

Comportamento da lampreia-marinha (*Petromyzon marinus*) na abordagem a duas tipologias de passagens para peixes

Roberto Luís Pateiro de Oliveira

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Gestão e Conservação de Recursos Naturais

Orientador(es): Professor Doutor Pedro Raposo de Almeida

Professor Doutor Bernardo Ruivo Quintella

Júri:

Presidente: Doutora Maria Teresa Marques Ferreira, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor Bernardo Silva Ruivo Quintella, Professor Auxiliar Convidado da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Doutor José Maria Horta e Costa Silva Santos, Bolseiro de Pós-Doutoramento do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Agradecimentos

Ao Prof. Pedro Raposo de Almeida por enquadrar-me na sua equipa e em diversos projetos, especialmente no projeto “Reabilitação dos Habitats de Peixes Diádromos na Bacia Hidrográfica do Mondego”. Pela orientação, exigência e ensinamentos transmitidos e disponibilidade ao longo do trabalho.

Ao Prof. Bernardo Quintella pela total disponibilidade, ensinamentos transmitidos, exigência e pelo auxílio em todo o processo deste trabalho.

Ao Carlos Alexandre, à Catarina Mateus por terem sido incansáveis e pelo tempo disponibilizado não só nas tarefas de campo como no auxílio em diversas etapas da tese. Agradeço pela partilha dos seus ensinamentos e interesse demonstrado.

À Esmeralda Pereira e à Filipa Belo pela imprescindível ajuda no campo, informações relativas às contagens visuais, no auxílio ao manuseamento do programa RStudio e pela amizade e incentivo.

Agradecer também ao Rui Monteiro pela sua disponibilidade no auxílio relativamente ao programa RStudio. À Inês de Castro e Filipa Silva pelo tempo disponibilizado para o fornecimento dos dados das contagens visuais.

Aos meus pais, ao meu irmão e aos meus avós pelo apoio demonstrado e, acima de tudo, por conseguirem tornar toda a minha formação até aos dias de hoje realidade.

À minha namorada Cláudia Penedos pela paciência, pela ajuda e apoiado demonstrados nos momentos de maior necessidade.

Resumo

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto intitulado “Reabilitação dos Habitats de Peixes Diádromos na Bacia Hidrográfica do Mondego”, e tem como objetivo avaliar o comportamento e a performance da lampreia-marinha (*Petromyzon marinus*) durante a transposição de passagens para peixes (PPPeixes) naturalizadas e técnicas. Foram utilizadas metodologias distintas nomeadamente contagens visuais, modelos explicativos (BRT), e biotelemetria (telemetria convencional e eletromiograma (EMG)).

O método de contagem visual permitiu identificar variáveis que parecem condicionar a eficiência de atração da PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra para a lampreia-marinha durante o pico migratório da espécie. O preditor mais importante e que influencia a utilização da passagem da espécie-alvo neste dispositivo é o caudal efluente total (34,5%), seguido do período do dia (21,8%), turbidez (17%), condutividade específica (13,7%) e a temperatura com 12,7%. Dos 26 animais marcados com radiotelemetria e monitorizados entre os meses de fevereiro e junho, 40% negociou com sucesso o açude de Palheiros (passagem naturalizada), demonstrando uma eficiência de passagem superior à observada na passagem técnica do Açude-Ponte de Coimbra (30%). Adicionalmente, os 6 indivíduos marcados com transmissores EMG, entre os meses de março e maio, permitiram identificar que os locais tanto a jusante como no interior da PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra parecem ser mais exigentes em termos energéticos do que os respetivos locais associados ao açude de Palheiros.

As informações obtidas, particularmente sobre o comportamento dos peixes em dispositivos de transposição naturalizados, permitiram a obtenção de informação muito útil numa perspetiva de intervenções futuras que possam vir a ser necessárias para melhorar aspetos do seu desenho/dimensionamento das passagens naturalizadas construídas no rio Mondego. Finalmente, esta informação permitirá melhorar/adequar a replicação da tipologia de intervenções avaliada neste trabalho a realidades semelhantes noutros sistemas fluviais portugueses considerados igualmente importantes para as migrações piscícolas.

Palavras-chave: Conetividade fluvial; passagens para peixes; biotelemetria; contagens visuais; comportamento

Abstrat

The present study was developed under the project “Habitat Restoration for Diadromous Fish in River Mondego” with the aim to assess the behavior and performance of adult sea lamprey (*Petromyzon marinus*) during natural-like and technical fish passes negotiation. Different methodologies are used, namely, visual counts, Boosted Regression Trees (BRTs) analysis and biotelemetry (conventional radio telemetry and with registration of electromyogram).

The visual counting method has allowed to identify variables that seems to determine the attraction efficiency of the Açude-Ponte dam for sea lamprey during the migration peak. The most important predictor identified and which influence is related to use of the passage of the target species in this device is the total effluent flow (34.5%), followed by the period of the day (21.8%), turbidity (17%), specific conductivity (13.7%) and temperature with 12.7%. Of the 26 radio tagged lampreys and monitored between the months of february and june, 40% were able to successfully negotiate Palheiros weir (equipped with a natural-like fish pass), thus demonstrating a higher efficiency than the observed 30% for the technical fish pass at Açude-Ponte dam. Additionally, the 6 individuals tagged with EMG transmitters, between the months of march and may, had allowed to identified that downstream the Coimbra dam and inside it's fish pass, the swimming activity appear to be more energy-intensive than in other locations as Palheiros dam.

The information gathered with this study, particularly regarding the sea lamprey behavior in natural-like fish passes had allowed to obtain useful information detrimental to address future interventions that may be needed to improve aspects of the drawing/sizing of the fish passes present in Mondego Basin. Finally, this information will improve/adjust the replication of interventions evaluated in this work to similar situations in other Portuguese rivers systems considered equally important for fish migrations.

Keywords: River connectivity; fish pass; biotelemetry; visual counts; behavior

Índice

LISTA DE TABELAS.....	I
LISTA DE FIGURAS.....	II
ABREVIATURAS.....	VII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. A INTERRUPÇÃO DA CONTINUIDADE LONGITUDINAL DOS RIOS	1
1.2. PASSAGENS PARA PEIXES.....	2
1.2.1. <i>Tipos de Passagens para Peixes</i>	3
1.2.2. <i>Passagens para Peixes em Portugal</i>	8
1.3. MONITORIZAÇÃO DE PASSAGENS PARA PEIXES.....	9
1.4. A LAMPREIA-MARINHA.....	10
1.5. OBJETIVOS	12
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	13
2.1. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO DO RIO MONDEGO.....	13
2.2. PEIXES MIGRADORES.....	14
2.3. AÇUDES E RESPECTIVAS PASSAGENS PARA PEIXES	16
2.3.1. <i>Açude de Coimbra</i>	16
2.3.2. <i>Açude de Palheiros</i>	18
2.3.3. <i>Açude do Louredo</i>	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1. TRABALHO DE CAMPO	24
3.1.1. <i>Censos Visuais</i>	24
3.1.2. <i>Radiotelemetria Convencional</i>	25
3.1.3. <i>Telemetria com registo de parâmetros fisiológicos</i>	29
3.1.4. <i>Dados abióticos</i>	33
3.2. ANÁLISE DE DADOS	34
3.2.1. <i>Dados Abióticos</i>	34
3.2.2. <i>Modelo</i>	34
3.2.3. <i>Dados de Radiotelemetria</i>	39
4. RESULTADOS	42
4.1. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ATRAÇÃO DA PPPEIXES TÉCNICA DO AÇUDE-PONTE DE COIMBRA.....	42
4.2. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS PPPEIXES NATURALIZADAS COM RECURSO A RADIOTELEMETRIA CONVENCIONAL	48

4.3.	ANÁLISE COMPARADA DO COMPORTAMENTO NA ABORDAGEM E TRANSPOSIÇÃO DE PASSAGEM TÉCNICA VERSUS PASSAGEM NATURALIZADA COM RECURSO À TELEMETRIA EMG	55
4.3.1.	<i>Jusante dos açudes – Açude-Ponte versus Palheiros</i>	57
4.3.2.	<i>Entrada da PPPeixes do açude de Palheiros</i>	59
4.3.3.	<i>Interior das PPPeixes - Açude-Ponte versus Palheiros</i>	61
4.3.4.	<i>Troços de Rio entre Coimbra e o açude do Louredo</i>	64
5.	DISCUSSÃO	67
5.1.	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE ATRAÇÃO DA PPPEIXES TÉCNICA DO AÇUDE-PONTE DE COIMBRA.....	67
5.2.	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS PPPEIXES NATURALIZADAS DOS AÇUDES DO MONDEGO COM RECURSO A RADIOTELEMETRIA CONVENCIONAL	68
5.3.	ANÁLISE COMPARADA DO COMPORTAMENTO NA ABORDAGEM E TRANSPOSIÇÃO DE PASSAGEM TÉCNICA <i>VERSUS</i> PASSAGEM NATURALIZADA COM RECURSO À TELEMETRIA EMG	70
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXO I.	PERFIL LONGITUDINAL E PLANTA DA PASSAGEM PARA PEIXES DO AÇUDE-PONTE DE COIMBRA	VIII
ANEXO II.	REGISTOS DOS DADOS ABIÓTICOS (TEMPERATURA, TURBIDEZ E CONDUTIVIDADE ESPECÍFICA) E CAUDAL MÉDIO DIÁRIO DO RIO MONDEGO RECOLHIDOS ENTRE OS MESES DE JANEIRO E JUNHO DE 2016	IX
ANEXO III.	REGISTOS DOS DADOS DE TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA DO RIO MONDEGO RECOLHIDOS ENTRE OS MESES DE JANEIRO E MAIO DE 2014	X

Lista das Tabelas

TABELA 1. ÉPOCA DE MIGRAÇÃO DE ESPÉCIES DIÁDROMAS E POTAMÓDROMAS PRESENTES NO RIO MONDEGO. PERMANECEM IDENTIFICADOS, A CINZENTO, O PERÍODO DE MIGRAÇÃO PARA MONTANTE, A LARANJA MIGRAÇÕES PARA JUSANTE E A AZUL MIGRAÇÕES PARA MONTANTE E JUSANTE SIMULTANEAMENTE (RODRIGUEZ-RUIZ & GRANADO-LORENCIO, 1992; ALMEIDA, 1996; ALMEIDA ET. AL., 2000; SANTOS ET AL., 2005)	15
TABELA 2. INFORMAÇÕES REFERENTES INDÍDUOS ÀS LAMPREIAS-MARINHAS MARCADAS COM RADIOTRANSMISSORES NO ANO DE 2016 .	28
TABELA 3. INFORMAÇÕES REFERENTES AOS INDÍDUOS MARCADOS COM CEMG NO ANO DE 2014 E 2016	33
TABELA 4. PREDITORES ABIÓTICOS UTILIZADOS NO MODELO EXPLICATIVO-PREDITIVO PARA A ESPÉCIE-ALVO (ANEXO II)	35
TABELA 5. CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS UTILIZADOS NO AJUSTAMENTO DO MODELO BRT	37
TABELA 6. PARÂMETROS USADOS PARA AVALIAR A PERFORMANCE DO MODELO	38
TABELA 7. RESULTADOS DA ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE OS 4 PREDITORES INICIALMENTE SELECIONADOS PARA INCLUIR NOS MODELOS BRT	43
TABELA 8. COMPARAÇÃO DA PERFORMANCE PREDITIVA DOS MODELOS DE LAMPREIA-MARINHA TENDO EM CONTA O DESVIO RESIDUAL MÉDIO, O ERRO PREDITIVO E CORRELAÇÃO DA VALIDAÇÃO CRUZADA E O R^2 , PERANTE DIFERENTES COMBINAÇÕES DOS PARÂMETROS, NÍVEL DE COMPLEXIDADE DA ÁRVORE (Tc) E TAXA DE APRENDIZAGEM (LR). A LINHA ASSINALADA CORRESPONDE À COMBINAÇÃO DE PARÂMETROS SELECIONADOS PARA O MODELO FINAL	43
TABELA 9. INTERAÇÕES ENTRE PARES DE VARIÁVEIS PREDITIVAS.....	47

Lista das Figuras

FIGURA 1. DESENHO ILUSTRATIVO DAS PPPEIXES DE BACIAS SUCESSIVAS A) COM ORIFÍCIOS SUBMERSOS E DESCARREGADORES DE SUPERFÍCIE, B) COM APENAS UMA FENDA VERTICAL E C) COM DUAS FENDAS VERTICAIS (FAO, 2002).....	4
FIGURA 2. DESENHO ILUSTRATIVO DA PPPEIXES DO TIPO DENIL EM FORMA DE U (KATOPODIS, 1992).....	4
FIGURA 3. ESQUEMA DO FUNCIONAMENTO DE UMA PPPEIXES DO TIPO ECLUSA (FAO, 2002).....	5
FIGURA 4. DESENHO ILUSTRATIVO DE UMA PPPEIXES DO TIPO ASCENSOR.	5
FIGURA 5. DESENHO ILUSTRATIVO DE DIFERENTES CONSTRUÇÕES DE PASSAGENS DO TIPO LEITO DO RIO MODELADO: A) EM PEDRA EMBUTIDO; B) EM ENROCAMENTO E C) EM CASCATA (FAO, 2002).	7
FIGURA 6. DESENHO ILUSTRATIVO DE UMA PASSAGEM DO TIPO CANAL NATURALIZADO (FAO, 2002).....	7
FIGURA 7. DESENHO ILUSTRATIVO DE UMA RAMPA PARA PEIXES (FAO, 2002).....	8
FIGURA 8. ÁREA DE ESTUDO, REPRESENTADO COM A LINHA ROXA UM TROÇO MODIFICADO EXIBINDO UMA MASSA DE ÁGUA LÊNICA E A MONTANTE, LINHA AZUL, UM TROÇO COM ÁGUAS LÓTICAS. AO LONGO DO RIO ESTÃO IDENTIFICADOS OS PRINCIPAIS OBSTÁCULOS EXISTENTES NO MÉDIO MONDEGO E O AÇUDE-PONTE DE COIMBRA. SÃO TAMBÉM APRESENTADOS OS LOCAIS DE LIBERTAÇÃO DAS P.MARINUS UTILIZADAS O ÂMBITO DESTA ESTUDO, MARCADAS COM RADIOTELEMETRIA DE EMG (⊕) E RADIOTELEMETRIA DE EMG CONVENCIONAL (⊕),.....	14
FIGURA 9. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS (ESQUERDA) E PORMENOR DAS BACIAS E DAS FENDAS DA PASSAGEM DE PEIXES PARA COIMBRA (DIREITA).....	16
FIGURA 10. CANAL A JUSANTE DO AÇUDE-PONTE DE COIMBRA, RIO MONDEGO.....	17
FIGURA 11. RESPECTIVO ESTREITAMENTO DO CANAL DA PPPEIXES DO AÇUDE-PONTE (ESQUERDA) E ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO (DIREITA).	17
FIGURA 12. JANELA DE VISUALIZAÇÃO, LOCALIZADA NO INTERIOR DA ESTAÇÃO DE MONITORIZAÇÃO, DESTINADA ÀS ATIVIDADES DE DIVULGAÇÃO AO PÚBLICO.	17
FIGURA 13. PLANTA DA ESTRUTURA (ESQUERDA) E DETALHE DA GRELHA E SAÍDA DA PPPEIXES (DIREITA).	18
FIGURA 14. AÇUDE DE PALHEIROS ANTES DAS INTERVENÇÕES.....	19
FIGURA 15. AÇUDE DE PALHEIROS, COM DESTAQUE DA PPPEIXES E RAMPA PARA CAIAQUES.	19
FIGURA 16. PLANTA DA PASSAGEM PARA PEIXES E RAMPA PARA CAIAQUES EM PALHEIROS.	20
FIGURA 17. VISTA EM CORTE DA DISTRIBUIÇÃO DOS BLOCOS SOBRE A PPPEIXES EM PALHEIROS.....	20
FIGURA 18. RAMPA PARA CAIAQUES CONSTRUÍDA NO AÇUDE DE PALHEIROS.	21

FIGURA 19. AÇUDE DO LOUREDO ANTES DAS INTERVENÇÕES.....	21
FIGURA 20. AÇUDE DO LOUREDO E AS RESPETIVAS INFRAESTRUTURAS (PPPEIXES E RAMPA DE CAIAQUES).....	22
FIGURA 21. VISTA LONGITUDINAL, EM CORTE, DA PPPEIXES NO LOUREDO.....	22
FIGURA 22. PLANTA, VISTA DE TOPO, DA PPPEIXES NO LOUREDO.....	23
FIGURA 23. DESTAQUE DA RAMPA PARA CAIAQUES NA MARGEM DIREITA DO AÇUDE DO LOUREDO.....	23
FIGURA 24. SISTEMA DE CAPTAÇÃO DE IMAGENS COM MONITOR, GRAVADOR E DISPOSITIVO DE BACKUP (ESQUERDA) E CÂMARA DE CAPTAÇÃO DE IMAGENS (DIREITA).....	24
FIGURA 25. ARTE DE PESCA (BOTIRÕES) UTILIZADA NA CAPTURA DA P. MARINUS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO MONDEGO.....	25
FIGURA 26. RADIOTRANSMISSORES ATS- MODELO F2020, FABRICADOS PELA ADVANCED TELEMETRY SYSTEMS E UTILIZADOS NO ÂMBITO DESTE ESTUDO.....	25
FIGURA 27. PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO, COM FITA MÉTRICA, NA MESA CIRÚRGICA EM FORMA DE V.....	26
FIGURA 28. PROCEDIMENTO DE MARCAÇÃO DO RADIOTRANSMISSOR (A-E), DESINFECÇÃO DO LOCAL E ASPETO FINAL DA IMPLANTAÇÃO DO DISPOSITIVO (F).....	27
FIGURA 29. PROCEDIMENTO DE TRACKING (ESQUERDA) USANDO UMA ANTENA YAGI E UM RECETOR DO MODELO R2000 (DIREITA).....	29
FIGURA 30. TRANSMISSOR ELETROMIOGRAMA – MODELO CEMG R11 25, FABRICADO PELA LOTEK WIRELESS INC.....	29
FIGURA 31. PROCEDIMENTO DE MARCAÇÃO DO TRANSMISSOR ELETROMIOGRAMA (A-E), DESINFECÇÃO DO LOCAL E ASPETO FINAL DA IMPLANTAÇÃO DO DISPOSITIVO (F).....	31
FIGURA 32. ANTENA YAGI E RECETOR RÁDIO PORTÁTIL-MODELO SRX 400W 32C, USADOS PARA MONITORIZAÇÃO DAS LAMPREIAS-MARINHAS MARCADAS COM TRANSMISSORES EMG.....	32
FIGURA 33. PROCEDIMENTO DE MONITORIZAÇÃO DAS LAMPREIAS-MARINHAS DURANTE A TRANSPOSIÇÃO DA PPPEIXES DO AÇUDE-PONTE EM COIMBRA.....	32
FIGURA 34. BACKUP DOS DADOS ABIÓTICOS DA SONDA MULTIPARAMÉTRICA.....	33
FIGURA 35. LEGENDA DA DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DAS P. MARINUS MARCADAS COM RADIOTELEMETRIA CONVENCIONAL EM PALHEIROS.....	39
FIGURA 36. LEGENDA DA DISTRIBUIÇÃO TRANSVERSAL DAS P. MARINUS MARCADAS COM RADIOTELEMETRIA CONVENCIONAL EM PALHEIROS.....	40
FIGURA 37. DISTRIBUIÇÃO DIÁRIA DE PASSAGENS (LINHA PRETA) DA P. MARINUS NA PPPEIXES DO AÇUDE-PONTE DE COIMBRA E RESPETIVA TEMPERATURA DA ÁGUA (LINHA LARANJA) E CAUDAL MÉDIO DIÁRIO (LINHA AZUL), ENTRE JANEIRO E JUNHO DE 2016. A ÁREA A CINZENTO	

REMETE PARA O INTERVALO CORRESPONDENTE AO PICO MIGRATÓRIO DA ESPÉCIE QUE VAI AO ENCONTRO DO PERÍODO DE MAIOR UTILIZAÇÃO DA PPPPEIXES (PERCENTIS DE 20 E 80).....42

FIGURA 38. RELAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE ÁRVORES E A PERFORMANCE PREDITIVA PARA MODELOS AJUSTADOS COM SEIS TAXAS DE APRENDIZAGEM (1 A VI= 0.0005 A 0.1) E UM NÍVEL DE COMPLEXIDADE DAS ÁRVORES (TC=3). ESTES MODELOS FORAM CONSTRUÍDOS ATRAVÉS DE VALIDAÇÃO CRUZADA COM 10 PARTIÇÕES- — CORRESPONDE À MÉDIA, E - - - ± 1 ERRO PADRÃO, PARA AS MUDANÇAS NO DESVIO PREDITIVO. A — MOSTRA O MÍNIMO DA MÉDIA, E AO — O NÚMERO ÓTIMO DE ÁRVORES À QUAL OCORRE. O MODELO FINAL ESTÁ DELIMITADO COM LINHA AZUL.....44

FIGURA 39. CONTRIBUIÇÃO RELATIVA (%) DAS VARIÁVEIS PREDITIVAS PARA O MODELO DA LAMPREIA-MARINHA DESENVOLVIDO A PARTIR DO MÉTODO DE VALIDAÇÃO CRUZADA, USANDO UM NÍVEL DE COMPLEXIDADE DA ÁRVORE (TC) DE 3 E UMA TAXA DE APRENDIZAGEM (LR) DE 0,05. PERDIA – PERÍODO DO DIA, CONDESP – CONDUTIVIDADE ESPECÍFICA, TEMP – TEMPERATURA, TURB – TURBIDEZ E CAUTOT – CAUDAL EFLUENTE TOTAL.....45

FIGURA 40. DEMONSTRAÇÃO GRÁFICA DO DESENVOLVIMENTO DA PERFORMANCE DO MODELO DA LAMPREIA-MARINHA, PERANTE A REMOÇÃO DE 3 VARIÁVEIS EM QUE A LINHA PREENCHIDA INDICA A MUDANÇA MÉDIA NO DESVIO PREDITIVO, E AS LINHAS PONTEADAS UM ERRO PADRÃO, CALCULADO SOBRE AS 10 VEZES DAS VALIDAÇÕES CRUZADAS.46

FIGURA 41. GRÁFICOS DE DEPENDÊNCIA PARCIAL PARA AS VARIÁVEIS PREDITIVAS DO MODELO DA LAMPREIA-MARINHA. O EIXO DO Y ESTÁ REPRESENTADO NUMA ESCALA LOGIT E ENCONTRA-SE CENTRADO PARA TER MÉDIA DE ZERO NA DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS. CAUTOT- CAUDAL EFLUENTE TOTAL; PERDIA- PERÍODO DO DIA; TURB- TURBIDEZ; CONDESP- CONDUTIVIDADE ESPECÍFICA E TEMP- TEMPERATURA.47

FIGURA 42. GRÁFICOS 3D DAS INTERAÇÕES CONSIDERADAS MAIS SIGNIFICATIVAS NO MODELO AJUSTADO: A) CAUDAL EFLUENTE TOTAL (CAUTot) x TEMPERATURA (TEMP); B) CAUDAL EFLUENTE TOTAL (CAUTot) x CONDUTIVIDADE ESPECÍFICA (CONDESP).48

FIGURA 43. NÚMERO MÍNIMO DE TENTATIVAS REALIZADAS POR CADA P. MARINUS MARCADA COM RADIOTELEMETRIA CONVENCIONAL ENTRE JANEIRO E JUNHO DE 2016. A COR CINZENTA REPRESENTA AS LAMPREIAS DETETADAS PELA ÚLTIMA VEZ A JUSANTE DE PALHEIROS, A COR AZUL EXIBE OS INDIVÍDUOS DETETADOS PELA ÚLTIMA VEZ EM PALHEIROS, A COR VERDE REPRESENTA OS INDIVÍDUOS QUE TRANSPUSERAM COM SUCESSO O AÇUDE DE PALHEIROS, A COR ROXA EXIBE AS LAMPREIAS QUE NEGOCIARAM O AÇUDE DE PALHEIROS E PERMANECEM NO AÇUDE DO LOUREDO E A COR VERMELHA EXIBE AS P. MARINUS DECLARADAS COMO DESAPARECIDAS OU MORTAS.49

FIGURA 44. TEMPO MÁXIMO (DIAS) QUE AS P. MARINUS BEM-SUCEDIDAS (PERCENTAGEM CUMULATIVA) ESTIVERAM A NEGOCIAR O AÇUDE DE PALHEIROS (LINHA AZUL - TMN).50

FIGURA 45. DISTRIBUIÇÃO LONGITUDINAL DAS P. MARINUS MONITORIZADAS COM RADIOTELEMETRIA CONVENCIONAL, SENDO QUE A COR CINZENTA REPRESENTA OS INDIVÍDUOS A JUSANTE DE PALHEIROS, A COR AZUL IDENTIFICA OS INDIVÍDUOS LOCALIZADOS EM PALHEIROS E AS SETAS A VERDE-CLARO MOSTRA OS INDIVÍDUOS A MONTANTE DE PALHEIROS, ISTO É, OS INDIVÍDUOS QUE CONSEGUIRAM NEGOCIAR O AÇUDE DE PALHEIROS COM SUCESSO. A COR ROXA EXIBE OS INDIVÍDUOS QUE MIGRARAM PARA MONTANTE AO LONGO DO RIO MONDEGO, ALCANÇANDO O AÇUDE DO LOUREDO. OS GRÁFICOS DE BARRAS REFEREM OS MOMENTOS DE LIBERTAÇÃO DAS P. MARINUS

(24-FEV-2016 E 7-ABR-2016, RESPETIVAMENTE) RELACIONADO COM O CAUDAL MÉDIO DIÁRIO (LINHA PRETA) E À TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA (LINHA LARANJA) ENTRE FEVEREIRO E JUNHO DE 2016.....51

FIGURA 46. DISTRIBUIÇÃO TRANSVERSAL DAS P. MARINUS MONITORIZADAS COM RADIOTELEMETRIA CONVENCIONAL NA ÁREA DE ESTUDO, SENDO QUE A CINZENTO ILUSTRA OS INDIVÍDUOS LOCALIZADOS A JUSANTE DE PALHEIROS; A VERDE – MD DO AÇUDE DE PALHEIROS E ONDE SE ENCONTRA A PPPEIXES; A LARANJA - CENTRO DO AÇUDE DE PALHEIROS E O VERMELHO – ME DO AÇUDE DE PALHEIROS. A COMBINAÇÃO DOS TRÊS LOCAIS (MD, C E ME) É REPRESENTADO POR SER PALHEIROS. OS GRÁFICOS DE BARRAS REFEREM OS MOMENTOS DE LIBERTAÇÃO DAS P. MARINUS (24-FEV-2016 E 7-ABR-2016, RESPETIVAMENTE) RELACIONADO COM O CAUDAL MÉDIO DIÁRIO (LINHA PRETA) E À TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA (LINHA LARANJA) ENTRE FEVEREIRO E JUNHO DE 2016.52

FIGURA 47. TEMPO DE PERMANÊNCIA DE TODAS AS P. MARINUS NA ÁREA DE ESTUDO (JP E P) E CADA LOCAL EM PALHEIROS (MD, C E ME) ENTRE FEVEREIRO E JUNHO DE 2016. JP – JUSANTE DE PALHEIROS; P- PALHEIROS; SD – SEM DADOS.53

FIGURA 48. TEMPO PERMANÊNCIA DAS P. MARINUS BEM-SUCEDIDAS EM CADA LOCAL EM PALHEIROS (MD, C E ME) ENTRE FEVEREIRO E JUNHO DE 2016. JP – JUSANTE DE PALHEIROS; P- PALHEIROS; SD – SEM DADOS.....53

FIGURA 49. TEMPO DE PERMANÊNCIA DAS P. MARINUS, QUE NÃO TRANSPUSERAM PALHEIROS, NA ÁREA DE ESTUDO (JP E P) E CADA LOCAL EM PALHEIROS (MD, C E ME) ENTRE FEVEREIRO E JUNHO DE 2016. JP – JUSANTE DE PALHEIROS; P- PALHEIROS; SD – SEM DADOS.54


FIGURA 50. MAPA COM REGISTO DAS ÚLTIMAS LOCALIZAÇÕES DAS P. MARINUS MARCADAS COM TRANSMISSORES CONVENCIONAIS EM 2016 (VALORES INDICADOS EM CADA PONTO CORRESPONDE ÀS FREQUÊNCIAS DOS RESPETIVOS TRANSMISSORES. ASSINALADO COM , CORRESPONDE AO LOCAL DE LIBERTAÇÃO DOS INDIVÍDUOS EM PALHEIROS.....55



FIGURA 51. MAPA COM REGISTO DAS ÚLTIMAS LOCALIZAÇÕES DAS P. MARINUS MARCADAS COM EMG (CIRCULO BRANCO) EM 2016. ASSINALADOS COM  , CORRESPONDE AO 1º E 2º LOCAL DE LIBERTAÇÃO DOS INDIVÍDUOS NA PPPEIXES DO AÇUDE-PONTE E EM PALHEIROS, RESPETIVAMENTE.....56

FIGURA 52. DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE CEMG DAS P. MARINUS PM3 E PM4, POR CLASSES DE ATIVIDADE MUSCULAR, A JUSANTE DO AÇUDE-PONTE DE COIMBRA, COM UM TEMPO DE PERMANÊNCIA APROXIMADO DE 186 HORAS.....57

FIGURA 53. DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE CEMG DAS P. MARINUS PM5, 8 E PM9, POR CLASSES DE ATIVIDADE MUSCULAR, A JUSANTE DO AÇUDE DE PALHEIROS, COM UM TEMPO DE PERMANÊNCIA APROXIMADO DE 12 HORAS.....57

FIGURA 54. MAPA DOS LOCAIS A JUSANTE DO AÇUDE-PONTE DE COIMBRA E DO AÇUDE DE PALHEIROS ASSOCIADO A EXEMPLOS DE REGISTOS DE CEMG, ADQUIRIDOS DURANTE A MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA DOS ANIMAIS.....58

FIGURA 55. DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE CEMG DAS P. MARINUS PM5, 8 E PM9, POR CLASSES DE ATIVIDADE MUSCULAR, NA ENTRADA PARA A PPPEIXES DE PALHEIROS, COM UM TEMPO DE PERMANÊNCIA APROXIMADO DE 27 HORAS.....59

FIGURA 56. MAPA DO AÇUDE DE PALHEIROS ASSOCIADO A EXEMPLOS DE REGISTOS DE CEMG À ENTRADA DA PPPEIXES, ADQUIRIDOS DURANTE A MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA DOS ANIMAIS.60

FIGURA 57. DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE CEMG DAS P. MARINUS PM1, 2, 5, 6 E PM7, POR CLASSES DE ATIVIDADE MUSCULAR, NO INTERIOR DA PPPEIXES AÇUDE-PONTE DE COIMBRA, COM UM TEMPO DE PERMANÊNCIA APROXIMADO DE 41 HORAS.....	61
FIGURA 58. DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE CEMG DAS P. MARINUS PM5, 8 E PM9, POR CLASSES DE ATIVIDADE MUSCULAR, NO INTERIOR DA PPPEIXES DE PALHEIROS, COM UM TEMPO DE PERMANÊNCIA APROXIMADO DE 70 HORAS.	62
FIGURA 59. MAPA DO INTERIOR DAS PPPEIXES DO AÇUDE-PONTE DE COIMBRA E DO AÇUDE DE PALHEIROS ASSOCIADO A EXEMPLOS DE REGISTOS DE CEMG, ADQUIRIDOS DURANTE A MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA DOS ANIMAIS.....	63
FIGURA 60. DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE CEMG DAS P. MARINUS PM5 E PM7, POR CLASSES DE ATIVIDADE MUSCULAR, NO TROÇO COIMBRA-CONFLUÊNCIA, COM UM TEMPO FINAL DE PERCURSO APROXIMADO DE 10 HORAS.....	64
FIGURA 61. DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE CEMG DAS P. MARINUS PM5, POR CLASSES DE ATIVIDADE MUSCULAR, NO TROÇO CONFLUÊNCIA-PALHEIROS, COM UM TEMPO FINAL DE PERCURSO APROXIMADO DE 22 HORAS.	65
FIGURA 62. DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE CEMG DAS P. MARINUS PM9, POR CLASSES DE ATIVIDADE MUSCULAR, COM UM TEMPO FINAL DE PERCURSO APROXIMADO DE 10 HORAS.	65
FIGURA 63. MAPA DOS TROÇOS LIVRES DESDE O AÇUDE-PONTE DE COIMBRA ATÉ AO AÇUDE DO LOUREDO ASSOCIADO A EXEMPLOS DE REGISTOS DE CEMG, ADQUIRIDOS DURANTE A MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA DOS ANIMAIS.....	66

Abreviaturas

APA - Agência Portuguesa do Ambiente

BRT - *Boosted Regression Trees*

cEMG - EMG codificado

EMG - Telemetria com registo de parâmetros fisiológicos (ElectroMioGramas)

FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

GAM - *Generalized Additive Models*

GLM - *General Linear Models*

IDAM - *Integrative Dam Assessment Modeling*

PIT - *Passive Integrated Transponder*

PPPeixes - Passagem para peixes

PROMAR - Programa Operacional Pesca 2007-2013

1. Introdução

1.1. A interrupção da continuidade longitudinal dos rios

As necessidades da sociedade humana face ao crescimento demográfico, simultaneamente com o desenvolvimento tecnológico, têm levado a uma intervenção sistemática do Homem no meio natural. Esta intervenção tem sido feita sobretudo nos ecossistemas aquáticos, uma vez que estes permitem a obtenção de diversos bens e serviços como, por exemplo, o fornecimento de água para diferentes usos, exploração de recursos piscícolas, navegabilidade e/ou atividades recreativas (Pinheiro et al., 2004; Lerer & Scudder, 1999). De modo a fazer face a estas necessidades humanas, ao longo dos séculos têm sido construídos vários tipos de represamentos nos ecossistemas fluviais nomeadamente barragens, outros pequenos aproveitamentos hidroelétricos (i.e. mini-hídricas) e açudes, com o intuito de suprir as necessidades de água para abastecimento humano, para as atividades agrícolas, mas principalmente ao nível da produção hidroelétrica (Pinheiro et al., 2004; Schilt, 2007). Como resultado destas atividades antropogénicas os ambientes fluviais estão entre os sistemas mais modificados e degradados no mundo, tendo sido identificadas mais de 45 000 grandes barragens (superiores a 15 m de altura) (Poff & Hart, 2002) e 800 000 pequenas barragens (inferiores a 15 m de altura), que afetam mais de metade dos grandes sistemas fluviais (172 de 292) (Nilsson et al., 2005; Dudgeon et al., 2006; Mooney et al., 2009). Contudo, embora estejam descritos inúmeros benefícios associados à construção destas infraestruturas há que ter em conta que há consequências ecológicas importantes, que em muitos dos casos são negligenciadas, uma vez que a hidromorfologia e as condições biológicas do ecossistema são afetadas direta ou indiretamente (Larinier, 2001; Solà et al., 2011).

Os sistemas fluviais, 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 (Ward & Stanford, 1995). A construção de obras hidráulicas, mesmo as de pequenas dimensões, causam, de uma forma geral, a fragmentação da conectividade natural do sistema fluvial, considerado uma das principais ações antropogénicas de maior impacto nos ecossistemas ribeirinhos. Esta fragmentação é facilmente concretizável, visto que a construção de um represamento isola imediatamente os segmentos fluviais adjacentes, contribuindo para a modificação e degradação significativa do *habitat*, alteração do regime fluvial e, especialmente, o declínio da variedade e abundância de peixes dulciaquícolas (Jager et al., 2001; Lucas & Baras, 2001; Poff et al., 2007; Branco et al., 2012, 2013).

