



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA

**Monitorização da Passagem para
Peixes do Açude-Ponte em Coimbra:
Otimização da metodologia de
contagem.**

Gabriela Ribeiro Cardoso

Orientação: Professor Doutor Pedro Raposo de Almeida

Coorientação: Doutor Bernardo R. Quintella

Mestrado em Gestão e Conservação dos Recursos Naturais

Dissertação

Évora, 2014



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA

**Monitorização da Passagem para
Peixes do Açude-Ponte em Coimbra:
Otimização da metodologia de
contagem.**

Gabriela Ribeiro Cardoso

Orientação: Professor Doutor Pedro Raposo de Almeida

Coorientação: Doutor Bernardo R. Quintella

Mestrado em Gestão e Conservação dos Recursos Naturais

Dissertação

Évora, 2014

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aqueles que durante esta longa jornada estiveram sempre do meu lado e que de alguma maneira tiveram a intenção de me ajudar contribuindo assim para a conclusão com sucesso desta minha etapa. Nomeadamente...

Ao Centro de Oceanografia por ser um centro de investigação de qualidade, constituindo um veículo para a concretização do trabalho de muitos investigadores. Ao Professor Doutor Henrique Cabral, coordenador do Centro de Oceanografia, por ter permitido a realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Pedro Raposo de Almeida principalmente pela oportunidade de trabalhar com a sua equipa nos projetos em curso, permitindo-me assim desenvolver a experiência e conhecimentos necessários para a conclusão da minha tese e que certamente serão úteis para a minha vida futura.

Ao Doutor Bernardo Quintella pelo apoio e conhecimentos transmitidos ao longo de todas as etapas deste processo.

Ao Carlos Alexandre pela total disponibilidade, exigência e paciência de todos os dias.

Ao Filipe Romão pela ajuda e por ser o primeiro a partilhar comigo a exigência desta metodologia. À Sara Basílio por toda a ajuda e dedicação. À Filipa Ferreira e Doutora Célia Teixeira pelos conhecimentos e experiência transmitidos. Ao Tiago Neves por estar sempre pronto a desenrascar-me com as suas habilidades e conhecimentos. E à restante equipa pela simpatia e preocupação.

Ao Engenheiro Carlos Batista e à Agência Portuguesa do Ambiente, I. P. pelo apoio técnico.

Aos meus colegas de turma de mestrado por partilharem comigo as mesmas dúvidas e dificuldades. Aos meus amigos por compreenderem e respeitarem o meu período de hibernação e por toda a força transmitida.

Aos meus pais por me proporcionarem esta oportunidade e me permitirem concentrar apenas neste objetivo oferecendo-me sempre todo o apoio. Em particular, à minha mãe por ser a companheira e amiga de todas as horas.

A ti Hilário, por tudo!!

Às minhas motivações e inspirações pela força que me concederam tornando todo este caminho possível.

RESUMO

Monitorização da passagem para peixes do Açude-ponte em Coimbra: Otimização da metodologia de contagem.

A procura de água conduziu à necessidade do represamento do recurso e à construção de barragens e açudes que comprometem a conectividade longitudinal e as movimentações das populações de peixes migradores. Este efeito pode ser mitigado pela construção de Passagens para Peixes (PPP).

O presente estudo, realizado no âmbito do Programa de Monitorização da Passagem para Peixes do Açude-Ponte de Coimbra, entre Janeiro e Junho de 2013, pretendeu otimizar a metodologia de contagem visual dos peixes que utilizam o dispositivo e relacionar essa utilização com variáveis abióticas.

A utilização da PPP por parte das espécies diádromas foi sobretudo regulada pelo caudal. Para as espécies potamódromas, além do caudal outros preditores foram identificados como a temperatura e a turbidez. O pico de utilização da PPP foram os meses de Março e Abril para a lampreia-marinha, Abril e Maio para o sável, savelha e barbo do Norte e entre Janeiro e Abril para a boga-comum.

Palavras-chave: barreiras, conectividade fluvial, peixes migradores, passagens para peixes, atratividade, monitorização, contagens visuais, Boosted Regression Trees

ABSTRACT

Monitoring of Açude-Ponte fishway in Coimbra: Optimization of counting methodology.

Water demand has led to the need of the impoundment of the resource and the construction of dams, that compromise the longitudinal connectivity of the rivers, impacting the populations of migratory fish. This effect can be mitigated with the construction of fishways.

This work, that was performed under the monitoring of the Açude-Ponte fishway in Coimbra, and between January and June of 2013, was intended to optimize the methodology of visual counting of the fish, and relate this pattern of use with abiotic variables.

The use of the fishway by the diadromous species was mainly regulated by the flow. For potamodromous species, in addition to the influence of flow, other predictors were identified, such as temperature and turbidity. The peak use of the fishway occurred in March and April for the sea lamprey, April and May for allis shad, twaite Shad and Iberian barbel and the period between January and April for Iberian nase.

Keywords: barriers, river connectivity, migratory fish, fishways, attractivity, monitoring, visual counts, Boosted Regression Trees

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
ÍNDICE DE TABELAS	XI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Conetividade fluvial	1
1.2. Passagens para peixes.....	4
1.2.1. Monitorização de uma passagem para peixes.....	8
1.3. Objetivos.....	14
2. METODOLOGIA.....	15
2.1. Área de estudo	15
2.2. Recolha e Análise de dados	33
2.2.1. Recolha de dados abióticos	33
2.2.2. Contagens visuais	34
2.2.3. Análise circadiana	36
2.2.4. Obtenção do comprimento total das lampreias-marinhas	36
2.2.5. Cálculo da biomassa total de lampreias-marinhas	38
2.2.6. Modelos explicativos-preditivos	39
3. RESULTADOS	48
3.1. Parâmetros abióticos	48
3.2. Transposição para montante	52
3.3. Relação comprimento-peso de lampreia-marinha	62
3.4. Modelos explicativos-preditivos.....	64
4. DISCUSSÃO	101
4.1. Épocas de migração	101
4.2. Utilização da PPP.....	104

<i>4.3. Modelos explicativos-preditivos</i>	105
<i>4.3.1. Performance dos modelos</i>	105
<i>4.3.2. Preditores que condicionam a utilização da PPP pelas espécies alvo</i>	106
<i>4.4. Comportamentos característicos</i>	112
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
6. BIBLIOGRAFIA	118
ANEXOS	XIII

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Plano esquemático do sistema de gravação de vídeo instalado numa estação de contagem com janela lateral (Travade & Larinier, 2002).....	13
Figura 2-Vista de jusante do Açude-Ponte de Coimbra.	16
Figura 3 - Pormenor de abertura de uma comporta no Açude-Ponte de Coimbra.	16
Figura 4 - PPP do Açude-Ponte com pormenor das bacias sucessivas e das fendas verticais que permitem a comunicação entre bacias.	17
Figura 5 – Imagem de satélite do Açude-Ponte de Coimbra onde é visível a jusante o canal de atracção (1), a entrada da PPP (2), as bacias sucessivas (3) e a saída da PPP junto à infraestrutura que apoia a monitorização hidráulica e biológica (4). Sentido do fluxo →.....	18
Figura 6 - Planta da estrutura de saída da passagem para peixes (montante).	18
Figura 7 - Saída da PPP a montante.	19
Figura 8 - Esquema do edifício de monitorização biológica e hidráulica.	19
Figura 9 - Interior da estação de monitorização (piso -1) e as duas janelas de visualização: à direita a sala de contagem e à esquerda a futura sala de visitas ao público.....	20
Figura 10 - Monitor, gravador e dispositivo de backup (disco externo).	21
Figura 11 - Camara de captação de imagens com sistema LED incorporado.	21
Figura 12 - Sonda multiparamétrica e respetivo procedimento de backup.	33
Figura 13 - Imagens da camara de monitorização antes (à esquerda) e depois (à direita) das tarefas de aperfeiçoamento relacionadas com a retroiluminação da janela de monitorização.	34
Figura 14 - Ficha de registo da curva de cada lampreia-marinha, correspondente ao comprimento total de cada individuo, segundo a escala (s) e (i).	37
Figura 15- Gráfico que expressa a relação comprimento-peso de lampreias-marinhas adultas (adaptado de Quintella, 2006).	38
Figura 16 - Registos da temperatura média diária do rio obtidos na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Fevereiro e Junho de 2013.....	50
Figura 17 - Registos da turbidez média diária do rio obtidos na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Fevereiro e Junho de 2013.	51
Figura 18 - Registos da condutividade específica média diária do rio obtidos na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Fevereiro e Junho de 2013.	51
Figura 19 - Registos de caudais médios diários do rio obtidos na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013.	51
Figura 20 - Espécies piscícolas que utilizaram a PPP do Açude-Ponte de Coimbra durante o período de estudo: lampreia-marinha, <i>Alosa spp.</i> , barbo do Norte, boga-comum, muge, truta, enguia-europeia, carpa achigã e perca-sol.	52
Figura 21 - Distribuição diária de passagens (linha preta) e percentagem acumulada de passagens (linha azul) de lampreia-marinha na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013.	56

