro (2012). Performance of fish passage structures at upstream barriers to migration. *River Research and applications* **28**: 457–78.
- Cabral, M.J. (coord.), J. Almeida., P. R. Almeida, T. Dellinger., N. Ferrand de Almeida., M.E. Oliveira., J.M. Palmeirim, A.I. Queiroz., L. Rogado & M. Santos-Reis (eds.) (2005). *Livro vermelho dos vertebrados de Portugal*. Instituto da Conservação da Natureza. Lisboa. 660 p.
- Cardoso, G (2014). *Monitorização da passagem para peixes do Açude-Ponte em Coimbra: otimização da metodologia de contagem*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Évora. 125p.
- Castro-Santos, T., A. Haro & S. Walk (1996). A passive integrated transponder (PIT) tag system for monitoring fishways. *Fisheries Research* **28**(3): 253–261.
- Castro-Santos, T (2005). Optimal swim speeds of traversing velocity barriers: an analysis of volitional high-speed swimming behaviour of migratory fishes. *The Journal of Experimental Biology* **208**: 421-432.

- Castro-Santos, T., A. Cotel & P. Webb (2009). Fishway evaluations for better bioengineering: an integrative approach. *American Fisheries Society Symposium* **69**, 557–575.
- Centro, A. D. R. H. (2012). *Plano de gestão das bacias hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis integradas na região hidrográfica 4*. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território.
- Chapman, B.B., K. Hulthén., D. R. Blomqvist., L. A. Hansson., J. A. Nilsson., J. Brodersen., P. A. Nilsson., C. Skov & C. Brönmark (2011). To boldly go: Individual differences in boldness influence migratory tendency in a cyprinid fish. *Ecology Letters* **14**: 871–876.
- Clay, C.H (1995). *Design of Fishways and Other Fish Facilities*, (2nd edn). Lewis Publishers, Boca Raton.
- Close, D. A (2001). *Effects of acute stress and tagging on the swimming performance and physiology of Pacific lampreys (Lampetra tridentata)*. Dissertação de Mestrado, Oregon State University, Corvallis. 95p.
- Columbia Basin Fish and Wildlife Authority (1999). *PIT tag marking procedure manual*. PIT tag steering committee, Portland, OR.
- Cooke, S. J., E. B. Thorstad & S. G. Hinch (2004). Activity and energetics of free-swimming fish: insights from electromyogram telemetry. *Fish and Fisheries* **5**(1): 21-52.
- Costa, J. L., I. Domingos., C. A. Assis, P. R. Almeida., F. Moreira., E. Feunteun & M. J. Costa (2008). Comparative ecology of the European eel, *Anguilla anguilla* (L., 1758), in a large Iberian river. *Environmental Biology of Fishes* **81**(4): 421–434.
- Domingos, I., J. L. Costa & M. J. Costa (2006). Factors determining length distribution and abundance of the European eel, *Anguilla anguilla*, in the River Mondego (Portugal). *Freshwater Biology* **51**(12): 2265–2281.
- FAO/DVWK (2002) Fish Passes – Design, Dimensions and Monitoring. FAO, Rome, 118p.
- Foulds, W. L & M. C. Lucas (2013). Extreme inefficiency of two conventional, technical fishways used by European river lamprey (*Lampetra fluviatilis*). *Ecological Engineering* **58**: 423–433.
- Geist, D.R., C. S. Abernethy., S. L. Blanton & V. I. Cullinan (2000). The use of electromyogram telemetry to estimate energy expenditure of adult fall chinook salmon. *Transactions of the American Fisheries Society* **129**(1): 126–35.
- Gowans, A. R. D., J. D. Armstrong., I. G. Priede & S. Mckelvey (2003). Movements of Atlantic salmon migrating upstream through a fish-pass complex in Scotland. *Ecology of Freshwater Fish* **12**: 177–189.
- Hatry, C (2012). *Advancing fishway science in Canada*. Tese de Doutorado, Carleton University. Ottawa, Ontario. 111p.