A imposição de um obstáculo físico – efeito de barreira - contribui para a limitação do movimento das espécies piscícolas, bloqueando ou retardando a migração das espécies para montante ou jusante, sobretudo das espécies diádromas e potamódromas, que possuem maiores requisitos em termos de movimentação. Estas espécies necessitam de realizar, obrigatoriamente, movimentos migratórios entre o ambiente marinho e o ambiente dulciaquícola (espécies diádromas; e.g. algumas espécies de salmonídeos, enguia e lampreia) ou apenas ao longo do sistema dulciaquícola (espécies potamódromas; e.g. barbos, bogas), dado que o respetivo ciclo de vida requer o uso de *habitats* com diferentes características para o desempenho de determinadas funções biológicas como a reprodução, alimentação e/ou áreas de refúgios (Murmulla, 2001; Santo, 2005; Branco et al., 2012; 2013).

A redução ou o impedimento do acesso das espécies piscícolas a locais propícios para a reprodução, alimentação e/ou crescimento pode provocar o isolamento populacional, potenciando o empobrecimento genético e perda estrutural das populações e, em certos casos, extinções locais (devido à falta de dispersão e recolonização) (Lucas & Baras, 2001; Branco et al., 2012).

O conceito de conectividade longitudinal é baseado no conceito do rio contínuo e está relacionada com a teoria fragmentação do *habitat* (Andrèn et al., 1985; Wilcove et al., 1986; Dickman, 1987; Noss and Csuti, 1997) e o conceito de corredores ecológicos (Forman e Godron, 1986). Segundo Ward (1989), a conectividade pode ser composta por mais três dimensões: lateral, vertical e temporal. Porém, de todas as dimensões, a longitudinal é considerada particularmente importante para as espécies dulciaquícolas, dado que permite a realização das diferentes migrações dos peixes para montante e a jusante do rio (Lucas & Baras, 2001).

1.2. Passagens para peixes

De modo a mitigar os impactes negativos resultantes da construção de obstáculos nos cursos de água, especialmente a perda de conectividade longitudinal dos ecossistemas fluviais, e permitir a livre passagem das espécies piscícolas, têm sido construídos e desenvolvidos sistemas de transposição para peixes, genericamente designados de passagens para peixes (Santos et al., 2005; O'Hanley et al., 2013). Estes dispositivos de transposição piscícola constituem um caminho artificial alternativo ao curso de água onde foi instalado um obstáculo intransponível ou dificilmente transponível por uma determinada espécie ou mesmo por um conjunto de espécies (Bochechas et al., 1998). O princípio geral da instalação destes dispositivos baseia-se na atração dos peixes para um determinado ponto do curso de água, a jusante ou montante do obstáculo, e induzi-los a efetuarem a transposição (ativamente ou passivamente) para o lado oposto do obstáculo (FAO / DVWK, 2002; Larinier & Marmulla, 2004).

Recentemente, a importância destes dispositivos foi reforçada com o desenvolvimento e aplicação de ferramentas de gestão da água na União Europeia, como a Diretiva Quadro da Água (DQA, 2000/60 / CE), que exige a livre circulação piscícola como um dos elementos chave para o restabelecimento da boa qualidade ecológica dos rios (Alexandre et al., 2013; Branco et al., 2013).

Um sistema de transposição piscícola possui estruturas bastantes específicas e com grande exigência do ponto de vista da sua conceção e construção. Apesar da complexidade de elementos a considerar na sua conceção, esta deverá iniciar-se com a recolha de um conjunto de informações, em primeiro lugar, relacionadas com a análise da importância de determinado dispositivo e definição dos seus objetivos e, em segundo lugar, com a determinação das suas características técnicas (Santo, 2005; Kroes et al., 2006). Posteriormente e dentro dos objetivos preconizados para a instalação de uma passagem para peixes é relevante identificar a espécie ou o grupo de espécies alvo potencialmente utilizadoras do dispositivo tendo em conta critérios particulares no que respeita à sua biologia, ecologia e comportamento. Por outro lado, podem ser definidas espécies prioritárias devido ao seu valor ecológico e económico ou simplesmente devido ao impacto diferencial causado por determinado obstáculo sobre população piscícola em particular em detrimento de outras para as quais a magnitude desse impacto poderá ser menor (Larinier & Marmulla, 2004; Santo, 2005).

A localização do dispositivo relativamente ao obstáculo na bacia hidrográfica pode influenciar na sua eficácia, dado que está intimamente ligada às condições hidrodinâmicas (velocidade da água e regime de escoamento) junto à entrada e dentro dos dispositivos (Travade & Larinier, 2002).

Todos os fatores que podem influenciar o funcionamento de uma PPPeixes devem, sempre que possível, ser previstos e considerados para maximizar a sua eficiência e eficácia.

1.2.1. Tipos de Passagens para Peixes

Desde o início do século XIV até ao presente, a construção de passagens para peixes tem evoluído consideravelmente, tornando-se mais elaboradas e com um *design* mais compacto de modo a minimizar os custos associados à sua construção e aumentar a eficiência e a eficácia da transposição pelas espécies alvo. Consequentemente existem diferentes tipologias de dispositivos de transposição piscícola multiespecíficos que podem ser classificados genericamente em duas categorias: as passagens técnicas e as naturalizadas (FAO, 2002; Foulds et al., 2013).

1.2.1.1. Passagens Técnicas

1.2.1.1.1. Bacias Sucessivas

Dentro do grupo dos dispositivos de transposição piscícola considerados de carácter mais técnico, podemos encontrar um dos dispositivos mais utilizados para a transposição de obstáculos, adaptando-se a um grande número de espécies e obstáculos de pequena-média dimensão – as passagens por bacias sucessivas. O seu princípio geral de funcionamento consiste em dividir a altura total a ser transposta em várias quedas mais pequenas, formando uma sucessão de bacias com desníveis entre si, criando assim um canal pelo qual os peixes possam deslocar (em ambos os sentidos), nadar ou saltar de bacia em bacia, dependendo do tipo de descarregador adotado. Para além das condições hidrodinâmicas no interior das bacias permitirem a permanência e repouso dos peixes em determinadas zonas de menor velocidade de corrente, asseguram igualmente uma adequada dissipação da energia da água (Larinier, 2000; Santos, 2004).

Existe uma grande diversidade deste tipo de passagens, porém as mais comuns são aquelas onde a passagem da água entre as diferentes bacias é realizada através de descarregadores de superfície, por orifícios submersos ou fendas verticais (Figura 1) (Bochechas et al., 1998; Santos, 2004).

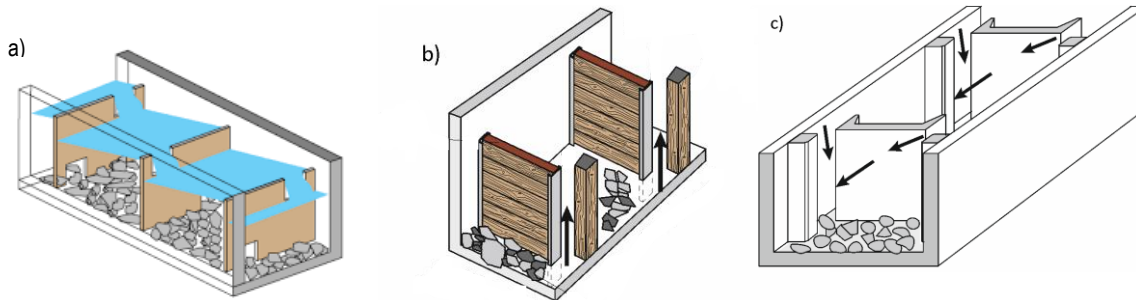


Figura 1. Desenho ilustrativo das PPPeixes de bacias sucessivas a) com orifícios submersos e descarregadores de superfície, b) com apenas uma fenda vertical e c) com duas fendas verticais (FAO, 2002).

1.2.1.1.2. Passagens do tipo Denil

As passagens de Defletores ou do tipo Denil são formadas por um canal retilíneo de declive relativamente acentuado e com seção retangular, onde permanecem dispostos defletores (sob forma de U) sobre o fundo e/ou nas paredes (Figura 2). Para além de reduzir a velocidade média do escoamento, também origina correntes secundárias helicoidais que asseguram uma eficiente dissipação de energia (Bochechas et al., 1998; Larinier, 2000; Larinier & Marmulla, 2004). Este tipo de passagem é relativamente seletivo uma vez que apresenta como desvantagem a ausência de zonas de descanso, exigindo aos peixes um enorme esforço para completar a transposição, não sendo, por esse motivo, adequada a espécies com reduzida capacidade natatória, ou seja, adequa-se sobretudo a salmonídeos (Larinier, 2000; Larinier & Marmulla, 2004).

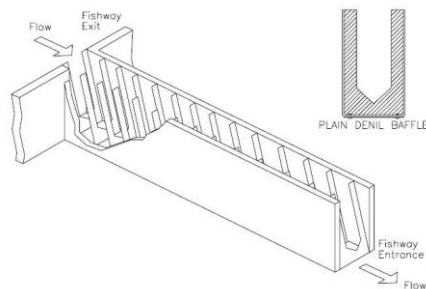


Figura 2. Desenho ilustrativo da PPPeixes do tipo Denil em forma de U (Katopodis, 1992).

1.2.1.1.3. Eclusas

As eclusas e os ascensores não permitem a deslocação das espécies piscícolas de forma ativa. Em vez disso, forçam a subida dos peixes através de um dispositivo que os concentra a jusante e os eleva para montante (Larinier, 2000; Larinier & Marmulla, 2004).

As eclusas consistem em duas bacias ou câmaras, uma a jusante do obstáculo (inferior) e outra a montante (superior), interligadas entre si por uma conduta inclinada ou um poço vertical, na qual existem válvulas com funcionamento automático que regulam a entrada e a saída de água (Larinier, 2000; Santos, 2004).

O seu funcionamento consiste na libertação de um caudal de atração, controlado pela comporta a montante para a câmara ou bacia a jusante, para onde serão atraídos os peixes. Seguidamente, a válvula a jusante é fechada e cheia por intermédio de uma conduta. Uma vez atingido o nível de montante é criado um fluxo de água de forma a estimular os peixes a saírem do dispositivo. Por último, uma vez que a conduta está preenchida de água, deverá ser esvaziada de modo a recomençar todo o processo (Figura 3) (Santos, 2004).

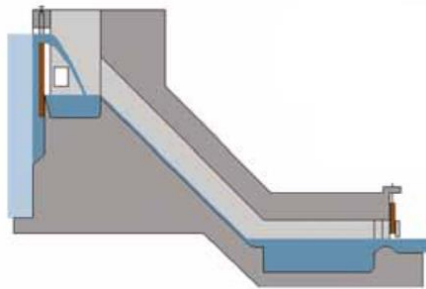


Figura 3. Esquema do funcionamento de uma PPPeixes do tipo eclusa (FAO, 2002).

Este dispositivo apresenta algumas limitações, uma vez que durante todo este processo, os peixes podem ficar retidos nas câmaras ou bacias, podendo durante o período de esvaziamento voltar para a câmara a jusante (Larinier, 2000; Santos, 2004).

1.2.1.1.4. Ascensores

Em relação aos ascensores, estes permitem a elevação de uma cuba controlada mecanicamente. Os peixes são atraídos para esta cuba por intermédio de uma determinada quantidade de escoamento, içando-os de jusante para montante, sem necessitarem de fazer qualquer tipo de esforço para vencer desnível dos obstáculos (Figura 4) (Larinier, 2000; Santos, 2004).

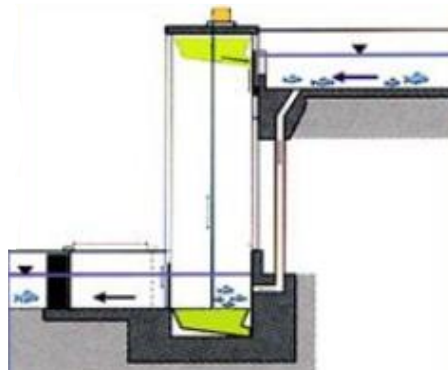


Figura 4. Desenho ilustrativo de uma PPPeixes do tipo ascensor.

Este dispositivo, assim como as eclusas, têm implicações elevadas no que se refere os custos de construção, manutenção e funcionamento. No entanto mesmo tendo a vantagem de ocupar pouco espaço, não permitem às espécies deslocarem-se no sentido montante-jusante (Larinier & Marmulla, 2004; Santos, 2004).

1.2.1.2. Passagens Naturalizadas

No que respeita às passagens naturalizadas têm como característica principal a mimetização, na forma e função, de um curso natural de rio, apresentando assim um enquadramento mais harmonioso em termos paisagísticos (Santos 2004, Santo et al., 2005; Santo, 2005). Atualmente são consideradas como uma boa alternativa às passagens para peixes de carácter mais técnico. Estas passagens promovem a livre transposição em ambos os sentidos de todas as espécies ocorrentes no local e respetivas fases de vida, permitindo aceder ao habitat de reprodução, alimentação e/ou refúgios, de modo a manter ou aumentar os efetivos populacionais (Santos, 2004, Santos et al., 2005) e ainda o aumento da área de pesca ou evitar o isolamento genético das populações (Lucas & Baras, 2001; Branco et al., 2012). Para além disso, elas próprias constituem um habitat e criam diversidade de condições ambientais.

Tal como nas passagens técnicas, a entrada da passagem deve situar-se o mais próximo do obstáculo possível, no entanto, as suas desvantagens prendem-se sobretudo no espaço ocupado para a sua elaboração e as condicionantes topográficas de origem natural (Santos, 2004).

Existem diferentes tipos de passagens naturalizadas, nomeadamente o leito do rio modelado, canais naturalizados e rampas para peixes.

1.2.1.2.1. Leito do rio modelado

As passagens de leito do rio modelado permitem transformar toda a largura do curso de água em superfícies rugosas com uma pequena inclinação (1 a 5%), sobretudo em pequenos açudes abandonados onde não existe regularização do caudal a montante, de modo a possibilitar a transposição dos peixes (Figura 5). Este tipo de passagem possui custos relativamente baixos, necessitam de pouca manutenção e uma vez aplicado à largura total do rio, não é necessário haver preocupações relativamente à sua atratividade (Larinier, 2000; Santos, 2004).

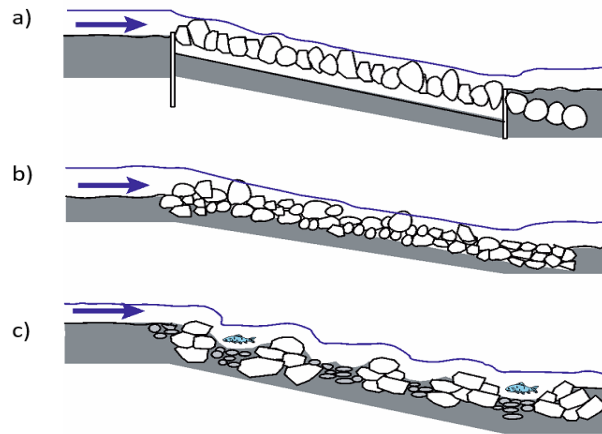


Figura 5. Desenho ilustrativo de diferentes construções de passagens do tipo leito do rio modelado: a) em pedra embutido; b) em enrocamento e c) em cascata (FAO, 2002).

1.2.1.2.2. Canais naturalizados (ou Bypass)

Os canais naturalizados consistem numa passagem que se assemelha a um curso de água natural, que é criada numa das margens do rio, de forma a contornar o obstáculo e permitir a transposição da ictiofauna (Figura 6) (Larinier, 2000; Santos, 2005).

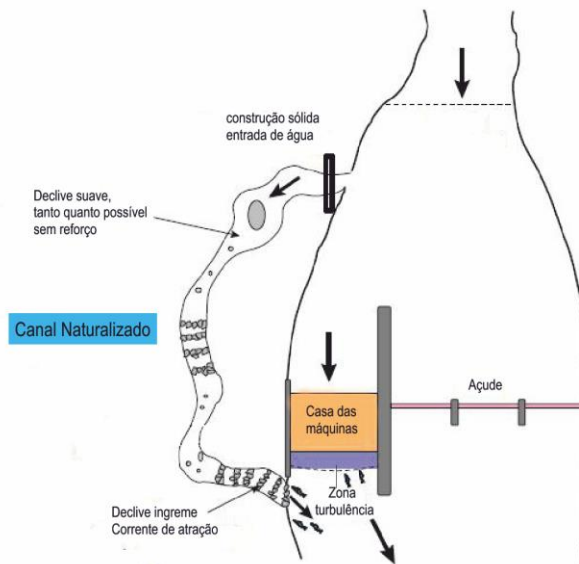


Figura 6. Desenho ilustrativo de uma passagem do tipo canal naturalizado (FAO, 2002).

1.2.1.2.3. Rampas

Por fim, as rampas apresentam um declive suavizado, constituído à base de enrocamento e integrada com blocos e calhaus espalhados, de modo a criar zonas com profundidade e reduzir a velocidade de escoamento (Figura 7). A sua construção é tecnicamente exigente devido ao elevado grau de estabilidade estrutural que é requerido, contudo são infraestruturas que não necessitam de muita manutenção (Larinier, 2000; Santos, 2004).

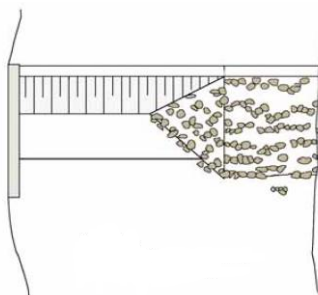


Figura 7. Desenho ilustrativo de uma rampa para peixes (FAO, 2002).

1.2.2. Passagens para Peixes em Portugal

Em Portugal, a construção de dispositivos de transposição piscícola é um fenómeno relativamente recente, dado que a referência mais antiga remonta a 1947, quando um dispositivo de transposição do tipo Denil foi instalado na Barragem de Belver. Mais tarde, esta passagem foi destruída aquando da primeira ampliação da central em 1971 e substituída por uma eclusa (Bochechas et al., 1998).

Na última revisão realizada por Silva em 2009 tinham sido identificadas cerca de 39 dispositivos de passagem para peixes: 32 passagens para peixes de bacias sucessivas, construídos em pequenos aproveitamentos hidroelétricos, 6 passagens eclusas Borland, das quais 5 encontram-se no rio Douro e apenas 1 no rio Tejo; 2 ascensores, situado na barragem do Touvedo (rio Lima) e outro na barragem de Pedrogão (rio Guadiana) e 1 passagem naturalizada no rio Lima (Larinier, 2000; Santos, 2004; Santo 2005).

Desde esse momento, apesar da informação ainda não ter sido compilada, foram construídas outros dispositivos, nomeadamente, 4 passagens naturalizadas e 2 passagens técnicas no rio Mondego (Almeida et al., 2016).

No entanto, a maioria destas passagens não se encontram em funcionamento ou demonstram ser ineficientes à transposição da ictiofauna, situação agravada pelos poucos trabalhos existentes em que se procura determinar as causas dessa ineficiência e encontrar soluções alternativas (Pinheiro et al., 2004; Santos, 2004).

1.3. Monitorização de passagens para peixes

De maneira a instruir-se as funcionalidades de uma passagem para peixes e quantificar o grau de mitigação resultante do seu funcionamento é frequentemente realizada a monitorização de aspetos hidráulicos e mecânicos e, ainda, a monitorização biológica, que visa principalmente avaliar a eficácia e eficiência do dispositivo para as espécies-alvo (Travade & Larinier, 2002; Santos, 2004).

Recentemente, um conceito proposto para o objetivo de uma passagem é a “transparência” da barreira ao movimento de espécies nativas (Castro-Santos et al. 2009). Esta permite a entrada e a passagem a montante ou a jusante da ictiofauna sem causar atrasos na migração, custos energéticos excessivos associados à transposição, *stress* acrescido, lesões, aumento das taxas de predação ou redução do sucesso reprodutivo. Todavia estes objetivos nem sempre são alcançáveis, maioritariamente devido a restrições económicas e biológicas, sendo difícil avaliar algumas variáveis como o sucesso reprodutivo e o *stress* (Roscoe & Hinch, 2010).

A monitorização biológica das passagens para peixes está habitualmente associada à determinação da sua eficácia e eficiência. A eficácia é um conceito qualitativo que permite verificar se as passagens para peixes permitem a passagem para montante das espécies-alvo durante a sua época de migração, podendo ser utilizadas para esse efeito diversas metodologias de contagem (e.g., automática, captura e visual) (Travade & Larinier, 2002; Larinier & Marmulla, 2004). Por outro lado, a eficiência é um conceito mais quantitativo da performance da passagem da ictiofauna, sendo determinada através da proporção de indivíduos a jusante do obstáculo que efetivamente usa o dispositivo, num determinado período de tempo (Pinheiro et al., 2004; Larinier & Marmulla, 2004). É habitualmente expressa em percentagem de uma população que efetivamente transpõe o obstáculo. Os métodos disponíveis para a sua avaliação apresentam maiores dificuldades de implementação, comparativamente aos métodos de estimativa da eficácia, sendo preferencialmente utilizadas técnicas de marcação-recaptura mas sobretudo biotelemetria (Pinheiro et al., 2004; Larinier & Marmulla, 2004).

A biotelemetria é uma técnica de amostragem muito importante na avaliação da eficiência das PPPeixes uma vez que permite obter informações sobre o comportamento dos peixes face aos dispositivos de transposição, em particular pela forma como são atraídos e como se comportam já no interior da infraestrutura (Pinheiro et al., 2004). Podemos identificar diferentes técnicas de biotelemetria como radiotelemetria convencional e radiotelemetria com registo de parâmetros fisiológicos (EletroMioGrama, EMG) (Cooke et al., 2004).

Os métodos de radiotelemetria convencional têm como particularidade localizar individualmente cada indivíduo, sendo vantajoso na determinação da sua posição e dos seus movimentos. Este método possui algumas limitações no que se refere à quantidade e qualidade na obtenção de informação sobre o comportamento natatório das espécies piscícolas, nomeadamente, movimentos horizontais e em profundidade, mudanças de velocidade ao longo do tempo e ainda quando transpõem açudes ou zonas de corrente elevada, os *riffles* (Cooke et al., 2004; Quintella et al., 2009a; 2009b; Alexandre et al., 2013).

Por conseguinte, foi desenvolvido um radiotransmissor que deteta e transmite parâmetros fisiológicos, nomeadamente eletromiogramas (EMG) produzidos pelos peixes marcados durante o recrutamento muscular axial. O EMG pode ser definido como variações de voltagem bioelétrica fortemente correlacionada com a intensidade e a duração das contrações musculares dos peixes (Quintella et al., 2004; Almeida et al., 2007). Quando medidos, estes parâmetros podem ser utilizados para reconhecer o

comportamento e padrões da sua atividade, em resposta a diferentes tipos de *habitat* e durante a negociação de várias estruturas hidráulicas. Podem ser também utilizadas como promissoras ferramentas para a reabilitação de bacias hidrográficas e, em particular, para a avaliação de projetos de PPPeixes, onde as observações visuais diretas não são frequentemente possíveis (Alexandre et al., 2013).

Esta técnica de telemetria apenas fornece um índice relativo de atividade, e os valores de EMG podem ser calibrados com outros parâmetros de maior relevância biológica e fisiológica, como por exemplo, a frequência do batimento da cauda, velocidade de natação ou o consumo de oxigénio (Økland et al., 1997; Alexandre et al., 2013). Deste modo, obtém-se mais informação e uma interpretação mais confiável do sinal EMG, permitindo assim comparações diretas de dados obtidos a partir de peixes marcados com diferentes transmissores (Almeida et al., 2007).

1.4. A lampreia-marinha

A lampreia-marinha (*Petromyzon marinus* L., 1758), apesar de apresentar características muito primitivas, é uma espécie anádroma que possui um ciclo de vida bastante peculiar, dividido em duas fases: uma fase larvar em meio dulciaquícola e uma fase adulta realizada em meio marinho (Quintella, 2006).

A fase larvar inicia-se logo após a fecundação, com as fases embrionárias e de proamocete (Quintella, 2006). É após a absorção da gema que os jovens amocetes emergem da areia onde se situa o ninho (18 a 21 dias após a desova) e migram para jusante depositando-se, através da reduzida corrente, em locais com um substrato fino (“camas de amocetes”). A duração desta fase larvar pode variar consoante as regiões geográficas, porém em Portugal estima-se que possa durar cerca de 4 anos (Quintella et al., 2003), constituindo o tempo necessário para reunir as condições de energia e dimensão certa para iniciar a metamorfose (Quintella et al., 2006). Esta metamorfose ocorre após um período entre 2 a 8 anos em ambiente dulciaquícola (dependendo da localização), e permite preparar os indivíduos para a vida num *habitat* diferente, o ambiente marinho (Quintella, 2006; Almeida et al., 2008). Ao longo deste processo a lampreia-marinha vai desenvolvendo o seu corpo, sendo que na fase final do processo começa a ter uma semelhança geral à forma adulta, apresentando uma característica bastante visível nas espécies parasíticas, a presença de um olho de grande dimensão -“macrophthalmia” (Kircheis, 2004).

Esta fase fica concluída após a migração da espécie para jusante, durante a noite e com o aumento do caudal, e o início da sua alimentação parasítica propriamente dita (Quintella, 2006; Lança et al., 2011).

No meio marinho, correspondendo à fase parasítica da lampreia, com duração normal entre 23 a 28 meses, a espécie assume um carácter pelágico e possui uma ampla distribuição, isto é, através da sucção, usando o seu funil bucal, anexam-se às presas ou hospedeiros, permitindo, desta forma, um meio de locomoção e de alimentação (Quintella, 2006).

Após um período de crescimento no mar (2-3 anos), com uma alimentação parasítica, a migração reprodutora das lampreias tem início, nos rios portugueses, entre o final do mês de dezembro e o início do mês de janeiro. O movimento migratório prolonga-se até maio/junho, apresentando um pico de migração em fevereiro/março que termina com a chegada das lampreias ao local de reprodução e com a construção de ninhos (Almeida et al., 2000, Quintella, 2006). A reprodução tem maior expressão durante os meses de maio e junho, dependendo das condições meteorológicas (Almeida, 2000).

A lampreia-marinha é uma espécie semelpara e, seguidamente à desova, os indivíduos de ambos os sexos desta espécie morrem, o que provavelmente estará relacionado com o esgotamento das reservas acumuladas, deterioração do corpo ao longo da migração, quebra de mecanismos reguladores, a falta de substâncias essenciais e a acumulação de produtos tóxicos (Quintella, 2006).

Esta espécie é muito explorada comercialmente, principalmente em países como Espanha, França e, particularmente, nas regiões central e norte de Portugal, onde é considerada uma grande especialidade gastronómica, devido ao valor comercial que apresenta, podendo alcançar um preço unitário que ascende aos 45 – 50 € (Almeida et al., 2000; Andrade et al., 2007, 2009a). Desta forma, constitui um alvo preferencial para os pescadores profissionais e furtivos. Para além da sobrepesca, fatores como a exploração de inertes, a regularização dos cursos de água e, principalmente, a construção de barragens e açudes, representam as principais ameaças para a sobrevivência desta espécie nos rios portugueses, alterando as zonas de desova ou impedindo o seu acesso. Também a poluição e a alteração do regime natural de caudais (devido à exploração dos recursos hídricos e ao regime de exploração das barragens) têm contribuído para o inevitável delapidar deste recurso (Almeida *et al.*, 2000, 2002a, 2002b; Andrade et al., 2007). Por consequência, de acordo com o Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal, a lampreia-marinha está classificada com o estatuto de Vulnerável (VU), estando ainda listada no Anexo II da Diretiva Habitats e Anexo III da Convenção de Berna (Almeida et al., 2002b; Quintella et al., 2003). Em Portugal existem leis que permitem a conservação dos *habitats* naturais e da fauna e da flora selvagem; aplicação da Convenção da Vida Selvagem e dos Habitats Naturais na Europa (Convenção de Berna - Conselho da Europa); promulga as Bases do Fomento Piscícola nas águas interiores do País e as atividades de pesca em águas interiores não-oceânicas.

Dado que a lampreia-marinha possui uma proporção de natação (anguiliforme), apresenta uma capacidade de natação inferior e menos eficiente quando comparada com as restantes espécies migradoras (Quintella et al., 2004; Pereira, 2014). Desta forma, a espécie é utilizada, por vezes, como indicadora da eficiência de passagens para peixes numa perspetiva minimalista, ou seja, na impossibilidade (financeira) de alargar alguns trabalhos a outras espécies com melhores performances natatórias ou pela sua falta de resiliência à manipulação (e.g. sável), que mais dificilmente serão marcadas com dispositivos eletrónicos (Acolas et al., 2004).

1.5. Objetivos

Este estudo tem como objetivo geral avaliar o comportamento e a performance da lampreia-marinha durante a transposição de dispositivos de transposição piscícola nomeadamente:

- Identificar os parâmetros que condicionam a eficiência de atração de uma passagem técnica do tipo bacias sucessivas com fendas verticais;
- Analisar o comportamento da lampreia-marinha durante a transposição de uma passagem do tipo bacias sucessivas com fendas verticais;
- Analisar o comportamento da lampreia-marinha na abordagem (troço imediatamente a jusante) e durante a transposição de uma passagem do tipo naturalizada;
- Análise comparativa entre o comportamento e performance da lampreia-marinha durante a transposição de passagens para peixes com desenhos e características hidráulicas distintas (i.e., técnica versus naturalizada).

2. Caracterização da área de estudo

2.1. Enquadramento geográfico do rio Mondego

O rio Mondego é considerado o maior rio da Região Centro de Portugal, com uma extensão de 234 km. A sua nascente situa-se na Serra da Estrela, ponto mais alto de Portugal Continental, a uma altitude de 1 425 metros, e desagua no Oceano Atlântico, junto à cidade da Figueira da Foz (Rocha & Freitas, 1998; PGRH, 2012). É neste local que se forma um estuário com cerca de 24 km de comprimento e uma área com cerca 1 200 ha (Quintella et al., 2004; Duarte et al., 2008).

O rio Mondego drena uma bacia hidrográfica com uma área de captação de 6 659 km² e um escoamento anual médio de 3 804 hm³. Desta forma, possui uma área que ocupa o segundo lugar relativamente a rios cujas bacias se situam totalmente em território português. Ao longo do seu percurso recebe água de afluentes como os rios Dão, Alva e Ceira, a montante de Coimbra, e os rios Pranto e Arunca, a jusante (PGRH, 2012).

É um rio altamente modificado e regularizado, devido às intervenções antropogénicas sucessivas, sobretudo a partir da década de 80, entre as quais se destaca a construção de duas grandes barragens hidroelétricas, Agueira (86 km da foz) e Raiva (80 km da foz), com uma produtividade média anual de 209 GWh e 45 GWh respetivamente. Para além destas duas grandes barragens, foram construídas oito barragens de usos múltiplos na bacia hidrográfica do Mondego como a barragem do Açude-Ponte (rio Mondego), Alto Ceira (rio Ceira), Caldeirão (ribeira do Caldeirão), Fagilde (rio Dão), Fronhas (rio Alva), Lagoa Comprida (ribeira da Lagoa), Lagoacho (ribeira do Covão do Urso) e Vale do Rossim (ribeira da Fervença) e vários açudes de pequenas dimensões (Almeida et al., 2002b; PGRH Vouga, Mondego e Lis, 2012). No Baixo Mondego podemos destacar a construção do Açude-Ponte de Coimbra, nos anos 80, tendo como objetivos principais o controle de cheias, abastecimento doméstico e captação de águas para fins agrícolas e industriais. No entanto, a construção desta infraestrutura veio limitar o habitat disponível para os peixes migradores a um troço de 45 km de extensão a jusante. Apesar do Açude-Ponte ter sido dotado de uma PPPeixes desde o início da sua construção, esta demonstrou ser ineficiente, dada a falta de atratividade da entrada do dispositivo e desajuste das condições hidráulicas no seu interior (Santo, 2005). Deste modo, em 2011, a construção da nova PPPeixes no Açude-Ponte veio permitir aumentar significativamente a área disponível para essas espécies até uma extensão aproximada de 56 km (habitat recuperado desde a foz do rio até Palheiros, numa situação de caudais hidrológicos médios), na qual se incluem ainda alguns açudes parcialmente intransponíveis no Médio Mondego, nomeadamente os açudes de Palheiros, do Louredo, da Carvoeira e de Penacova.

Todas estas infraestruturas contribuíram significativamente para a regularização do caudal do rio, que geralmente (durante o período estival ou anos de seca) está limitado a 4,8 m³/s, exceto quando a barragem da Raiva entra em funcionamento, o que acontece habitualmente duas vezes por dia, podendo aumentar o fluxo até aos 150 m³/s (Almeida et al., 2002b).

Para além da construção destas infraestruturas, nos anos de 70, foi desenvolvido um projeto para proteção das cheias e modificação dos canais, proporcionando a alteração das características de um dos troços do rio Mondego – troço Açude-Ponte até confluência com o Ceira. Este troço é caracterizado por ser uma área de regolfo, com uma velocidade de corrente muito reduzida e um substrato arenoso. Porém, a montante da confluência, o rio é naturalizado e constituído por um substrato misto de rio aluvial

e de montanha, com um gradiente pouco acentuado (0.001m/km), caracterizado por uma elevada velocidade de corrente e aumento do poder erosivo e com um tamanho de grão médio inferior (Rocha & Freitas, 1998; Quintella et al., 2014).



Figura 8. Área de estudo, representado com a linha roxa um trecho modificado exibindo uma massa de água lêntica e a montante, linha azul, um trecho com águas lóticicas. Ao longo do rio estão identificados os principais obstáculos existentes no Médio Mondego e o Açude-Ponte de Coimbra. São também apresentados os locais de libertação das *P. marinus* utilizadas no âmbito deste estudo, marcadas com radiotelemetria de EMG (+) e radiotelemetria de EMG e convencional (+).

2.2. Peixes migradores

Apesar de existir um grande conjunto de pressões a afetar negativamente a persistência das espécies piscícolas nos ecossistemas aquáticos continentais, o rio Mondego, em particular, ainda demonstra ser um importante refúgio para uma diversidade notável de peixes dulciaquícolas, sendo que alguns apresentam um elevado valor conservacionista e socioeconómico (Cabral et al., 2005).

Das espécies piscícolas que ocorrem nesta bacia e que frequentam o trecho de água doce do rio Mondego e seus afluentes, destacam-se algumas espécies migradoras anádromas como a lampreia-marinha (*Petromyzon marinus*; Linnaeus, 1758), o sável (*Alosa alosa*; Linnaeus, 1758), a savelha (*Alosa fallax*, Lacepède, 1803) e ainda espécies catádromas como a enguia-europeia (*Anguilla anguilla*; Linnaeus, 1758) e o muge (*Liza ramada*, Cuvier 1826). Para além destas espécies diádromas, podem ser identificadas espécies potamódromas como é o caso da boga-comum (*Pseudochondrostoma polylepis*; Steindachner, 1864), o barbo-comum (*Luciobarbus bocagei*; Steindachner, 1864) e a truta-de-rio (*Salmo trutta*, Linnaeus, 1758) (Almeida et al., 2002b; Cabral et al., 2005; Almeida et al., 2016).