Figura 22 - Distribuição diária de passagens (linha preta) e percentagem acumulada de passagens (linha azul) de <i>Alosa spp.</i> na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013.....	56
Figura 23 - Distribuição diária de passagens (linha preta) e percentagem acumulada de passagens (linha azul) de barbo do Norte na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013.....	57
Figura 24- Distribuição diária de passagens (linha preta) e percentagem acumulada de passagens (linha azul) de boga-comum na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013.....	57
Figura 25 - Distribuição diária de passagens (linha preta) e percentagem acumulada de passagens (linha azul) de muge na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013.....	58
Figura 26-Distribuição diária de passagens (linha preta) e percentagem acumulada de passagens (linha azul) de enguia-europeia na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho 2013.....	58
Figura 27 - Distribuição diária de passagens (linha preta) e percentagem acumulada de passagens (linha azul) de truta-de-rio na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013.....	59
Figura 28 - Distribuição circadiana dos movimentos para montante detetados na PPP de lampreia-marinha, <i>Alosa sp.</i> , barbo do Norte, boga-comum e muge, ao longo do período de estudo. Para algumas espécies, o número total de animais que passou para montante através da PPP do Açude-Ponte difere do número de animais utilizado nesta análise. Esta situação é mais evidente nas lampreias-marinhas devido ao elevado número de registos de movimentos no sentido de montante, derivado das várias tentativas que cada animal executa antes de concretizar efetivamente a passagem para montante.....	60
Figura 29 - Distribuição do comprimento total da subamostra de 1000 lampreias-marinhas medidas.....	62
Figura 30 - Distribuição do peso total estimado a partir da relação peso-comprimento calculada por Quintella (2006) para a subamostra de 1000 lampreias-marinhas cujo comprimento total foi calculado.....	63
Figura 31 - Demonstração gráfica do método de validação cruzada (cv) ajustado para o modelo da lampreia-marinha, que identifica o número óptimo de árvores (linha verde) em que o erro preditivo é o menor (linha vermelha) para um nível de complexidade da árvore (tc).....	68
Figura 32 - 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 4 e uma taxa de aprendizagem (lr) de 0.005. PerDia – período do dia, CondEsp – Condutividade Especifica, CicLun – ciclo lunar, Turb – Turbidez, Temp – Temperatura, Caudtot. 2h – Caudal total com desfasamento de 2 horas.....	68
Figura 33 - Demonstração gráfica do desenvolvimento da performance do modelo da lampreia-marinha, perante a remoção de 4 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.....	69
Figura 34 - Gráficos de dependência parcial para as variáveis preditivas do modelo da lampreia-marinha. O eixo do y está representada uma escala logit e encontra-se centrado para ter média de zero na distribuição dos dados. Caudtot. 2h – Caudal total com desfasamento de 2 horas; Temp – Temperatura; Turb – Turbidez; CicLun – ciclo lunar, em que LC – Lua cheia, LN –	

Lua nova, QC – Quarto crescente, QM – Quarto minguante; CondEsp – Condutividade Especifica; PerDia – período do dia, em que DC- Dia claro, E – Escurecer, NF – Noite fechada, RA – Raiar da aurora.....	70
Figura 35 - Gráficos tri-dimensionais das interações consideradas mais significativas no modelo da lampreia-marinha; a) turbidez e temperatura e b) Caudal total desfasado 2 horas e turbidez. Temp – Temperatura, Turb – Turbidez.....	72
Figura 36 - Distribuição diária de passagens (linha preta), previsão da distribuição diária de passagens (linha amarela), e distribuição diária do desvio entre os valores observados e valores de previsão (linha vermelha) das passagens de lampreia-marinha na PPP do Açuce-Ponte de Coimbra entre 5 de Fevereiro e 2 de Junho de 2013.....	73
Figura 37 - Demonstração gráfica do método de validação cruzada (cv) ajustado para o modelo da <i>Alosa spp.</i> , que identifica o número óptimo de árvores (linha verde) em que o erro preditivo é o menor (linha vermelha) para um nível de complexidade da árvore (tc) de 5 e uma taxa de aprendizagem (lr) de 0,001.	77
Figura 38 - Contribuição relativa (%) das variáveis preditivas para o modelo de <i>Alosa spp.</i> desenvolvido a partir do método de validação cruzada, usando um nível de complexidade da árvore (tc) de 5 e uma taxa de aprendizagem (lr) de 0,001. PerDia – período do dia; CicLun – ciclo lunar, CondEsp – Condutividade Especifica, Turb – Turbidez, Temp – Temperatura, Caudtot. 4h – Caudal total com desfasamento de 4 horas.....	77
Figura 39 - Demonstração gráfica do desenvolvimento da performance do modelo de <i>Alosa spp.</i> perante a remoção de 4 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.....	78
Figura 40 - Contribuições médias relativas (%) de cada uma das duas variáveis abióticas do modelo BRT simplificado para <i>Alosa spp.</i> Temp – temperatura, Cautot. 4h – Caudal total com desfasamento de 4 horas.....	78
Figura 41 - Gráficos de dependência parcial para as variáveis preditivas do modelo de <i>Alosa spp.</i> O eixo dos yy está representado numa escala logit e encontra-se centrado para ter média de zero na distribuição dos dados. Caudtot. 4h – Caudal total com desfasamento de 4 horas, Temp – Temperatura.	80
Figura 42 - Gráficos tri-dimensionais das interações consideradas mais significativas no modelo de <i>Alosa spp.</i> Temp – Temperatura, Caudtot. 4h – Caudal total com desfasamento de 4 horas.....	80
Figura 43 - Distribuição diária de passagens (linha preta), previsão da distribuição diária de passagens (linha amarela), e distribuição diária do desvio entre os valores observados e valores de previsão (linha vermelha) das das passagens de <i>Alosa spp.</i>	82
Figura 44 - Demonstração gráfica do método de validação cruzada (cv) ajustado para o modelo da barbo do Norte, que identifica o número óptimo de árvores (linha verde) em que o erro preditivo é o menor (linha vermelha) para um nível de complexidade da árvore (tc) de 5 e uma taxa de aprendizagem (lr) de 0,005.	86
Figura 45 - Contribuição relativa (%) das variáveis preditivas para o modelo de barbo do Norte desenvolvido a partir do método de validação cruzada, usando um nível de complexidade da árvore (tc) de 5 e uma taxa de aprendizagem (lr) de 0,005. PerDia – período dia; CicLun – ciclo lunar, CondEsp – Conduividade Especifica, Turb – Turbidez, Temp – Temperatura, Caudtot. 4h – Caudal total com desfasamento de 4 horas.....	86

Figura 46 - Demonstração gráfica do desenvolvimento da performance do modelo de barbo do Norte perante a remoção de 4 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.....	87
Figura 47 - Gráficos de dependência parcial para as variáveis preditivas do modelo de barbo do Norte. O eixo dos yy está representado numa escala logit e encontra-se centrado para ter média de zero na distribuição dos dados. Caudtot. 2h – Caudal total; Temp – Temperatura; CondEsp – Condutividade Especifica; Turb – Turbidez; PerDia – período do dia, em que DC- Dia claro, E – Escurecer, NF – Noite fechada, RA – Raiar da aurora; CicLun – ciclo lunar, em que LC – Lua cheia, LN – Lua nova, QC – Quarto crescente, QM – Quarto minguante.....	88
Figura 48 - Gráficos tri-dimensionais das interações consideradas mais significativas no modelo da barbo do Norte. CondEsp – Condutividade Especifica, Temp – Temperatura.	89
Figura 49 - Distribuição diária de passagens (linha preta), previsão da distribuição diária de passagens (linha amarela), e distribuição diária do desvio entre os valores observados e valores de previsão (linha vermelha) das das passagens de barbo do Norte na PPP do Açude-ponte em Coimbra entre 11 de Fevereiro e 28 de Maio de 2013.	90
Figura 50 - Demonstração gráfica do método de validação cruzada (cv) ajustado para o modelo da boga-comum, que identifica o número óptimo de árvores (linha verde) em que o erro preditivo é o menor (linha vermelha) para um nível de complexidade da árvore (tc) de 5 e uma taxa de aprendizagem (lr) de 0,01.	94
Figura 51 - Contribuição relativa (%) das variáveis preditivas para o modelo de boga-comum desenvolvido a partir do método de validação cruzada, usando um nível de complexidade da árvore (tc) de 5 e uma taxa de aprendizagem (lr) de 0,01. PerDia – período do dia ; CicLun – ciclo lunar, CondEsp – Condutividade Especifica, Turb – Turbidez, Temp – Temperatura, Caudtot. 4h – Caudal total com desfasamento de 4 horas.....	94
Figura 52 - Demonstração gráfica do desenvolvimento da performance do modelo de boga-comum perante a remoção de 4 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.....	95
Figura 53 - Gráficos de dependência parcial para as variáveis preditivas do modelo de Alosa sp.. O eixo dos yy está representado numa escala logit e encontra-se centrado para ter média de zero na distribuição dos dados. Turb – Turbidez; Temp – Temperatura; Caudtot. – Caudal total; CondEsp – Condutividade Especifica; PerDia – período do dia, em que DC- Dia claro, E – Escurecer, NF – Noite fechada, RA – Raiar da aurora; CicLun – ciclo lunar, em que LC – Lua cheia, LN – Lua nova, QC – Quarto crescente, QM – Quarto minguante.	96
Figura 54 - Gráficos tri-dimensionais das interações consideradas mais significativas no modelo da boga-comum; a) turbidez e temperatura e b) condutividade específica e temperatura. CondEsp – Condutividade Especifica, Turb – Turbidez, Temp – Temperatura.....	98
Figura 55 -- Distribuição diária de passagens (linha preta), previsão da distribuição diária de passagens (linha amarela), e distribuição diária do desvio entre os valores observados e valores de previsão (linha vermelha) das passagens de boga-comum na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre 12 de Fevereiro e 27 de Maio de 2013.	99
Figura 56 - Enguia-europeia a refugiar-se na fenda entre o vidro da janela de visualização e a rampa de passagem da PPP.	102
Figura 57 - Detritos e lixos de grande dimensão no interior da PPP do Açude-Ponte em Coimbra.....	113