- Herrera, H., J.A. Hernando., C. Fernandez-Delgado & M. Bellido (1988). Age, growth and reproduction of the barbel, *Barbus Sclateri* (Gunther, 1868), in a first-order stream in Southern Spain. *Journal of fish biology* **33**(3): 371–381.
- Hinch, S. G., R. E. Diewert., T. J. Lissimore., A.M. Prince., M.C. Healey & M.A. Henderson (1996). Use of electromyogram telemetry to assess difficult passage areas for river migrating adult sockeye salmon. *Transactions of the American Fisheries Society* **125**(2): 253–260.
- Hinch, S. G & P. S. Rand (1998). Swim speeds and energy use of upriver migrating sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*): role of local environment and fish characteristics. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **55**(8): 1821–1831.
- Hinch, S. G & J. Bratty (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**: 598-606.
- Johnson, E. L., T. S. Clabough., M. L. Keefer., C. C. Caudill., C. A. Peery & M. L. Moser (2009). *Effects of lowered nighttime velocities on fishway entrance success by Pacific lamprey at Bonneville Dam and fishway use summaries for lamprey at Bonneville and The Dalles dams, 2008*. Technical Report 2009-10 of Idaho Cooperative Fish and Wildlife Research Unit to U.S. Army Corps of Engineers, Portland District.
- Kaseloo, P. A., A.H. Weatherley., J. Lotimer & M.D. Farina (1992). A biotelemetry system recording fish activity. *Journal of Fish Biology* **40**: 165–179.
- Katopodis, C & J. G. Williams (2012). The development of fish passage research in a historical context. *Ecological Engineering* **48**: 8–18.
- Keefer, M. L., C. C. Caudill, E. L. Johnson, C. T. Boggs, B. Ho & M. L. Moser (2010). *Adult Pacific lamprey migration in the lower Columbia River: 2009 radiotelemetry and half-duplex PIT tag studies*. Technical Report 2010-3 of Idaho Cooperative Fish and Wildlife Research Unit to U.S. Army Corps of Engineers, Portland District.
- Kemp, P. S (2012). Bridging the gap between fish behaviour, performance and hydrodynamics: an ecohydraulics approach to fish passage research. *River Research and Applications* **28**: 403–406.
- Laine, A (1990). The effects of a fishway model hydraulics on the ascent of vendace, whitefish and brown trout in Inari, northern Finland. *Aqua Fennica* **20**: 191–198.
- Larinier, M (2001). *Environmental issues, dams and fish migration*. In: Marmulla G (ed) Dams, Fish and Fisheries. Opportunities, Challenges and Conflict Resolution. FAO Fisheries Technical Paper.No 419. Rome, FAO. 166p.
- Larinier, M., & G. Marmulla (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. Volume II. Welcomme R. and T. Petr, Eds., FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand. RAP Publication 2004/17pp.