No que se refere à classificação das espécies anádromas, o sável é a única espécie que apresenta um estatuto de conservação *Em Perigo* (EN), ao passo que a lampreia-marinha e a savelha possuem um estatuto de conservação *Vulnerável* (VU), em Portugal, segundo o Livro Vermelho dos Vertebrados (Cabral et al., 2005). A atribuição destes estatutos de conservação deve-se ao fato destas espécies apresentarem um declínio populacional, causado sobretudo pela alteração do seu habitat, através da construção de barreiras à migração, alteração do regime natural de caudais, poluição e exploração de inertes (Cabral et al., 2005). No entanto, dado o seu elevado valor socioeconómico, a sobre-exploração de exemplares destas espécies, nomeadamente da lampreia-marinha, com fins comerciais (pesca profissional e furtivismo) tem, também, contribuído para o delapidar deste recurso (Almeida et al., 2002b; Quintella et al., 2003).

Relativamente à enguia-europeia (espécie catádroma), embora esta espécie seja afetada pelas mesmas causas de declínio das suas populações que as espécies anádromas, um dos principais fatores de ameaça reside na sobrepesca de juvenis de enguia, o meixão. Esta atividade encontra-se integrada num comércio internacional que, apesar de ser proibida em todas as bacias hidrográficas nacionais à exceção do Rio Minho, continua a ser praticada de forma ilegal ao longo de toda a área de distribuição da espécie, contribuindo para o seu declínio. Por consequência, esta espécie encontra-se sob o estatuto de conservação *Em Perigo* (EN) a nível nacional (Cabral et al., 2005).

Diversas espécies presentes no rio Mondego, como o muge, outra espécie catádroma, e algumas espécies potamódromas (boga-comum, o barbo-comum e a truta-de-rio), apresentam valores económicos médios e reduzido, respetivamente, e têm um estatuto de conservação *Pouco Preocupante* (LC) (Cabral et al., 2005). Ao longo do seu ciclo de vida estas espécies realizam migrações, algumas delas exclusivamente em meio dulçaquícola, para locais propícios para a desova e/ou alimentação (Tabela 1). Estas migrações são dificultadas pela fragmentação de habitat, promovida pela construção de obstáculos.

Tabela 1. Época de migração de espécies diádromas e potamódromas presentes no rio Mondego. Permanecem identificados, a cinzento, o período de migração para montante, a laranja migrações para jusante e a azul migrações para montante e jusante simultaneamente (Rodríguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992; Almeida, 1996; Almeida et al., 2000; Santos et al., 2005)

	Espécies	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Diádromas	<i>P. marinus</i>												
	<i>A. alosa</i>												
	<i>A. fallax</i>												
	<i>A. anguilla</i>												
	<i>L. ramada</i>												
Potamódromas	<i>L. bocagei</i>												
	<i>P. polylepis</i>												
	<i>S. trutta</i>												

2.3. Açudes e respetivas Passagens para Peixes

2.3.1. Açude de Coimbra

O Açude-Ponte de Coimbra, situado a 45 km da foz do rio Mondego, foi construído junto à cidade de Coimbra (40° 12' 54,44"N; 8° 26' 27,34"W, Datum WGS84) em 1981 para proteção de cheias, abastecimento doméstico, e captação de água para fins agrícolas e industriais.

A fim de mitigar os problemas criados pela intransponibilidade deste açude para as espécies diádromas existentes no rio Mondego, nos últimos 20 anos foram desenvolvidos inúmeros estudos. Como resultado, em 2011, foi instalada uma nova PPPeixes do tipo técnica, constituída por bacias sucessivas ligadas por fendas verticais na margem esquerda do rio Mondego, desenhada e dimensionada particularmente para espécies mais sensíveis em termos comportamentais, como o sável, comparativamente com as restantes espécies migradoras presentes no rio (Barbosa et al., 2004; DGRM, 2007).

Esta nova PPPeixes tem um comprimento total de 125 m e para fazer face aos 4,60 metros de desnível entre montante e jusante, possui 23 bacias com uma queda entre bacias sucessivas de 0,25 m (Anexo I). Cada bacia tem uma dimensão de 3.00 m x 4.50 m, dissipando uma potência, por unidade de volume, inferior a 150 W/m³ e ainda possui fendas verticais com 0,50 m de largura (Figura 9) (Barbosa et al., 2004). O fato desta PPPeixes conter fendas, possui uma vantagem de se adaptar a grandes variações do nível de água a jusante e montante, para além de que as condições de velocidade e de turbulência do escoamento permanecem muito estáveis, independentemente dos níveis de água no interior da PPPeixes, permitindo a subida dos peixes à profundidade pretendida (Cardoso, 2014).

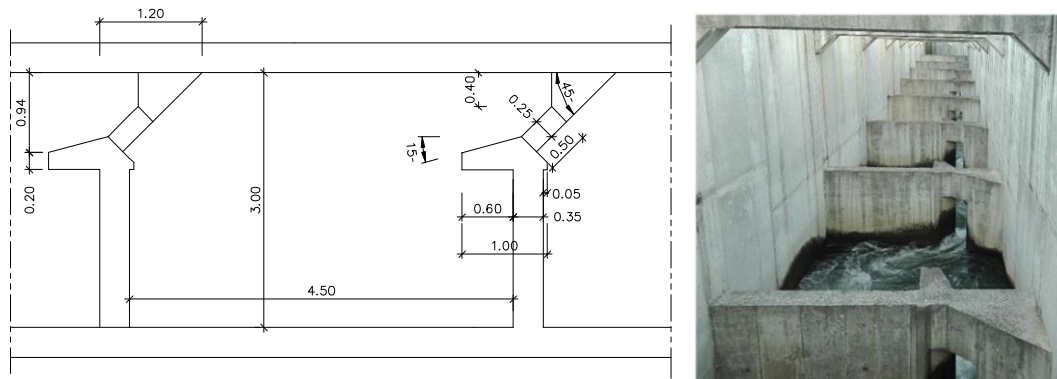


Figura 9. Características geométricas (esquerda) e pormenor das bacias e das fendas da passagem de peixes para Coimbra (direita).

No troço a jusante da PPPeixes foi delineado um canal (com cerca de 256 m de comprimento e uma largura de 6 m) e um caudal de atração com 2.0 m³/s à entrada do dispositivo, que permite direccionar a ictiofauna para a entrada da PPPeixes (Figura 10). O caudal de atração é assim assegurado a partir do caudal de escoamento das bacias, que varia entre 1,00 m³/s e 1,50 m³/s, e um caudal adicional de atração emitido na última bacia a jusante, entre 1,00 m³/s e 0,5 m³/s (Barbosa et al., 2004), sendo a velocidade média no local da entrada da PPPeixes de 0,530 m/s (Pereira, 2014). Dada a necessidade de criar condições para que o caudal adicional tivesse os valores mencionados e, uma vez que a antiga escada de peixes encontra-se atualmente desativada, efetuou-se a alimentação deste caudal adicional diretamente da mesma, através de uma conduta, que interceta a nova PPPeixes (Barbosa et al., 2004).



Figura 10. Canal a jusante do Açude-Ponte de Coimbra, rio Mondego.

A montante na PPPeixes existe um canal de estreitamento (com 0,5 m), no qual a velocidade no seu interior é relativamente mais alta. Neste local encontra-se a estação de monitorização que permite efetuar a monitorização biológica e hidráulica da PPPeixes (Figura 11).



Figura 11. Respetivo estreitamento do canal da PPPeixes do Açude-Ponte (esquerda) e estação de monitorização (direita).

O edifício de monitorização contém duas janelas, que permitem a visualização da ictiofauna que utiliza a PPPeixes. Uma janela é utilizada para efeitos de monitorização biológica (com recurso a contagens visuais), onde estão instalados sistemas de captação, gravação e reprodução de imagens, enquanto a outra janela é destinada à visualização por parte dos visitantes, no âmbito de atividades de educação ambiental e outras dirigidas ao público em geral (Cardoso, 2014) (Figura 12).

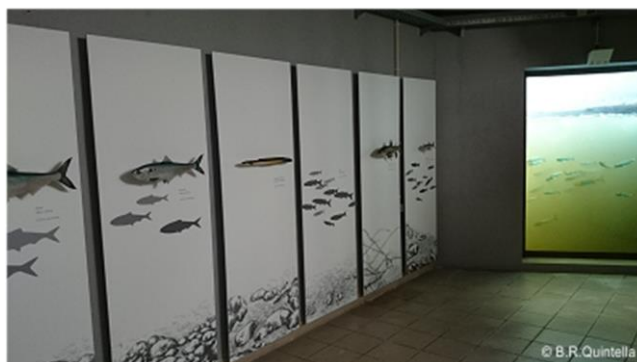


Figura 12. Janela de visualização, localizada no interior da estação de monitorização, destinada às atividades de divulgação ao público.

Este edifício também contém um sistema que possibilita a monitorização hidráulica, fornecendo a regulação de um sistema de comportas, o controlo do caudal (consequentemente a velocidade de corrente) e a altura de água no interior das bacias sucessivas (Cardoso, 2014).

À saída da PPPeixes foi desenhada uma curva que interceta perpendicularmente o leito do rio, a qual não só proporciona uma redução da velocidade do caudal como, juntamente com a instalação de uma grelha de malha, permite criar condições para livre circulação dos peixes (para o interior e/ou exterior da PPPeixes) e impede a entrada de objetos indesejados na PPPeixes (Barbosa et al., 2004) (Figura 13).

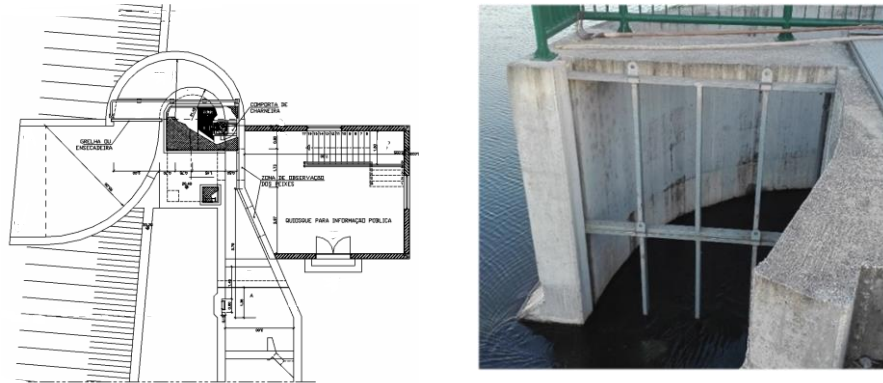


Figura 13. Planta da estrutura (esquerda) e detalhe da grelha e saída da PPPeixes (direita).

2.3.2. Açude de Palheiros

Relativamente ao açude de Palheiros, este localiza-se no rio Mondego, cerca de 11 km a montante do Açude-Ponte de Coimbra (40° 12' 8.30" N; 8° 21' 59.00" W, Datum WGS84), na freguesia de Torres do Mondego, concelho de Coimbra.

Os seguintes subcapítulos terão como principal bibliografia o relatório final do PROMAR (Almeida et al., 2016).

O açude de Palheiros foi construído no ano de 1993 e edificado por uma solução mista de betão/enrocamento e blocos soltos (Figura 14). Apresenta a montante e a jusante uma altura de 2,00 m e ainda uma extensão de 97,0 m, sendo galgável pela água em toda a sua extensão em períodos com caudais mais elevados.



Figura 14. Açude de Palheiros antes das intervenções.

De modo a solucionar os problemas criados pela dificuldade de transposição das espécies piscícolas e minimizar a perda de habitat de espécies de migradores diádromos, em 2016 foi construída uma passagem para peixes naturalizada do tipo rampa (Figura 15), com um comprimento total de 20,6 m e uma largura de 10 m (Figura 16).

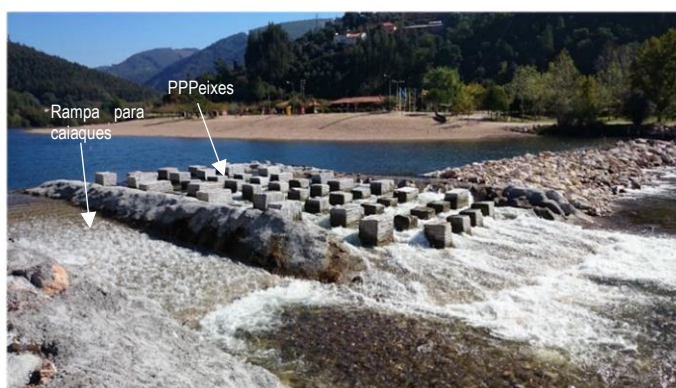


Figura 15. Açude de Palheiros, com destaque da PPPeixes e rampa para caiaques.

A passagem foi deslocada mais para montante (cerca de 10 m do açude) de modo a localizar a sua entrada numa zona relativamente próxima ao açude e afastar a zona terminal das rampas da fossa de erosão existente a jusante do açude, a qual foi, seguidamente, enchido com enrocamento.

Este dispositivo possui 4 aberturas a jusante e a montante, constituídas por blocos com uma largura média de 0,80 m. No seu interior, a distribuição transversal dos obstáculos é tomada pela forma: 4 blocos/ 5 aberturas e 5 blocos/ 4 aberturas, sendo que os blocos apresentam uma largura média de 0,80 m e de 1,40 m na faixa central e lateral da rampa (Figura 16), respetivamente. Estes blocos detêm uma altura total de 1,50 m, de modo a segurar a sua estabilidade durante a ocorrência de caudais mais elevados. Contudo, devido à altura de cravação ser 0,50 m, a altura útil do bloco é de 1,00 m, dissipando uma potência entre os 400-600 W/m³ (encontrando-se dentro da gama de referência alegada para esta tipologia de passagens para peixes e por espécie migradora, compreendida entre 200 e 600 W/m³) (Larineir et al., 2006).

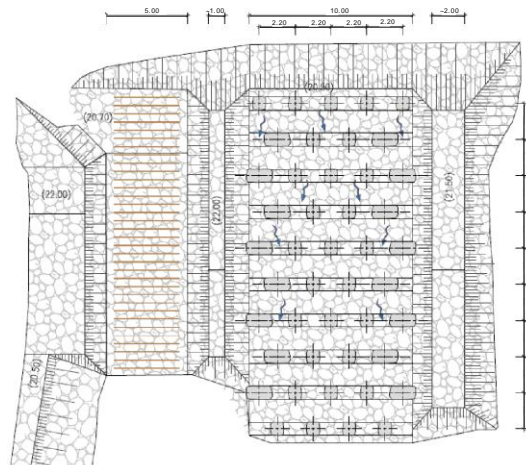


Figura 16. Planta da passagem para peixes e rampa para caiaques em Palheiros.

Os blocos são formados por pedras naturais e a distância, ao eixo, entre duas seções longitudinais é cerca de 2,20 m, sendo que o espaço livre entre dois blocos consecutivos deverá ser, no mínimo, de 1,40 m (Figura 17).

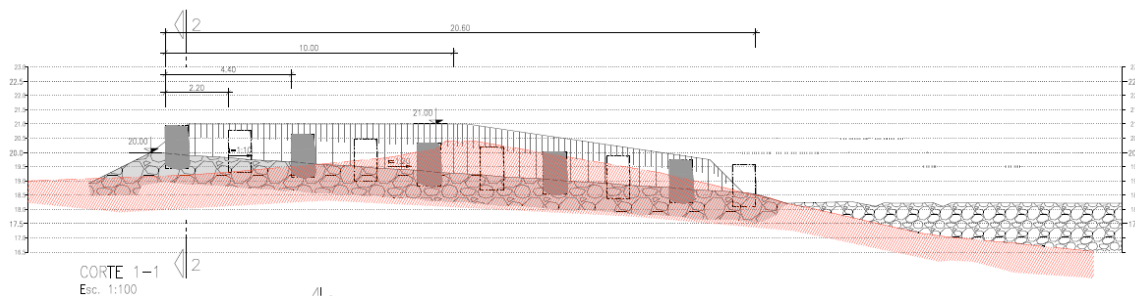


Figura 17. Vista em corte da distribuição dos blocos sobre a PPPeixes em Palheiros.

O fundo desta estrutura é constituído por 2 clives distintos (5% entre fiadas de blocos consecutivas e 10% na zona dos blocos), sendo a sua média aproximada de 7% e uma velocidade máxima de escoamento inferior a 2 m/s.

No que diz respeito às partes laterais da passagem, foram erguidos muros com uma altura mínima de 1 m ao longo da passagem.

Na sequência da construção da passagem, foi equacionada uma rampa para caiaques (com uma largura de 5 m e um comprimento de 17,50 m) no âmbito da prática de atividades de recreio e lazer (Figura 18). A sua localização foi estrategicamente planeada não só para facilitar o acesso dos seus utilizadores mas também para assegurar que o caudal efluente não perturba o caudal de atração da PPPeixes e, também, auxilia na sua atratividade.



Figura 18. Rampa para caiaques construída no açude de Palheiros.

2.3.3. Açude do Louredo

O açude do Louredo foi construído em 2006 e situa-se, aproximadamente, a 21 km a montante do Açude-Ponte em Coimbra ou 10 Km a montante do açude de Palheiros (40° 14' 23.9" N; 8° 17' 21.6" W, Datum WGS84), localizando-se entre as freguesias de Lorvão e Arrifana, nos conselhos de Penacova e Vila Nova de Poiares, respetivamente.

É caracterizado por ter uma extensão de 74 m e uma altura de 3,00 m. Edificado na parte central, exhibe 10 vãos (com dimensões idênticas) com ranhuras para a colocação de comportas ensecadeiras. Estes vãos são seguidos de uma soleira contínua (Figura 19).



Figura 19. Açude do Louredo antes das intervenções.

A construção da passagem para peixes, em 2016, foi efetuada na margem direita do açude, de modo a aproveitar a parte da soleira descarregadora do açude, imediatamente anexada ao canal desta margem (Figura 20).



Figura 20. Açude do Louredo e as respetivas infraestruturas (PPPeixes e rampa de caiaques).

A PPPeixes apresenta uma largura total de 9,60 m e uma extensão mínima de 15,40 m, entre a primeira e a última fiada de blocos da passagem (Figura 21 e Figura 22). Na sua base, procedeu-se à sua extensão (cerca de 9 m) para jusante, ficando mais próxima da seção terminal da rampa para caiaques, permitindo aumentar a atratividade da passagem para peixes.

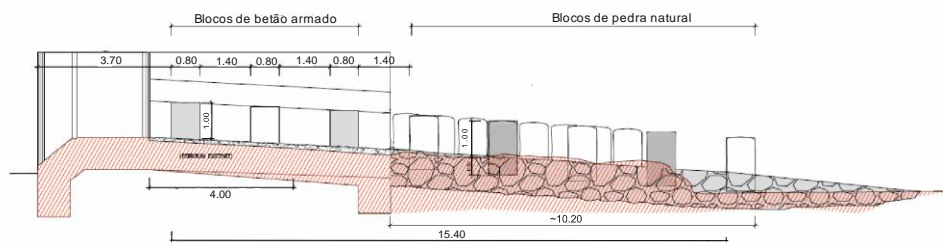


Figura 21. Vista longitudinal, em corte, da PPPeixes no Louredo.

Esta passagem apresenta um modelo idêntico à PPPeixes de Palheiros (passagem naturalizada do tipo rampa), assim como as dimensões dos blocos dispostos na PPPeixes (Figura 22 e subcapítulo 2.1.2.2).

Na parte a montante da passagem, cerca de 5,20 m de comprimento são constituídos por blocos de betão armado, no entanto, os restantes 10,20 m (perfazendo um comprimento total de 15,40 m), os blocos são de pedra natural (Figura 21 e Figura 22). Relativamente ao declive, realizou-se o enchimento da soleira de betão por forma a criar uma rampa com 5% de declive entre fiadas de blocos e de 10% na zona dos blocos.

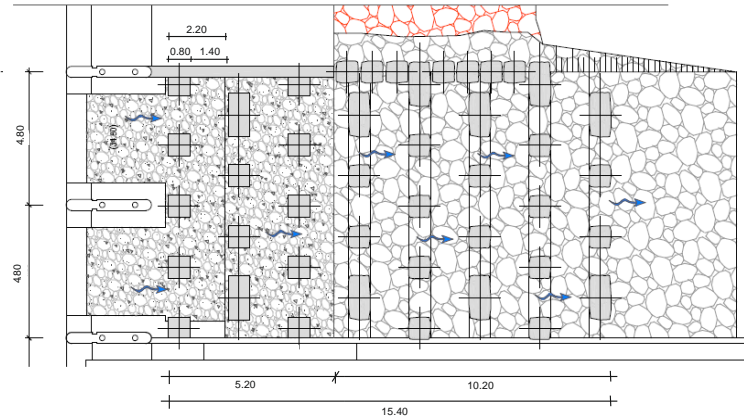


Figura 22. Planta, vista de topo, da PPPeixes no Louredo.

Nas partes laterais da PPPeixes, nomeadamente no lado esquerdo foi contruído um muro de betão com uma altura de 1,00 m, idêntico à altura útil dos blocos, de modo a concentrar o caudal na zona da passagem.

Relativamente à rampa de caiaques, esta foi construída reutilizando o canal existente, o qual possui uma largura de 4,40 m e 1,00 m de altura. Com o objetivo de aumentar a altura de água ao longo do canal foi feito uma seção com uma forma trapezoidal, tendo sido colocadas ripas de madeira tratada transversalmente e em toda a extensão da rampa para proteção dos cascos das canoas (Figura 23).



Figura 23. Destaque da rampa para caiaques na margem direita do açude do Louredo.

Dada a impossibilidade de rebaixar o troço inicial da passagem para caiaques, não é possível garantir alturas de água compatíveis com a rampa dos caiaques pelo canal nos meses de maio, junho e julho, em ano médio.

3. Materiais e Métodos

3.1. Trabalho de Campo

3.1.1. Censos Visuais

Como mencionado anteriormente no subcapítulo 2.3, foi instalada na PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra uma infraestrutura que permite a monitorização biológica com recurso a censos e contagens visuais.

No interior desta infraestrutura está montado um sistema de captação de imagens constituído por um gravador de vídeo digital (Modelo Samsung SRD-470), um monitor (Modelo AgNeovo) para visualização das imagens, uma câmara de alta resolução equipada com sistema LED (Modelo Samsung SCO- 2080R) para captação de imagens diurnas e noturnas (Figura 24).

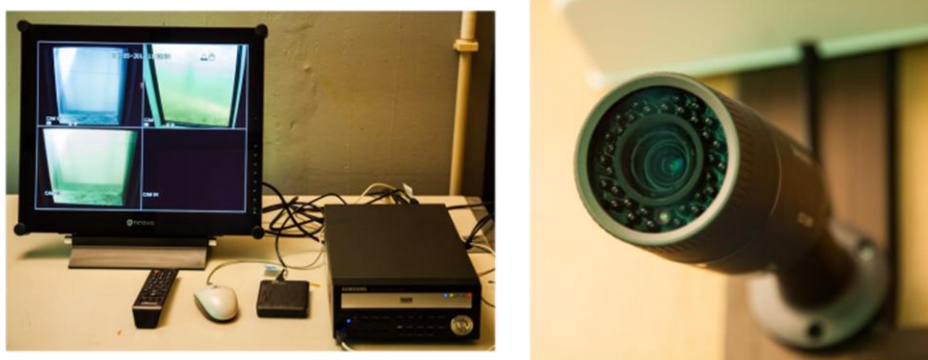


Figura 24. Sistema de captação de imagens com monitor, gravador e dispositivo de backup (esquerda) e câmara de captação de imagens (direita).

A visualização de imagens, realizada entre os meses de janeiro e junho de 2016, é feita com recurso a um *software* básico de visualização (Backup Viewer v1 da Samsung Techwin Co., Ltd.). Nestes vídeos observa-se o comportamento da ictiofauna na janela da PPPeixes, sendo representativo de uma tentativa de migração para montante quando um indivíduo, proveniente de jusante, transpõe por completo a janela de monitorização (Cardoso, 2004).

3.1.2. Radiotelemetria Convencional

De modo a executar este estudo, 26 indivíduos de lampreia-marinha capturados, durante o período de migração, na zona perto da Figueira da Foz foram adquiridos a pescadores profissionais que operam na área de estudo. Os exemplares foram capturados com botirões, um aparelho de pesca passivo autorizado, em algumas bacias hidrográficas nacionais, para o exercício da pesca profissional dirigida à espécie (Figura 25).

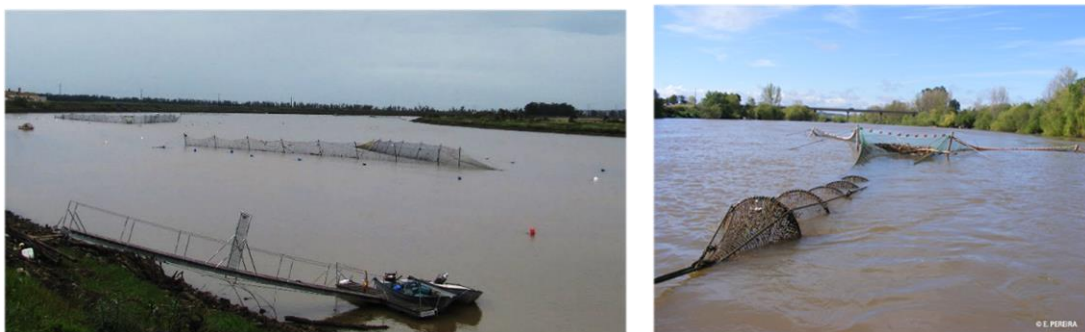


Figura 25. Arte de pesca (botirões) utilizada na captura da *P. marinus* na bacia hidrográfica do Mondego.

Após transporte dos animais para a área de estudo, a marcação e libertação dos mesmos, foi realizada a jusante do açude de Palheiros (40° 12' 5,90"N; 8° 22' 1,83" W, Datum WGS84), com recurso a um tanque munido de um sistema de oxigenação de água.

Os exemplares recolhidos e marcados com radiotransmissores convencionais permitem a recolha de informação dos padrões de migração da espécie e a sua abordagem em relação às diferentes passagens para peixes. Com esse intuito foram implantados externamente radiotransmissores convencionais (ATS - modelo F2020, fabricados pela ATS- Advanced Telemetry Systems), com uma dimensão de 12 mm x 43 mm e um peso de 11 g (ao ar) (Figura 26). Estes transmissores operam com uma frequência restrita entre 150-151 MHz e uma taxa de pulsos de 40 ppm, sendo alimentados por uma bateria de lítio de 3.5 V, garantindo uma longevidade máxima de 6 meses ou 182 dias (Almeida et al., 2002b). O peso dos transmissores utilizados é inferior a 2% do peso corporal dos animais marcados (Jepsen et al., 2002).



Figura 26. Radiotransmissores ATS- modelo F2020, fabricados pela Advanced Telemetry Systems e utilizados no âmbito deste estudo.

Para efetuar a implantação deste transmissor, os indivíduos foram anestesiados por imersão numa solução de 2-phenoxyethanol com uma concentração de 0,5 ml por litro de água. Após a indução da anestesia, procedeu-se à medição (precisão

de 1 cm) e à pesagem (com precisão de 1g) (Figura 27**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**). Em seguida, colocou-se o indivíduo numa mesa cirúrgica em forma de V, com o ventre virado para baixo, de modo a expor a base da barbatana dorsal. Todo o material usado para a marcação foi desinfetado com álcool a 96°.



Figura 27. Procedimento de medição, com fita métrica, na mesa cirúrgica em forma de V.

De acordo com a metodologia de Almeida et al. (2000), os transmissores foram implantados externamente no dorso das lampreias, mais especificamente na base da barbatana dorsal, usando um cabo de aço inox revestido com nylon. São fixados discos de Petersen (15 mm diâmetro) e *sleeves* metálicos à extremidade dos segmentos de monofilamento, por esta ordem, e seguidamente apertados com o auxílio de um alicate, permitindo assim melhorar a eficiência do método de fixação e reduzir possíveis traumas desnecessários aos animais. (Figura 28). Posteriormente é aplicado uma solução de iodo (Betadine®), para reduzir o risco de infecção e o aparecimento de fungos na zona de implantação (Figura 28), e deixadas a repousar (na margem do rio) dentro de uma nassa, durante um período não inferior a 30 minutos, por forma a recuperarem do *stress* causado pelo manuseamento e pela implantação do transmissor (Almeida et al., 2000). Durante todo o processo os indivíduos foram devidamente fornecidos com solução anestésica (numa concentração igual à induzida anteriormente) para manter a sedação durante o procedimento de marcação (Alexandre et al., 2013).

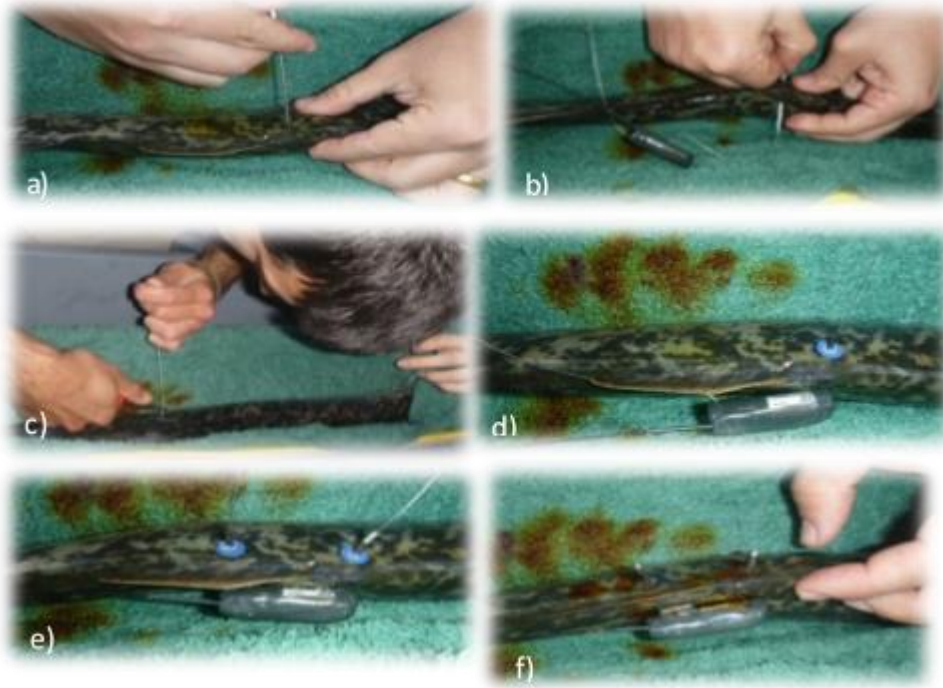


Figura 28. Procedimento de marcação do radiotransmissor (a-e), desinfecção do local e aspeto final da implantação do dispositivo (f).

Foram efetuados dois momentos de libertação em Palheiros ($8^{\circ} 22' 1,83''$ W, $40^{\circ} 12' 5,90''$ N, Datum WGS84), ou seja, no dia 24 de fevereiro e no dia 7 de abril de 2016 foram libertadas cerca de 9 e 17 lampreias, respetivamente, perfazendo um total de 26 lampreias (Tabela 2).

Tabela 2. Informações referentes indivíduos às lampreias-marinhas marcadas com radiotransmissores no ano de 2016

ID	F.T.	C _t (cm)	P _t (g)	R.T. (%)	D.L.
Lm 1	150.142	81,0	930	1,18	24/02/2016
Lm 2	150.802	81,7	1040	1,06	24/02/2016
Lm 3	150.056	86,0	1380	0,80	24/02/2016
Lm 4	150.163	95,3	1550	0,71	24/02/2016
Lm 5	150.204	79,0	865	1,27	24/02/2016
Lm 6	150.191	87,1	1365	0,81	24/02/2016
Lm 7	150.022	89,7	1205	0,91	24/02/2016
Lm 8	150.183	82,5	1215	0,91	24/02/2016
Lm 9	150.491	91,0	1590	0,69	24/02/2016
Lm 10	150.142	90,2	1250	0,88	07/04/2016
Lm 11	150.342	82,8	1110	0,99	07/04/2016
Lm 12	150.223	89,6	1330	0,83	07/04/2016
Lm 13	150.012	82,6	1150	0,96	07/04/2016
Lm 14	150.791	88,3	1420	0,77	07/04/2016
Lm 15	150.056	91,8	1685	0,65	07/04/2016
Lm 16	150.562	68,0	680	1,62	07/04/2016
Lm 17	150.132	86,6	1415	0,78	07/04/2016
Lm 18	150.362	86,3	1185	0,93	07/04/2016
Lm 19	150.302	73,7	800	1,38	07/04/2016
Lm 20	150.522	81,6	910	1,21	07/04/2016
Lm 21	150.533	73,5	635	1,73	07/04/2016
Lm 22	150.312	80,6	1125	0,98	07/04/2016
Lm 23	150.372	83,0	1345	0,82	07/04/2016
Lm 24	150.512	80,4	1315	0,84	07/04/2016
Lm 25	150.592	85,1	1040	1,06	07/04/2016
Lm 26	150.581	89,8	1480	0,74	07/04/2016

Nota: F.T. – Frequência do transmissor, C_t (cm) – Comprimento total, P_t (g) – Peso total, R.T. (%) – Relação entre o peso do transmissor e o peso corporal do indivíduo e D.L.- Data de libertação.

Posteriormente, procedeu-se à monitorização dos animais com uma periodicidade semanal, entre os meses de fevereiro e junho de 2016, para determinar e avaliar o comportamento dos animais durante a aproximação e transposição da passagem estudada. Para identificar as suas localizações (coordenadas) de uma forma mais precisa, o *tracking* foi realizado de duas formas (de carro e a pé) direcionando de uma forma contínua a antena para o rio, numa frequência previamente selecionada ou fazendo o *scan* de todas as frequências inseridas no recetor. As localizações foram efetuadas através da triangulação do sinal emitido pelo transmissor, utilizando para esse efeito um recetor modelo R2000 e uma antena YAGI de três elementos (ATS) (Almeida et al., 2002b) (Figura 29).

Para além de registar as localizações, procedeu-se à anotação da frequência do transmissor implantado em cada indivíduo, data, hora e, sempre que possível, a sua posição relativa ao leito do rio (margem esquerda, direita ou centro).



Figura 29. Procedimento de tracking (esquerda) usando uma antena YAGI e um recetor do modelo R2000 (direita).

3.1.3. Telemetria com registo de parâmetros fisiológicos

Para avaliar o comportamento de fina escala das lampreias durante a negociação das passagens para peixes (técnica e naturalizada) foi utilizado o método de telemetria fisiológica, mais concretamente de eletromiograma (EMG). Para este efeito foram adquiridos 6 exemplares de lampreia-marinha aos mesmos pescadores profissionais (como referido anteriormente no ponto 3.1.2) e transportados até à estação de monitorização do Açude-Ponte de Coimbra, onde se procedeu à cirurgia.

Os transmissores de eletromiograma detetam a diferença de voltagem bioelétrica (potencial) entre eléctrodos implantados na musculatura axial, onde existe maior densidade de fibras vermelhas, sendo o potencial criado proporcional ao grau e duração da contração muscular (Cooke et al., 2004; Brown et al., 2007).

Os indivíduos testados foram marcados com transmissores internos (CEMG R11 25), cilíndricos com um comprimento de 56 mm por 12 mm de diâmetro e um peso de 12 g, que representa um peso inferior a 1% do peso corporal dos animais marcados (ao ar), fabricados pela Lotek Wireless Inc, Newmarket, Ontario. Estes transmissores apresentam nas extremidades dos monofilamentos, um par de eléctrodos com pontas de ouro (19 quilates, 7 x 1 mm), em forma de T, que permitem auxiliar na implementação e fixação na musculatura do animal, permitindo detetar sinais de EMG (Quintella et al. 2004) (Figura 30).