Figura 58 – Movimento caracterizado como tentativa de transposição da PPP do Açude-Ponte de Coimbra por uma lampreia-marinha: 1-lampreia arrastada para jusante; 2 – lampreia fixa no vidro da sala de monitorização da PPP; 3 e 4 – Movimento para montante e nova tentativa de transposição da PPP. 113

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo das tipologias de soluções técnicas mais utilizadas que permitem a transposição da ictiofauna e mitigação do efeito barreira	6
Tabela 2 - Métodos de recolha de informação biológica, utilizados na monitorização de passagens para peixes (adaptado de Travade, 2002)	10
Tabela 3 - Espécies piscícolas presentes no Rio Mondego. Para cada espécie é indicado o taxon, o nome comum, a fenologia e o estatuto de conservação (Cabral et al., 2005)	22
Tabela 4 - Épocas de migração das espécies mais abundantes presentes no Rio Mondego referidas na bibliografia (Almeida, 1996; Almeida et. al., 2000; Aprahamian et. al., 200; Rodriguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992; Lobon-Cervia & Elvira, 1986; Tesch, 2003; Kottelat & Freyhof, 2007)	39
Tabela 5 - Variáveis ambientais candidatas à utilização nos modelos explicativos – preditivos	41
Tabela 6 - Caracterização dos parâmetros de ajuste dos modelos BRT	44
Tabela 7 - Parâmetros utilizados para avaliar a performance preditiva do modelo e respectiva condição que indica boa performance (Leathwick, et. al. 2006; Abeare, 2009; Pinkerton, et. al. 2010; Rodil, et. al. 2012)	45
Tabela 8 - Registo mensal dos parâmetros recolhidos entre Fevereiro e Junho de 2013 pela sonda multiparamétrica instalada na PPP do Açude-ponte em Coimbra. Dados retirados de uma amostra que inclui dois registos horários, excluindo o caudal, que apresenta um registo por hora. A ausência de dados de temperatura, turbidez e condutividade específica em Janeiro deve-se ao facto da sonda multiparamétrica ter sido instalada apenas a 5 de Fevereiro de 2013,.....	49
Tabela 9 - Frequência de movimentos para montante na PPP Açude-ponte em Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013 (dados mensais)	54
Tabela 10 - Resultados da análise de correlação de Spearman entre os 11 preditores inicialmente selecionados para incluir nos modelos BRT para cada espécie. As correlações superiores em valor absoluto a 0,8 encontram-se, assinaladas por *	65
Tabela 11 - Características da matriz utilizada na construção do modelo de lampreia-marinha	66
Tabela 12 - Comparação da performance preditiva dos modelos de lampreia-marinha tendo em conta o cv deviance, o cv correlation 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	67
Tabela 13 - Interações entre pares de variáveis preditivas.....	71
Tabela 14 - Performance preditiva do modelo explicativo-preditivo da lampreia-marinha	74
Tabela 15 - Características da matriz utilizada na construção do modelo de <i>Alosa spp.</i>	75
Tabela 16 - Comparação da performance preditiva dos modelos de <i>Alosa spp.</i> tendo em conta o cv deviance, o cv correlation 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	76
Tabela 17 - Performance preditiva do modelo base (seis variáveis) e do modelo simplificado (duas variáveis), avaliados por validação cruzada com 10 partições e uma lr de 0.001 e Tc de 5,	79

Tabela 18- Performance preditiva do modelo explicativo-preditivo da <i>Alosa spp.</i> ,.....	83
Tabela 19 - Características da matriz utilizada na construção do modelo de abundância de barbo do Norte	84
Tabela 20 - Comparação da performance preditiva dos modelos de barbo do Norte tendo em conta o cv deviance, o cv correlation 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	85
Tabela 21 - Interações entre pares de variáveis preditivas	88
Tabela 22 - Performance preditiva do modelo explicativo-preditivo do barbo do Norte	91
Tabela 23 - Características da matriz utilizada na construção do modelo de abundância de boga-comum	92
Tabela 24 - Comparação da performance preditiva dos modelos de boga-comum tendo em conta o cv deviance, o cv correlation 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	93
Tabela 25 - Interações entre pares de variáveis preditivas	97
Tabela 26 - Performance preditiva do modelo explicativo-preditivo da boga-comum,	100
Tabela 27 - Épocas de migração das espécies mais abundantes presentes no Rio Mondego referidas na bibliografia (Lobon-Cervia & Elvira, 1986; Rodriguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992; Almeida, 1996; Almeida et. al., 2000; Aprahamian et. al., 2000; Tesch, 2003; Kottelat & Freyhof, 2007) e épocas de passagem observadas na PPP do Açude-Ponte em Coimbra	103
Tabela 28 - Avaliação da performance dos modelos de lampreia-marinha, <i>Alosa spp.</i> , barbo do Norte e boga-comum	105

1. INTRODUÇÃO

1.1. *Conetividade fluvial*

De acordo com o relatório das Nações Unidas, “World Population Prospects: The 2008 Revision”, a população mundial atual de 7,2 bilhões irá aumentar 1 bilhão nos próximos 12 anos, alcançando 8,3 bilhões em 2030 e 9,1 bilhões em 2050 (UNDESA, 2009). O crescimento populacional implica a necessidade crescente de recursos. E para uma população que cresce 80 milhões por ano, a necessidade de água é de cerca de 64 bilhões de metros cúbicos por ano (WWAP, 2009).

De forma a satisfazer as necessidades populacionais, ao longo dos tempos, os rios têm sido mais explorados do que qualquer outro ecossistema (Jungwirth, 1998). Os ecossistemas ribeirinhos são considerados muito valiosos porque para além de proporcionarem o fornecimento de água potável, desempenham também outros serviços, tal como, o transporte de água, de sedimento e de nutrientes do continente para o mar; proporcionam a exploração de recursos piscícolas; disponibilizam corredores de navegação; são uma fonte de hidroenergia; fornecem água para irrigação; e, por fim, apresentam características recreacionais (Allan & Castillo, 2007).

A procura crescente do fornecimento de água, adicionada à ameaça das alterações climáticas, conduziu à necessidade do represamento do recurso e à construção de infra-estruturas hidráulicas, tais como, barragens e açudes (Branco *et al.*, 2012). Ao longo do século XX, estas infra-estruturas foram vistas como um símbolo de modernização e como uma das mais importantes ferramentas de gestão de recursos hídricos (WCD, 2000). Estas representam um benefício elevado para a sociedade, na medida que armazenam água para redistribuição durante os períodos de seca, para utilização no sector agrícola e no sector industrial; proporcionam o controlo das cheias, facilitam a navegabilidade nos rios e permitem a geração de energia (Graf, 2003). Para além de benefícios diretos, a construção destas infra-estruturas cria emprego e acessibilidades a comunidades rurais, como estradas e escolas (WCD, 2000). O relatório de 2000 da World Commission of Dams, estima que existam cerca de 45000 barragens em todo o mundo e que estas infra-estruturas geram 19% do total da energia. As barragens apresentam diversos volumes e regimes de uso. No caso concreto de Portugal o objetivo principal do represamento de água é a produção hidroelétrica (Ferreira *et al.*, 2000).

As barragens e açudes, apesar de fornecerem um vasto número de benefícios para as populações, também acarretam custos sociais, impedindo o acesso ao recurso, deslocando pessoas, causando desemprego e desarticulações sociais (Brown *et al.*, 2009). Por outro lado, os

impactos ambientais são igualmente ou ainda mais significativos que os custos sociais. A presença de uma barreira cria alterações nas condições físicas, químicas e biológicas a montante e a jusante da infra-estrutura. A alteração física do habitat é tida como a ameaça mais significativa à biodiversidade e às funções do ecossistema (Hayes *et. al.*, 2006; Allan & Castillo, 2007).