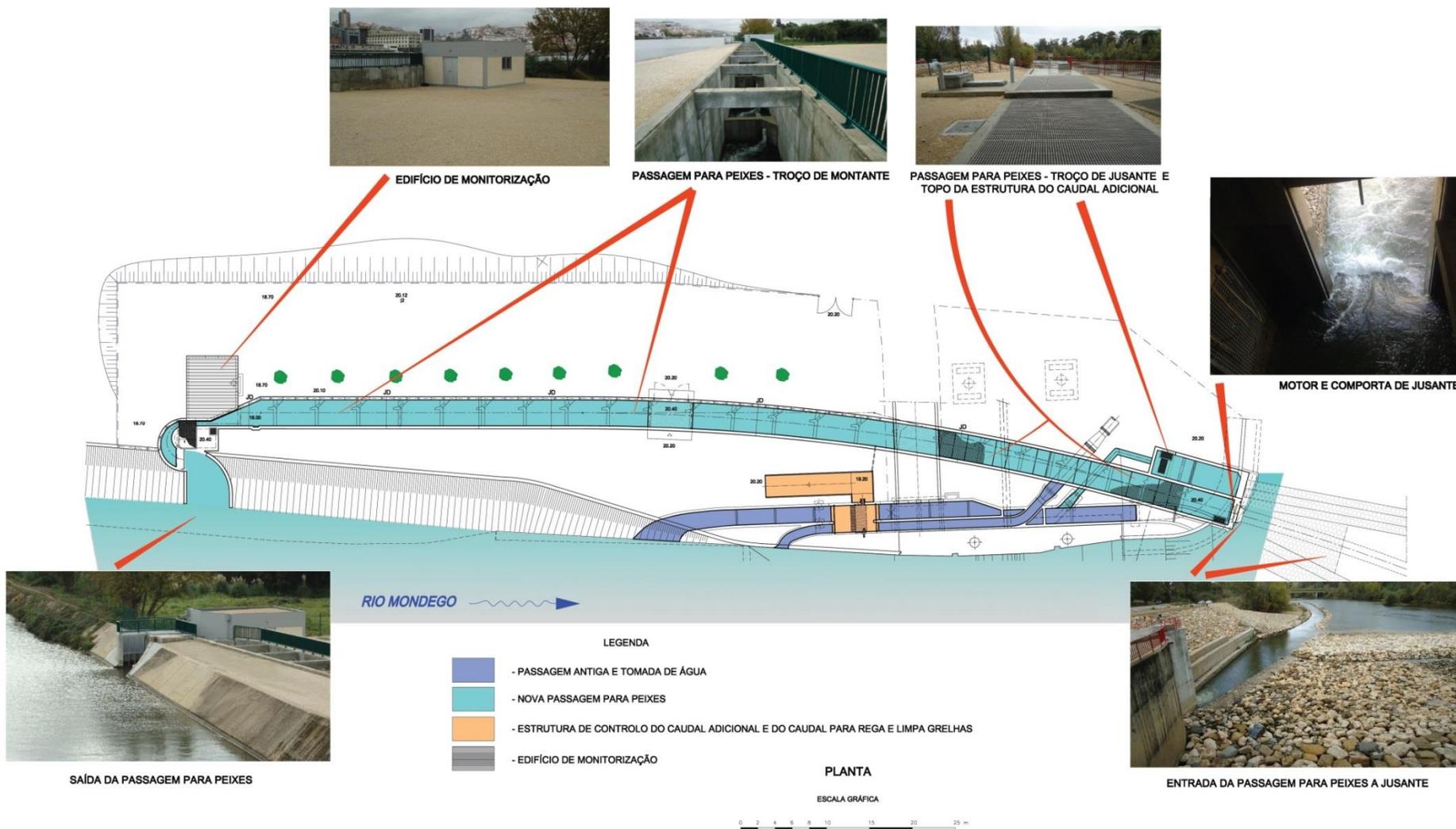
- Larsen, M. H., A. N. Thorn., C. Skov & K. Aarestrup (2013). Effects of passive integrated tags on survival and growth of juvenile Atlantic salmon *Salmo salar*. *Animal Biotelemetry* **1**(19).
- Liao, J. C (2004). Neuromuscular control of trout swimming in a vortex street: implications for energy economy during the Kármán gait. *The Journal of Experimental Biology* **207**:3495-3506.
- Lobon - Cervia, J & B. Elvira (1981). Edad, crecimiento y reproducción de la boga de río (*chondrostoma polylepis polylepis* stein., 1865) en el embalse de Pinilla (Rio Lozoya). *Bol. Inst. Espa. Oceano* **6**(3): 200–213.
- Lucas, M.C & E. Baras (2001). *Migration of freshwater Fishes*. Blackwell Scientific Press. Oxford.
- Mallen-Cooper, M & I. G. Stuart (2007). Optimising denil fishways for passage of small and large fishes. *Fisheries Management and Ecology* **14**(1): 61–71.
- Mateus, C.S., B. R. Quintella., P. R. Almeida (2008). The critical swimming speed of Iberian barbel *Barbus bocagei* in relation to size and sex. *Journal of Fish Biology* **73**, 1783–1789.
- McCartney, M (2009). Living with Dams: Managing the Environmental Impacts. *Water Policy* **11**: 121-139.
- McDowall, R.M (1997). The evolution of diadromy in fishes (revisited) and its place in phylogenetic analysis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **7**: 443-462.
- Mesa, M. G., J. M. Bayer & J. G. Seelye (2003). Swimming performance and physiological responses to exhaustive exercise in radio-tagged and untagged Pacific lampreys. *Transactions of the American Fisheries Society*, **132**(3): 483–492.
- Mooney, H., A. Larigauderie., M. Cesario., T. Elmquist., O. Hoegh-Guldberg., S. L., G. M. Mace., M. Palmer, et al., (2009). Biodiversity, climate change, and ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability* **1**(1): 46–54.
- Moser, M. L., P. A. Ocker., L. C. Stuehrenberg & T. C. Bjornn (2002b) Passage efficiency of adult Pacific lamprey at hidropower dams on the lower Columbia River, USA. *Transactions of the American Fisheries Society* **131**(5): 956-965.
- Moser, M. L, A. L. Matter, L. C. Stuehrenberg & T.C. Bjomn (2002a). Use of an extensive radio receiver network to document Pacific lamprey (*Lampetra tridentata*) entrance efficiency at fish ways in the lower Columbia River , USA. *Hydrobiology* **483**(1-3) 45–53.
- Mueller, M., J. Pander & J. Geist (2011). The effects of weirs on structural stream habitat and biological communities. *Journal of Applied Ecology* **48**(6): 1450–1461.
- Neves, T (2014). *Influência do regime de caudais no padrão sazonal de movimentos, seleção de habitat e extensão da área vital do barbo do Norte (Luciobarbus bocagei, Steindachner, 1864)*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Évora. 46p.
- Nilsson, C., C. A. Reidy, M. Dynesius & C. Revenga (2005). Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science* **308**: 405.