Figura 30. Transmissor eletromiograma – modelo CEMG R11 25, fabricado pela Lotek Wireless Inc.

Este equipamento é programado para emitir um sinal codificado, enviando assim uma média de valores de EMG amostrados num período de tempo correspondente a 2 segundos (podendo este ser alterado). Antes da informação ser emitida, é processada e

transformada num nível de atividade que varia entre 0 e 50 (cEMG), sendo que quanto maior o valor de cEMG, maior é a atividade muscular ou o esforço realizado pelo animal, e vice-versa (Cooke et al., 2004). Para além disso, outra característica proveniente deste equipamento é a identificação da frequência do transmissor (variam entre 142.000 e 142.445 MHz), exclusiva para cada indivíduo, o qual permite a identificação, localização e gravação dos sinais de cEMG de cada indivíduo marcado.

Para a sua implantação, seguindo um procedimento semelhante ao descrito em Quintella et al. (2004), os indivíduos foram anestesiados por imersão de uma solução de 2-phenoxyethanol com uma concentração de 0,5 ml por litro de água. Após a indução da anestesia (quando o indivíduo parou de reagir à manipulação), procedeu-se à medição e pesagem (usando o mesmo tipo de procedimento e material descrito em 3.1.2) e, ainda, à identificação do sexo do animal. Em seguida, colocou-se o indivíduo numa mesa cirúrgica em forma de V, com o ventre virado para cima, uma vez que este tipo de transmissor é colocado internamente, e os poros branquiais continuamente irrigados com solução anestésica (numa concentração igual à utilizada para induzir a anestesia) para manter a sedação durante o procedimento de marcação (Alexandre et al., 2013). Antes de proceder à cirurgia, todo o material, assim como a bancada onde esta foi realizada, foi desinfetado com álcool a 96°. A cirurgia foi iniciada após desinfetar com Betadine® o local onde foi feita a incisão, que corresponde à projeção da inserção anterior da barbatana dorsal. Antes de introduzir o transmissor na cavidade peritoneal, procedeu-se a uma perfuração, com uma agulha, na parede abdominal do indivíduo, de modo a passar a respetiva antena (Figura 31). Posteriormente os elétrodos, utilizando um dispositivo de êmbolo, foram inseridos na musculatura vermelha lateral sob a pele (Figura 31). Esta parte do procedimento é de extrema importância uma vez que a colocação destes elétrodos terá influência nos registos obtidos a partir dos transmissores, e por esta razão, a sua localização foi padronizada de acordo com as sugestões dadas por Beddow & McKinley (1999), a fim de permitir comparações mais precisas e consistentes da atividade entre os diferentes indivíduos. Seguidamente, a incisão foi fechada com 4-6 pontos suturados de forma independente com monofilamentos de poliamida não-absorvíveis (2/0 Dafilon DS24) e desinfetados com Betadine® (Figura 31).

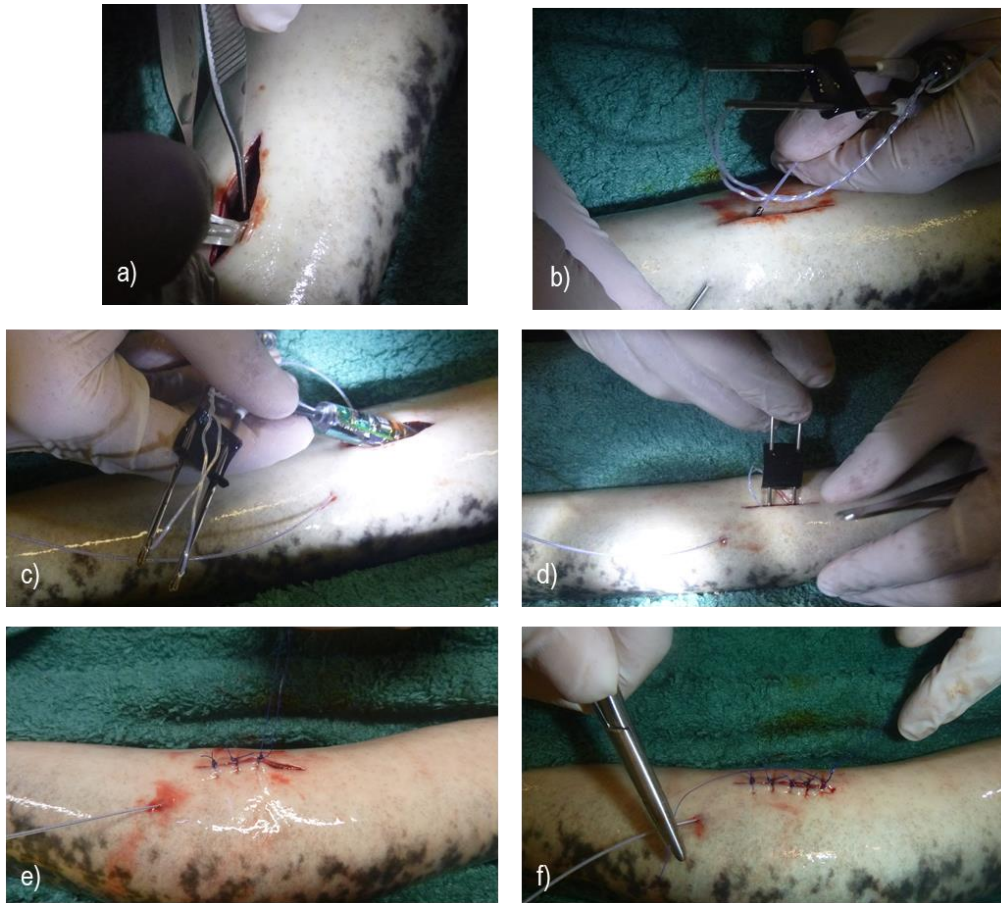


Figura 31. Procedimento de marcação do transmissor eletromiograma (a-e), desinfeção do local e aspeto final da implantação do dispositivo (f).

Por fim, os indivíduos marcados foram colocados num tanque de recuperação (com filtro e arejador), onde ficaram a repousar da cirurgia durante um período de tempo não inferior a 24 h e com temperatura da água idêntica ao do rio Mondego (entre 10.7°C e 15.8°C, controlada através de um equipamento de refrigeração). Antes de proceder à aclimação, verificou-se o estado do indivíduo, as condições das suturas, a obtenção de registos válidos indicativos do repouso (obtenção de um valor modal de cEMG) e realizou-se uma pequena estimulação tátil para testar o correto funcionamento dos transmissores, através da relação entre a variação de atividade do indivíduo e o registo de cEMG.

De seguida, o indivíduo foi transportado e colocado numa rede de contenção na 3ª bacia de jusante da PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra durante um período de aproximadamente 1 a 2 horas para aclimatar e posteriormente libertado.

A monitorização do comportamento das lampreias marcadas com transmissores EMG foi realizada de uma forma contínua, a pé ou com o auxílio de viatura automóvel, imediatamente após o momento em que se procedeu à libertação do indivíduo, através de uma antena de três elementos (YAGI) e de um recetor rádio portátil modelo SRX 400w 32C (Quintella et al., 2005) (Figura 32 e Figura 33).



Figura 32. Antena YAGI e recetor rádio portátil-modelo SRX 400W 32c, usados para monitorização das lampreias-marinhas marcadas com transmissores EMG.

Relativamente aos dados obtidos da telemetria, estes foram descarregados para um computador para armazenamento, processamento e análise estatística, através de uma porta de comunicação RS-232 e utilizando um *software* designado por WINHOST. O *backup* destes dados e o carregamento do recetor foram efetuados diariamente, durante a execução prática do trabalho.

Para além do registo dos valores de EMG pelo recetor, foram ainda registadas manualmente as horas e a localização do indivíduo no instante em que transpunham as bacias ou passavam por locais de difícil transposição (i.e., *riffles*), por forma a facilitar a sua análise.



Figura 33. Procedimento de monitorização das lampreias-marinhas durante a transposição da PPPEixes do Açude-Ponte em Coimbra.

Entre o período de março e maio de 2016 foram libertadas cerca de 6 lampreias com transmissores cEMG e ainda incluídos dados referentes aos indivíduos marcados no ano de 2014, durante o mês de abril (Pereira, 2016), de modo a aumentar a dimensão da amostra. Como demonstrado na Tabela 3, as libertações decorreram em dois locais diferentes, isto é, 4 lampreias marcadas em 2016 foram libertadas na 3^o bacia de jusante da PPPEixes do Açude-Ponte de Coimbra, enquanto 2 indivíduos foram libertadas a jusante do Açude de Palheiros (8° 22' 1,83" W, 40° 12' 5,90"N, Datum WGS84). As lampreias marcadas no ano de 2014, como referido por Pereira (2014), foram libertadas na 1^o bacia de jusante do mesmo dispositivo.

Tabela 3. Informações referentes aos indivíduos marcados com cEMG no ano de 2014 e 2016

ID	FT	Canal	Sexo	C _t (cm)	P _t (g)	DL	LL	TTT	DTP (m)
Pm1	142.443	12	F	815	1200	03/04/2014	PPPeixes Coimbra	3h 02m	ND
Pm2	142.000	10	F	935	1600	04/04/2014	PPPeixes Coimbra	3h 18m	ND
Pm3	142.150	11	F	895	1370	10/04/2014	PPPeixes Coimbra	18h 21m	ND
Pm4	142.443	15	ND	920	1400	03/03/2016	PPPeixes Coimbra	309h 57m	-77,7
Pm5	142.000	10	M	910	1510	29/03/2016	PPPeixes Coimbra	609h 46m	19 567
Pm6	142.440	14	F	862	1237	09/04/2016	PPPeixes Coimbra	186h 03m	81,4
Pm7	142.150	13	F	904	1510	19/04/2016	PPPeixes Coimbra	107h 38m	6 518
Pm8	142.020	11	ND	910	1400	29/04/2016	Palheiros	104h 15m	61,4
Pm9	142.080	12	F	850	1400	20/05/2016	Palheiros	128h 04m	9 621

Nota: FT – Frequência do transmissor, Canal, Sexo – M/F e ND (Não Determinado), C_t (cm) – Comprimento total médio, P_t (g) – Peso total médio, DL – Data de libertação, LL – Local de libertação, TTT – Tempo total tracking e DTP (m) – Distância total percorrida.

3.1.4. Dados abióticos

Para recolher um conjunto de dados abióticos que podem explicar o comportamento piscícola na PPPeixes, foi instalada uma sonda multiparamétrica (EXO2 Water Quality Sonde) na 1ª bacia de jusante da PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra. Esta sonda é capaz de medir em contínuo alguns parâmetros abióticos (i.e. turbidez, temperatura, condutividade e a salinidade), estando programada para obter registos dos parâmetros em intervalos de 30 m. Apesar de ter uma autonomia de 3 meses, ao longo do tempo e de acordo com a necessidade, foram realizados *backups* dos dados obtidos pela sonda para um computador, através do *software* designado KOR (fabricado pela Xylem Inc e as suas colaboradoras - SI Inc. e WTW GmbH) (Figura 34).



Figura 34. Backup dos dados abióticos da sonda multiparamétrica.

Para além da obtenção dos dados de temperatura, turbidez e da condutividade, foram também obtidos, a partir do *site* do Observatório Astronómico de Lisboa (<http://oal.ul.pt/>), informações relativas ao Período do dia. Foram ainda solicitados os caudais efluentes libertados pelo Açude-Ponte de Coimbra à APA (Agencia Portuguesa do Ambiente).

3.2. Análise de dados

3.2.1. Dados Abióticos

Para o desenvolvimento do modelo preditivo-explicativo foram usados dados abióticos, nomeadamente, a temperatura da água, turbidez, condutividade específica, período do dia e o caudal efluente total (Anexo II). Uma vez que os dados da sonda possuem registos de 30 em 30 minutos, tiveram que ser dispostos e analisados conforme os registos do caudal efluente total, ou seja, em forma horária. Na análise a este conjunto de dados foi também tida em consideração a mudança de horário, em conformidade com a legislação (<http://oal.ul.pt/hora-legal/mudanca-da-hora/>).

Para os dados recolhidos com recurso às diferentes técnicas de biotelemetria, também foram utilizados dados abióticos como a temperatura e o caudal efluente total, porém, estes dados foram dispostos e analisados diariamente (Anexo II).

3.2.2. Modelo

O método estatístico usado para analisar a relação entre os preditores abióticos e a distribuição da espécie alvo, sem especificação *a priori* de um modelo de dados, foi o modelo BRT (*Boosted Regression Trees*) (Eskildsen et al., 2013). Considerada como uma das técnicas inovadora que visa otimizar o desempenho de um único modelo, ajustando e combinando vários modelos simples, de modo a criar previsões mais próximas do real (Elith et al., 2008; Eskildsen et al., 2013).

As BRT combinam dois algoritmos: as árvores de regressão, que correspondem a modelos que relacionam uma resposta aos seus preditores através de divisões binárias recursivas, e o *boosting*, um método adaptativo que combina vários modelos simples melhorando a performance preditiva do modelo final (Elith et al., 2006; De'Ath, 2007).

Ao contrário dos métodos tradicionais de regressão, que procuram ajustar um modelo único e parcimonioso que melhor descreve a relação entre uma variável resposta e um conjunto de variáveis independentes, as BRT utilizam uma técnica de *boosting* para combinar grandes números de modelos de árvores relativamente simples, e cujos preditores são então combinados para dar estimativas mais robustas das respostas (Leathwick et al., 2006; Elith et al., 2008).

A técnica de *boosting* constrói progressivamente uma sequência de modelos de complexidade crescente, cada um ajustando os dados de treino (i.e. os dados utilizados para o ajustamento do modelo) ligeiramente melhor que o seu antecessor (Leathwick et al., 2008).

O processo de construção do modelo em BRT é referido como *forward stagewise*, uma técnica de otimização numérica para minimizar a função de perda, adicionando a cada passo, uma nova árvore de regressão que diminui o erro preditivo, ou seja, que melhor reduz (diminui o gradiente de) a função de perda de performance preditiva gerada por um modelo sub-ótimo (Leathwick et al., 2006; Elith et al., 2006). Porém, a média dos resultados deste conjunto de árvores de regressão constitui a predição final (Leathwick et al., 2008; Cardoso, 2014), possibilitando desta forma ser um modelo explicativo e ao mesmo tempo preditivo (Cardoso, 2014).

A geração deste modelo possui algumas vantagens como:

- Capacidade de incluir vários tipos de preditores e possíveis ausências de dados de variáveis abióticas;
- Não é necessária a transformação dos dados *a priori* ou a eliminação de *outliers*;
- Capacidade de ajustar relações não lineares complexas;
- Facilidade de ajustar interações entre preditores.

Para além das inúmeras vantagens, as árvores de decisão contêm apenas duas desvantagens:

- Fraca capacidade de previsão;
- Possibilidade de criar árvores de grande dimensão, tornando-as de difícil interpretação.

No entanto, estas fraquezas são ocultadas pelo método do algoritmo *boosting*, que origina excelentes preditores, produzindo gráficos simples, facilitando desta forma as interpretações de relações complexas.

Esta técnica é considerada nova em estudos de ecologia, demonstrando ser útil na utilização em séries de dados biológicos complexos. Comparativamente com outros métodos como General Linear Models (GLM) e Generalized Additive Models (GAM), esta técnica detém uma vantagem robusta relativamente à capacidade preditiva (Cardoso, 2014).

Para a criação dos modelos foram utilizadas dados das contagens visuais, nomeadamente, os movimentos para montante da espécie-alvo na PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra. Estes dados, registados em tempo real, foram agrupados em intervalos de hora a hora entre o início do mês de Janeiro e o final do mês de Junho de 2016, de modo a permanecer de acordo com a periodicidade dos preditores. Neste estudo foram excluídos do modelo, períodos em que ocorrem falhas técnicas do sistema de gravação, mudanças de horário e períodos da época de migração durante os quais não se contabilizou nenhuma passagem de indivíduos, ou seja, contabilizando apenas o intervalo de maior utilização da PPPeixes – percentis 20 e 80 da amostra de dados da variável resposta. Desta forma, os cálculos dos percentis da amostra permitiram aproximar o intervalo da amostra utilizada na análise BRT ao pico migratório da espécie (período em que à partida a motivação para migrar é elevada) e, acima de tudo, permitir analisar a eficiência de atração da PPPeixes para a espécie-alvo.

Dados os picos dos períodos de migração poderem variar entre diferentes anos, através de alterações fisiológicas do animal e sobretudo de fatores externos a este, i.e. temperatura, foram selecionados 5 preditores (descritos na Tabela 4; Anexo II) para a modelação da distribuição da espécie.

Tabela 4. Preditores abióticos utilizados no modelo explicativo-preditivo para a espécie-alvo (Anexo II)

Variável	Código	Unidades	Descrição	Fonte
<i>Caudal efluente total</i>	CauTot	m ³ /s	Caudal efluente total médio horário que corresponde ao caudal efluente médio horário descarregado pelas 9 comportas mais o caudal efluente médio do canal da PPPeixes.	Agencia Portuguesa do Ambiente
<i>Período do dia</i>	PerDia	Raiar da aurora (RA), dia claro (DC), Fase do dia segundo os crepúsculos (raiar da escurecer (E), noite aurora, dia claro, escurecer, noite fechada). fechada (NF)		Observatório Astronómico de Lisboa

continua

<i>Temperatura</i>	Temp	°C	Temperatura média horária da água do rio registada a partir de 30 min de intervalo.	Sonda multiparamétrica
<i>Condutividade específica</i>	CondEsp	µS/cm	Condutividade específica média da água do rio registada a partir de 30 min de intervalo.	Sonda multiparamétrica
<i>Turbidez</i>	Turb	FNU	Turbidez média horária do rio registada a partir de 30 min de intervalo.	Sonda multiparamétrica

continuação

Porém, dado o modelo preditivo utilizado (i.e. BRT) ser uma técnica robusta e não sendo necessário uma seleção de variáveis a priori, Dormann et. al. (2013), descreve que é preferível a eliminação de correlações numa pré-análise. Deste modo, através do teste de correlação de Spearman (assumindo que os dados são não paramétricos) foi testada a ocorrência de correlações fortes e significativas entre os preditores, sendo excluídas todas as correlações entre variáveis de valor superior de 0,8 (Snelder & Lamouroux, 2010; Dormann et. al. 2013).

Ajustamento do modelo

As análises foram realizadas com recurso ao *software* RStudio (versão 3.3.1, The R Foundation for Statistical Computing, 2016), utilizando pacotes como “gbm”, “dismo”, “Rcmdr” e os seus suplementos (Ridgeway, 2006; Elith et al., 2008).

Para prosseguir com a análise foram determinadas várias combinações para três parâmetros do modelo, através da redução do erro de validação cruzada (*cross-validation*, CV). Esta técnica permite o uso de todas as informações disponíveis, enquanto utiliza subconjuntos de dados para estimar o desempenho do modelo ao prever dados independentes. Este método é usado em amostras de pequena (250 réplicas) e médias dimensões (Torgo, 2009).

O método CV ajusta uma série de modelos a 10 subconjuntos temporários, selecionados ao acaso e compreendendo 90% dos dados disponíveis, adicionando sucessivamente árvores até que não sejam detetadas melhorias na capacidade preditiva para os 10% de dados que ficaram retidos (Leathwick et al., 2006; Elith et al., 2008). Este procedimento é repetido 10 vezes, de modo a que cada subconjunto possa ser usado para validação dos modelos obtidos. Em cada interação são calculadas estatísticas de interesse e o resultado é a média dessas 10 interações. Tal como recomendado por Kohavi (1995) e Elith et al. (2008), foram repetidas todas as análises efetuadas com validação cruzada 10 vezes, a fim de estabilizar as estimativas da performance preditiva.

Para este processo de ajustamento foi utilizado o script “gbm.step” do pacote “dismo” (Ridgeway, 2006) e o processo de validação cruzada com 10 partições para determinar o número ótimo de árvores para cada modelo. As combinações de parâmetros testadas foram: Complexidade das árvores, Taxa de aprendizagem, “Bag fraction” e “Family”. O objetivo foi encontrar a combinação de parâmetros que minimizam o erro preditivo e maximizam a performance preditiva.

Tabela 5. Caracterização dos parâmetros utilizados no ajustamento do modelo BRT

Parâmetro	Definição	Padrões
Taxa de aprendizagem- lr (Learning rate)	Também conhecido como o parâmetro “reductor” (shrinkage parameter), determina a contribuição de cada árvore para o crescimento do modelo. Valores menores resultam no ajustamento de um maior número de árvores, cada uma de influência menor e geralmente fornecendo maior performance preditiva no modelo conjunto (<i>ensemble model</i>) (Friedman, 2001).	0.0005 0,001 0,005 0,01 0,05
Complexidade da árvores-tc (Tree complexity)	Controla o número de nós de cada árvore e por isso, o número máximo de interações ajustadas.	1 a 5
“Bag fraction”	Controla a fração de dados de treino selecionada aleatoriamente para construir cada árvore. O valor padrão do “Bag fraction” significa que a cada interação, 50% dos dados são selecionados aleatoriamente e sem reposição. A estocacidade melhora o desempenho preditivo, reduzindo a variância do modelo final, através da utilização de apenas um subconjunto aleatório dos dados para ajustar cada nova árvore (Friedman, 2001). Isto significa que, a menos que seja definido inicialmente que não queremos incluir aleatoriedade no processo, os modelos finais serão subtilmente diferentes cada vez que são executados (Elith et al., 2008).	0,5
Número de árvores (nt)	Valor obtido com a definição dos restantes parâmetros e através de validação cruzada. Representa o número de árvores necessário para a predição ótima (Elith et al. 2008).	Entre 250 a 9250 árvores
Família (Family)	Modelos de regressão familiar exponencial são mais comumente utilizados em sua forma linear como o modelo linear generalizado. Estes abrangem uma grande classe de métodos comuns à prática estatística (Ridgeway, 1999).	Bernoulli= Binomial, Poisson, Laplace ou Gaussian

A performance preditiva dos modelos foi avaliada no conjunto de dados de teste, utilizados para ajustar e testar o modelo através da técnica de validação cruzada com 10 partições. Desta forma, prevenir-se-á um sobre-ajustamento dos dados, isto é, serão progressivamente construídos modelos, enquanto testa a sua precisão preditiva em porções retidas dos dados evitando assim que o modelo continue a acrescentar árvores até que as observações estejam perfeitamente explicadas (Leathwick et. al., 2006).

Seguidamente para cada modelo foram determinadas três métricas de performance: *Cv deviance*, R^2 (percentagem explicativa) e *Cv correlation*.

Tabela 6. Parâmetros usados para avaliar a performance do modelo

Tipo de métrica	Descrição
Cv deviance	Erro preditivo da validação cruzada.
R²	Porcentagem de variação explicada pelo modelo calculada através da média total da variação e dos resíduos médios da variação.
Cv correlation	Medida de correlação entre os dados observados e os dados ajustados. Calculado através da correlação de Pearson.

Contribuição das variáveis

Através de um script do “gbm” avaliou-se a importância das variáveis preditivas no modelo BRT. Este script permite calcular a contribuição de cada preditor para ajustar o modelo, avaliado através de todas as árvores (Friedman, 2001). Esta medida é baseada no número de vezes que uma variável é selecionada para dividir, ponderada com o melhoramento quadrado que resulta dessas divisões (Elith et al., 2008). A influência relativa (ou contribuição) de cada variável é dimensionada para que a soma seja sempre 100, com os valores mais elevados indicando maior influência na resposta (Froeschke et al., 2010).

Simplificação

Segundo o princípio da parcimônia, um modelo deverá ser tão simples quanto possível, ou seja, não pode conter quaisquer parâmetros redundantes. Elith et al. (2006) reforçam a importância da simplificação em conjuntos de dados pequenos, onde preditores redundantes podem degradar a performance do modelo através do aumento da variância. Continuamente, a simplificação do modelo foi obtida através do ajuste de um modelo máximo e, em seguida, simplificando-o através do script “gbm.simplify”. Este procedimento reduz o risco de negligenciar um aspecto importante dos dados. Este processo de simplificação é corrido com um procedimento de validação cruzada com 10 partições, simplificando progressivamente o modelo ajustado em cada vez, e utiliza o erro CV médio para decidir quantas variáveis podem ser removidas do modelo original sem afetar a performance preditiva (Elith et al., 2008).

Funções parciais

As funções parciais são usadas para a interpretação e quantificação da relação entre cada preditor e a variável resposta, tendo em conta o efeito médio de todas as outras variáveis do modelo (Franklin, et al. 2013). A visualização das funções ajustadas num modelo BRT é facilmente atingida utilizando funções de dependência parcial (“gbm.plot”). Contudo, estes gráficos não são uma representação perfeita dos efeitos de cada variável, particularmente se existirem interações fortes nos dados ou os preditores estarem fortemente correlacionados, fornecendo, no entanto, uma base útil para a sua interpretação.

As BRT permitem identificar estas interações entre pares de preditores (Parravicini et. al, 2013) que podem ser controladas através da variação do tamanho das árvores de regressão individuais (Leathwick et al., 2006). Porém, aquando do ajustamento do modelo, nenhuma informação é fornecida sobre a natureza e magnitude dos efeitos das interações ajustadas. Quando as árvores individuais consistem em duas ou mais regras, a função ajustada para qualquer preditor pode variar dependendo do valor assumido por qualquer outro preditor, aumentando a potencial complexidade deste efeito da interação à medida que aumenta o tamanho dos termos da árvore individual (Leathwick et al., 2006). Assim, para quantificar os efeitos das interações entre variáveis, utilizou-se uma função (“gbm.interactions” e “gbm.perspec”) que cria, para cada possível par de preditores, um modelo linear que relaciona previsões temporárias propositadamente geradas entre todos os pares de preditores, assim como os respetivos gráficos.

3.2.3. Dados de Radiotelemetria

3.2.3.1. Radiotelemetria convencional

A análise dos dados obtidos através de radiotelemetria convencional foi devidamente repartida em dois tipos movimentos: longitudinal e transversal. Em ambos os movimentos foi criada uma imagem que recria o local de estudo (i.e., área adjacente ao açude de Palheiros) e servirá como legenda para os gráficos descritos no seguinte capítulo.

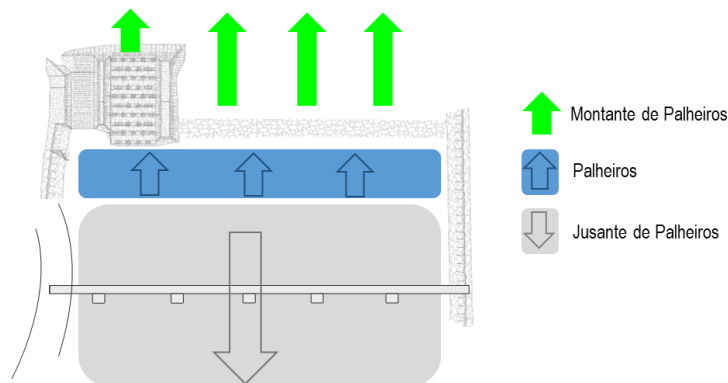


Figura 35. Legenda da distribuição longitudinal das *P. marinus* marcadas com radiotelemetria convencional em Palheiros.

Neste local de estudo, Figura 35, podemos observar três níveis de distribuição dos indivíduos, sendo que a área a jusante de Palheiros (cor cinzenta) refere-se aos animais em que se assumiu não estando a tentar negociar o açude de Palheiros (representado pela PPPeixes de Palheiros e o açude de Palheiros) e, pelo contrário, Palheiros (área representada pela cor azul) mostra os indivíduos em que se assumiu estando a tentar negociar o açude de Palheiros. As setas verdes representam os indivíduos que transpuseram com sucesso o açude de Palheiros e progrediram para montante do rio. Os indivíduos que transpuseram com sucesso e que alcançaram o açude do Louredo estão representados pela cor roxa nos gráficos descritos no capítulo seguinte.

A utilização da radiotelemetria convencional permitiu verificar o número mínimo de tentativas que as lampreias realizaram de modo a tentar superar o açude de Palheiros, sendo representativo de uma tentativa de migração quando um indivíduo, proveniente de jusante, passa para a zona de Palheiros ou transpõe por completo o açude de Palheiros (tentativa considerada como sendo bem-sucedida).

Para além disso também foi averiguado o tempo máximo de negociação (TMN), definido pelo período, em dias, em que as lampreias permaneceram a negociar Palheiros (área representada pela cor azul) durante o período de estudo.

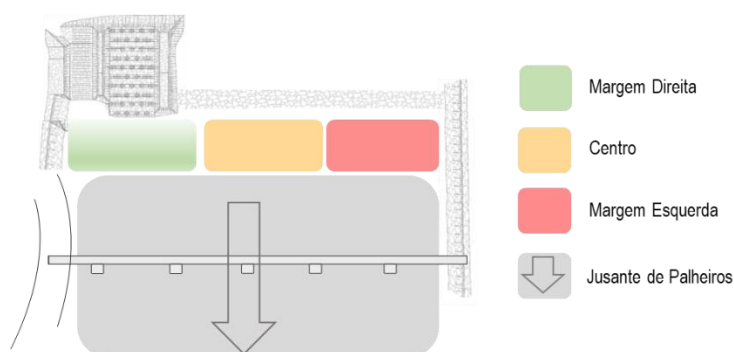


Figura 36. Legenda da distribuição transversal das *P. marinus* marcadas com radiotelemetria convencional em Palheiros.

Relativamente aos dados dos movimentos transversais das lampreias marcadas com o transmissor convencional, Figura 36, foi aplicado o mesmo conceito para os movimentos longitudinais, ou seja, observa-se os mesmos níveis de distribuição dos indivíduos com a área a jusante de Palheiros (cor cinzenta) que refere-se aos animais em que se assumiu não estando a tentar negociar o açude de Palheiros (representado pela PPPeixes de Palheiros e o açude de Palheiros) e Palheiros (área representada pela cor azul) que mostra os indivíduos em que se assumiu estando a tentar negociar o açude de Palheiros. No entanto, a área em Palheiros (área de cor azul) foi dividido em três locais específicos – ME (cor vermelha), Centro (cor amarela) e MD (cor verde).

Seguidamente procedeu-se à observação do tempo de permanência (% de dias) para o número total de lampreias marcadas (n=26), para as lampreias que não transpuseram o açude de Palheiros (n=18) e para os animais que transpuseram com sucesso o açude de Palheiros (n=8), em cada local na área de estudo, isto é, no local a jusante de Palheiros (área representada pela cor cinzenta) e em Palheiros (área representada pela cor azul). Dentro do tempo de permanência em Palheiros foi registado o tempo em que as lampreias permaneceram na ME (cor vermelha), Centro (cor amarela) e MD (cor verde).

A informação reunida de todos os animais marcados durante o período de monitorização (entre 24 de fevereiro e 12 junho de 2016) permitiu inferir a eficiência da PPPeixes do açude de Palheiros, determinada através da proporção de indivíduos a jusante do obstáculo que efetivamente usou o dispositivo, num determinado período de tempo. Porém, foram subtraídos nesta equação indivíduos assumidos como desistentes (indivíduos que permaneceram na área a jusante de Palheiros até um período de 48h ou nunca chegaram a aproximar-se do açude de Palheiros) e mortos (pelo facto dos seus transmissores terem sido recuperados ou por a partir de determinada data não voltarem a ser detetadas na área prospetada).

3.2.3.2. Telemetria com registo de parâmetros fisiológicos

Para proceder à comparação do comportamento de fina-escala dos indivíduos antes e durante a transposição dos dispositivos estudados e de locais de difícil transposição, procedeu-se à padronização dos valores de cEMG de cada indivíduo marcado. Para este procedimento, os valores de cEMG obtidos pelos indivíduos foram divididos pelo valor de cEMG associado ao repouso do animal (i.e., identificado através do valor modal obtido durante o período de 24h de registo que antecedeu a libertação). Após a padronização foram criados gráficos de histogramas de frequências relativas (F.R) com intervalos de 10 classes para o grupo de lampreias monitorizadas em cada local (jusante dos açudes, entrada e interior das PPPeixes e nos troços desde Coimbra até ao Louredo). Estas classes foram decompostas por uma classe associado à atividade de repouso do animal (CR) e por classes numéricas (C1 até C10), sendo que quanto maior o número da classe, maior o esforço realizado pela lampreia antes e durante a transposição dos dispositivos estudados e em locais de difícil transposição, e vice-versa.

Por fim, foram realizados mapas das últimas localizações das lampreias e de todo o percurso realizado associado a exemplos de registos de cEMG. Nestes mapas também foram assinalados os locais de difícil transposição adquiridos durante a monitorização contínua dos animais e a partir da visualização pormenorizada, em termos geográficos, através do programa Google Earth.

4. Resultados

4.1. Avaliação da eficiência de atração da PPPeixes técnica do Açude-Ponte de Coimbra

Movimentos para montante

Através da análise da Figura 37 foi possível observar o comportamento da espécie-alvo deste estudo durante a utilização da PPPeixes entre os meses de janeiro e junho de 2016. Durante este período passaram no total 9412 indivíduos, sendo que houve registo de um pico de passagens no dia 29 de abril, correspondendo a 1191 indivíduos, cerca de 12,7% do total de lampreias registadas. O período preferencial de utilização da PPPeixes por parte das lampreias foi entre 8 de março e 30 de junho, correspondente a 97,5% das passagens totais, porém, o período de maior utilização da PPPeixes, ou seja, os cálculos dos percentis (percentis 20 e 80) da amostra permitiram aproximar o intervalo da amostra utilizada na análise BRT ao pico migratório da espécie que ocorreu entre 14 de abril e 29 de maio de 2016.

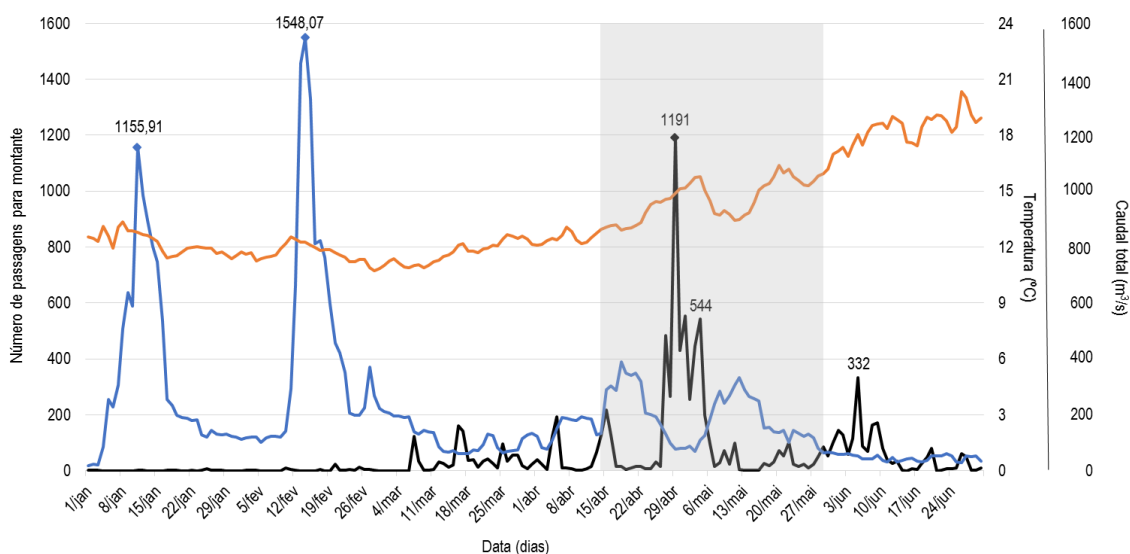


Figura 37. Distribuição diária de passagens (linha preta) da *P. marinus* na PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra e respetiva temperatura da água (linha laranja) e caudal médio diário (linha azul), entre janeiro e junho de 2016. A área a cinzento remete para o intervalo correspondente ao pico migratório da espécie que vai ao encontro do período de maior utilização da PPPeixes (percentis de 20 e 80).