A construção de uma infra-estrutura como uma barragem ou açude, causa, de uma forma geral, a inundação de ecossistemas terrestres, a modificação do regime de caudais natural a jusante e a perda de conectividade longitudinal (Nilsson *et. al.*, 2005). Em termos globais, uma grande parte dos sistemas ribeirinhos estão sobre esta ameaça e encontram-se fragmentados causando, a uma escala local, a perda e transformação dos habitats, e a uma escala regional, a alteração do fluxo de água e de sedimentos ao longo das bacias hidrográficas afetadas (Syvitski, 2005; Perkin, 2012).

A intervenção humana tem causado alterações ao nível da abundância e distribuição da biodiversidade aquática. A transformação das características do habitat lótico para lêntico beneficia as espécies não nativas e provoca também degradação da qualidade da água resultante da acumulação de nutrientes e do crescimento da produção primária (Alexandre, 2010; Greathouse, 2013). Por outro lado, a perda de conectividade longitudinal prejudica essencialmente espécies aquáticas migradoras, que para completar o seu ciclo de vida, têm de realizar obrigatoriamente movimentos migratórios entre o ambiente marinho e o dulçaquícola (espécies diádromas) ou ao longo dos sistemas aquáticos continentais (potamódromas) (Gardner, 2011; Hall, 2011). A perda de conectividade conduz ao isolamento de populações e, em casos extremos, pode impedir a reprodução dos efectivos e até extinção local (Bunn & Arthington, 2002).

No início dos anos 70 um grupo de ecologistas norte americanos criaram um novo conceito intitulado como a teoria do rio contínuo (The River Continuum Concept – RCC), formalizada por Robin Vannote (1980). Este princípio afirma que das cabeceiras para o estuário, as variáveis físicas no interior do sistema ribeirinho variam ao longo de um gradiente contínuo de sucessão de características físicas que caracterizam os troços de montante, intermédios e terminais dos rios. Este gradiente provoca uma série de respostas dentro das populações, resultando num contínuo de ajustamentos bióticos e padrões consistentes de inputs, transporte, utilização e armazenamento de matéria orgânica ao longo do rio. Este conceito relaciona diretamente a composição e funcionamento das comunidades ao longo do rio com o ambiente abiótico que o caracteriza (Allan & Castillo, 2007). O conceito de conectividade longitudinal, baseado na teoria RCC, foi estudado por um grande número de autores, que a definem como uma via de troca de matéria, energia e organismos (e.g. Vannote, 1980, Ward & Stanford, 1995, Pringle,

2003). Para além do padrão longitudinal, a conectividade apresenta mais três dimensões, a vertical, a lateral e a temporal. A componente longitudinal assume-se como a mais importante no contexto do RCC, particularmente para as espécies migradoras que habitam os rios, possibilitando o movimento destas populações entre o estuário e a cabeceira dos rios (Allan & Castillo, 2007; Branco *et al.*, 2012).

Um ecossistema ribeirinho não perturbado, é associado a uma alta heterogeneidade de habitats, a uma alta produtividade e biodiversidade das planícies de aluvião mantidas por perturbações naturais, isto é, pelos regimes de caudal associados a fenómenos de cheia. As alterações antropogénicas nos cursos de água, normalmente, alteram a intensidade, frequência e o “timing” destas perturbações naturais, que são responsáveis por manterem a integridade ecológica destes ecossistemas (Ward & Stanford, 1995). A existência de barreiras, provoca uma fragmentação do habitat e compromete a conectividade longitudinal do ecossistema ribeirinho que, conseqüentemente, tem sido associado a uma diminuição do efectivo populacional de peixes dulçaquícolas (Nilsson *et al.*, 2005; Argent & Kimmel, 2010). Segundo McLaughlin *et al.* (2012), uma barreira deve ser sinalizada como qualquer estrutura ou característica do ambiente que provoca a redução da capacidade que cada indivíduo apresenta para mover-se em segurança entre várias localizações desse habitat. As espécies migradoras são mais sensíveis à presença destas barreiras porque precisam de extensos corredores de migração que ligam ambientes fluviais e/ou ambientes fluviais e marinhos, para completarem o seu ciclo de vida (Perkin, 2012).

As barreiras, artificiais ou naturais, de grande ou pequena dimensão, afetam as comunidades piscícolas de várias formas, porém podem resumir-se a dois impactos directos, a alteração dos habitats a montante e a jusante das barreiras, e a fragmentação dos habitats e das populações. De uma forma indirecta, o isolamento de populações promove a redução do fluxo génico, resultando na diminuição da sua eficiência reprodutiva (Hayes *et al.*, 2006). No caso das espécies potamódromas, que migram exclusivamente em água doce, as barreiras bloqueiam as rotas de migração e restringem os movimentos ao longo do rio associados à dispersão, migração reprodutora, movimentos para locais de refúgio e alimentação, podendo causar uma diminuição do efectivo das populações potamódromas. O mesmo acontece com as espécies diádromas, que migram entre o meio marinho e o dulçaquícola, que em casos extremos são impedidas de aceder a locais de desova, comprometendo a manutenção da população associada ao sistema hidrográfico fragmentado (Perkin, 2012).

1.2. *Passagens para peixes*

Tendo em conta o impacto que as barragens e outras barreiras causam nos ecossistemas fluviais, é crescente o interesse na remoção dessas barreiras com o objetivo de melhorar e facilitar a conservação dos ecossistemas ribeirinhos e da sua biodiversidade (Perkin, 2012). Porém, existem algumas questões que fazem com que a remoção de uma barragem constitua uma decisão difícil de tomar para todos os interessados nestas questões, como por exemplo, o impacto que pode causar na produção de energia, a segregação social, entre outros interesses envolvidos (Brown *et al.*, 2009). Por estes motivos, a remoção de barreiras não é frequentemente apoiada e adoptada pelo sector público e político, priorizando-se estratégias de mitigação que desenvolvam métodos que maximizem os benefícios e reduzam os custos (Magilligan & Nislow, 2005; Perkin, 2012). É igualmente necessário ter em conta que estas estruturas são muito numerosas e amplamente distribuídas por todo o mundo, e os recursos para a sua eliminação são sempre limitados. Para além disso, constata-se que novas obras hidráulicas continuam a ser planeadas e construídas (Brown *et al.*, 2009; Perkin, 2012). Um elevado número de factores pesam na decisão de demolição de uma barragem ou açude.

A principal medida utilizada para mitigar o efeito barreira das estruturas transversais passa pela construção de passagens para peixes (PPP). Uma PPP é uma estrutura desenhada para permitir a transposição de uma barreira por uma espécie ou um conjunto de espécies. A construção destas infra-estruturas constitui uma medida de mitigação de grande mais-valia para a conservação das espécies, pois permite a restituição da conectividade fluvial comprometida pela presença de barreiras artificiais (Katopodis, 1992). Para além disso, representam uma alternativa à remoção e eliminação das barreiras. O objetivo principal de uma passagem para peixes é atrair os peixes para um ponto específico no rio, a jusante ou montante da barreira, e induzi-los a efetuarem a transposição (ativamente ou passivamente) para o outro lado da barreira (Larinier, 2000). Ao longo da civilização recente, e por todo o mundo, uma larga variedade de PPP foram construídas (Clay, 1995; Winter, 2007).

A implementação de passagens para peixes deve ser acompanhada de uma legislação e compromissos políticos efetivos que assegurem a proteção das espécies e do seu habitat natural de outros impactes externos. Em alguns países a legislação que protege os peixes de água doce existe há alguns anos e apesar de cada país apresentar características únicas, todos enfrentam problemas similares no que diz respeito aos peixes migradores. A Diretiva Quadro da Água (DQA) (2000/60/EC) foi criada pela União Europeia com os objectivos principais de assegurar que todos os cursos de água alcançam um bom estado ecológico. Esse estado ecológico, antes e depois da restauração, é classificado em termos de elementos de qualidade ecológica

complementado por elementos abióticos e hidro-geomorfológicos que incluem a conectividade fluvial, normalmente é encarada como uma prioridade. A DQA exige que o uso dos rios seja ecologicamente sustentável, que os impactos a nível de todo o ecossistema sejam reduzidos e que metas referentes à dimensão das populações piscícolas sejam definidas (Kroes, 2006; Branco, 2012). Outras linhas legislativas implementadas a nível europeu, abrangem algumas ou todas as espécies fluviais migradoras, nomeadamente a Convenção de Bona, o Tratado de Berna e a Diretiva Habitats (Kroes *et al.*, 2006).

A implementação de um projeto de restabelecimento da conectividade fluvial, compreende três fases distintas. Na primeira fase devem ser definidos todos os objectivos que a obra deve atingir e algumas questões devem ser tidas em conta, tais como (Kroes *et al.*, 2006):

- Qual a espécie ou espécies alvo?
- Que fracção das populações alvo devem utilizar a PPP?
- Que sentido da migração deve ser priorizado?
- Qual a eficácia pretendida com o projeto?
- Qual o tipo de dispositivo mais adequado?