- Noonan, M.J., J. W. A. Grant & D. J. Christopher (2012). A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries* **13**: 450-464.
- Odling-Smee, L & V. A. Braithwaite (2003). The role of learning in fish orientation. *Fish and Fisheries* **4**: 235-246.
- Ombredane, D., J. L. Baglinière & F. Marchand (1998). The effects of passive integrated transponder tags on survival and growth of juvenile brown trout (*Salmo trutta* L.) and their use for studying movement in a small river. *Hydrobiologia* **371/372**: 99–106.
- Ovidio, M. & J.-C. Phillippart (2002) The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish. Synthesis of a 5-year telemetry study in the River Meuse basin. *Hydrobiologia* **483**: 55-69.
- Pon, L. B., S. G Hinch., S. J. Cooke., D. A Patterson & A. P. Farrell (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.
- Porcher, J.P, & F. Travade (2002). Fishways: biological basis, limits and legal considerations. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **364**: 9-20.
- Quintella, B.R., N. O. Andrade, A. Koed & P.R. Almeida (2004). Behavioural patterns of sea lampreys' spawning migration through difficult passage areas , studied by electromyogram telemetry. *Journal of Fish Biology* **65**: 961–972.
- Quintella, B. R., N. O. Andrade., R. Espanhol & P.R. Almeida (2005). The use of PIT telemetry to study movements of ammocoetes and metamorphosing sea lampreys in river beds. *Journal of Fish Biology* **66**: 97–106.
- Quintella, B. R., I. Póvoa & P. R. Almeida (2009). Swimming behaviour of upriver migrating sea lamprey assessed by electromyogram telemetry. *Journal of Applied Ichthyology* **25**: 46-54.
- Rodriguez-Ruiz, A. & C. Granado-Lorencio (1992) Spawning period and migration of 32 species of cyprinids in a stream with Mediterranean regimen (SW Spain). *Journal of Fish Biology* **41**: 545–556.
- Roscoe, D. W & S.G. Hinch (2010a). Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns and future directions. *Fish and Fisheries* **11**(1): 12–33.
- Roscoe, D. W., S. G. Hinch., S. J. Cooke & D. A. Patterson (2010b). Fishway passage and post-passage mortality of up-river migrating sockeye salmon in the Seton River, British Columbia. *River Research and Applications* **27**:693-705.
- Santo, M (2005). *Dispositivos de passagem para peixes em Portugal*. Lisboa, Direcção-Geral dos Recursos Florestais, 137p.
- Santos, J. M., M. T. Ferreira., F. N. Godinho & J. Bochechas (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 (2004). Effects of river effects of river regulation on fish assemblages in Central and Northern Portugal and the role of fish passes. Tese de Doutorado, Instituto Superior de Agronomia- Universidade Técnica de Lisboa.166p.
- 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., P.J. Branco.,A. T. Silva., C. Katopodis., A.N. Pinheiro., T. Viseu & M.T. Ferreira (2012). Effect of two flow regimes on the upstream movements of the Iberian barbel (*Luciobarbus bocagei*) in an experimental pool-type fishway. *Journal of Applied Ichthyology* , 1-6.
- Sauriau, P. G., J. P. Robin & J. Marchand (1994) *Effects of the excessive organic enrichment of the Loire Estuary on the downstream migratory patterns of the amphihaline grey mullet Liza ramada (Pisces, Mugilidae)*. In: Changes in Fluxes in Estuaries (ECSA22/ERF symposium, Plymouth, September 1992) (eds K. R. Dyer & R. J. Orth), pp. 349–356. Olsen & Olsen, Fredensborg, Denmark.
- Schmetterling, D.A., R.W. Pierce & B. W. Liermann B.W. (2002) Efficacy of three Denil fish ladders for low-flow fish passage in two tributaries to the Blackfoot River, Montana. *North American Journal of Fisheries Management* **22**: 929– 933.
- Schilt, C. R (2007). Developing fish passage and protection at hydropower dams. *Applied Animal Behaviour Science* **104**: 295–325.
- Sheer M. B & E. A. Steel (2006). Lost watersheds: barriers, aquatic habitat connectivity, and salmon persistence in the Willamette and lower Columbia River basins. *Transactions of the American Fisheries Society* **135**:1654–1669.
- Silva, A (2009). Ecohydraulics of pool-type fishways for the iberian barbel (*Luciobarbus bocagei* steindachner, 1864). Tese de Doutorado, Instituto Superior de Agronomia- Universidade Técnica de Lisboa.184p.
- Silva, A. T., J. M. Santos., M. T. Ferreira., A. N. Pinheiro & C. Katopodis (2010). Passage efficiency of offset and straight orifices for upstream movements of iberian barbel in a pool-type fishway. *River Research and Applications*.
- Silva, A. T., J. M. Santos., M.T. Ferreira., A. N. Pinheiro & C. Katopodis (2012). Passage efficiency of offset and straight orifices for upstream movements of Iberian barbel in a pool-type fishway. *River Research and Applications* **28**(5): 529-542.
- Sokal, R. E & F. Rohlf (1995). *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*, 3rd edn. W. H. Freeman, New York, 850 p.
- Stuart, I. G & M. Mallen-Cooper (1999). An assessment of the effectiveness of a vertical-slot fishway for non-salmonid fish at a tidal barrier on a large tropical/subtropical River. *Regulated Rivers: Research & Management* **15**: 575–590.