Ajustamento do modelo explicativo (BRT)

Com base nos resultados obtidos pela análise de correlação de Spearman, (Tabela 7) verificou-se não ser necessário proceder à eliminação de variáveis preditivas numa pré-análise, uma vez que os valores de correlação foram todos inferiores ao valor absoluto a 0,8, isto é, as variáveis preditivas não são redundantes entre si.

Tabela 7. Resultados da análise de correlação de Spearman entre os 4 preditores inicialmente selecionados para incluir nos modelos BRT

	<i>CauTot</i>	<i>Temp</i>	<i>CondEsp</i>	<i>Turb</i>
<i>CauTot</i>	1	-0,729	0,412	0,689
<i>Temp</i>		1	-0,354	-0,779
<i>CondEsp</i>			1	0,466
<i>Turb</i>				1

Nota: *CauTot* – Caudal efluente total, *Temp* – Temperatura, *CondEsp* – Condutividade específica e *Turb* – Turbidez.

No geral, os resultados demonstram que à medida que aumentamos a taxa de aprendizagem (*Lr*), o número de árvores diminui. Apresentam também uma ligeira diminuição no erro preditivo da validação cruzada (*Cv deviance*), um melhoramento do teste de correlação da validação cruzada (*Cv correlation*) e ainda um aumento da percentagem de variação explicada pelo modelo (R^2), para valores mais próximos dos excelentes (≥ 0.9), à medida que a taxa de aprendizagem aumenta (Tabela 8).

Tabela 8. Comparação da performance preditiva dos modelos de lampreia-marinha tendo em conta o Desvio residual médio, o erro preditivo e correlação da validação cruzada e o R^2 , perante diferentes combinações dos parâmetros, nível de complexidade da árvore (*Tc*) e taxa de aprendizagem (*Lr*). A linha assinalada corresponde à combinação de parâmetros selecionados para o modelo final

<i>Tc</i>	<i>Lr</i>	<i>Nt</i>	Desvio residual médio	Estimativa erro preditivo validação cruzada	Correlação da validação cruzada	R^2
3	0,0005	*	5,688	7,732 ; se = 0,695	0,652 ; se = 0,043	0,685
	0,001	*	4,426	6,782 ; se = 0,668	0,677 ; se = 0,031	0,755
	0,005	4000	3,531	6,488 ; se = 0,631	0,699 ; se = 0,058	0,804
	0,01	2250	3,386	6,451 ; se = 0,479	0,662 ; se = 0,057	0,813
	0,05	1150	2,328	6,674 ; se = 0,742	0,658 ; se = 0,062	0,871
	0,1	350	2,964	6,875 ; se = 0,55	0,624 ; se = 0,057	0,836
	0,5					
4	0,0005	*	5,055	7,278 ; se = 0,685	0,644 ; se = 0,047	0,72
	0,001	*	3,894	6,724 ; se = 0,553	0,681 ; se = 0,04	0,784
	0,005	3650	3,138	6,748 ; se = 1,209	0,701 ; se = 0,039	0,826
	0,01	1950	3,063	6,636 ; se = 0,544	0,681 ; se = 0,057	0,83
	0,05	550	2,67	6,291 ; se = 0,752	0,679 ; se = 0,052	0,852
	0,1	450	2,134	6,252 ; se = 0,591	0,71 ; se = 0,051	0,882
	0,5					

A combinação de parâmetros que minimiza o erro preditivo é uma complexidade de árvores de 4 e uma taxa de aprendizagem de 0,1, que resulta num número total de árvores (*Nt*) de 450 e ainda um R^2 com um valor de 0,882 (Tabela 8). Porém, optou-se por seleccionar a combinação de uma complexidade de árvores de 3 e uma taxa de aprendizagem de 0,05, com um número de árvores resultante de 1150 e com um valor de R^2 de 0,871, uma vez que o número de árvores deverá ser superior a 1000. Elith et al. (2008) recomenda modelos de ajuste com pelo menos 1000 árvores uma vez que árvores ajustadas inicialmente descrevem padrões mais gerais e mais fortes nos dados e, portanto, explicam uma grande quantidade de desvio preditivo. Por outro lado, as

árvores ajustadas mais tardiamente num modelo BRT explicam características mais particulares dos dados e, portanto, resultam em reduções incrementais mais baixas no desvio preditor.

O comportamento dos modelos, à medida que são adicionadas árvores, encontra-se representado nos gráficos da Figura 38.

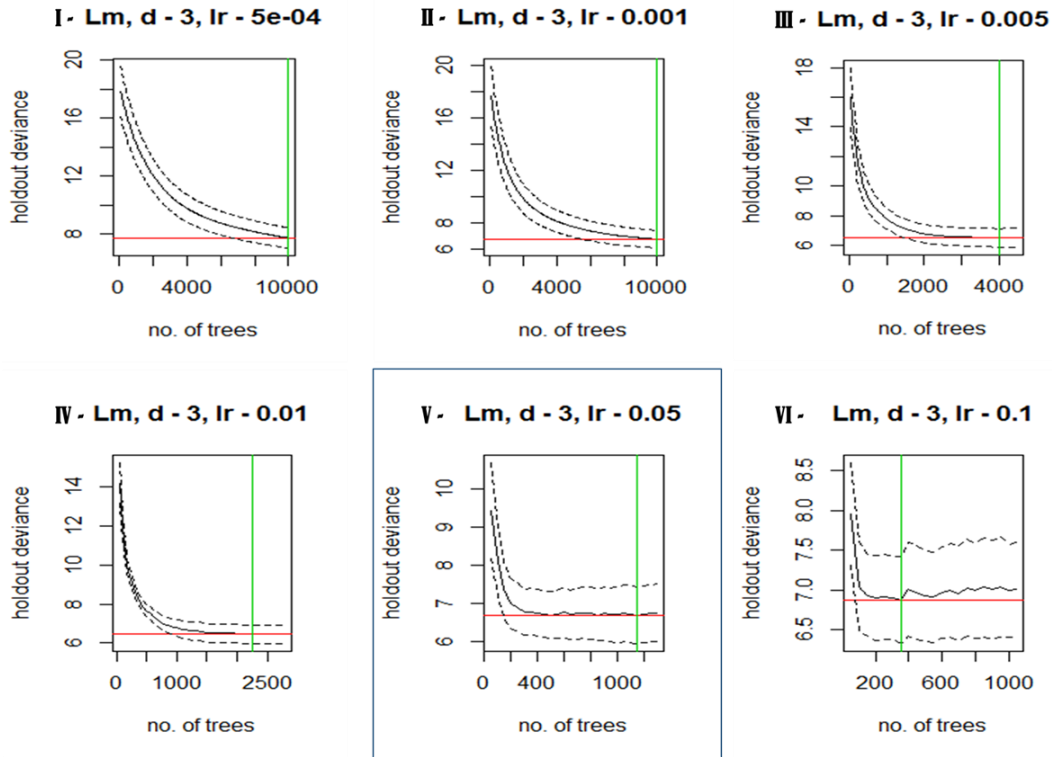


Figura 38. Relação entre o número de árvores e a performance preditiva para modelos ajustados com seis taxas de aprendizagem (I a VI= 0.0005 a 0.1) e um nível de complexidade das árvores ($T_c=3$). Estes modelos foram construídos através de validação cruzada com 10 partições- — corresponde à média, e --- ± 1 erro padrão, para as mudanças no desvio preditivo. A — mostra o mínimo da média, e ao — o número ótimo de árvores à qual ocorre. O modelo final está delimitado com linha azul.

De um modo geral, os resultados para o $T_c= 3$ apresentam um declínio do erro preditivo à medida que são adicionadas mais árvores. No caso do gráfico VI, há uma ligeira subida do erro preditivo à medida que o modelo se torna muito adaptado aos dados de treino, podendo indicar um sobre ajustamento. Todavia, os valores mais baixos de L_r (gráficos I a IV) atingem uma melhor performance preditiva tardiamente e necessitam de milhares de árvores para atingir o erro mínimo (Figura 38).

Contribuição dos preditores

De acordo com o modelo selecionado foram analisadas as contribuições de cada variável para o modelo final (Figura 39).

Com base nestes resultados, o preditor que se identificou como tendo mais influência na variável dependente utilizada, ou seja, o número de lampreias contabilizadas a transpor a PPPeixes, é o caudal efluente total com uma contribuição de 34,5%, seguido do período do dia (21,8%), turbidez (17%), a condutividade específica (13,7%) e, por último, a temperatura com cerca de 12,7%.

Este resultado significa que no processo de construção do modelo explicativo-preditivo da lampreia-marinha, a variável caudal efluente total foi selecionada mais vezes para processos de divisão em nós de decisão. O resultado deste modelo indica que a entrada da espécie-alvo na PPPeixes do Açude-Ponte foi sobretudo influenciada pelo caudal libertado pelas comportas do Açude-Ponte de Coimbra.

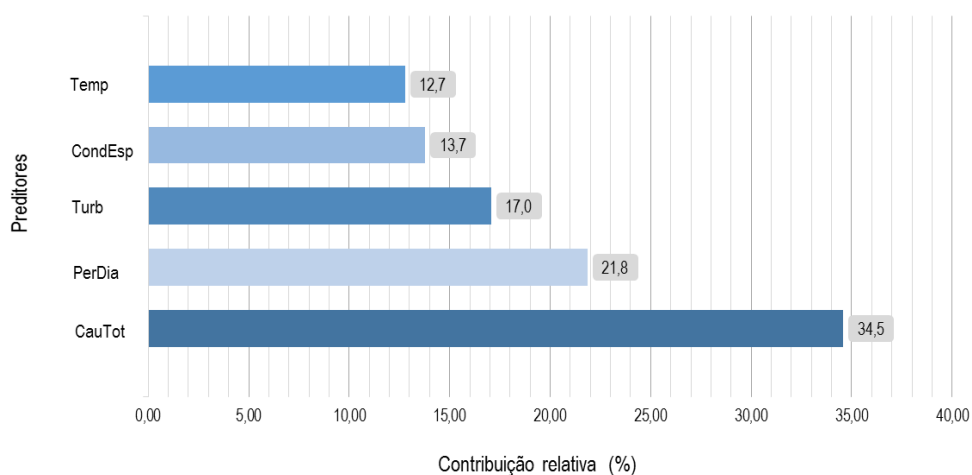


Figura 39. Contribuição relativa (%) das variáveis preditivas para o modelo da lampreia-marinha desenvolvido a partir do método de validação cruzada, usando um nível de complexidade da árvore (T_c) de 3 e uma taxa de aprendizagem (L_r) de 0,05. PerDia – Período do dia, CondEsp – Condutividade específica, Temp – Temperatura, Turb – Turbidez e CauTot – Caudal efluente total.

Simplificação do modelo

Após a simplificação do modelo verificou-se que este não apresenta variáveis passíveis de serem excluídas (linha vermelha vertical), uma vez que no caso de se excluir 1 ou mais variáveis, o erro preditivo aumenta (Figura 40). Isto significa que, todas as variáveis iniciais são relevantes para a construção do modelo e todas elas apresentam um efeito significativo na variação da variável resposta/dependente.

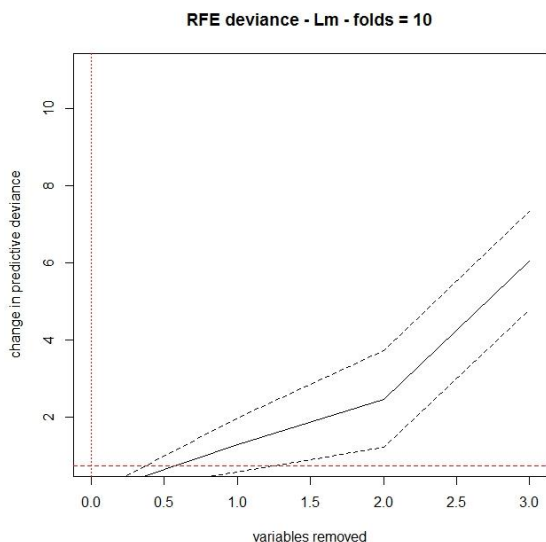


Figura 40. Demonstração gráfica do desenvolvimento da performance do modelo da lampreia-marinha, perante a remoção de 3 variáveis em que a linha preenchida indica a mudança média no desvio preditivo, e as linhas ponteadas um erro padrão, calculado sobre as 10 vezes das validações cruzadas.

Funções parciais

Os gráficos das funções parciais mostram uma descrição das relações entre a utilização da PPPeixes pela espécie-alvo e os preditores analisados (Figura 41).

As funções ajustadas do modelo BRT mostram que as lampreias-marinhas utilizam a PPPeixes para valores de caudal efluente total inferiores a 120 m³/s, sensivelmente. Valores de caudal efluente libertado pelo Açude-Ponte de Coimbra superiores a 120 m³/s são responsáveis por uma redução na eficiência de atração deste dispositivo para a espécie em análise. Em relação ao período do dia, o número de animais a utilizar a PPPeixes foi superior durante a noite fechada (NF) e menor ao raiar da aurora (RA) e ao escurecer (E), não utilizando este dispositivo de passagem durante o dia claro (DC). Os intervalos, em horas, correspondentes aos diversos períodos do dia (crepúsculo) variaram ao longo do período de estudo. Na turbidez parece haver uma ligeira resposta (i.e. aumento do número de animais a utilizar a PPPeixes) quando o valor é sensivelmente 20 FNU e, também, quando a condutividade específica atinge valores entre os 90 e 110 μS/cm, aproximadamente. Por último, na variável temperatura verifica-se um aumento do uso da passagem pela espécie-alvo quando esta atinge um valor entre os 14 e 15°C e, também, para valores acima dos 17°C.

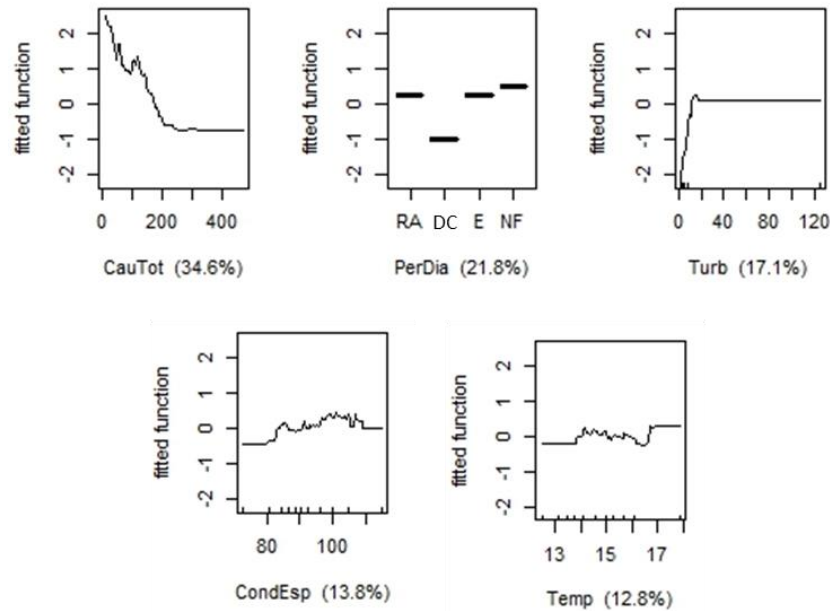


Figura 41. Gráficos de dependência parcial para as variáveis preditivas do modelo da lampreia-marinha. O eixo do y está representado numa escala logit e encontra-se centrado para ter média de zero na distribuição dos dados. CauTot- Caudal efluente total; PerDia- Período do dia; Turb- Turbidez; CondEsp- Condutividade específica e Temp- Temperatura.

Interações entre variáveis

As interações entre pares preditores encontram-se descritas na Tabela 9. Os valores de 0 indicam que não foram ajustados efeitos das interações, todavia, os valores mais elevados indicam fortes interações, nomeadamente, entre o caudal efluente total e a temperatura, apresentando um valor de 113,63, e entre as variáveis caudal efluente total e condutividade específica, com um valor de 43,22.

Tabela 9. Interações entre pares de variáveis preditivas

	CauTot	Temp	CondEsp	Turb	PerDia
CauTot	0	113,63*	43,22*	2,22	15,35
Temp	0	0	8,27	1,75	11,32
CondEsp	0	0	0	6,09	13,61
Turb	0	0	0	0	0,59
PerDia	0	0	0	0	0

Nota: CauTot – Caudal efluente total, Temp – Temperatura, CondEsp – Condutividade específica, Turb – Turbidez, PerDia – Período do dia, * - interações entre pares de preditores mais fortemente significativas.

Por sua vez, estas interações entre variáveis e o seu efeito conjunto na variável resposta podem ser visualizadas através de gráficos 3D (Figura 42).

A partir do gráfico da Figura 42a), observa-se uma resposta significativa para valores de temperatura na ordem dos 15°C e de caudal efluente total reduzidos, sensivelmente, abaixo dos 50 m³/s. Relativamente ao gráfico da Figura 42b), a interação é mais acentuada para valores intermédios de condutividade específica (entre 70 e 90 µS/cm) e valores de caudal efluente total entre 30 e 60 m³/s. Para além dos valores referidos anteriormente, é possível visualizar-se em ambos os gráficos uma ligeira resposta para valores elevados do caudal efluente total.

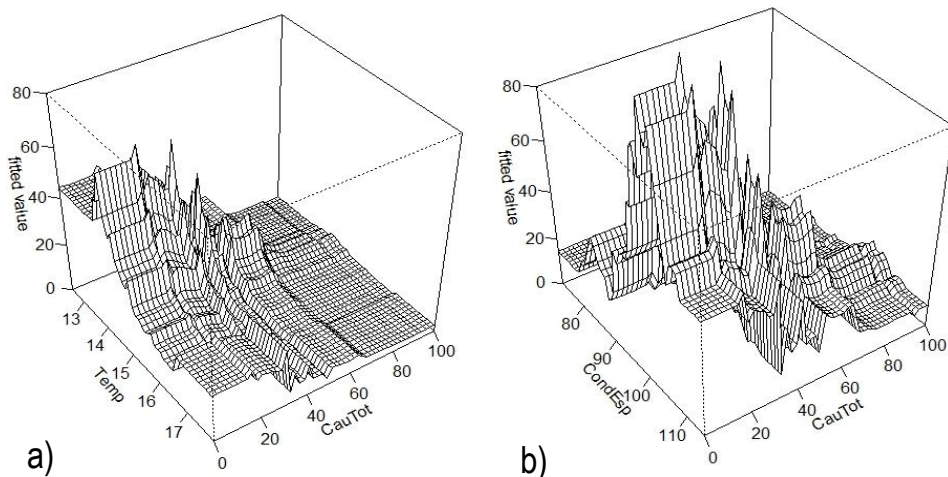


Figura 42. Gráficos 3D das interações consideradas mais significativas no modelo ajustado: a) Caudal efluente total (CauTot) × Temperatura (Temp); b) Caudal efluente total (CauTot) × Condutividade específica (CondEsp).

4.2. Avaliação da eficiência das PPPeixes naturalizadas com recurso a radiotelemetria convencional

Das 26 lampreias libertadas a jusante de Palheiros, apenas 8 conseguiram transpor este obstáculo e 14 indivíduos permaneceram em Palheiros. No entanto, duas das lampreias libertadas nunca foram detetadas na zona imediatamente a jusante do açude de Palheiros pelo que optou-se por não incluir estes animais no cálculo da eficiência de passagem deste obstáculo. Durante o período de estudo quatro lampreias foram consideradas mortas (provavelmente capturadas por furtivos), pelo facto dos seus transmissores terem sido recuperados ou por a partir de determinada data não voltarem a ser detetadas na área prospetada. De acordo com o critério explicado anteriormente, o valor de eficiência da PPPeixes do açude de Palheiros foi de 40%. Das lampreias que conseguiram transpor o Açude de Palheiros e atingir o Açude do Louredo, é de salientar que nenhum animal conseguiu transpor este último obstáculo onde também foi construída uma rampa para peixes.

Pelo fato de apenas uma porção das lampreias ter transposto o açude de Palheiros, e nenhum indivíduo ter conseguido transpor o açude do Louredo e consequentemente os obstáculos a montante deste, a análise ao comportamento das lampreias

relativamente à transposição de obstáculos equipados com passagens para peixes do tipo naturalizado com recurso à rádio telemetria convencional circunscreve-se à interpretação dos resultados obtidos na proximidade do açude de Palheiros.

As distribuições longitudinais das lampreias junto ao açude de Palheiros permitiram averiguar um decréscimo do número mínimo de tentativas realizadas pelas lampreias (Figura 43), isto é, cerca de 12 lampreias realizaram no mínimo 1 tentativa (46,1%), 7 lampreias fizeram no mínimo 2 tentativas (27%), 3 lampreias concretizaram 3 tentativas (11,5%) e 2 lampreias realizaram no mínimo 4 tentativas (7,7%). Para além disso, duas lampreias não executaram qualquer tentativa (7,7%), uma vez que o transmissor da Lm1 acabou por ser recuperado e a Lm21, após a libertação, permaneceu sempre a jusante de Palheiros.

Foi também possível observar um decréscimo do número de lampreias que negociaram com sucesso o açude de Palheiros consoante o aumento do número mínimo de tentativas. Verificou-se que 5 lampreias (Lm 5, 8, 9, 14 e 24) transpuseram o açude de Palheiros logo à primeira tentativa (tendo sido considerado uma tentativa de migração quando um indivíduo, proveniente de jusante, passa para a zona de Palheiros ou transpõe por completo o açude de Palheiros) e somente 3 lampreias (Lm 15, 20 e 26) foram localizadas a montante do açude de Palheiros após terem efetuado a segunda tentativa. Das restantes lampreias, 4 indivíduos foram considerados desaparecidos e/ou mortos (transmissor recuperado) e 14 permaneceram a jusante de Palheiros (Figura 43).

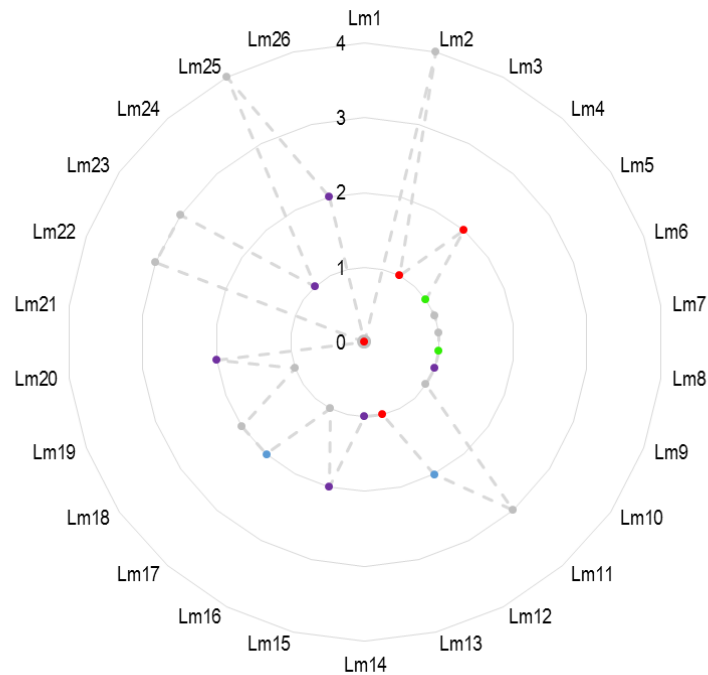


Figura 43. Número mínimo de tentativas realizadas por cada *P. marinus* marcada com radiotelemetria convencional entre janeiro e junho de 2016. A cor cinzenta representa as lampreias detetadas pela última vez a jusante de Palheiros, a cor azul exibe os indivíduos detetados pela última vez em Palheiros, a cor verde representa os indivíduos que transpuseram com sucesso o açude de Palheiros, a cor roxa exibe as lampreias que negociaram o açude de Palheiros e permanecem no açude do Louredo e a cor vermelha exibe as *P. marinus* declaradas como desaparecidas ou mortas.

Durante o período em que as lampreias permaneceram junto ao açude de Palheiros, 62,5% dos indivíduos (n=5), que transpuseram com sucesso o açude de Palheiros conseguiram-no em menos de 7 dias. No entanto, também foi visível que 87,5% dos indivíduos (n=7) tiveram um tempo máximo de negociação inferior a 14 dias. Apenas 1 indivíduo acabou por conseguir transpor o açude de Palheiros ao fim de 21 dias na proximidade do obstáculo (Figura 44).

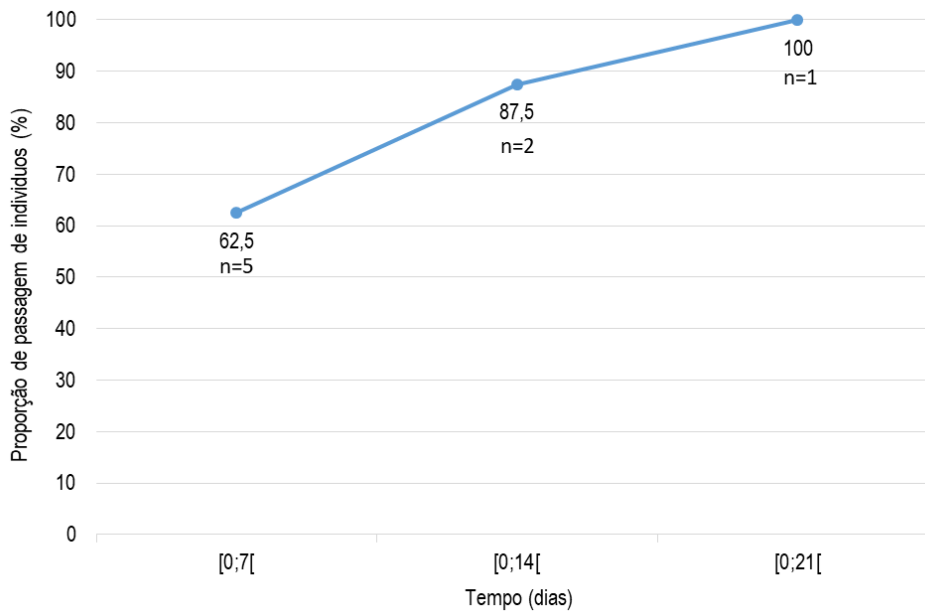


Figura 44. Tempo máximo (dias) que as *P. marinus* bem-sucedidas (percentagem cumulativa) estiveram a negociar o açude de Palheiros.

Relativamente à distribuição longitudinal das lampreias-marinhas, em ambos os períodos de monitorização, parece não ter havido um padrão visível na distribuição das lampreias com o nível de caudais total e/ou temperatura da água (Figura 45).

O período entre 4 e 18 maio, assim como de 26 maio até 11 junho, não apresentam qualquer informação devido à descontinuidade da monitorização.

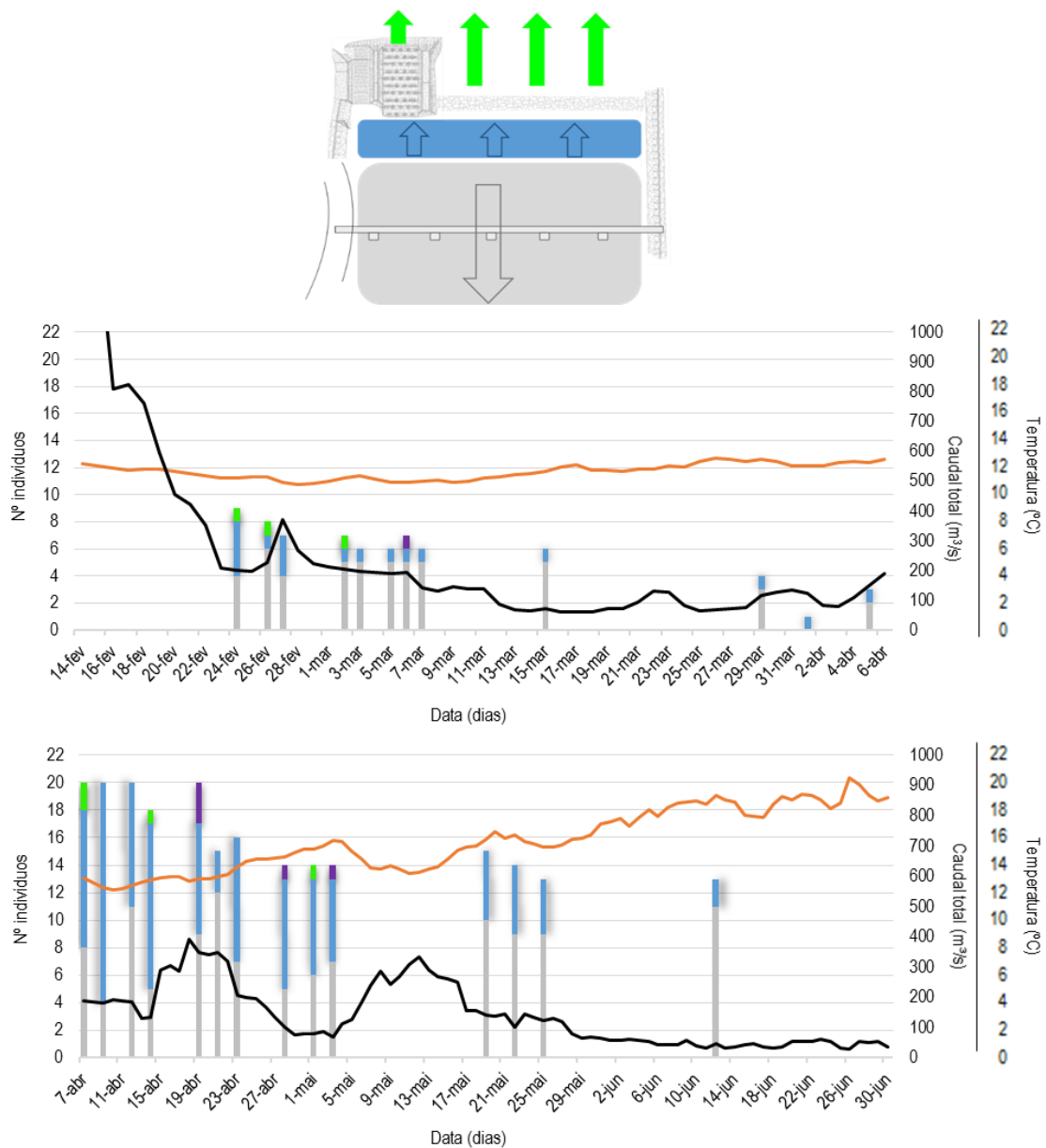


Figura 45. Distribuição longitudinal das *P. marinus* monitorizadas com radiotelemetria convencional, sendo que a cor cinzenta representa os indivíduos a jusante de Palheiros, a cor azul identifica os indivíduos localizados em Palheiros e as setas verde-claro mostra os indivíduos a montante de Palheiros, isto é, os indivíduos que conseguiram negociar o açude de Palheiros com sucesso. A cor roxa exhibe os indivíduos que migraram para montante ao longo do rio Mondego, alcançando o açude do Louredo. Os gráficos de barras referem os momentos de libertação das *P. marinus* (24-fev-2016 e 7-abr-2016, respetivamente) relacionado com o caudal médio diário (linha preta) e à temperatura média diária (linha laranja) entre fevereiro e junho de 2016

Durante o primeiro período de monitorização, os resultados em Palheiros indicaram que, independentemente da variação do caudal médio diário e do aumento ligeiro da temperatura, as lampreias têm tendência a deslocar-se especialmente para a margem direita (MD), onde foi construída a passagem naturalizada (Figura 46). No segundo período de monitorização, parece não ter havido um padrão visível na distribuição transversal das lampreias com o nível de caudais total e/ou temperatura da água. No entanto, no início do segundo momento de libertação (aproximadamente até ao dia 20 de abril) há uma distribuição transversal

dos indivíduos ao longo do açude de Palheiros, durante o qual as lampreias monitorizadas encontrava-se tanto na margem direita como no centro ou margem esquerda, seguido de uma uniformidade na distribuição dos animais até ao final do período de monitorização (Figura 46).

O período entre 4 e 18 maio, assim como de 26 maio até 11 junho, não apresentam qualquer informação devido à descontinuidade da monitorização.

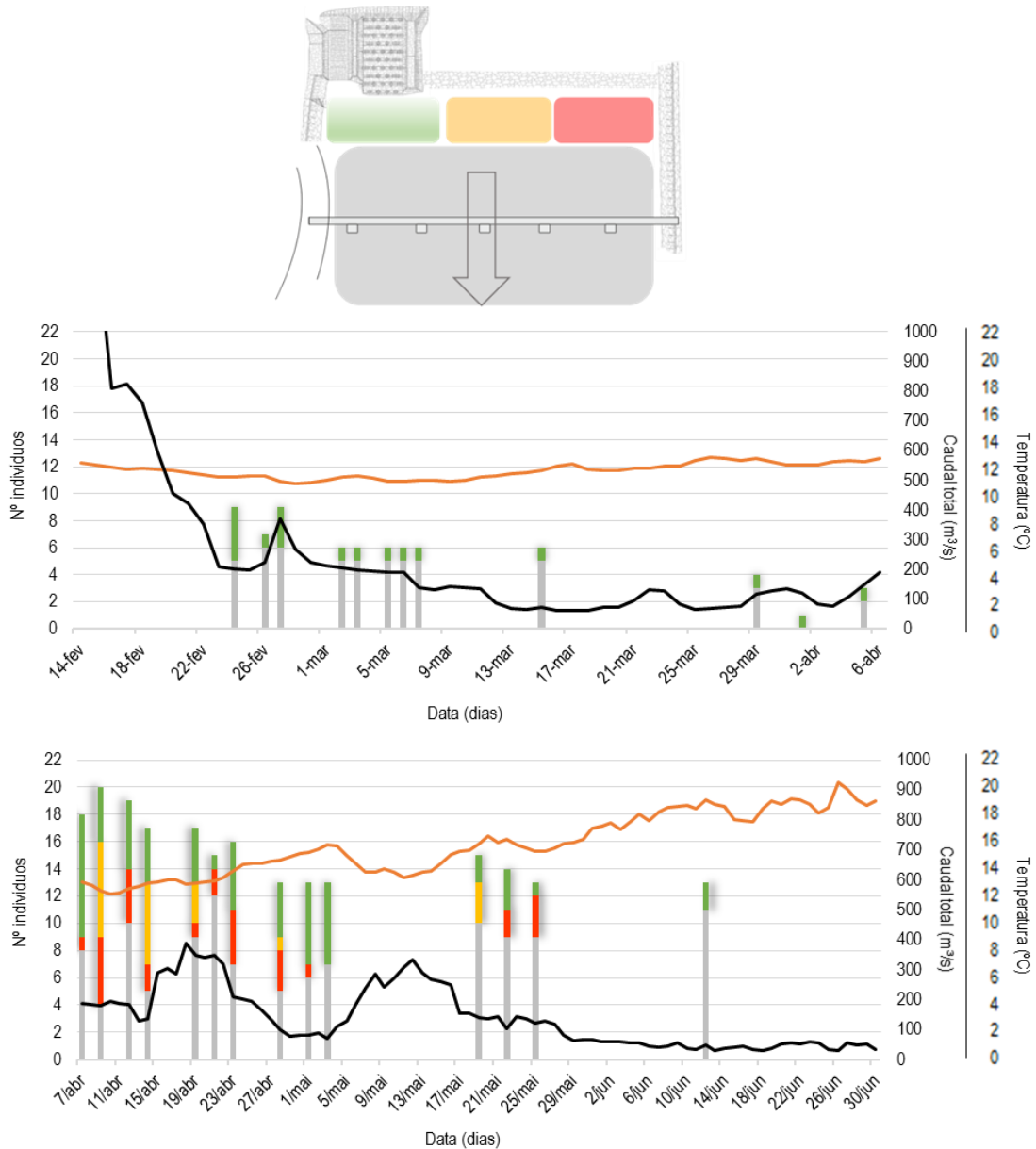


Figura 46. Distribuição transversal das *P. marinus* monitorizadas com radiotelemetria convencional na área de estudo, sendo que a cinzento ilustra os indivíduos localizados a jusante de Palheiros; a verde – MD do açude de Palheiros e onde se encontra a PPPeixes; a laranja - centro do açude de Palheiros e o vermelho – ME do açude de Palheiros. A combinação dos três locais (MD, C e ME) é representado por ser Palheiros. Os gráficos de barras referem os momentos de libertação das *P. marinus* (24-fev-2016 e 7-abr-2016, respetivamente) relacionado com o caudal médio diário (linha preta) e à temperatura média diária (linha laranja) entre fevereiro e junho de 2016.