Para responder a estas questões deve ser feita uma recolha de informação sobre a obra, sobre o curso de água e sobre a comunidade piscícola presente. Devem ser abordados assuntos relacionados com fatores e condições hidrológicas, hidráulicas, geológicas, geomorfológicas, perfil da secção, substrato, tipo e quantidade de detritos, e requisitos financeiros e legais. A segunda fase é dedicada ao desenho e dimensionamento do projecto onde deve ser levado em conta questões e critérios biológicos e hidráulicos relacionados com a(s) espécie(s) alvo. A etapa final de construção e manutenção inclui uma última verificação do projeto e a coordenação de todos os trabalhadores com diferentes qualificações (biólogos, engenheiros hidráulicos, etc.) (Kroes *et al.*, 2006).

Durante a fase de construção e exploração do dispositivo de PPP devem ser aplicadas medidas que maximizem a sua eficiência. Conferir atractividade ao dispositivo é uma medida crucial para promover a eficiência da PPP. Uma PPP funcional e eficiente tem de conseguir atrair as espécies alvo para a entrada do dispositivo. Esta característica varia essencialmente de acordo com o caudal efluente e com a localização da entrada da PPP e, como tal, o fluxo de água proveniente da PPP é crucial para motivar e orientar as comunidades piscícolas a utilizar o dispositivo (Kroes *et al.*, 2006). Uma vez encontrada a entrada do dispositivo, uma passagem eficaz depende essencialmente das características e desenho da PPP, e do seu dimensionamento, que devem estar de acordo com as características comportamentais e capacidades de natação da(s) espécie(s) alvo. Outra medida bastante relevante para a maximização da eficiência das PPP, é a proteção do dispositivo contra a sua degradação e colmatação por materiais arrastados

para o interior do dispositivo. Nas cheias é necessária uma atenção reforçada a este nível, para que o dispositivo não seja destruído ou parcialmente danificado. As ações de manutenção das PPP são também essenciais ao seu correto funcionamento. Pequenas modificações nas características da PPP, surgidas devido à degradação ou destruição de estruturas, influenciam diretamente as características do escoamento no seu interior. Portanto, é fundamental criar protocolos de manutenção, que incluam normas de segurança, a definição do período e frequência de tarefas de manutenção, entre outras questões práticas (Kroes *et al.*, 2006). As ações de monitorização são essenciais para garantir o sucesso do projeto e devem ser asseguradas nas fases pré-construção e operacional (Clay, 1995).

Para escolher o tipo de dispositivo mais adequado, é necessário ter em conta que as medidas de mitigação que ajudam as comunidades piscícolas migradoras a transporem uma barreira devem ser categorizadas numa ordem de preferência. Em primeiro lugar, deve-se promover sempre que possível soluções naturais que são consideradas soluções óptimas porque tendem a maximizar a eficiência da passagem. Estas soluções podem compreender a remoção da barreira em conjunto com um plano de restauro do habitat. Se não for possível concretizar esta medida existem opções seminaturais que simulam o habitat natural, as passagens naturalizadas, que podem ser do tipo *bypass*, com a construção de um canal lateral à barreira, ou uma rampa naturalizada implantada no próprio obstáculo. Estas estruturas oferecem às comunidades piscícolas uma forma de ampliarem a sua área habitat disponível, sem a remoção da barreira. Em ultimo caso, é necessário recorrer a soluções técnicas, nos casos em que soluções naturais ou seminaturais não possam ser aplicadas. As soluções técnicas correspondem a PPP formais que contribuem para a restituição da conectividade longitudinal e lateral. Na tabela 1 estão resumidas as diferentes tipologias referentes a soluções técnicas mais frequentemente usadas (FAO/DVWK, 2002).

Tabela 1 - Resumo das tipologias de soluções técnicas mais utilizadas que permitem a transposição da ictiofauna e mitigação do efeito barreira

Tipo de solução	Breve descrição
Bacias sucessivas com descarregadores de superfície	PPP de bacias sucessivas com descarregadores de superfície, que criam uma queda de água.
Bacias sucessivas com orifícios de fundo	PPP com bacias sucessivas separadas por orifícios de fundo.
Bacias sucessivas com fendas verticais	PPP de bacias sucessivas e separadas por fendas verticais, abertas do fundo à superfície.
Eclusa	As PPP tipo eclusas têm o mesmo principio que as eclusas de barcos. Contêm uma entrada inferior a jusante da barreira, uma câmara fechada e uma estrutura superior de saída a montante.

Tabela 1 (continuação)

Ascensor	Os ascensores atraem os peixes para uma câmara cheia de água a jusante da obstrução e levanta-os dentro de um tanque de forma passiva para a parte superior da barragem para posterior liberação. Este tipo de PPP é utilizado essencialmente para promover a transposição de grandes desníveis entre a cota montante-jusante.
Passagens para peixes com deflectores	PPP com deflectores laterais e de fundo, em forma de “U”, instalados em curtos intervalos. Estes deflectores proporcionam uma velocidade máxima no centro da PPP que asseguram uma forte dissipação de energia facilitando a passagem da ictiofauna.
Passagens para peixes para enguias/meixão	PPP construídas especialmente para enguias/meixão. Estas PPP baseiam-se na capacidade das enguias/meixão treparem e rastejarem quando transpõem um obstáculo. Os materiais utilizados são essencialmente ramos, canas, escovas artificiais.
Passagem para peixes tipo manilha	Uma manilha é uma ligação entre duas massas de água, tipicamente constituído por um tubo de betão localizado por baixo de estradas ou outras construções. Para transformar um típico culvert numa passagem para peixes é necessário igualar as características de caudal às do sistema fluvial natural.

As PPP do tipo bacias sucessivas são as mais frequentemente utilizadas, são aquelas cujo conceito subjacente é utilizado há mais tempo, e têm resultado numa utilização com sucesso por uma variedade de espécies anádromas e potamódromas (Larinier, 2000; Katopodis, *et. al.*, 2012). Este tipo de PPP têm como princípio geral contrariar a diferença de cota entre jusante e montante de uma forma gradual possuindo um canal que contem paredes transversais consecutivas que criam uma escada de piscinas com níveis diferentes, formando uma série de bacias (Larinier, 2000; FAO/DVWK, 2002). As descargas, de água de uma bacia para outra, podem apresentar várias tipologias, nomeadamente, orifícios que podem localizar-se superficialmente, no fundo da bacia, a toda a profundidade da bacia, ou até uma combinação das opções anteriores (Larinier, 2000). As bacias apresentam este modelo de construção por dois motivos: pretendem conceber áreas de descanso para os peixes durante a transposição do dispositivo de PPP e tentam assegurar a dissipação da energia da água reduzindo assim a velocidade de corrente e minimizando o esforço que as espécies alvo terão de desenvolver para negociar o obstáculo (Larinier, 2000; Katopodis, 1992)

1.2.1. Monitorização de uma passagem para peixes

Em Portugal, uma parte significativa das PPP existentes apresenta um ou mais fatores limitantes à sua eficiência, normalmente relacionados com problemas de concepção e de manutenção. De forma a evitar problemas de concepção é necessária a constante correção das situações existentes e do acompanhamento da evolução do conhecimento científico, a fim de progredir na qualidade dos dispositivos. No que diz respeito à manutenção, a falha mais frequente diz respeito ao acompanhamento dado às PPP existentes (ou à falta dele). Esta falha pode ser solucionada, nomeadamente implementando ações de monitorização, que permitem uma verificação contínua da funcionalidade da PPP (Santo, 2005).

Os dispositivos de passagem para peixes são habitualmente dispendiosos sendo por isso essencial que a sua eficiência seja confirmada para que o investimento seja otimizado (Kroes, 2006). A monitorização de PPP é também essencial porque, como verifica a eficiência do dispositivo após o seu funcionamento, permite ajustar alguns pormenores e efetuar alterações ao projeto caso seja necessário. As ações de monitorização possibilitam reunir informação técnica e biológica útil para potenciar a eficiência do próprio dispositivo, e de futuros projetos que envolvam a construção de PPP no mesmo sistema hidrográfico, ou em rios com espécies com características ecológicas idênticas. Por fim, ajuda a estimar a dimensão de populações de espécies migradoras e descrever o seu padrão de migração (Travade & Larinier, 2002).

O objetivo da monitorização destes dispositivos é certificar que a entrada da PPP é facilmente encontrada pelas espécies alvo e que as mesmas conseguem transpor o dispositivo (FAO/DVWK, 2002). A sua operacionalidade, que a nível prático se traduz no grau de mitigação dos impactes relacionados com a edificação de uma barreira, pode ser avaliada pela eficiência e eficácia dos dispositivos de transposição (Marmulla, 2001). A eficácia é um conceito qualitativo que consiste em avaliar a capacidade da PPP em permitir a entrada de todas as espécies alvo, tendo em conta a amplitude das condicionantes ambientais observadas durante o período de migração. Por outro lado, a eficiência de uma PPP tende para uma definição quantitativa da sua performance e pode ser definida como a proporção da população migradora que entra na PPP, que consegue transpor com sucesso dispositivo, e que o faz num período de tempo aceitável (Travade *et al.*, 1998).