- Tarrade, L., A. Texier., L. David & M. Larinier (2008). Topologies and measurements of turbulent flow in vertical slot fishways. *Hydrobiologia* **609**: 177–188.
- Taylor C. A., J. H. Knouft., T.M. Hiland (2001). Consequences of stream impoundment on fish communities in a small North American drainage. *Regulated Rivers: Research & Management* **17**: 687–698.
- Thiem, J. D., T. R. Binder., J. W. Dawson., P. Dumont., D. Hatin., C. Katopodis., D. Z. Zhu & S. J. Cooke (2011). Behaviour and passage success of upriver-migrating lake sturgeon *acipenser fulvescens* in a vertical slot fishway on the Richelieu River, Quebec, Canada. *Endangered Species Research* **15**: 1–11.
- Thiem, J. D., T. R. Binder., P. Dumont., D. Hatin., C. Hatry., C. Katopodis., K. M. Stamplecoskie & S. J. Cooke (2012). Multispecies fish passage behaviour in a vertical slot fishway on the Richelieu River, Quebec, Canada. *River Research and applications* **29**: 582–592.
- Thomas, P (1994). Influence of some environmental variables on the ascorbic acid status of mullet, *Mugil cephalus* L., tissues. I. Effect of salinity, capture-stress, and temperature. *Journal of Fish Biology* **25**: 711-720.
- Travade, F & M. Larinier (2002). Monitoring techniques for fisways. Bulletin Français de la Pêche et de la pisciculture **364**: 166–180.
- Vannote, R.L., G.W. Minshall., K.W. Cummings., J.R. Sedell & C. E. Cushing (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **37**: 130–137.
- Ward, J. V & J. A. Standford (1995). Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Regulated Rivers: Research & Management* **11**: 105–119.
- WCD, (World Commission on Dams) (2000). *Dams and development: a New Framework for Decision Making*. ed. Earthscan Publications. London.

Anexo I: Planta do dispositivo da passagem para peixes. Fonte: Agência Portuguesa do Ambiente (APA)



Anexo II: Panfleto informativo.

INFORMAÇÃO

A jusante do Açude-Ponte de Coimbra vai decorrer uma campanha de marcação de lampreias com uma marca interna (cavidade abdominal), e uma etiqueta de plástico externa de cor amarela (lado direito da barbatana dorsal).



**Caso capture uma lampreia destas,
agradecemos que nos contacte!**



96 372 30 07



21 750 01 48

O Centro de Oceanografia em conjunto com a Universidade de Évora, agradecem a vossa colaboração e ajuda.

Por favor, colabore e passe a palavra!

Obrigado