Para além da distribuição transversal dos indivíduos foi examinado o tempo de permanência (% de dias) dos indivíduos marcados em cada local em Palheiros durante todo o período de monitorização.

Na Figura 47, onde estão representadas a totalidade das lampreias marcadas (n=26), observa-se que os indivíduos tiveram um tempo de permanência ligeiramente mais elevado a jusante de Palheiros do que em Palheiros, com uma percentagem de 48% e 35%, respetivamente. No entanto, durante o tempo de permanência em Palheiros observou-se que os indivíduos permaneceram maioritariamente na margem direita (61%), seguido da margem esquerda (26%) e, por último, no Centro do açude de Palheiros (13%). Em determinadas circunstâncias não foi possível localizar com precisão a localização da posição transversal de alguns animais na área de estudo (SD), representando 17% do total das observações.

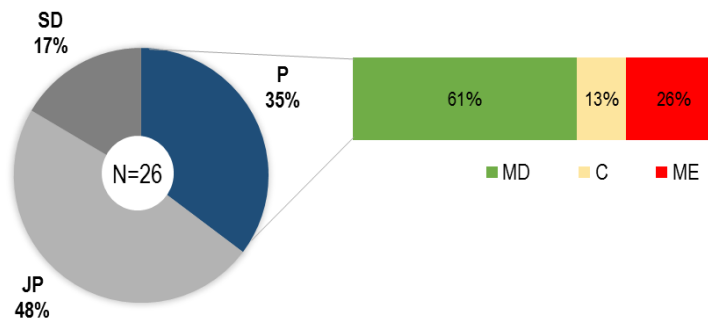


Figura 47. Tempo de permanência de todas as *P. marinus* na área de estudo (JP e P) e cada local em Palheiros (MD, C e ME) entre fevereiro e junho de 2016. JP – Jusante de Palheiros; P- Palheiros; SD – Sem Dados.

Relativamente aos 8 indivíduos bem-sucedidos (Figura 48), antes da transposição do obstáculo, registou-se permanência elevada (59%) destes indivíduos em Palheiros (soma da permanência dos indivíduos na ME, C, MD) relativamente a jusante de Palheiros que detém apenas 30%.

Do tempo despendido em Palheiros, os indivíduos permaneceram sobretudo no Centro do açude (37%) e ainda, com uma percentagem sensivelmente mais baixa, na margem esquerda do açude (35%). Todavia, a margem direita foi o local onde permaneceram menos tempo (27%). Através dos resultados obtidos também se verificou a ausência de precisão necessária para definir a localização da posição transversal de alguns animais na área de estudo (SD), representando 11%.

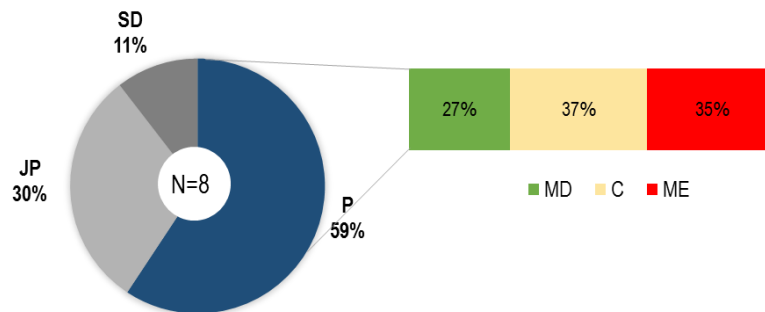


Figura 48. Tempo permanência das *P. marinus* bem-sucedidas em cada local em Palheiros (MD, C e ME) entre fevereiro e junho de 2016. JP – Jusante de Palheiros; P- Palheiros; SD – Sem Dados

Relativamente ao comportamento somente dos indivíduos que não conseguiram transpor o açude Palheiros (n=18), registou-se um tempo de permanência (% de dias) ligeiramente mais elevado a jusante de Palheiros do que junto ao açude Palheiros, com uma percentagem de 49% e 34%, respetivamente. No entanto, durante o tempo de permanência junto ao açude de Palheiros observou-se que os indivíduos permaneceram sobretudo na margem direita (65%), seguido da margem esquerda (25%) e, por último, no Centro do açude de Palheiros (11%) (Figura 49).

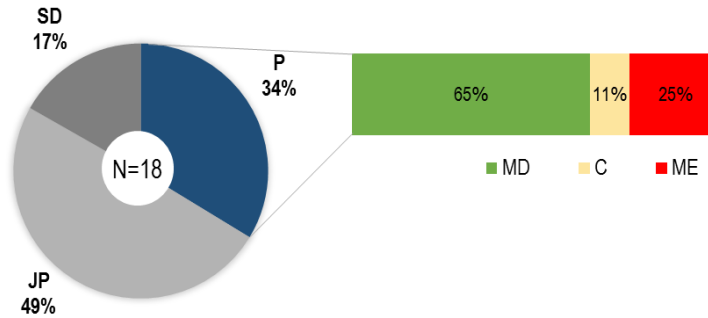


Figura 49. Tempo de permanência das *P. marinus*, que não transpuseram Palheiros, na área de estudo (JP e P) e cada local em Palheiros (MD, C e ME) entre fevereiro e junho de 2016. JP – Jusante de Palheiros; P- Palheiros; SD – Sem Dados.

Resumidamente, no final do período de monitorização (Figura 50), das 26 lampreias libertadas em Palheiros, 10 indivíduos ficaram a jusante de Palheiros (42,3%); 3 permaneceram em Palheiros (7,69%); 2 transpuseram o açude de Palheiros e foram registadas sensivelmente a meio do troço Palheiros-Louredo (7,69%), mais especificamente na zona do Roxo; e 6 conseguiram chegar ao açude do Louredo (23,08%). Para além do referido, uma lampreia desapareceu nos últimos dias de monitorização (3,85%) e quatro lampreias (15,39%) foram consideradas mortas, pelo facto dos seus transmissores terem sido recuperados ou por a partir de determinada data não voltarem a ser detetadas na área prospetada.

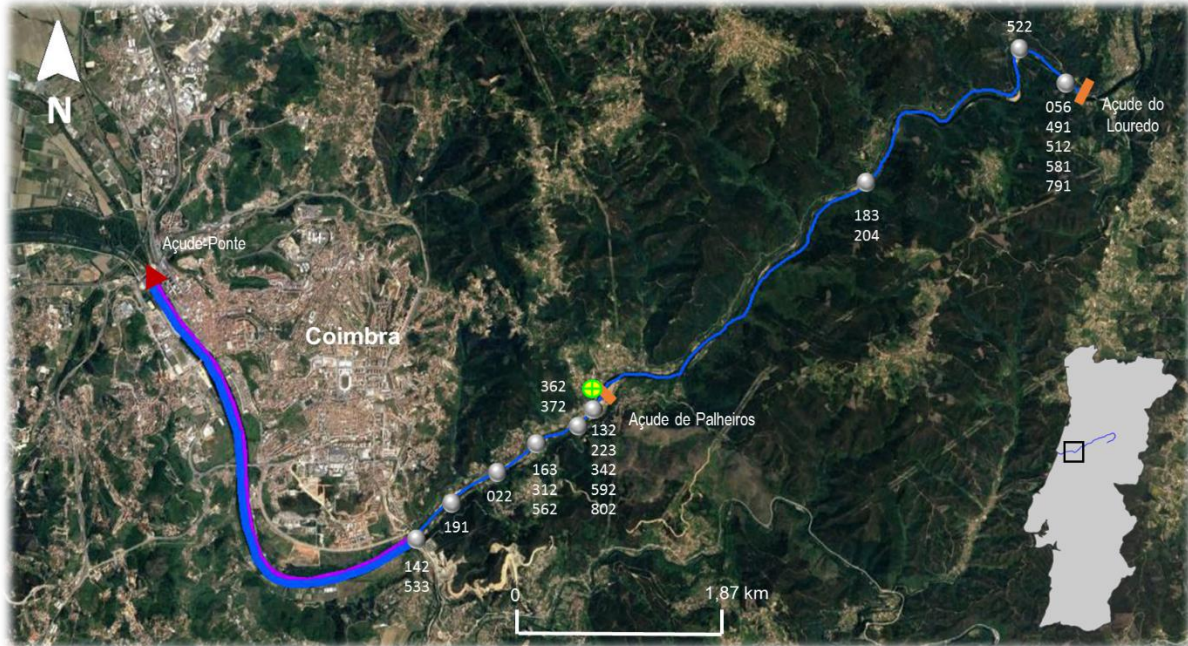



Figura 50. Mapa com registo das últimas localizações das *P. marinus* marcadas com transmissores convencionais em 2016 (valores indicados em cada ponto corresponde às frequências dos respetivos transmissores. Assinalado com , corresponde ao local de libertação dos indivíduos em Palheiros).

4.3. Análise comparada do comportamento na abordagem e transposição de passagem técnica versus passagem naturalizada com recurso à telemetria EMG

Dos sete indivíduos marcados com transmissores EMG e libertados na PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra, cinco transpuseram a passagem com sucesso (Pm 1, 2, 5, 6 e Pm 7). A única lampreia (Pm3) que acabou por não transpor a PPPeixes saiu da passagem logo após a libertação tendo-se posteriormente deslocado para a zona em frente ao descarregador de superfície na margem esquerda do Açude-Ponte de Coimbra. Em relação à lampreia Pm4, esta permaneceu cerca de 4 dias dentro da passagem, alcançando somente a 7ª bacia. Após a sua saída da passagem o animal permaneceu em frente às comportas do Açude-Ponte (Figura 51).

Os indivíduos que transpuseram a PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra (Pm1, 2, 5, 6 e 7), duas lampreias (Pm6 e Pm7) permaneceram no troço entre Coimbra e o açude de Palheiros. Quanto à lampreia Pm7 parou a sua migração próximo da confluência entre o rio Mondego e o rio Ceira, vindo a ser localizada mais tarde a jusante do primeiro açude no rio Ceira, o açude de Boiça (40° 10' 28,4"N; 8° 22' 52,6"W, Datum WGS84). A lampreia Pm5 foi a única que prosseguiu a migração até alcançar o açude de Palheiros. Esta lampreia, assim como a lampreia Pm9, libertada a jusante do açude de Palheiros, conseguiram transpor este obstáculo e progredir para montante do troço até alcançar o açude do Louredo, enquanto a lampreia Pm8 permaneceu no local de libertação (Palheiros) (Figura 51).

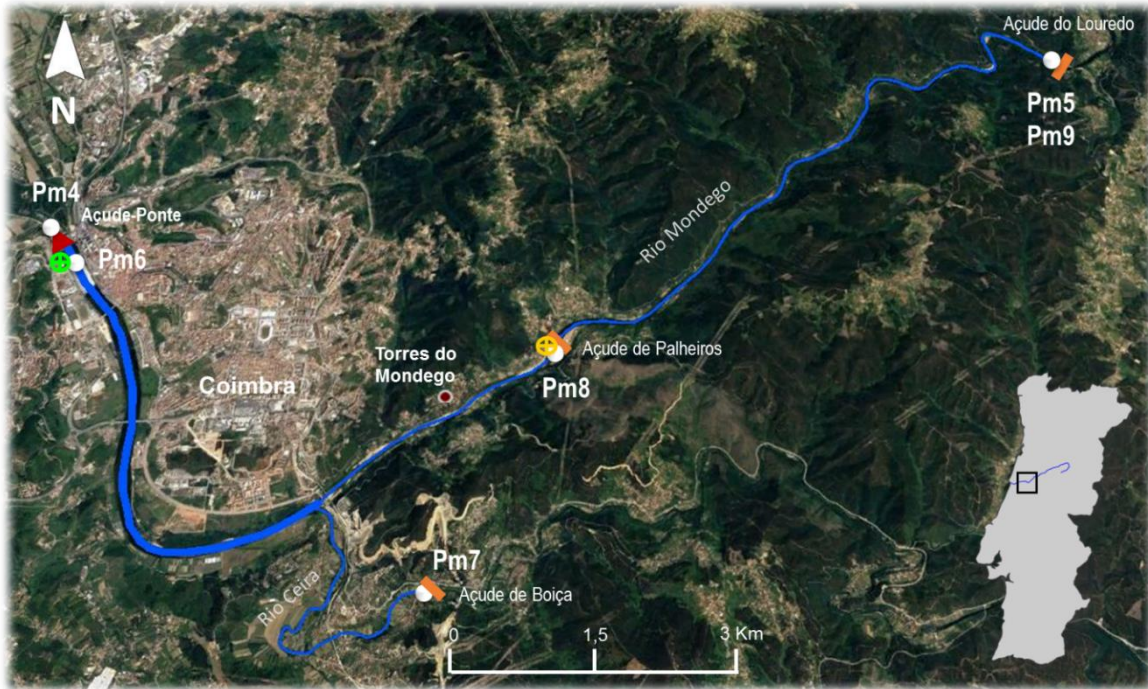


Figura 51. Mapa com registo das últimas localizações das *P. marinus* marcadas com EMG (circulo branco) em 2016. Assinalados com 🟢🟡, corresponde ao 1º e 2º local de libertação dos indivíduos na PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra e em Palheiros, respetivamente.

A monitorização dos movimentos das lampreias marcadas com os transmissores EMG foi utilizada para analisar de forma comparada o comportamento das lampreias a jusante dos obstáculos, à entrada dos dispositivos de transposição piscícola, durante a transposição dos dispositivos e, de forma complementar durante troços de rio com características hidromorfológicas distintas.

4.3.1. Jusante dos açudes – Açude-Ponte versus Palheiros

Durante a época de estudo, baseado num total aproximado de 186 horas de monitorização, verificou-se que as 2 lampreias a jusante do Açude-Ponte de Coimbra (PM3 e PM4) tiveram uma frequência relativa (F.R.) mais elevada na classe 1 (F.R.=0,70) e conseqüentemente uma baixa frequência relativa na classe de repouso, R, (F.R.=0,06) (Figura 52). Pode-se também observar que o esforço realizado alcança uma classe de cEMG elevada (classe 5), embora com uma frequência relativa reduzida. Relativamente às três lampreias a jusante de Palheiros, contrariamente, apresentam um esforço mais reduzido, atingindo uma classe cEMG máxima mais baixa (classe 3), uma menor frequência relativa na classe 1 (F.R.=0,38) e uma elevada frequência na classe R (F.R.=0,59), associada aos valores próximos do comportamento de repouso destes indivíduos (Figura 53). Apesar de neste local haver um maior número de indivíduos, o tempo de monitorização foi aproximadamente de 12 horas. Os resultados parecem indicar que as lampreias a jusante do Açude-Ponte realizaram um esforço muscular superior comparativamente com as lampreias a jusante do açude de Palheiros (Figura 54).

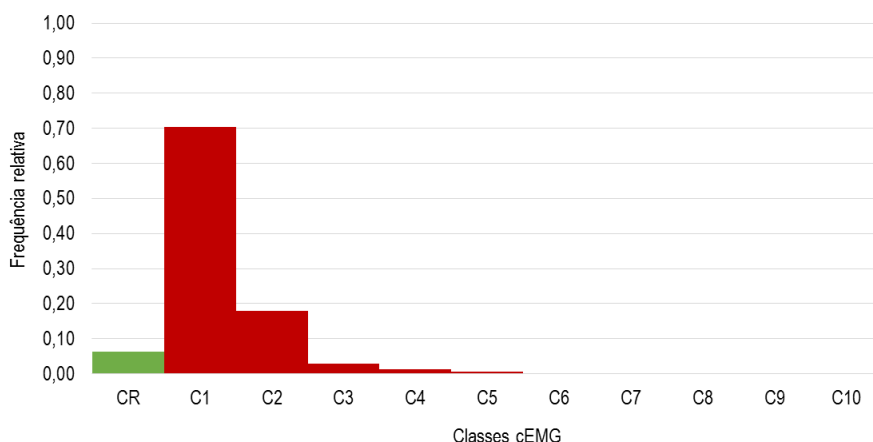


Figura 52. Distribuição dos valores de cEMG das *P. marinus* Pm3 e Pm4, por classes de atividade muscular, a jusante do Açude-Ponte de Coimbra, com um tempo de permanência aproximado de 186 horas.

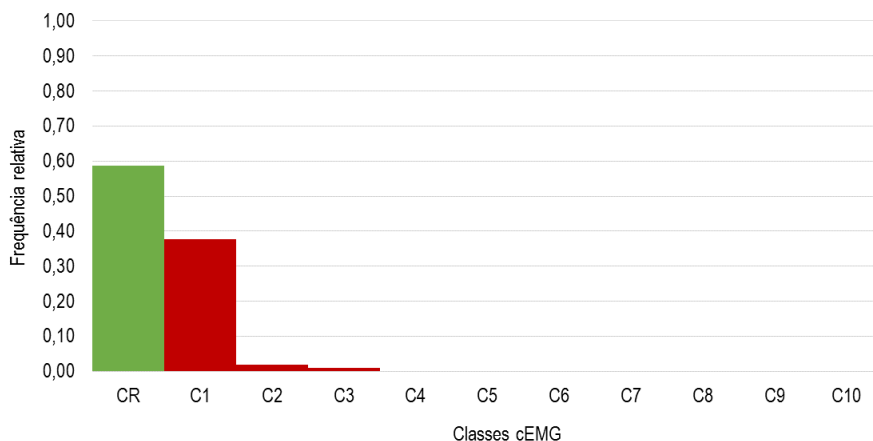


Figura 53. Distribuição dos valores de cEMG das *P. marinus* Pm5, 8 e Pm9, por classes de atividade muscular, a jusante do açude de Palheiros, com um tempo de permanência aproximado de 12 horas.

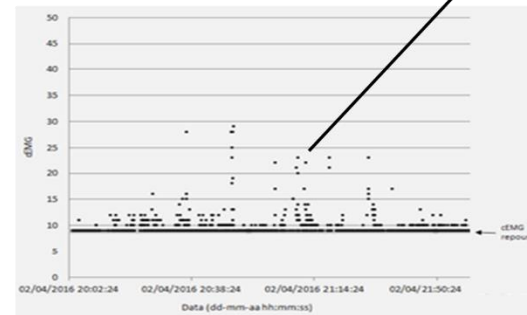
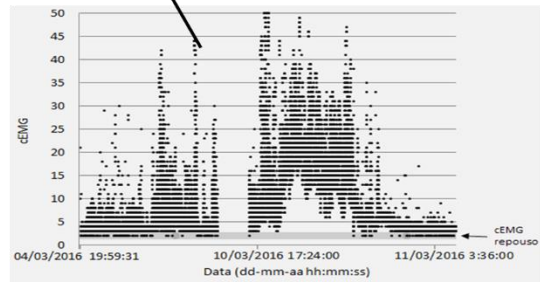


Figura 54. Mapa dos locais a jusante do Açude-Ponte de Coimbra e do açude de Palheiros associado a exemplos de registos de cEMG, adquiridos durante a monitorização contínua dos animais.

4.3.2. Entrada da PPPeixes do açude de Palheiros

De acordo com os caudais efluentes dos respetivos anos e as posições das lampreias a jusante do Açude-Ponte de Coimbra, as lampreias Pm3 e Pm4 tiveram dificuldades a localizar a entrada da PPPeixes e iniciar/recomeçar a sua transposição, não havendo deste modo registos de valores de EMG representativos dessa atividade muscular mais intensa na proximidade da entrada da PPPeixes.

No entanto, em Palheiros foram obtidos registos na entrada da passagem (aproximadamente 27 horas de monitorização), observando-se praticamente uma igualdade da frequência relativa para as classes R (F.R.=0,42) e classe 1 (F.R.=0,40). Também é possível observar uma frequência reduzida nas classes associadas a uma maior atividade (Figura 55 e Figura 56).

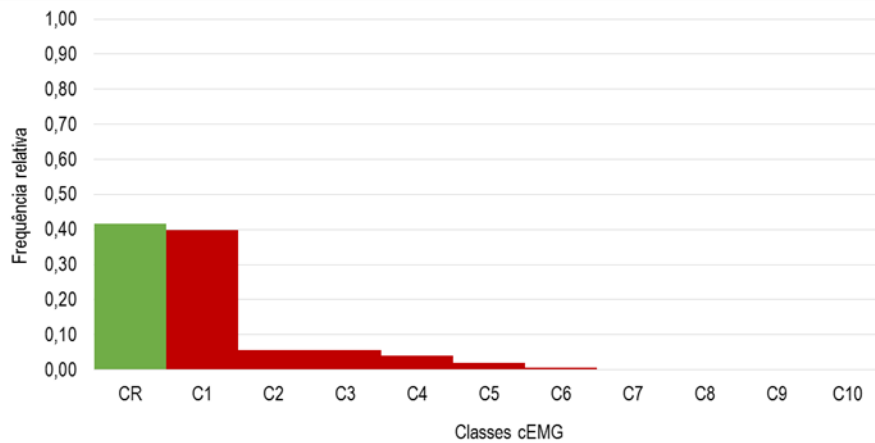


Figura 55. Distribuição dos valores de cEMG das *P. marinus* Pm5, 8 e Pm9, por classes de atividade muscular, na entrada para a PPPeixes de Palheiros, com um tempo de permanência aproximado de 27 horas.

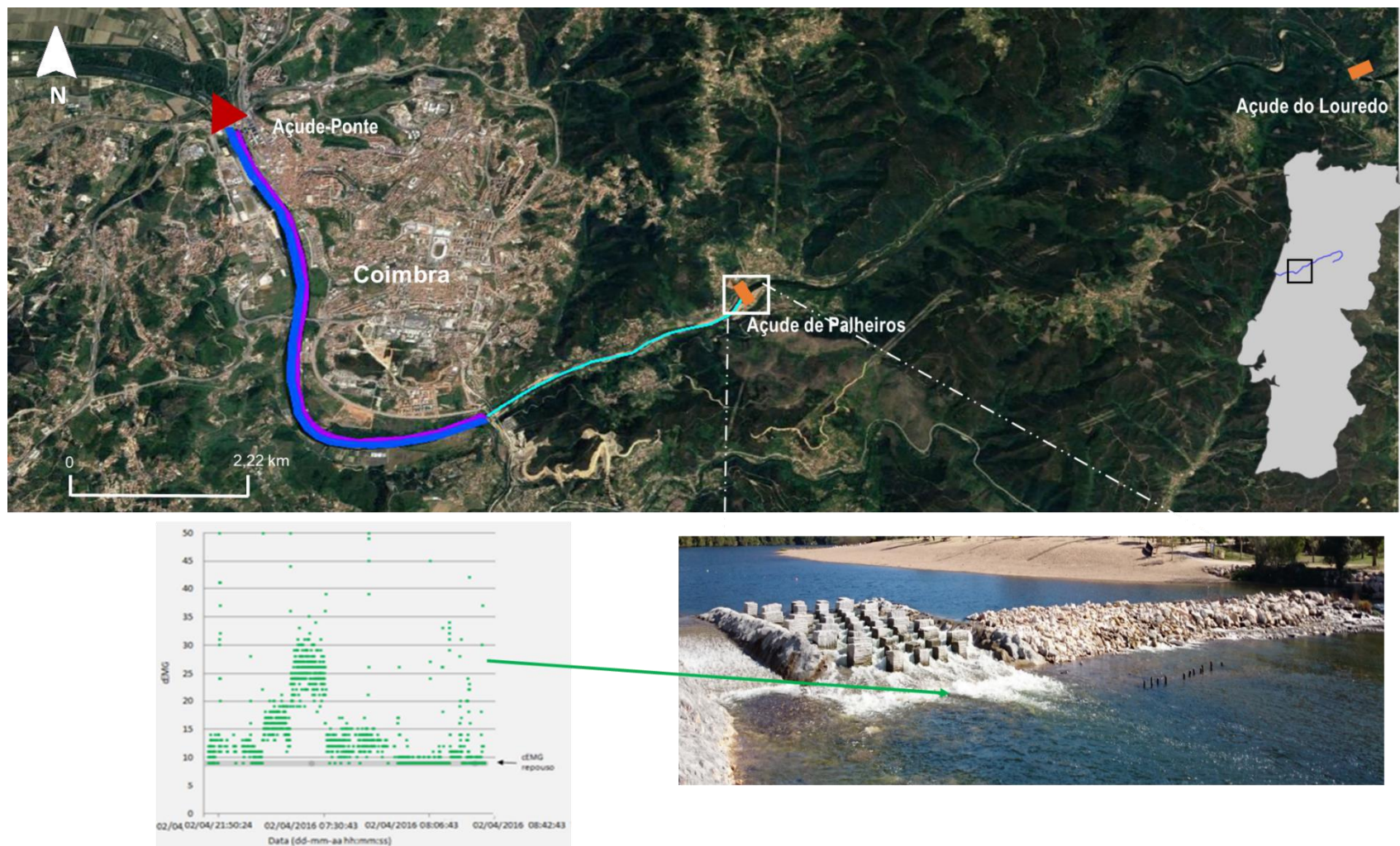


Figura 56. Mapa do açude de Palheiros associado a exemplos de registos de cEMG à entrada da PPPeixes, adquiridos durante a monitorização contínua dos animais.

4.3.3. Interior das PPPeixes - Açude-Ponte versus Palheiros

No que diz respeito aos indivíduos que efetuaram a transposição da PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra com sucesso, dois indivíduos (Pm1 e Pm2) demoraram aproximadamente 3 horas a percorrer o percurso entre o momento de libertação e a saída do dispositivo, duas lampreias (Pm6 e Pm7) transpuseram a passagem em, sensivelmente, 8 horas e, por fim, uma lampreia (Pm5) prolongou a transposição da passagem, demorando um período de 19 horas. Durante a transposição foi registado o comportamento (i.e., registo EMGs) para as cinco lampreias, num total de 41 horas e uma média de 8 horas, ou seja, uma sucessão de períodos de atividade intensa caracterizados por movimentos rápidos de curta duração (*burst swimming*), que contrastam com períodos de menor atividade ou repouso. Os picos de atividade mais elevados estão, maioritariamente, associados à passagem pelas fendas verticais, ou tentativas de passagem.

Relativamente à PPPeixes de Palheiros, durante o tempo de monitorização, verificou-se que a lampreia Pm5 permaneceu aproximadamente 17 horas dentro da passagem, a lampreia Pm9 cerca de 12 horas e a lampreia Pm8, apesar de não ter conseguido transpor a PPPeixes, permaneceu cerca de 43 horas no interior do dispositivo. Durante a monitorização, assim como na PPPeixes de Coimbra, também foi visualizado um padrão caracterizado pela alternância entre curtos períodos de atividade intensa associados a períodos de reduzida atividade ou repouso.

Através dos registos de atividade no interior das duas PPPeixes, verificou-se que as lampreias no Açude-Ponte realizaram um maior esforço para transpor a PPPeixes, com uma frequência relativa de 0,53 na classe 1 e uma frequência relativa de 0,29 na classe R (Figura 57). Por outro lado, na PPPeixes de Palheiros, os indivíduos realizam um menor esforço, verificando-se uma maior frequência na classe de repouso, com um valor de 0,54, e uma frequência relativa de 0,38 na classe 1 (Figura 58 e Figura 59).

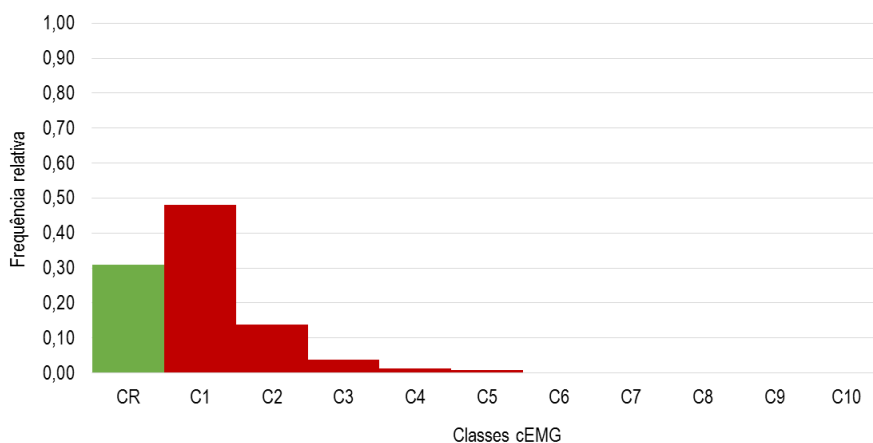


Figura 57. Distribuição dos valores de cEMG das *P. marinus* Pm1, 2, 5, 6 e Pm7, por classes de atividade muscular, no interior da PPPeixes Açude-Ponte de Coimbra, com um tempo de permanência aproximado de 41 horas.

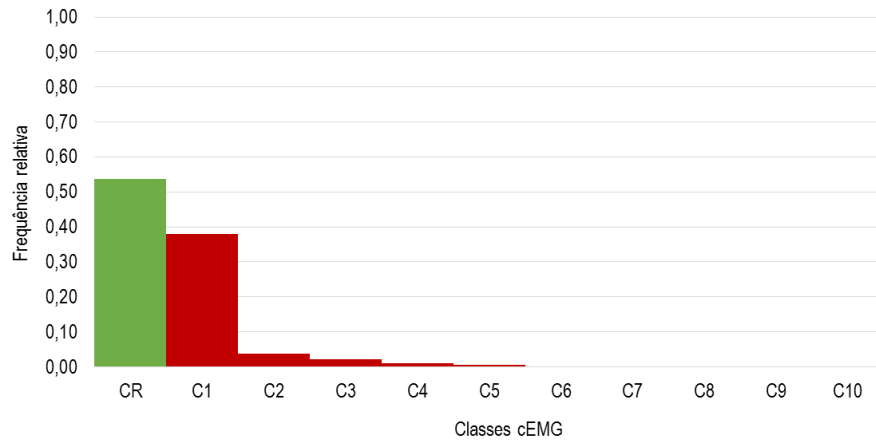


Figura 58. Distribuição dos valores de cEMG das *P. marinus* Pm5, 8 e Pm9, por classes de atividade muscular, no interior da PPPeixes de Palheiros, com um tempo de permanência aproximado de 70 horas.



Figura 59. Mapa do interior das PPPeixes do Açu de Ponte de Coimbra e do açude de Palheiros associado a exemplos de registos de cEMG, adquiridos durante a monitorização contínua dos animais.

4.3.4. Troços de Rio entre Coimbra e o açude do Louredo

Como mencionado no início deste subcapítulo, apenas duas (Pm5 e Pm7) das três lampreias libertadas na PPPEixes de Coimbra passaram a estrutura e permitiram a obtenção de registos de EMG nos troços Coimbra-Palheiros, uma vez que a lampreia Pm6 permaneceu sempre em frente do edifício de monitorização. A lampreia Pm7 apesar de ter prosseguido a sua migração, parou e estabeleceu-se na confluência entre o rio Mondego e o Ceira (designado por Confluência do Ceira), demorando aproximadamente 8 horas a percorrer este percurso. Quanto à lampreia Pm5 demorou cerca de 2 horas a percorrer o troço Coimbra-Confluência do Ceira, prosseguindo até ao açude de Palheiros, somando um tempo aproximado de 24 horas.

Uma vez que o troço entre Coimbra e o açude de Palheiros é caracterizado por dois segmentos totalmente diferenciados (o troço Coimbra-Confluência do Ceira com características lênticas e o troço Confluência-Palheiros com características lóticas), é possível fazer uma comparação dos registos de atividade muscular por parte das lampreias. Desta forma, as lampreias (Pm5 e Pm7) exibiram um esforço muscular mais elevado durante o percurso Coimbra - Confluência do Ceira, revelando uma elevada frequência relativa, principalmente, na classe 2 (F.R.=0,42) e na classe 1 (F.R.=0,34) (Figura 60). No troço Confluência do Ceira - Palheiros, o indivíduo Pm5 apresentou um esforço muscular mais baixo, com uma frequência de 0,18 e 0,16, para a classe 1 e 2, respetivamente (Figura 61). Também foi possível verificar uma elevada frequência para a classe R (F.R.=0,59). Para ambos os troços, as lampreias registaram um esforço muscular máximo idêntico, ou seja, atingiram a classe 4 (Figura 60 e Figura 61).

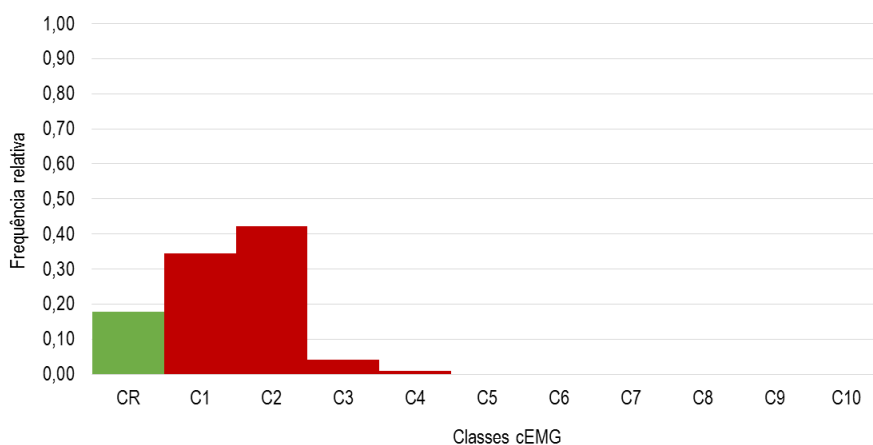


Figura 60. Distribuição dos valores de cEMG das *P. marinus* Pm5 e Pm7, por classes de atividade muscular, no troço Coimbra-Confluência, com um tempo final de percurso aproximado de 10 horas.