A avaliação destes parâmetros é feita com recurso a diferentes métodos, sendo a determinação da eficiência sempre mais complexa que a avaliação qualitativa da eficácia de uma PPP (Larinier, 2000). Estes métodos podem ser organizados da seguinte forma (Travade & Larinier, 2002):

- Avaliação das operações hidráulicas e mecânicas da PPP;

- Recolha de informação biológica qualitativa que indique a eficácia da PPP;
- Contagens dos peixes que utilizam a PPP recorrendo ao próprio dispositivo;
- Comparação do número de peixes que usam o dispositivo com o total da população migradora, expressando no final, a verdadeira eficiência da passagem para peixes.

A medição das condições hidráulicas na PPP deve ocorrer a diferentes níveis de caudais. Este procedimento tem o objetivo de assegurar que o dispositivo funciona com os critérios iniciais do projeto e perceber se essas opções são adequadas às espécies alvo. Avalia também a eficiência da passagem a diferentes níveis de caudais já esperados e ajuda a otimizar a performance do dispositivos (Kroes, 2006).

Reunir informação biológica de qualidade nas fases pré-construção e durante o funcionamento do dispositivo é fundamental para o processo de monitorização. Nomeadamente, dados sobre a quantidade dos peixes que, anteriormente à instalação da PPP, estariam bloqueados devido à presença da barreira e que se assumem como potenciais utilizadores da estrutura, são muito úteis, tal como dados acerca da atividade de pesca (capturas a jusante e montante do obstáculo), e até informações acerca de indícios da presença de locais de desova a montante da barreira (Travade & Larinier, 2002).

Controlar o funcionamento de uma PPP não se deve restringir apenas à contabilização dos peixes que utilizaram o dispositivo, exige também a recolha de parâmetros abióticos, tais como, temperatura, turbidez, condutividade específica da água, caudais efluentes, o ciclo lunar, o número de horas de luz, pluviosidade, entre outras. Estes dados são utilizados para determinar a eficiência da passagem, comparando os resultados da monitorização com o comportamento migratório característico de cada espécie (FAO/DVWK, 2002).

A recolha de dados biológicos pode ser feita de duas formas distintas, por um lado recorrendo à manipulação e captura dos peixes, de forma a proceder à contagem, e registo de outras informações importantes para a monitorização Por outro, utilizando métodos de recolha de informação independentes da captura. A tabela 2 resume um conjunto de métodos utilizados para recolha de informação relativa ao elenco piscícola que utiliza uma PPP.

Tabela 2 - Métodos de recolha de informação biológica, utilizados na monitorização de passagens para peixes (adaptado de Travade, 2002)

Método	Breve descrição
Métodos dependentes da captura dos peixes	
Armadilhas	O método consiste na colocação de armadilhas no interior ou à saída da PPP.
Bloqueio	Este método captura os peixes bloqueando a saída da PPP com redes.
Marcações e etiquetagens	Existem vários tipos de marcações, que permitem estudar com mais detalhe o comportamento migratório das espécies, nomeadamente as marcações físicas (PIT tags, radiotelemetria, etc.), externas (mutilações nas barbatanas, floytags, etc.), e químicas (banhos químicos, injeções, etc.). As técnicas de marcações externas e físicas só são concluídas com sucesso efectuando recapturas.
Métodos não dependentes da captura dos peixes	
Contagens automáticas	Existem algumas metodologias desenvolvidas que permitem o registo de dados importantes para a monitorização da PPP de uma forma automática (Riverwatcher, Cerbere, FishTick, entre outros).
Contagens visuais	A observação das passagens dos peixes que utilizam a PPP pode ser feita lateralmente através de uma janela de visualização vertical, ou, por cima, através de uma zona com pouca profundidade com recurso a um operador.

O período de monitorização e a sua frequência devem ser ajustados de acordo com as características do dispositivo e tendo em conta os períodos de migração das espécies alvo. Idealmente, a monitorização deve ser feita nos primeiros anos após o período de construção, na totalidade do período de migração e quando a PPP estiver operacional. Porém, na prática, a intensidade e duração do programa de monitorização normalmente é controlado pela limitação de fundos e recursos humanos (Bok *et al.*, 2004).

No final de um programa de monitorização, deve ser possível responder às seguintes questões:

- O regime de caudais utilizado influencia a eficiência e eficácia da PPP?
- Como é que o regime de caudais influencia as condições hidráulicas no interior da PPP?
- Como é que as descargas influenciam o nível de água do curso principal?
- Como é que o regime de caudais influencia os picos de migração das espécies alvo?
- O pico de migração das espécies alvo, em ambiente natural, coincide com o pico de migração determinado no programa de monitorização?
- Como é que as características físicas da água (temperatura, turbidez, condutividade, *etc.*) influência a migração das espécies alvo?

- Que outros factores influenciam a migração?

Contagens visuais

A contagem visual é uma técnica de contabilização contínua sem necessidade de manuseamento dos peixes e que evita os principais inconvenientes da contagem por captura e da contagem automática (Travade & Larinier, 2002). O principal benefício deste método diz respeito à possibilidade de proceder à contagem dos peixes que utilizam uma passagem para peixes sem que haja contacto direto com os mesmos evitando alterações de comportamento causados pelo manuseamento dos peixes associados aos métodos que envolvem captura (Travade & Larinier, 2002).

O princípio de funcionamento deste método consiste em encaminhar os peixes no interior do dispositivo para uma zona em que sejam facilmente observados, de forma a proceder ao registo de parâmetros como o número de peixes que passam em determinado período, a condição do peixe (e.g. fase do ciclo vida), o sentido da migração, o tamanho do peixe e algum comportamento particular. A observação pode ser feita lateralmente através de uma janela de visualização vertical, ou, por cima, através de uma zona com pouca profundidade. A solução lateral apresenta mais benefícios visto que a visualização da silhueta lateral de um peixe permite reconhecer um maior número de características que poderão auxiliar a sua identificação (Travade & Larinier, 2002).

Na maioria das situações é necessário proceder às contagens de uma forma contínua, dado que a passagem dos peixes pode ocorrer em qualquer momento, ou apenas em determinados intervalos de tempo, como por exemplo no caso das eclusas que funcionam por ciclos, sendo apenas necessário fazer contagens durante os períodos de passagem dos peixes (Travade & Larinier, 2002).

A contagem pode ser executada em tempo real, exigindo a presença de um observador no local, ou, por outro lado, pode ser feita *a posteriori*, com recurso a gravações das passagens dos peixes. Na visualização *a posteriori*, é necessário a existência nas estações de observação sistemas de captação de imagens que permitam a gravação das passagens dos peixes (Travade & Larinier, 2002).

As estações de observação ou contagem das passagens localizam-se tipicamente em secções a montante do dispositivo de passagem ou na saída da passagem para peixes. Estas estações normalmente incluem uma secção destinada a tarefas relativas a monitorizações onde existem todas as ferramentas necessárias para a contagem dos peixes, tais como, teclados de registo das

passagens (no caso de contagens em tempo real), sistemas de gravação e reprodução (para censos visuais efetuados *a posteriori*), contadores de peixes eletrónicos, sistemas de deteção de *tags*, e sistemas de deteção de sinais de rádio e acústicos (para contagens automáticas), entre outros. Os sistemas de iluminação das estações de contagem são muito importantes e devem ser cuidadosamente projectados devido à sua clara influência na visualização com qualidade dos peixes tanto num período diurno como no período noturno (Travade & Larinier, 2002).

O método de contagem visual de peixes exige alguns requisitos para que funcione corretamente. A água não deve atingir níveis de turbidez demasiado elevados e os peixes devem passar na janela de visualização a uma velocidade que permita a sua identificação (no caso de contagem em tempo real) (Travade & Larinier, 2002; Kroes *et al.*, 2006). Travade & Larinier, (2002) aconselha, para a zona de visualização das passagens, uma velocidade de corrente de 1-1,5 m/s e um cuidado constante de forma a evitar contracorrentes que poderão provocar atrasos e recuos na transposição do dispositivo.

A duração do trabalho de contagem com recurso a imagens de vídeo, depende essencialmente de condições ambientais que diminuem a visibilidade, como o aumento da turbidez, mas também, e essencialmente, da diversidade de espécies que utilizam o dispositivo e da sua abundância. Está descrito que 24 horas de filmagens necessitam de 1-2,5 horas de trabalho para taxas baixas de passagem (400 peixes por dia) e que altas taxas de passagem (3000-5000 peixes/dia) necessitam de 3,5-5 horas de trabalho (Travade & Larinier, 2002).

Ao nível da estação de observação das passagens, são essenciais alguns procedimentos de manutenção, tais como, descarregar os registos de imagem de forma a esvaziar as bases de armazenamento, e a limpeza das janelas de visualização (Travade & Larinier, 2002).

O método de monitorização de PPP através de censos visuais apresenta algumas vantagens, tais como, a possibilidade de recolher um elevado número de informações biológicas das comunidades piscícolas que utilizam o dispositivo sem a necessidade de capturar os espécimes e manuseá-los. Esta vantagem é particularmente importante para espécies muito sensíveis, como é o caso dos clupeídeos (*Alosa sp.*). A contagem visual também permite estudar com precisão o comportamento e padrão migratório das espécies utilizadoras do dispositivo (Travade & Larinier, 2002). Por outro lado, a contagem visual apresenta algumas limitações nomeadamente a dificuldade de identificação dos peixes em situações de elevada turbidez, causado pela diminuição da visibilidade e consequente dificuldade na deteção, contagem e identificação dos peixes que se movem através da PPP. Se a frequência de passagens de peixes for muito elevada, este pode tornar-se um trabalho técnico muito exigente a nível de tempo e recursos humanos, principalmente se a monitorização for feita em contínuo durante uma ou várias épocas de migração (Travade & Larinier, 2002).

As contagens automáticas são uma alternativa às contagens visuais. Tendo em conta a exigência dos censos visuais, o desenvolvimento tecnológico tem vindo a desenvolver algumas alternativas que tentam corrigir determinadas debilidades associadas às identificações realizadas com este método. As contagens automáticas, com recurso a novos equipamentos, podem ser uma aposta, porém ficam muito aquém do método de contagens visuais com recurso a observadores (Travade & Larinier, 2002). Estes sistemas baseiam-se em diferentes princípios, que incluem sensores de movimento, barreiras de luz ou controlo de vídeo. O Cerbere, um software desenvolvido por investigadores franceses e o FishTick, criado por investigadores norte americanos, são exemplos desses sistemas, que na generalidade procuram detetar o movimento dos peixes e registar apenas o instante em que ocorre essa passagem (FAO/DVWK). Os mais ambiciosos procuram proceder também à identificação, como é o caso do Riverwatcher (Santos *et al.*, 2012).

As estações de contagem de peixes, em estruturas como passagens para peixes, devem ser planeadas em projeto, em fases anteriores à sua construção (FAO/DVWK). Na figura 1 está representado um sistema de captação, gravação e análise de imagens localizado numa estação de contagem com uma janela vertical.

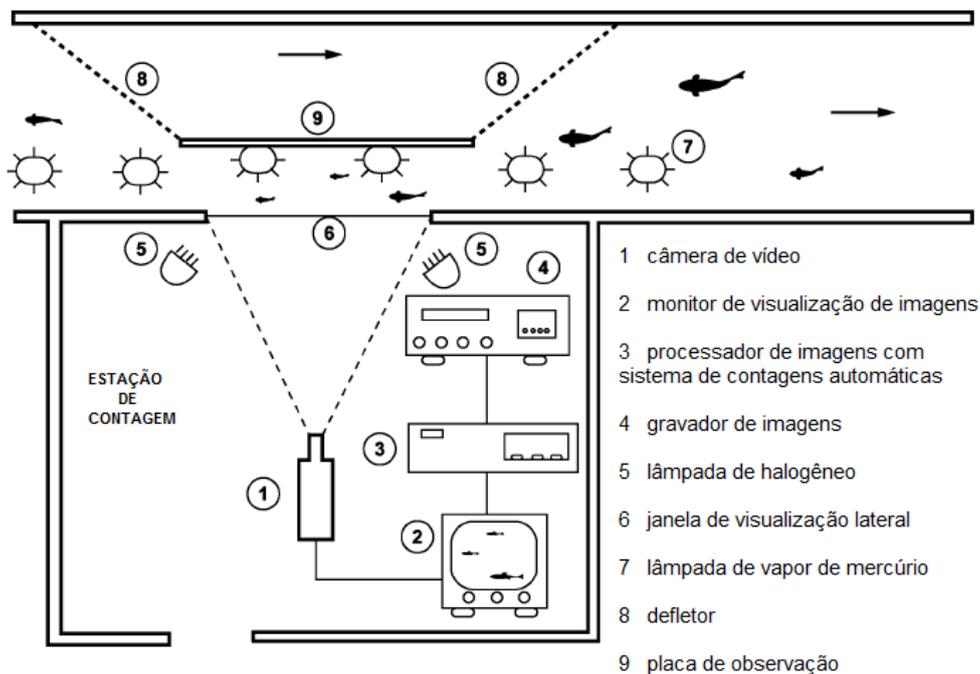


Figura 1 – Plano esquemático do sistema de gravação de vídeo instalado numa estação de contagem com janela lateral (Travade & Larinier, 2002).

1.3. *Objetivos*

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito do Programa de Monitorização da Passagem para Peixes do Açude-Ponte de Coimbra. Este programa de monitorização intitulado “Apoio técnico e científico para avaliar a eficiência e a eficácia da passagem para peixes (PPP) construída no Açude-Ponte Coimbra, no âmbito das exigências da lei da água, da Diretiva-Quadro da Água e do Regulamento (CE) N.º 1100/2007” é financiado pela Agência Portuguesa do Ambiente, I. P. (APA, I. P.), com a Universidade de Évora (UE) como instituição proponente, a qual conta com o apoio técnico-científico do Centro de Oceanografia (CO) e do Fluvial de Mora (FM).

O objetivo geral desta dissertação é otimizar a metodologia de contagem visual dos peixes que utilizam as passagens para peixes.

Os objetivos específicos deste estudo, realizado na PPP do Açude-Ponte em Coimbra, são os seguintes:

- Definir os períodos de utilização da PPP, *i.e.* épocas migratórias, das várias espécies que utilizam o dispositivo;
- Identificar comportamentos característicos das espécies alvo durante a transposição da PPP;
- Desenvolver e testar um modelo que ao mesmo tempo seja explicativo (relacione o número de indivíduos que transpôs a PPP com preditores ambientais) e preditivo (possibilite estimar o número de indivíduos que transpuseram a PPP durante um determinado período tendo em conta a variação dos preditores identificados como explicativos para essa série temporal);
- Desenvolver um meio de subamostrar os registos videográficos de forma a conseguir estimar, com um erro negligenciável associado a essa extrapolação, o número total de indivíduos, por espécie, que utilizou a PPP durante cada ciclo anual.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

O Programa de Monitorização da Passagem para Peixes do Açude-Ponte em Coimbra tem como principais objetivos: i) atualizar o conhecimento científico sobre as populações de peixes diádromas que ocorrem no Rio Mondego, a montante e a jusante do Açude-Ponte de Coimbra; ii) avaliar o grau de transponibilidade dos obstáculos existentes a montante do Açude-Ponte de Coimbra através da monitorização do percurso migratório da fauna piscícola; iii) avaliar a eficiência e eficácia da PPP do Açude-Ponte de Coimbra para espécies potamódromas, catádromas e anádromas; iv) definir a metodologia e cronograma dos futuros programas de monitorização da PPP do Açude-Ponte de Coimbra. Com o objetivo de recolher dados biológicos, para além das contagens visuais, estão a ser utilizadas outras metodologias, tais como, inquéritos às comunidades piscatórias, capturas das espécies alvo com recurso a pesca elétrica (numa fase pré e pós construção do dispositivo), rádio-telemetria e marcas do tipo PIT (Passive Integrated Transponder) (Alexandre *et. al.*, 2012).

O enquadramento legislativo que estabelece as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas e determina a Região Hidrográfica como unidade principal de planeamento é a Lei da Água (Lei n.º 58/2005), com as devidas alterações no Decreto-Lei n.º 130/2012. A APA, I. P., é a instituição da Administração Pública a quem cabe exercer as competências previstas na presente lei e é quem representa o Estado em atribuições ao nível territorial, de gestão dos recursos hídricos, incluindo o respetivo planeamento, licenciamento, monitorização e fiscalização ao nível da região hidrográfica. A bacia hidrográfica do Mondego, junto com as bacias hidrográficas dos rios Vouga e Lis, das ribeiras da costa entre o estuário do Rio Douro e a foz do Rio Lis, compõem a Região Hidrográfica do Centro (RH 4). A área total da RH 4 é de 11 477.50 km² e a população residente é de 1,7 milhões de habitantes (Lei n.º 58/2005). O Rio Mondego, o maior rio português (234 km), com uma bacia hidrográfica de 6644 km², é um rio fortemente modificado, com a presença de uma barragem hidroelétrica (450 hm³) localizada a 66 km da boca do rio, 6 barragens de múltiplo-uso (1,6-89 hm³) e alguns açudes de menor dimensão. Os últimos 35 km são particularmente modificados, com um troço artificial de 11 km construído há cerca de 40 anos, que se estende desde o Açude-Ponte de Coimbra para jusante (Almeida *et al.*, 2000; Almeida, *et al.*, 2002).

O Açude-Ponte de Coimbra (figura 2), concluído em 1981, integra-se no Aproveitamento Hidráulico do Mondego (AHM) e assume as seguintes funções: garantir níveis de água que permitam regar os campos do Baixo Mondego, e a derivação dos caudais necessários para o

abastecimento doméstico e industrial; armazenar um volume que garanta um abastecimento autónomo para rega durante cerca de 7 horas; garantir um caudal ecológico mínimo de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ no Leito Central a jusante de Coimbra; e, por fim, melhorar as condições climáticas, paisagísticas e de fruição hídrica e desportiva de Coimbra ao garantir um espelho de água com variações de nível relativamente pequenas. O sistema dispõe de 9 vãos (figura 3), munidos de comportas móveis, que permitem a criação de uma albufeira cujos níveis de exploração oscilam entre 17,50 m e 18,00 m (Barbosa *et al.*, s.d.).