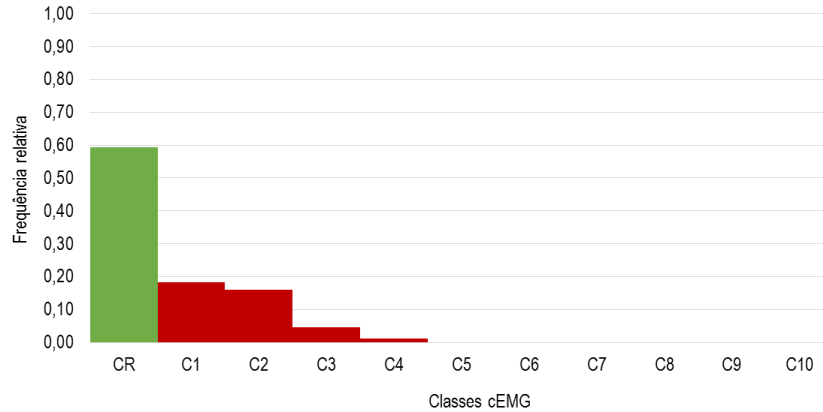


Figura 61. Distribuição dos valores de cEMG das *P. marinus* Pm5, por classes de atividade muscular, no troço Confluência-Palheiros, com um tempo final de percurso aproximado de 22 horas.

Seguidamente, apesar do indivíduo (Pm5) ter negociado com sucesso Palheiros, a descontinuidade e difícil monitorização nos diferentes locais não permitiu registar o seu comportamento em todo o troço de Palheiros-Louredo, tendo sido apenas possível registar alguns momentos da sua migração até jusante do açude do Louredo.

Contrariamente, através da lampreia Pm9 foram obtidos registos do troço completo. Este indivíduo percorreu cerca 9 621 metros em aproximadamente 11 horas. Obtidos os registos, foram contabilizados cerca de 7 locais de difícil transposição (i.e. riffles) e 2 curvas críticas no final do troço (Figura 63). Dos 7 riffles assinalados, verificou-se que a lampreia demorou entre 5 a 36 minutos a passar estes locais, demorando em média 17 minutos a transpor estes troços de rio com um fluxo mais turbulento e velocidades de correntes mais elevadas. Relativamente às 2 curvas, a lampreia demorou um tempo aproximado de 2h a percorrer estes troços. Durante o transeio a lampreia registou uma elevada atividade natatória, obtendo-se uma elevada frequência na classe 2 com 0,39 e um menor registo na classe R e 1 (F.R.=0,23 e 0,29, respetivamente), ao contrário do resultado obtido para a lampreia Pm5 no troço Confluência do Ceira -Palheiros (Figura 62).

Neste troço, a lampreia também alcançou um esforço muscular máximo idêntico em relação aos outros troços mencionados, ou seja, apresenta uma classe de cEMG de 4 (Figura 62).

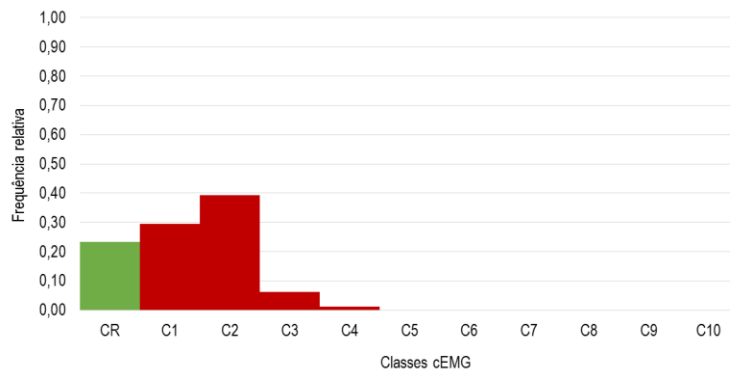


Figura 62. Distribuição dos valores de cEMG das *P. marinus* Pm9, por classes de atividade muscular, no troço Palheiros- Louredo, com um tempo final de percurso aproximado de 10 horas.

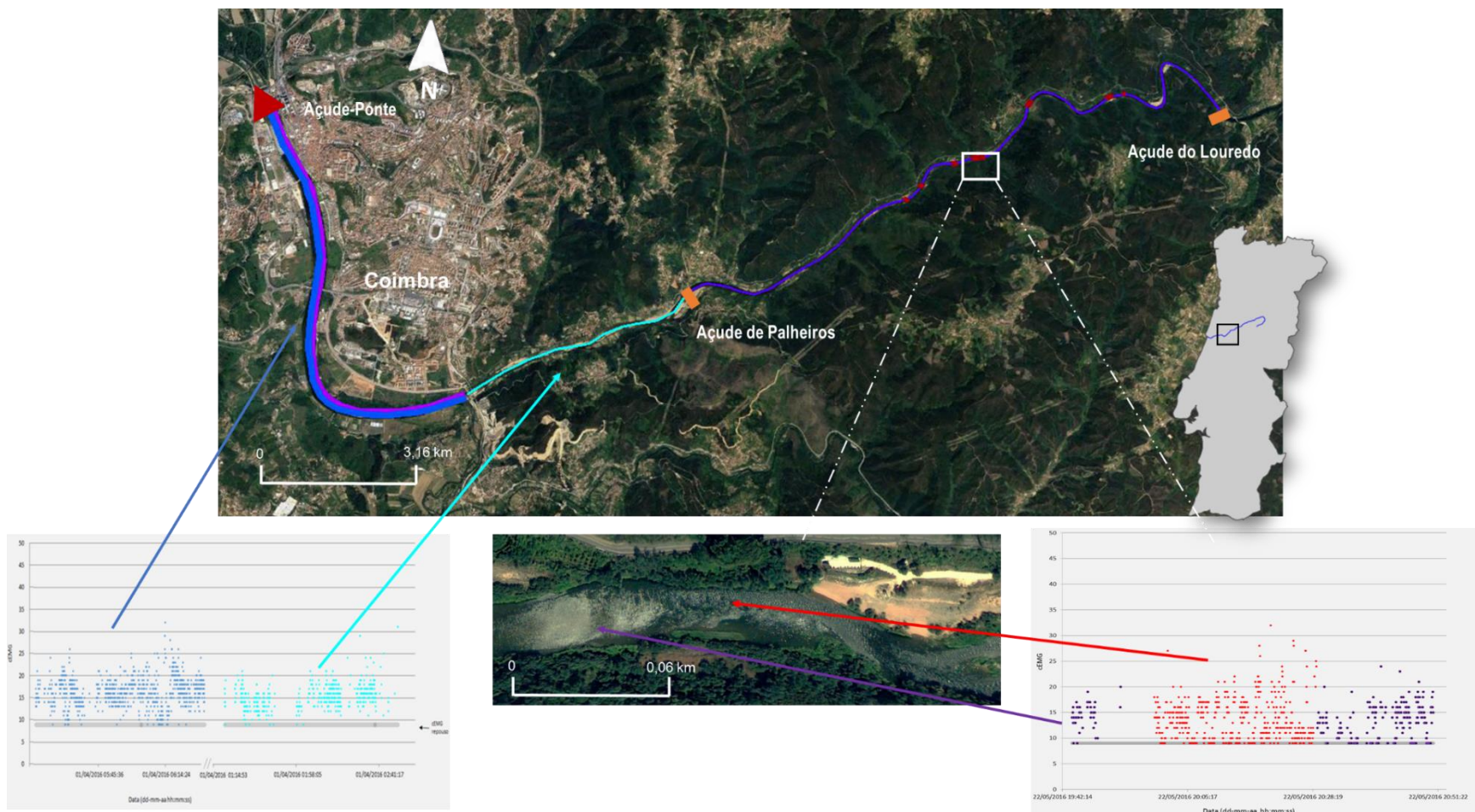


Figura 63. Mapa dos troços livres desde o Açude-Ponte de Coimbra até ao açude do Louredo associado a exemplos de registos de cEMG, adquiridos durante a monitorização contínua dos animais.

5. Discussão

5.1. Avaliação da eficiência de atração da PPPeixes técnica do Açude-Ponte de Coimbra

Neste estudo, com a aplicação de modelos estatísticos (BRT) foi possível identificar variáveis que parecem condicionar a eficiência de atração da PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra para a lampreia-marinha durante o pico migratório da espécie.

Através dos resultados obtidos observou-se que o preditor mais importante e que influencia determinantemente a utilização da passagem da espécie-alvo no Açude-Ponte é o caudal efluente total. Este preditor surge com 34,5% de percentagem relativa de explicação, seguido do período do dia (21,8%), turbidez (17%), a condutividade específica (13,7%) e a temperatura com 12,7%.

A atratividade da PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra para a lampreia-marinha parece aumentar quando o caudal efluente total atinge valores inferiores a 120 m³/s, aproximadamente. Esta relação entre o caudal efluente e o número de lampreias contabilizadas no interior da PPPeixes já tinha sido descrita por Cardoso (2014), não só para a mesma espécie como para outra espécie anádroma, o sável (*Alosa alosa*), e deve-se à dispersão do caudal pelas comportas do Açude-Ponte e, conseqüentemente, a atração ou desvio dos indivíduos para áreas afastadas da entrada da PPPeixes.

Outro fator que também influencia a entrada da espécie na PPPeixes foi o período do dia. Estudos realizados indicam que as lampreias se tornam ativas durante as horas de escuridão e evitam a luz durante o período diurno, procurando refúgios em locais sob rochas ou nas margens do rio (Almeida et al., 2000, 2002b). Desta forma, a atividade migratória começa ao escurecer e, em condições normais, termina ao raiar do dia (Almeida et al., 2000, 2002b). Porém, os resultados deste estudo permitiram identificar que a lampreia tornou-se mais ativa principalmente durante a noite fechada (NF), tendo também alguma atividade durante o raiar (RA) e o escurecer (E).

O modelo criado identificou a turbidez como a terceira variável com melhor percentagem de explicação apesar dos valores não difiram muito entre as restantes variáveis, condutividade específica e temperatura. Cardoso (2014) também já tinha identificado a turbidez como sendo pouco significativa com uma percentagem de explicação de variabilidade baixa, contudo, comparativamente com este estudo, esta percentagem é bastante mais reduzida (cerca de 2,95%).

Relativamente à temperatura da água, apesar de neste estudo apresentar uma percentagem explicativa baixa, vários estudos afirmam ser uma variável importante no desencadeamento do processo migratório desta espécie (Beamish, 1980). Na América do Norte, em Nova Brunswick, o pico de atividade para a lampreia marinha não foi observada até as temperaturas atingirem 17-19°C (Beamish, 1980). No entanto, de acordo com Santos et al. (2005) foram identificadas animais a migrar no rio Lima com temperatura acima dos 11°C, mostrando uma atividade pronunciada em 12-16°C. Porém, temperaturas acima destes valores podem reduzir a intensidade da migração e desova (Beamish, 1980). Outro estudo que corrobora esta afirmação é Cardoso (2004), dado haver um pico de resposta (i.e., aumento da atividade migratória) quando a água do rio Mondego atinge a temperatura de 15°C.

A condutividade específica identificada como tendo um efeito no sentido de despoletar o movimento, foi também descrita como tendo um efeito neste sentido.

Perante os resultados deste estudo, verifica-se que a existência de interações reforça a influência da utilização que a lampreia-marinha faz na PPPEixes do Açude-Ponte de Coimbra perante valores de caudais efluentes totais baixos (<50 m³/s) e temperaturas na ordem dos 15°C. A temperatura da água, sendo um fator importante na influência da atividade migratória da espécie, associado ou relacionado com o baixo caudal libertado no Açude-Ponte (<50 m³/s) e com a libertação do caudal de atração realizado pela passagem, irá permitir com que um número elevado de animais sejam atraídos e utilizem este dispositivo, aumentando assim a sua eficiência. Para os mesmos valores de temperatura e para valores elevados de caudais libertados no Açude-Ponte (>50 m³/s), apesar da atividade migratória da espécie, as lampreias-marinhas são atraídas ou desviadas para as áreas das comportas do Açude-Ponte, essencialmente para as comportas do meio que é onde o fluxo mais forte é libertado, impedindo dos animais encontrarem a entrada da PPPEixes, contribuindo assim para a redução de animais utilizadores da passagem e, conseqüentemente, a diminuição da eficiência do dispositivo.

Da mesma forma, a interação significativa entre o caudal e a condutividade específica, apesar da ausência de bibliografia, descreve uma utilização acentuada da PPPEixes para valores de caudal intermédios (entre 30 e 60 m³/s) e para valores de condutividade específica entre os 70 e 90 µS/cm.

5.2. Avaliação da eficiência das PPPEixes naturalizadas dos açudes do Mondego com recurso a radiotelemetria convencional

A utilização da radiotelemetria convencional permitiu avaliar o comportamento migratório da lampreia-marinha, em particular no que respeita à abordagem aos dispositivos de transposição e, no que diz respeito ao açude de Palheiros, identificar a eficiência de transposição deste obstáculo.

O número de indivíduos, pertencentes à subamostra de lampreias marcadas com rádio transmissores, que transpôs com sucesso o açude de Palheiros permite estimar uma eficiência de transposição na ordem dos 40%. Relativamente ao estudo realizado por Pereira et al. (2016), a eficiência de transposição desta passagem naturalizada é ligeiramente superior à da passagem técnica do Açude-Ponte de Coimbra (30%). Importa salientar que, por não ter sido monitorizado continuamente a posição das lampreias marcadas, não foi possível confirmar o local exato de transposição do açude de Palheiros, o que faz com que a eficiência indicada possa estar também associada à transponibilidade do açude pelo menos durante períodos de caudais mais elevados e não apenas da passagem propriamente dita.

No que diz respeito ao comportamento das lampreias a jusante de Palheiros avaliado pela distribuição transversal das mesmas ao longo do obstáculo, apesar de não ter havido um padrão visível na distribuição das lampreias associado a níveis de caudal distintos, a distribuição das lampreias visível no início do segundo momento de monitorização em Palheiros parece indicar uma prospeção dos animais relativamente ao local, isto é, as lampreias efetuaram uma análise percorrendo toda a área em Palheiros. Em seguida, a uniformização da distribuição das lampreias em Palheiros deve-se à familiarização ou reconhecimento do local.

Relativamente ao processo de negociação do açude de Palheiros, os resultados demonstraram um decréscimo tanto no número mínimo de tentativas realizadas pelas lampreias, como o número de indivíduos que negociou com sucesso o açude de Palheiros, o que sugere que após um número mínimo de 2 tentativas as lampreias aparentam perder o estímulo para tentar novamente a transposição do açude de Palheiros, retrocedendo para áreas ou troços mais a jusante. É relevante mencionar que estes resultados (número mínimo de tentativas realizadas pelas lampreias) poderão estar subvalorizados, uma vez que a monitorização realizada para este tipo de metodologia não é efetuada de um modo contínuo e, portanto, as lampreias poderão ter realizado mais tentativas para transpor o açude de Palheiros do que as mencionadas neste estudo.

De acordo com o estudo realizado por Almeida et al. (2000, 2002), através da utilização de dois tipos de metodologia (radiotelemetria convencional e PIT), determinou-se o tempo necessário para as lampreias-marinhas realizarem a migração entre Formoselha e o Açude-Ponte (2d 17h) e do Açude-Ponte à Barragem da Raiva (3d 12h). Pereira et al. (2016) constatou que o Açude-Ponte representou um maior atraso na migração dos animais, não só pelo tempo que as lampreias necessitaram para transpor este obstáculo (entre 11 e 14 dias) mas também pelos intervalos de tempos identificados de permanência a jusante do Açude-Ponte, correspondem no mínimo uma semana e meia, e no máximo um período de até três semanas.

A informação obtida no presente trabalho também permitiu identificar intervalos de tempos de permanência em Palheiros semelhantes ao estudo mencionado anteriormente. No presente estudo, 87,5% das lampreias bem-sucedidas na transposição do açude realizaram essa passagem em menos de 2 semanas, apenas uma lampreia acabou por transpor o açude ao fim de cerca de 21 dias. Estes resultados demonstram que quanto mais tempo os animais permanecem a jusante do obstáculo menor será a probabilidade de o transporem com sucesso, portanto, menor será a percentagem de indivíduos que consegue progredir a sua migração para montante.

Com o trabalho dirigido para analisar o comportamento das lampreias em Palheiros foi possível avaliar a distribuição espacial dos animais ao longo do açude, verificando-se que o Centro do açude foi o local onde os animais foram observados menos frequentemente (13%). Relativamente à movimentação das lampreias para a margem esquerda, essencialmente numa fase final da época migratória, o número de observações associadas a esta margem (26%) ao longo da época de estudo, pode estar relacionado com as características do substrato no leito encostado à margem esquerda (blocos de pedra) que aparentam ter as condições ideais para a construção de ninhos utilizado durante as atividades reprodutoras. Contudo, o local onde foram mais frequentemente observados animais foi na margem direita (61%), o que parece indicar que a passagem construída no açude de Palheiros não parece ter problemas no que respeita à sua atratividade.

Quanto aos indivíduos que transpuseram com sucesso Palheiros verificou-se um elevado tempo de permanência em Palheiros (59%) relativamente a jusante de Palheiros (30%). Contudo, os resultados em Palheiros demonstraram não ter havido uma elevada diferença nos tempos de permanência relativamente aos vários locais nas imediações do açude, pois uma vez que os animais acabaram por transpor o açude, permaneceram pouco tempo nos locais.

No que diz respeito aos animais que não transpuseram Palheiros verifica-se um elevado tempo de permanência a jusante de Palheiros (49%), comparativamente com o tempo de permanência verificado nas lampreias bem-sucedidas, indicando que as lampreias que não conseguem negociar o obstáculo não abandonam o local. Porém, em Palheiros registou-se um comportamento semelhante àquele que foi verificado para a totalidade das lampreias (n=26), na medida em que averiguou-se um elevado tempo

de permanência na margem direita (65%), seguido da margem esquerda (25%) e por último no Centro (11%). Desta forma é evidente que, apesar do pouco tempo despendido em Palheiros, as lampreias deslocaram-se preferencialmente para a zona da passagem para peixes, indicando assim a boa atratividade do dispositivo.

É de salientar que nenhum animal transpôs o açude do Louredo (nomeadamente a PPPeixes e o açude do Louredo), o que indica que, apesar das intervenções realizadas neste açude no âmbito do projeto, este continua a ser um obstáculo de difícil transposição para a espécie. Contudo, tendo em conta o número reduzido de animais que acabou por alcançar este obstáculo, considera-se não ser correto apresentar qualquer tipo de estimativa de eficiência do dispositivo porque muito provavelmente não seria representativa da realidade.

5.3. Análise comparada do comportamento na abordagem e transposição de passagem técnica versus passagem naturalizada com recurso à telemetria EMG

A utilização da telemetria com registo de eletromiogramas (EMG) permitiu fornecer informações sobre os comportamentos migratórios das lampreias durante a transposição das diferentes tipologias de PPPeixes com um detalhe ao nível da análise do esforço desenvolvido que não é possível obter com a técnica de telemetria convencional (Almeida et al., 2000, 2002; Quintella et al., 2004). Este tipo de informação é particularmente relevante para perceber o esforço desenvolvido durante a transposição dos obstáculos e as eventuais consequências que elevados gastos energéticos podem ter ao nível da continuação do movimento migratório para montante e/ou sucesso reprodutor.

Os resultados obtidos a jusante dos açudes estudados permitiram constatar que quando as lampreias se encontram a tentar transpor o Açude-Ponte de Coimbra pelos descarregadores, o esforço desenvolvido é mais exigente para o animal que o desenvolvido na proximidade do açude de Palheiros. Os elevados registos de EMG registados nestes locais devem-se muito provavelmente à elevada turbulência originada pela descarga de água no Açude-Ponte de Coimbra em particular, a uma escala mais reduzida também a jusante do açude de Palheiros, que provocam um comportamento oscilatório no corpo do animal mesmo quando este permanece agarrado a estruturas fixas através do seu disco oral (Almeida et al., 2005).

Apesar de neste estudo se descrever o comportamento dos animais a jusante e no interior das PPPeixes, não foi possível registar o comportamento à entrada da PPPeixes de Coimbra.

Porém, os dados adquiridos à entrada da PPPeixes de Palheiros evidenciam ser um local exigente no que respeita ao esforço desenvolvido pelas lampreias, tendo em conta os registos de EMG. Isto pode indicar a eventual necessidade de alterar a estrutura da passagem eventualmente com o prolongamento da rampa para jusante de forma a que o início do movimento, já no interior do dispositivo, seja realizado com condições hidráulicas mais favoráveis à transposição.

Os registos de elevado esforço muscular visíveis na PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra estão associados aos picos de intensa atividade aquando da passagem pelas fendas verticais (*slots*) entre bacias, ou seja, esforço sustentado pela musculatura branca (i.e. anaeróbio) durante a transposição das fendas entre bacias e do estreitamento associado à janela de monitorização na parte terminal do dispositivo. Desta forma, confirma-se uma característica comportamental típica, isto é, um

padrão caracterizado pela alternância entre curtos períodos de atividade intensa associados a períodos de reduzida atividade, ou repouso quando agarradas ao substrato, estrutura ou às paredes do dispositivo através do disco oral, constituindo uma forma de natação mais eficiente para a transposição de obstáculos naturais ou dispositivos para transposição de peixes (Almeida et al., 2005; Quintella et al., 2009; Pereira, 2014) (Figura 59). Outro motivo associado ao elevado esforço realizado deve-se ao fato deste dispositivo forçar a atividade natatória, ou seja, obriga os animais a nadarem e avançarem progressivamente por entre as bacias até abandonarem a passagem.

Em relação ao interior da PPPEixes de Palheiros também foi possível visualizar as características comportamentais típicas da lampreia-marinha, todavia, a observação do reduzido esforço ou o elevado repouso é associado à baixa exigência natatória induzida pela passagem e, conseqüentemente, elevada comodidade das lampreias no interior deste dispositivo.

O fator turbulência no interior das PPPEixes, para além de produzir elevados registos de EMG mesmo quando os animais mantêm a posição agarrados com o disco oral, também poderá alterar o comportamento da espécie-alvo, reduzir a capacidade natatória e impedir dos animais encontrarem áreas de repouso no caso de não possuírem níveis adequados ou valores dentro da gama de referência alegada para esta tipologia de passagens para peixes e para as espécies migradoras. Porém, este cenário não foi visível dado que as características das PPPEixes de Coimbra e de Palheiros permitem que as condições de velocidade e turbulência do escoamento permaneçam estáveis (<150 W/m³ e 400-600 W/m³, respetivamente), independentemente do nível de água no seu interior.

Os resultados adquiridos neste estudo parecem apontar para uma ausência de um padrão bem definido com a diminuição do tempo despendido por bacia e/ou esforço realizado na progressão no interior da PPPEixes de Coimbra, como havia já identificado por Pereira (2014) nos animais marcados em 2014 na PPPEixes do Açude-Ponte de Coimbra. Porém, neste estudo verificou-se uma diminuição no tempo de transposição das lampreias na PPPEixes de Coimbra, isto é, a Pm5 deteve um tempo de transposição de 19 horas comparativamente com as Pm6 e Pm7 que efetuaram a transposição do dispositivo em apenas 8 horas, aproximadamente. Outro resultado visível foi a superioridade do tempo médio de transposição destes animais marcados (12 horas, sensivelmente), comparativamente com os animais que transpuseram com sucesso a PPPEixes de Coimbra no ano de 2014 (cerca de 3 horas). As diferenças visíveis no tempo de transposição destas lampreias na passagem poderá dever-se ao estado fisiológico do animal, uma vez que a variação da temperatura nas datas em que os animais marcados em 2016 foram libertados não aparentam ser muito distintas (*Anexo II e Anexo III*).

No presente estudo averiguou-se que os troços livres Coimbra-Confluência do Ceira e Palheiros-Louredo apresentam ser, igualmente mais exigentes em termos energéticos para a espécie, tornando deste modo o troço livre Confluência do Ceira - Palheiros o menos exigente dos três troços no rio Mondego.

No troço Coimbra – Confluência do Ceira, de características lântica, foi observado um padrão de atividade constante semelhante aos tipos de locomoção de natação aeróbia sustentada e prolongada como descrito por Beamish (1978), dado a movimentação ser normalmente alimentada por músculos vermelhos aeróbios lentos (Quintella et al., 2004).

Este tipo de locomoção também foi visível no troço Palheiros-Louredo, contudo registou-se também uma alternância entre momentos de repouso e natação intensiva de modo a superar os locais de difícil transposição (i.e. *riffles*) presentes no troço do

rio (Almeida et al., 2005). No entanto, dado que a espécie consegue recuperar rapidamente de um exercício metabólico e respiração acidose, continuou a sua migração para montante (Almeida et al., 2005). Estes processos explicam o elevado esforço e o baixo repouso realizado pela lampreia Pm9 e ainda o reduzido tempo efetuado na negociação dos *riffles* encontrados no troço livre. Porém, o elevado tempo a transpor as curvas poderá dever-se ao cansaço acumulado na transposição dos obstáculos encontrados pelo percurso. Os resultados da monitorização desta lampreia (Pm9) permitiram afirmar que não houve a existência de um padrão definido que revele a diminuição do tempo despendido e esforço realizado na negociação de *riffles* e curvas. Porém é de realçar que este resultado teve por base dados de apenas uma lampreia, devendo ser interpretados com precaução e sendo necessária a obtenção de mais informação.

Por fim, o troço Confluência do Ceira - Palheiros apesar de possuir uma velocidade de corrente lótica e escassos obstáculos à migração para a espécie (i.e. *riffles*), as características do substrato permite às lampreias repousar após um período de natação livre, isto é, período de atividade muscular constante.

Para além disso outra explicação plausível para o tempo despendido em todos os percursos realizados pelas lampreias, dever-se-á, de acordo com Almeida et al. (2000, 2002), às lampreias com transmissores EMG migrarem mais lentamente do que com transmissores externos. É provável que a implantação interna possa afetar o desempenho da natação das lampreias, não só por ser uma técnica mais intrusiva, que pode provocar um *stress* adicional, mas também devido ao necessário período de recuperação após os procedimentos de marcação que podem alterar algum comportamento migratório normal da espécie (Almeida et al., 2005).

6. Considerações finais

No projeto “Reabilitação dos habitats de peixes diádtomos na bacia hidrográfica do Mondego”, onde está inserido o presente estudo, foram intervencionados 4 açudes no médio Mondego considerados como problemáticos para a migração da lampreia-marinha, implementando 4 novas PPPeixes (3 naturalizadas e 1 técnica). Este estudo possibilitou, a partir das metodologias aplicadas, compreender o comportamento, a diferentes escalas, da lampreia-marinha durante a transposição de duas tipologias distintas de PPPeixes.

O uso da metodologia de contagens visuais permitiu identificar o caudal efluente total como sendo o parâmetro que mais condiciona a eficiência de atração da PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra para a lampreia-marinha. Sendo uma variável gerida por vários intervenientes (aproveitamento Agueira-Raiva-Fronhas e Açude-Ponte), seria possível melhorar o funcionamento do dispositivo através da gestão ou modelação (na medida do possível) dos caudais libertados, beneficiando assim a gestão piscícola. No entanto, tendo em conta os resultados obtidos pelo modelo, de modo a maximizar a eficiência da PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra e a assegurar que o tempo despendido pelos animais a jusante da PPPeixes seja minimizado, seria desejável proceder à gestão dos caudais para valores inferiores 50 m³/s, durante o tempo em que a temperatura da água atinge-se valores na ordem dos 15°C e essencialmente no decorrer do pico de migração da espécie (período de maior utilização do dispositivo).

De acordo com os dados obtidos na radiotelemetria convencional, a eficiência da passagem naturalizada do açude de Palheiros foi de 40%, o que apesar de não ser uma eficiência elevada, apresenta ser superior à eficiência da passagem técnica do Açude-Ponte de Coimbra (30%).

Com base na informação recolhida e com o intuito de aumentar a eficiência da passagem, no futuro, é imprescindível realizar alguns ajustes, tendo como exemplos, no prolongamento das rampas para jusante incluindo linhas de blocos por forma a diminuir o fluxo de turbulência associado ao início da passagem ou proceder à redução da inclinação da passagem, o que iria implicar o aumento da extensão da rampa.

Nenhuma lampreia-marinha monitorizada negociou com sucesso o açude do Louredo. Apesar de o número de lampreias que atingiu o açude de Louredo ser reduzido e por isso os resultados não são completamente conclusivos, este estudo parece indicar que apesar das intervenções realizadas neste açude este pode continuar a ser um obstáculo de difícil transposição para a espécie. Como forma de mitigar esta situação, e sendo um açude sem nenhum uso associado propõe-se a sua remoção.

A utilização da telemetria de eletromiograma permitiu identificar que os locais tanto a jusante como no interior da PPPeixes do Açude-Ponte de Coimbra são mais exigentes em termos energéticos para os animais do que os respetivos locais em Palheiros. No entanto, os dados deverão ser interpretados com precaução, uma vez que a elevada turbulência originada pela descarga de água no Açude-Ponte e a variação de caudal produzidos pelo funcionamento da barragem da Raiva, provocam um comportamento oscilatório no corpo do animal quando este permanece imóvel (agarrados a estruturas fixas através do seu disco oral), sendo assinalado como elevado registo de EMG (Almeida et al., 2005).

Relativamente aos troços no rio Mondego, apesar de apresentarem características diferentes, averiguou-se que os troços livres Coimbra-Confluência do Ceira e Palheiros-Louredo verificaram-se ser igualmente exigentes para a espécie.

Esta tecnologia oferece informações detalhadas sobre movimentos e comportamento dos animais que podem ser usados para melhorar o *design* ou adaptar os critérios dimensionais das PPPeixes, permitindo uma passagem bem-sucedida para a espécie com o mínimo gasto de energia e eficiência máxima. Para além disso, este tipo de informação abrangente, também permitirá determinar onde e como podem ser modificadas estas infraestruturas hidráulicas para facilitar a migração da espécie (Quintella et al., 2009).

Adicionalmente, face à intensidade do furtivismo observado junto ao açude de Palheiros, é fundamental estabelecer uma fiscalização regular e eficiente, essencialmente onde há uma grande acumulação de animais e também em áreas identificadas como sendo zonas de difícil transposição. As ações de fiscalização devem incidir com particular destaque durante o pico de migração da espécie.

Como consideração futura, recomenda-se que seja efetuada a avaliação do comportamento e da performance da lampreia-marinha durante a transposição de PPPeixes instaladas nos açudes da Carvoeira e de Penacova, uma vez que este trabalho foi realizado praticamente na sua totalidade em Palheiros devido à intransponibilidade das lampreias monitorizadas no açude do Louredo.

A informação recolhida na PPPeixes de Palheiros, a identificação de características positivas e com especial incidência nas características negativas, poderá permitir que esta infraestrutura seja uma referência relativamente a intervenções futuras que possam vir a ser necessárias efetuar nas restantes passagens da mesma tipologia implementadas no rio Mondego, e para que a sua aplicação possa ser reproduzida noutros sistemas fluviais portugueses.

7. Referências bibliográficas

- Acolas, M., Begoutanras, M., Veron, V., Jourdan, H., Sabatie, M., & Bagliniere, J. (2004). An assessment of the upstream migration and reproductive behaviour of allis shad (L.) using acoustic tracking. *ICES Journal of Marine Science*, 61(8), 1291-1304. doi: 10.1016/j.icesjms.2004.07.023.
- Agostinho, A. A., Gomes, L. C., & Pelicice, F. M. (2007). *Ecologia e Manejo de Recursos Pesqueiros em Reservatórios do Brasil*. Maringá. Eduem.
- Alexandre, C. M., Quintella, B. R., Silva, A. T., Mateus, C. S., Romao, F., & Branco, P. (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., Ferreira, M. T., & Almeida, P. R. (2015). Life history of a cyprinid species in non-regulated and regulated rivers from permanent and temporary Mediterranean basins. *Ecohydrology*, 8(6), 1137-1153.
- Almeida, P. (1996). Estuarine movement patterns of adult thin-lipped grey mullet, *Liza ramada* (Risso) (Pisces, Mugilidae), observed by ultrasonic tracking. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 202(2), 137-150.
- Almeida, P. R., Silva, H. T., & Quintella, B. (2000). The migratory behaviour of the sea lamprey *Petromyzon marinus* L., observed by acoustic telemetry in River Mondego (Portugal). In: A. Moore and I. Russel (eds.) *Advances in fish telemetry*. CEFAS, Suffolk, 99-108.
- Almeida, P. R., & Quintella, B. R. (2002). Larval habitat of the sea lamprey (*Petromyzon marinus* L.) in the River Mondego (Portugal). *Freshwater fish conservation options for the future*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, 121-130.
- Almeida, P. R., Quintella, B. R., Dias, N. M., & Andrade, N. (2002a). The anadromous sea lamprey in Portugal: Biology and Conservation perspectives. *American Fisheries Society, Physiology Section, Bethesda, Maryland*, 49-58.
- Almeida, P. R., Quintella, B. R., & Dias, N. M. (2002b). Movement of radio-tagged anadromous sea lamprey during the spawning migration in the River Mondego (Portugal). In *Aquatic Telemetry*, 1 - 8. Springer Netherlands.
- Almeida, P. R., Quintella, B. R., Koed, A., & Andrade, N. O. (2005). Using electromyogram telemetry to study the spawning migration of sea lamprey (*Petromyzon marinus* L.). *Aquatic telemetry: advances and applications* (pp. 3-13). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations and COISPA *TECNOLOGIA & RICERCA*.
- Almeida, P. R., Póvoa, I., & Quintella, B. R. (2007). Laboratory protocol to calibrate sea lamprey (*Petromyzon marinus* L.) EMG signal output with swimming. *Hydrobiologia*, 582(1), 209-220. doi: 10.1007/s10750-006-0539-8.
- Almeida, P. R., Tomaz, G., Andrade, N. O., & Quintella, B. R. (2008). Morphological analysis of geographic variation of sea lamprey ammocoetes in Portuguese river basins. *Hydrobiologia*, 602(1), 47-59. doi: 10.1007/s10750-008-9285-4.
- Almeida, P. R. et al. (2016). Reabilitação dos Habitats de Peixes Diádomos na Bacia Hidrográfica do Mondego.
- American Rivers, Friends of the Earth, and Trout Unlimited (1999). *Dam Removal Success Stories: Restoring Rivers through Selective Removal of Dams That Don't Make Sense*. Washington (DC): AR/FE/TU.
- Andrade, N. O., Quintella, B. R., Ferreira, J., Pinela, S., Póvoa, I., Pedro, S., & Almeida, P. R. (2007). Sea lamprey (*Petromyzon marinus* L.) spawning migration in the Vouga river basin (Portugal): poaching impact, preferential resting sites and spawning grounds. *Hydrobiologia*, 582(581), 121-132.
- Andrén, H., Angelstam, P., Lindström, P., & Widen, P. (1985). Differences in predation pressure in relation to habitat fragmentation:

- an experiment. *Oikos*, 45,273–277.
- Arestrup, K., Lucas, M. C., & Hansen, J. A. (2003). Efficiency of a nature-like bypass channel for sea trout (*Salmo trutta*) ascending a small Danish stream studied by PIT telemetry. *Ecology of Freshwater Fish*, 12: 160–168.
- Barbosa, A., Ramos, C., & Jorge, G. (2004). Dimensionamento da Passagem de Peixes do Açude-Ponte de Coimbra. *Paper presented at the 7th National Water Congress*.
- Baril, D., & Gueneau, P. (1986). Radio-pistage de saumons adultes (*Salmo salar*) en Loire. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* (302), 86-105. doi: 10.1051/kmae:1986006.
- Beamish, R. J. (1980). Adult biology of the river lamprey (*Lampetra ayresii*) and the Pacific lamprey (*Lampetra tridentate*) from the Pacific coast of Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(11), 1906-1923.
- Beddow, T., & McKinley, R. (1999). Importance of electrode positioning in biotelemetry studies estimating muscle activity in fish. *Journal of Fish Biology*, 54(4), 819-831.
- Bednarek, A. T. (2001). Undamming Rivers: A Review of the Ecological Impacts of Dam Removal. *Environmental management*, 27(6), 803-814. doi: 10.1007/s002670010189.
- Bochechas, J., Ferreira, M. T., & Pinheiro, A. N. (1998). Gestão Ecohidráulica em Portugal: Diagnóstico e Principais Linhas de Actuação. In *Actas do 4º Congresso da Água, Portugal*.
- Booth, R. K., Scruton, D. A., Goosney, R., & McKinley, R. S. (1995). Measurement of red muscle activity and oxygen consumption in wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) in relation to swimming speed using radio transmitted EMG signals. *Biotelemetry XIII, International Society on Biotelemetry* (pp. 209-215).
- Booth, R. K., McKinley, R. S., Økland, F., & Sisak, M. M. (1997). In situ measurement of swimming performance of wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) using radio transmitted electromyogram signals. *Aquatic Living Resources*, 10(14), 213-219.
- Branco, P., Segurado, P., Santos, J. M., Pinheiro, P., & Ferreira, M. T. (2012). Does longitudinal connectivity loss affect the distribution of freshwater fish?. *Ecological Engineering*, 48, 70-78. doi: 10.1016/j.ecoleng.2011.05.008.
- Branco, P., Boavida, I., Santos, J. M., Pinheiro, A., & Ferreira, M. T. (2013). Boulders as building blocks: improving habitat and river connectivity for stream fish. *Ecohydrology*, 6(4), 627-634. doi: 10.1002/eco.1290.
- Brodeur, J. C., Okland, F., Finstad, B., Dixon, D. G., & Scott McKinley, R. S. (2001). Effects of subchronic exposure to aluminium in acidic water on bioenergetics of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 49(3), 226-234. doi: 10.1006/eesa.2001.2054.
- Brown, R. S., Geist, D. R., & Mesa, M. G. (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. *Pacific Northwest National Laboratory*.
- Brown, R. S., Tataru, C. P., Stephenson, J. R., & Berejikian, B. A. (2007). Evaluation of a New Coded Electromyogram Transmitter for Studying Swimming Behavior and Energetics in Fish. *North American Journal of Fisheries Management*, 27(3), 765-772. doi: 10.1577/m06-149.1.
- Brown, P. H., Tullos, D., Tilt, B., Magee, D., & Wolf, A. T. (2009). Modeling the costs and benefits of dam construction from a multidisciplinary perspective. *J. Environ. Manage*, 90 Suppl 3, S303-311. doi: 10.1016/j.jenvman.2008.07.025.
- Bubb, D. H., Lucas, M. C., Thom, T. J., & Rycroft, P. (2002). The potential use of PIT telemetry for identifying and tracking crayfish in their natural environment. *Hydrobiologia*, 483(481-483), 225-230.
- Bunt, C. M. (1999). A tool to facilitate implantation of electrodes for electromyographic telemetry experiments. *Journal of Fish*

- Biology*, 55, 1123–1128.
- Bunt, C. M., Katopodis, C., & McKinley, R. S. (1999). Attraction and passage efficiency of white suckers and smallmouth bass by two Denil fishways. *North American Journal of Fisheries Management*, 19(13), 793-803.
- Bunt, C. M., Castro-Santos, T., & Haro, A. (2012). Performance of Fish Passage Structures at Upstream Barriers to Migration. *River Research and Applications*, 28(4), 457-478. doi: 10.1002/rra.1565.
- Cabral, M. J., Almeida, J., Almeida, P. R., Dellinger, T., Ferrand de Almeida, N., Oliveira, M., Palmeirim, J., Queirós, A., Rogado, L., & Santos-Reis, M. (2005). Livro vermelho dos vertebrados de Portugal.
- Calles, E. O., & Greenberg, L. A. (2007). The use of two nature-like fishways by some fish species in the Swedish River Emån. *Ecology of Freshwater Fish*, 16(2), 183-190. doi: 10.1111/j.1600-0633.2006.00210.x.
- Cardoso, G. R. (2014). Monitorização da Passagem para Peixes do Açude-Ponte em Coimbra: Otimização da metodologia de contagem. *Universidade de Évora*.
- Castro-Santos, T., Cotel, A., & Webb, P. (2009). Fishway evaluations for better bioengineering: an integrative approach. *American Fisheries Society Symposium*, 69, 557–575.
- Clay, C. H. (1995). Design of fishways and other fish facilities. *Boca Raton, FL: Lewis Publishers*.
- Cooke, S. J., Thorstad, E. B., & Hinch, S. G. (2004). Activity and energetics of free-swimming fish: insights from electromyogram telemetry. *Fish and Fisheries*, 5(1), 21-52.
- Cucherousset, J., & Olden, J. D. (2011). Ecological impacts of nonnative freshwater fishes. *Fisheries*, 36(35), 215-230.
- De'Ath, G. (2007). Boosted trees for ecological modeling and prediction. *Ecology*, 88(1), 243-251.
- DGRM. (2007). Relatório de implementação do Regulamento (CE) nº 1100/2007, do Conselho, de 18 de setembro de 2007, que estabelece medidas para a recuperação da unidade populacional de enguia europeia.
- Dias, N. M., Quintella, B. R., & Almeida, P. R. (2003). Perspectivas de conservação da lampreia-marinha (*Petromyzon marinus*, L.) em Portugal. *Actas do 2º Congresso Nacional de Conservação da Natureza*.
- Dickman, C. R. (1987). Habitat fragmentation and vertebrate species richness in an urban environment. *Journal of Applied Ecology*, 24, 337–351.
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Marquéz, J. R. G., Gruber, B., Lafourcade, B., & Leitão, P. J. (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), 27-46.
- Doyle, M. W., Stanley, E. H., Orr, C. H., Selle, A. R., Sethi, S. A., & Harbor, J. M. (2005). Stream ecosystem response to small dam removal: Lessons from the Heartland. *Geomorphology*, 71(1-2), 227-244. doi: 10.1016/j.geomorph.2004.04.011.
- Duarte, A. A., Vieira, J. M., Neto, J. M., & Pardal, M. A. (2008). Monitorização da hidrodinâmica e da qualidade da água no estuário do rio Mondego.
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z., Knowler, D. J., Leveque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A. H., Soto, D., Stiassny, M. L., & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biol Rev Camb Philos Soc*, 81(2), 163-182. doi: 10.1017/S1464793105006950.
- Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J. R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L. G., Loiselle, B. A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Mc Overton, J. C. M., Townsend Peterson, A., Phillips, S. J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R. E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M. S., & Zimmermann, N. E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from

- occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151. doi: 10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x.
- Elith, J., Leathwick, J. R., & Hastie, T. (2008). A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, 77(4), 802-813.
- Elvira, B. (1995). Native and exotic freshwater fishes in Spanish river basins. *Freshwater Biology*, 33: 103–108.
- Elvira, B. (1998). Impact of introduced fish on the native freshwater fish fauna of Spain. In I. G. Cowx (Ed.), *Stocking and introduction of fish* (pp. 186–190): *Fishing News Books, Oxford*.
- Eskildsen, A., le Roux, P. C., Heikkinen, R. K., Høye, T. T., Kissling, W. D., Pöyry, J., Wisz, M. S., & Luoto, M. (2013). Testing species distribution models across space and time: high latitude butterflies and recent warming. *Global Ecology and Biogeography*, 22(12), 1293-1303. doi: 10.1111/geb.12078.
- Everhart, W. H., & Youngs, W. D. (1981). *Principles of fishery science*. Cornell University Press, Ithaca.
- FAO/DVWK. (2002). Fish Passes – Design, Dimensions and Monitoring (pp. 118). *FAO, Rome*.
- Ficke, A. D., Myrick, C. A., & Kondratieff, M. C. (2012). The effects of PIT tagging on the swimming performance and survival of three nonsalmonid freshwater fishes. *Ecological Engineering*, 48, 86-91. doi: 10.1016/j.ecoleng.2011.07.011.
- Forman, R. T. T., & Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*. New York, NY, USA: John Wiley and Sons, Inc.
- Forty, M., Spees, J., & Lucas, M. C. (2016). Not just for adults! Evaluating the performance of multiple fish passage designs at low-head barriers for the upstream movement of juvenile and adult trout *Salmo trutta*. *Ecological Engineering*, 94, 214-224. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.05.048.
- Foulds, W. L., & Lucas, M. C. (2013). Extreme inefficiency of two conventional, technical fishways used by European river lamprey (*Lampetra fluviatilis*). *Ecological Engineering*, 58, 423-433. doi: 10.1016/j.ecoleng.2013.06.038.
- Franklin, E. C., Jokiel, P. L., & Donahue, M. J. (2013). Predictive modeling of coral distribution and abundance in the Hawaiian Islands. *Marine Ecology Progress Series*, 481, 121-132.
- Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: a gradient boosting machine. *Annals of statistics*, 1189-1232.
- Froeschke, J., Stunz, G. W., & Wildhaber, M. L. (2010). Environmental influences on the occurrence of coastal sharks in estuarine waters. *Marine Ecology Progress Series*, 407, 279-292.
- Geist, D. R., Abernethy, C. S., Blanton, S. L., & Cullinan, V. I. (2000). The Use of Electromyogram Telemetry to Estimate Energy Expenditure of Adult Fall Chinook Salmon. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129(1), 126-135. doi: 10.1577/1548-8659(2000)129<0126:tuoett>2.0.co;2.
- Grant, G. (2001). Dam removal: Panacea or Pandora for rivers?. *Hydrological Processes*, 15(8), 1531-1532. doi: 10.1002/hyp.473.
- Hill, M. S., Zydlewski, G. B., Zydlewski, J. D., & Gasvoda, J. M. (2006). Development and evaluation of portable PIT tag detection units: PITpacks. *Fisheries Research*, 77(1), 102-109. doi: 10.1016/j.fishres.2005.08.001.
- Jager, H. I., Chandler, J. A., Lepla, K. B., & Winkle, W. V. (2001). A theoretical study of river fragmentation by dams and its effects on white sturgeon populations. *Environmental Biology of Fishes*, 60, 347–336.
- Jepsen, N., Koed, A., Thorstad, E. B., & Baras, E. (2002). Surgical implantation of telemetry transmitters in fish: how much have we learned?. *Aquatic Telemetry* (pp. 239-248): Springer.
- Jungwirth, M. (1996). Bypass channels at weirs as appropriate aids for fish migration in rhithral rivers. *Regulated Rivers: Research & Management*, 12(4-5), 483-492.
- Katopodis, C. (1992). Introduction to fishway design. *Freshwater Institute, Central and Arctic Region, Department of Fisheries and Oceans*.

- Katopodis, C. (2005). Developing a toolkit for fish passage, ecological flow management and fish habitat works. *Journal of Hydraulic Research*, 43(5), 451-467. doi: 10.1080/00221680509500144.
- Kircheis, F. W. (2004). Sea Lamprey *Petromyzon marinus* Linnaeus 1758. *FW Kircheis LLC, Carmel*.
- Kohavi, R. (1995). A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. *Paper presented at the Ijcai*.
- Kroes, M., Gough, P., Schollema, P., & Wanningen, H. (2006). From sea to source: Practical guidance for restoration of fish migration in European rivers. *Groningen: Interreg III C project "Community Rivers*.
- Laine, A., Jokivirta, T., & Katopodis, C. (2002). Atlantic salmon, *Salmo salar* L., and sea trout, *Salmo trutta* L., passage in a regulated northern river—fishway efficiency, fish entrance and environmental factors. *Fisheries Management and Ecology*, 9(2), 65-77.
- Lança, M. J., Rosado, C., Machado, M., Ferreira, R., Alves-Pereira, I., Quintella, B. R., & Almeida, P. R. (2011). Can muscle fatty acid signature be used to distinguish diets during the marine trophic phase of sea lamprey (*Petromyzon marinus*, L.)?. *Comp. Biochem. Physiol. B. Biochem. Mol. Biol.*, 159(1), 26-39. doi: 10.1016/j.cbpb.2011.01.006.
- Larinier, M. (1983). Guide pour la conception des dispositifs de franchissement des barrages pour les poissons migrateurs. *Bulletin Français de Pisciculture (Hors Serie)*, 1-39. doi: 10.1051/kmae:1983001.
- Larinier, M. (1998). Upstream and downstream fish passage experience in France Fish Migration and Fish Bypasses (pp. 127-145). *Fishing News Books, Blackwell Science Ltd, Oxford: M. Jungwirth, S. Schmutz and S. Weiss*.
- Larinier, M. (2000). Dams and Fish Migration. *World Commission on Dams, Toulouse, France*.
- Larinier, M. (2001). Environmental issues, dams and fish migration. *FAO fisheries technical paper*, 419, 445-489.
- Larinier, M., & Marmulla, G. (2004). Fish passes: types, principles and geographical distribution – an overview. *In Proceedings of the second international symposium on the management of large rivers for fisheries (Vol. II, pp. 183-206. RAP Publication)*.
- Larinier, M.; Courret, D. e P. Gomes (2006). Guide technique pour la Conception des passes naturelles. CEMAGREF.
- Leathwick, J., Elith, J., Francis, M., Hastie, T., & Taylor, P. (2006). Variation in demersal fish species richness in the oceans surrounding New Zealand: an analysis using boosted regression trees. *Marine Ecology Progress Series*, 321, 267-281.
- Leathwick, J., Elith, J., Chadderton, W., Rowe, D., & Hastie, T. (2008). Dispersal, disturbance and the contrasting biogeographies of New Zealand's diadromous and non-diadromous fish species. *Journal of Biogeography*, 35(8), 1481-1497.
- Lerer, L. B., & Scudder, T. (1999). Health impacts of large dams. *Environmental Impacts Assessment Review*, 19(12), 113-123.
- Levin, P. S., & Tolimieri, N. (2001). Differences in the impacts of dams on the dynamics of salmon populations. *Animal Conservation*, 4: 291–299.
- Lucas, M. C., & Baras, E. (2001). Migration of Freshwater Fishes. *Blackwell Science, Oxford, UK*.
- Marmulla, G. (2001). Dams, Fish and Fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution. *FAO fisheries technical paper*, 1–166.
- Mateus, C. S. (2007). Performance and swimming behaviour of the Iberian barbel (*Barbus bocagei* Steindachner, 1865) in an experimental pool-type fishway assessed by electromyogram telemetry. *BSc thesis. University of Évora, Évora, Portugal*.
- Mateus, C. S., Rodríguez-Muñoz, R., Quintella, B. R., Alves, M. J., & Almeida, P. R. (2012). Lampreys of the Iberian Peninsula: distribution, population status and conservation. *Endangered Species Research*, 16(2), 183-198. doi: 10.3354/esr00405.
- Mooney, H., Larigauderie, A., Cesario, M., Elmquist, T., Hoegh-Guldberg, O., Lavorel, S., Mace, G. M., Palmer, M., Scholes, R., &

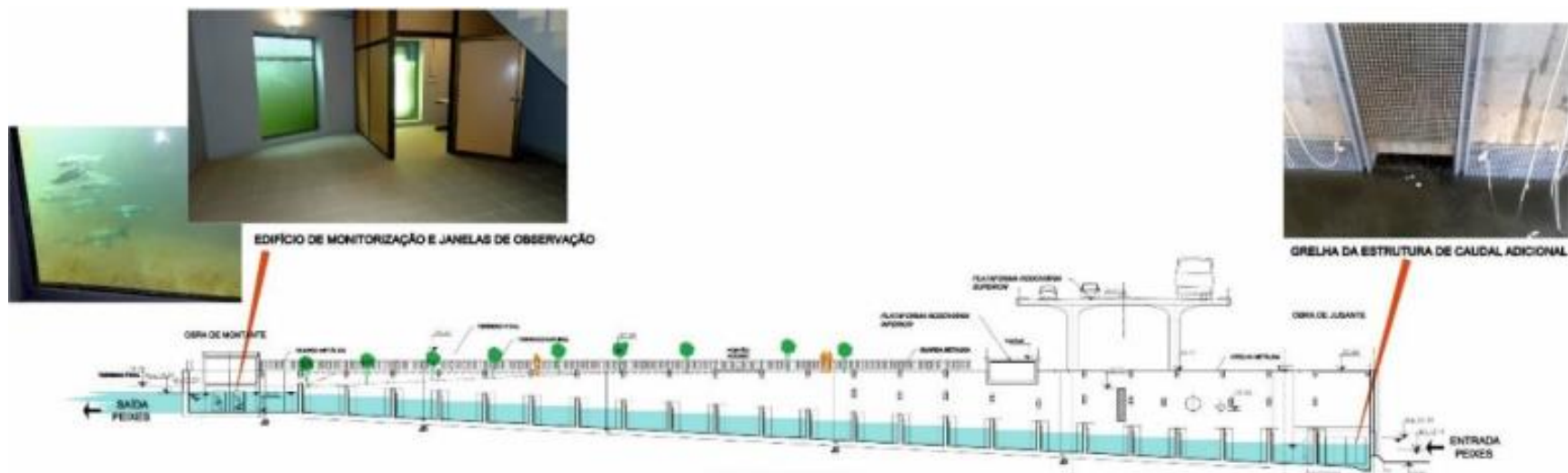
- Yahara, T. (2009). Biodiversity, climate change, and ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(1), 46-54. doi: 10.1016/j.cosust.2009.07.006.
- Morhardt, J. E., Bishir, D., Handlin, C. I., & Mulder, S. D. (2000). A Portable System for Reading Large Passive Integrated Transponder Tags from Wild Trout. *North American Journal of Fisheries Management*, 20(1), 276-283. doi: 10.1577/1548-8675(2000)020<0276:apsfml>2.0.co;2.
- Mueller, M., Pander, J., & Geist, J. (2011). The effects of weirs on structural stream habitat and biological communities. *Journal of Applied Ecology*, 48(6), 1450-1461. doi: 10.1111/j.1365-2664.2011.02035.x.
- Naughton, G. P., Caudill, C. C., Peery, C. A., Clabough, T. S., Jepson, M. A., Bjornn, T. C., & Stuehrenberg, L. C. (2007). Experimental evaluation of fishway modifications on the passage behaviour of adult Chinook salmon and steelhead at Lower Granite Dam, Snake River, USA. *River Research and Applications*, 23(1), 99-111. doi: 10.1002/rra.957.
- Nilsson, C., Reidy, C. A., Dynesius, M., & Revenga, C. (2005). Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, 308(5720), 405-408. doi: 10.1126/science.1107887.
- Noss, R. F., & Csuti, B. (1997). Habitat fragmentation. In G. K. Meffe & R. C. Carroll (Eds.), *Principles of Conservation Biology* (pp. 269–304). Sinauer, Sunderland, MA.
- O'Hanley, J. R. (2011). Open rivers: barrier removal planning and the restoration of free-flowing rivers. *J. Environ. Manage*, 92(12), 3112-3120. doi: 10.1016/j.jenvman.2011.07.027.
- O'Hanley, J. R., Wright, J., Diebel, M., Fedora, M. A., & Soucy, C. L. (2013). Restoring stream habitat connectivity: a proposed method for prioritizing the removal of resident fish passage barriers. *J. Environ. Manage*, 125, 19-27. doi: 10.1016/j.jenvman.2013.02.055.
- Økland, F., Finstad, B., McKinley, R. S., Thorstad, E. B., & Booth, R. K. (1997). Radio-transmitted electromyogram signals as indicators of physical activity in Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology*, 51, 476–488.
- Parravicini, V., Kulbicki, M., Bellwood, D., Friedlander, A., Arias-Gonzalez, J., Chabanet, P., Floeter, S., Myers, R., Vigliola, L., & D'Agata, S. (2013). Global patterns and predictors of tropical reef fish species richness. *Ecography*, 36(12), 1254-1262.
- Pejchar, L., & Warner, K. (2001). A river might run through it again: criteria for consideration of dam removal and interim lessons from California. *Environmental management*, 28(5), 561-575. doi: 10.1007/s002670010244.
- Pereira, E. (2014). Avaliação da eficiência da passagem para peixes do Açude-Ponte de Coimbra para espécies migradoras. *Universidade de Évora*.
- Pereira, E., Quintella, B. R., Mateus, C. S., Alexandre, C. M., Belo, A. F., Telhado, A., Quadrado, M. F., & Almeida, P. R. (2016). Performance of a Vertical-Slot Fish Pass for the Sea Lamprey *Petromyzon marinus* L. and Habitat Recolonization. *River Research and Applications*. doi: 10.1002/rra.3054.
- PGRH. (2011). Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis, Integrados na Região Hidrográfica 4.
- Pinheiro, P., Santos, J., & Ferreira, M (2004). Utilização de diferentes metodologias na avaliação da funcionalidade de passagens para peixes em Portugal. *Departamento de Engenharia Florestal. Instituto Superior de Agronomia*. 8 pp.
- Poff, N. L., & Hart, D. D. (2002). How Dams Vary and Why It Matters for the Emerging Science of Dam Removal An ecological classification of dams is needed to characterize how the tremendous variation in the size, operational mode, age, and number of dams in a river basin influences the potential for restoring regulated rivers via dam removal. *BioScience*, 52(8), 659-668. doi: 10.1641/0006-3568(2002)052[0659:HDVAWI]2.0.CO;2.
- Poff, N. L., Olden, J. D., Merritt, D. M., & Pepin, D. M. (2007). Homogenization of regional river dynamics by dams and global

- biodiversity implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(114), 5732-5737.
- Prentice, E. F., Flagg, T. A., & McCutcheon, S. (1990). PIT tag monitoring systems for hydroelectric dams and fish hatcheries. In A. E. G. Nick C. Parker, Roy C. Heidinger, Douglas B. Jester, Eric D. Prince, Gary A. Winans (Ed.), *Fish marking techniques* (Vol. 7, pp. 323-334): *American Fisheries Society Symposium 7. Bethesda, Maryland*.
- Quintella, B. R., Andrade, N. O., & Almeida, P. R. (2003). Distribution, larval stage duration and growth of the sea lamprey ammocoetes, *Petromyzon marinus* L., in a highly modified river basin. *Ecology of Freshwater Fish*, 12(14), 286-293.
- Quintella, B. R., Andrade, N. O., Koed, A., & Almeida, P. R. (2004). Behavioural patterns of sea lampreys' spawning migration through difficult passage areas, studied by electromyogram telemetry. *Journal of Fish Biology*, 65(64), 961-972.
- Quintella, B. R., Andrade, N. O., Espanhol, R., & Almeida, P. R. (2005). The use of PIT telemetry to study movements of ammocoetes and metamorphosing sea lampreys in river beds. *Journal of Fish Biology*, 66(61), 97-106.
- Quintella, B. R. (2006). Biology and conservation of sea lamprey (*Petromyzon marinus* L.) in Portugal. (Doctoral dissertation, PhD), *University of Lisbon, Lisbon*.
- Quintella, B. R., Mateus, C. S., Silva, A. T., Ferreira, M. T., & Almeida, P. R. (2009a). Assessing the behavioural response of the Iberian barbel (*Barbus bocagei*) in a pool-and-weir type fishway prototype using EMG telemetry (pp. 1585-1592). *Proceedings of the 33rd IAHR Congress. International Association of Hydraulic Engineering & Research (IAHR), Madrid*.
- Quintella, B. R., Póvoa, I., & Almeida, P. R. (2009b). Swimming behaviour of upriver migrating sea lamprey assessed by electromyogram telemetry. *Journal of Applied Ichthyology*, 25(1), 46-54. doi: 10.1111/j.1439-0426.2008.01200.x.
- Quintella, B., et al. (2014). ECOFLOW - Efeito ecológico do regime hidrológico na comunidade piscícola dos rios Portugueses. Projeto financiado pela EDP – Energias de Portugal, no âmbito da edição de 2011 do Fundo EDP Biodiversidade.
- Ridgeway, G. (2006). gbm: Generalized boosted regression models. *R package version*, 1(3).
- Rocha, J. S., & Freitas, H. (1998). O Rio Mondego. O ambiente fluvial e a sua ecologia. *Paper presented at the Congresso da água, Lisboa*.
- Rodriguez-Ruiz, A., & Granado-Lorencio, C. (1992). Spawning period and migration of three species of cyprinids in a stream with Mediterranean regimen (SW Spain). *Journal of Fish Biology*, 41(4), 545-556.
- Roscoe, D. W., & Hinch, S. G. (2010). Effectiveness monitoring of fish passage facilities: historical trends, geographic patterns and future directions. *Fish and Fisheries*, 11(1), 12-33. doi: 10.1111/j.1467-2979.2009.00333.x
- Ross, S. T. (1991). Mechanisms structuring stream fish assemblages: are there lessons from introduced species?. *Environmental Biology of Fishes*, 30(4), 359-368.
- Santo, M. (2005). Dispositivos de passagem para peixes em Portugal. *Direcção-Geral dos Recursos Florestais Lisboa: Editideias-Edição e Produção, Lda*.
- Santos, J. M. (2004). Effects of river regulation on fish assemblages in Central and Northern Portugal and the role of fish passes. *Doutoramento em Engenharia Florestal, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa*.
- Santos, J. M., Ferreira, M. T., Godinho, F. N., & Bochechas, J. (2005). Efficacy of a nature-like bypass channel in a Portuguese lowland river. *Journal of Applied Ichthyology*, 21(5), 381-388. doi: 10.1111/j.1439-0426.2005.00616.x
- Santos, J. M., Pádua, J., Oliveira, J. M., Rivaes, R., Arenas, R., Cabral, U., Ferreira, M. T., & Leite Marinho, A. (2014). Ascensor para peixes de Touvedo: padrões de utilização piscícola e eficácia. Paper presented at the 12.º Congresso da Água.
- Schilt, C. R. (2007). Developing fish passage and protection at hydropower dams. *Applied Animal Behaviour Science*, 104(3-4),

295-325. doi: 10.1016/j.applanim.2006.09.004.

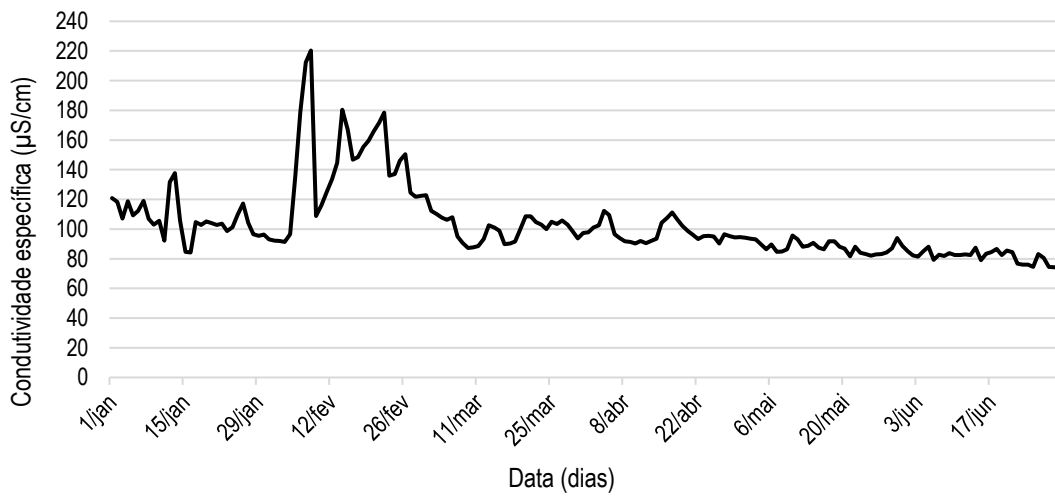
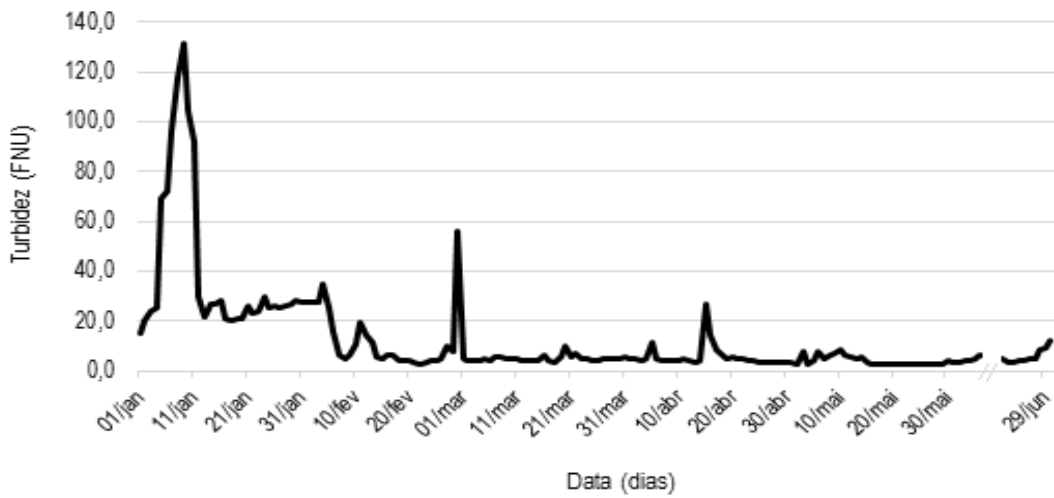
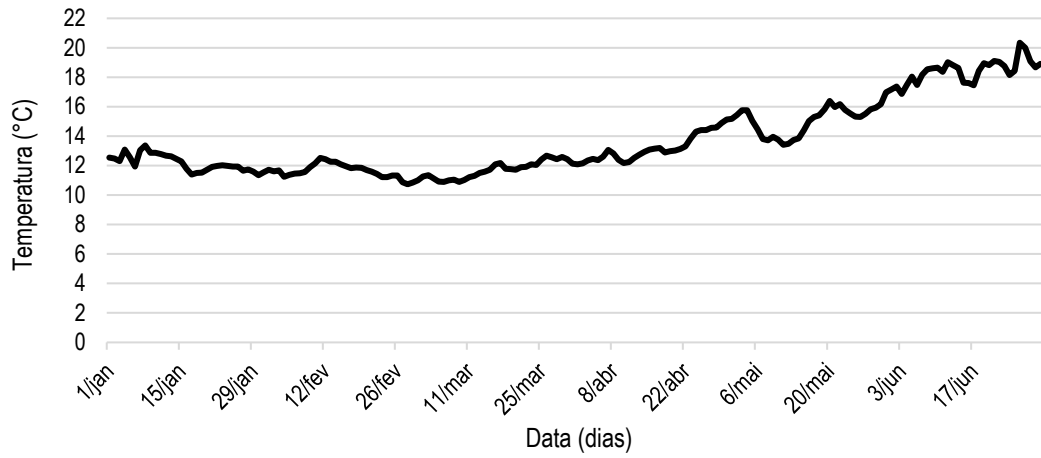
- Silva, A (2009). Ecohydraulics of pool-type fishways for the iberian barbel (*Luciobarbus bocagei steindachner*, 1864). Tese de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia- Universidade Técnica de Lisboa.184p
- Snelder, T. H., & Lamouroux, N. (2010). Co-variation of fish assemblages, flow regimes and other habitat factors in French rivers. *Freshwater Biology*, 55(4), 881-892.
- Solà, C., Ordeix, Q., Pou-Rovira, Q., Sellarès, N., Queral, A., & Bardina, M. (2011). Longitudinal connectivity in hydromorphological quality assessments of rivers. The ICF index: A river connectivity index and its application to Catalan rivers. *Limnetica*, 30(32), 273-292.
- Stanley, E. H., & Doyle, M. W. (2003). Trading off: the ecological effects of dam removal. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(1), 15-22.
- Stanley, E. H., Luebke, M.A., W., D. M., & Marshall, D. W. (2002). Short-term changes in channel form and macroinvertebrate communities following low-head dam removal. *Journal of the North American Benthological Society*, 21: 172– 187.
- Torgo, L. (2009). A Linguagem R-Programação para Análise de Dados. Lisboa: Escolar Editora, 203.
- Travade, F., Bomassi, P., Bach, J. M., Brugel, C., Stein-bach, P., Luquet, J. F., & Pustelnik, G. (1989). Use of radiotracking in France for recent studies concerning the EDF fishways program. *Hydroécologie Appliquée*, 1, 33-51.
- Travade, F., & Larinier, M. (2002). Monitoring techniques for fishways. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 364, 166-180.
- Trefethen, P. S. (1956). Sonic equipment for tracking individual fish. *Special Scientific Report of the U.S. Fish and Wildlife Service*, 179, 171-111.
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummings, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37: 130–137.
- Ward, J. V. (1989). The four-dimensional nature of lotic ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, 2-8.
- Ward, J. V., & Stanford, J. A. (1995). Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption. *Regulated Rivers: Research & Management*, 11: 105–119.
- Weatherley, A. H., Pincock, D. G., & Rogers, S. C. (1980). Use of telemetry in monitoring intensity and energetics of activity in free-swimming fish with reference to zinc pollution. *Canadian Technical Report on Fisheries and Aquatic Sciences*, 975, 162-170.
- Wilcove, D. S., McLellan, C. H., & Dobson, A. P. (1986). Habitat fragmentations in the temperate zone. In M. E. Soul, Sinauer, A. (Ed.), *The Science of Scarcity and Diversity* (pp. 237–256). Sunderland: Conservation Biology.

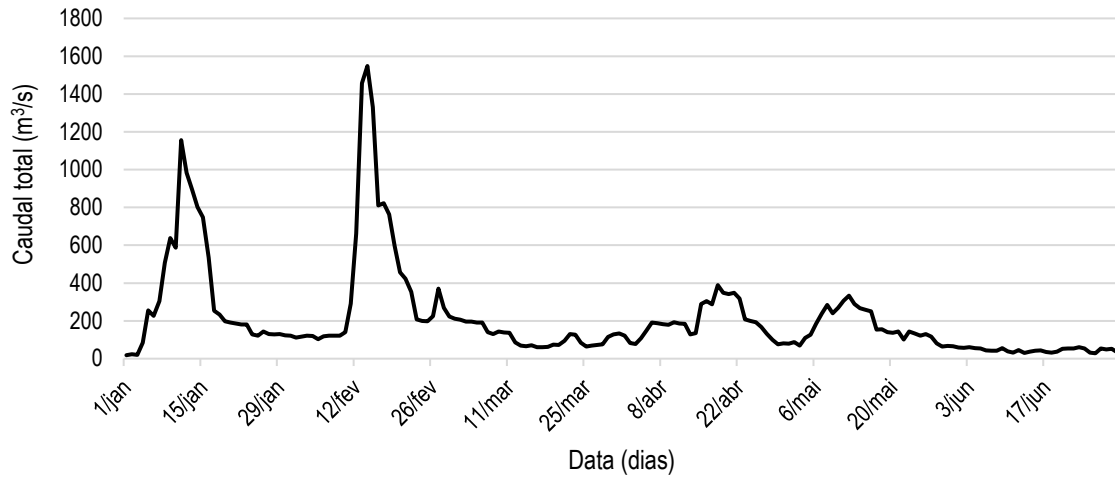
ANEXOS



Anexo I. Perfil longitudinal e planta da passagem para peixes do Açude-Ponte de Coimbra.

Anexo II. Registos dos dados abióticos (temperatura, turbidez e condutividade específica) e caudal médio diário do rio Mondego recolhidos entre os meses de janeiro e junho de 2016.





Anexo III. Registos dos dados de temperatura média diária do rio Mondego recolhidos entre os meses de janeiro e Maio de 2014.