Figura 2-Vista de jusante do Açude-Ponte de Coimbra.



Figura 3 - Pormenor de abertura de uma comporta no Açude-Ponte de Coimbra.

O Açude-Ponte dispõe de uma nova PPP, cuja construção, terminada em 2011, veio substituir um antigo dispositivo que não cumpria as funções para o qual fora projetado (Santo, 2005). A anterior autoridade nacional, o Instituto Nacional da Água (INAG), responsável pelo Açude-Ponte de Coimbra, constatou que a antiga PPP não era eficaz. A falta de atratividade e o desajustamento das condições hidráulicas no interior do dispositivo foram apontados como causas da sua inoperacionalidade (Santo, 2005).

O dimensionamento da nova PPP do Açude-Ponte de Coimbra foi elaborado com o pressuposto que a “espécie-chave” seria o sável, a espécie mais sensível em termos comportamentais de entre as espécies migradoras da ictiofauna ocorrentes na bacia hidrográfica do Mondego. A PPP do Açude-Ponte de Coimbra, que representa o objecto deste estudo, é do tipo bacias sucessivas com fendas verticais (figura 4), e *a priori*, considerada adequada no que diz respeito ao seu desenho para as espécies migradoras potencialmente utilizadoras deste dispositivo. As PPP com fendas verticais apresentam a vantagem de se adaptar a grandes variações do nível de água a montante e a jusante, para além de permitirem que as condições de velocidade e de turbulência do escoamento permaneçam muito estáveis, independentemente dos níveis de água no interior da PPP (permitindo a transposição das fendas a qualquer profundidade) (Barbosa *et al.*, s.d.).



Figura 4 - PPP do Açude-Ponte com pormenor das bacias sucessivas e das fendas verticais que permitem a comunicação entre bacias.

As condições de atração da PPP do Açude-Ponte são asseguradas por um caudal de atração e por um canal de acesso. O caudal de atracção é mantido a $2,00 \text{ m}^3/\text{s}$, e é garantido pelo caudal escoado pelas bacias ($1 - 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$) e por um caudal adicional ($0,5-1 \text{ m}^3/\text{s}$). O canal de acesso

(ver na figura 5 (1)), a jusante do açude, pretende encaminhar a ictiofauna para a entrada da PPP (Barbosa *et al.*, s.d.).



Figura 5 – Imagem de satélite do Açude-Ponte de Coimbra onde é visível a jusante o canal de atração (1), a entrada da PPP (2), as bacias sucessivas (3) e a saída da PPP junto à infra-estrutura que apoia a monitorização hidráulica e biológica (4). Sentido do fluxo →.

Ao dimensionar um dispositivo de passagem para peixes, é necessário acautelar a entrada de lixos e detritos de grandes dimensões. Para isso, na PPP do Açude-Ponte, como é visível na figura 6 e 7, foi projetada uma curva à saída da PPP e instalada uma grelha que permite a saída e entrada do peixe e impede a entrada de objectos indesejados.

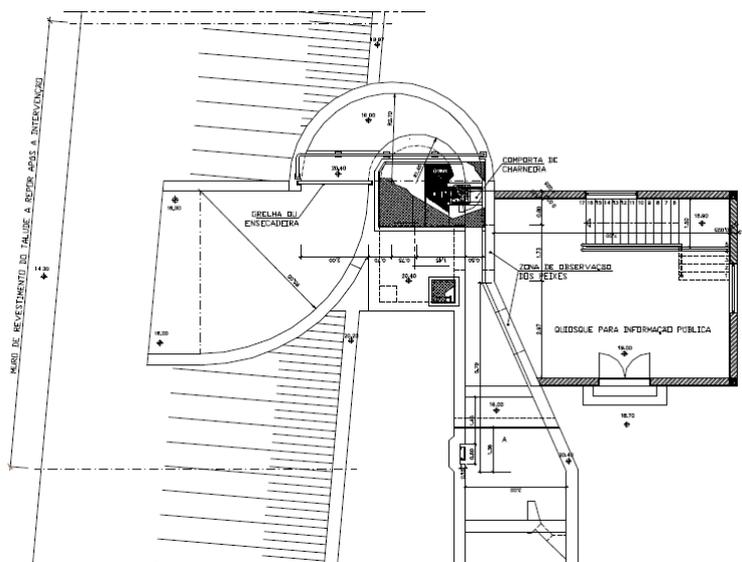


Figura 6 - Planta da estrutura de saída da passagem para peixes (montante).



Figura 7 - Saída da PPP a montante.

Para que fosse possível concretizar tarefas de manutenção e monitorização, foi instalada a montante, antes da curva, uma comporta que permite colocar a seco a passagem para peixes.

A monitorização biológica e hidráulica da passagem para peixes foi assegurada numa fase preliminar, em projeto e na construção de uma estação de monitorização (figura 8). Esta estação é composta por um edifício onde está presente todo um sistema que permite a monitorização hidráulica, com a regulação de um sistema de comportas, que permite o controlo do caudal (consequentemente a velocidade de corrente) e a altura de água no interior das bacias sucessivas.

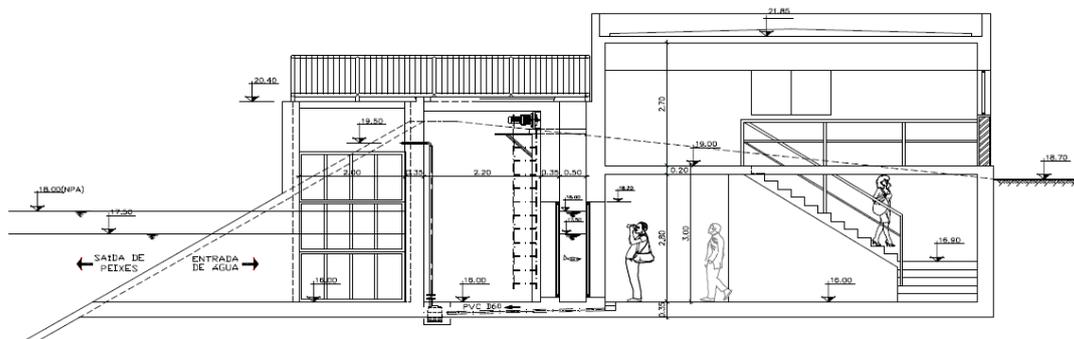


Figura 8 - Esquema do edifício de monitorização biológica e hidráulica.

As características particulares desta estação de monitorização permitem que seja realizada a monitorização biológica com recurso a contagens visuais. Na parte final do dispositivo, existe um estrangulamento do canal de passagem dos peixes para uma largura de 0,5 m de modo a aumentar a sua visibilidade nas duas janelas verticais existentes, que permitem a observação das passagens de toda a ictiofauna que utiliza a PPP. A estação de monitorização contém duas janelas de visualização (figura 9), uma delas indicada para efeitos de monitorização, onde se encontra instalado um sistema completo de captação, gravação e reprodução de imagens. A segunda janela está destinada a ser utilizada por visitantes no âmbito actividades de educação ambiental.



Figura 9 - Interior da estação de monitorização (piso -1) e as duas janelas de visualização: à direita a sala de contagem e à esquerda a futura sala de visitas ao público

O sistema de captação de imagens (figuras 10 e 11) é 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, instalada *a posteriori* pela equipa de monitorização. Este sistema apresenta a opção de deteção de movimento, que permite analisar apenas períodos de tempo em que o sistema detetou a passagem de um ou vários peixes, facilitando assim a análise preliminar das gravações *in loco*.



Figura 10 - Monitor, gravador e dispositivo de backup (disco externo).



Figura 11 - Camara de captação de imagens com sistema LED incorporado.

O Açude-Ponte constitui a primeira grande barreira à passagem dos migradores anádromos do rio Mondego (Almeida *et al.*, 2002).

As espécies piscícolas presentes no Rio Mondego apresentam-se listadas na tabela 3.

Tabela 3 - Espécies piscícolas presentes no Rio Mondego. Para cada espécie é indicado o taxon, o nome comum, a fenologia e o estatuto de conservação (Cabral et al., 2005)

Taxon	Nome comum	Fenologia	Estatuto de Conservação e Instrumentos Legais
CHEPHALASPIDOMORPHI			
PETROMYZONTIFORMES			
Petromizonidae			
<i>Petromyzon marinus</i> L.	Lampreia-marinha	MigRep	VU; B/III; H/II; 1; 2
ACTINOPTERYGII			
CLUPEIFORMES			
Clupeidae			
<i>Alosa alosa</i> L.	Sável	MigRep	EN; B/III; H/II+ H/V; 1; 2
<i>Alosa fallax</i> (Lacépède, 1803)	Savelha	MigRep	VU; B/III; H/II+ H/V; 1; 1
ANGUILLIFORMES			
Anguillidae			
<i>Anguilla anguilla</i> L.	Enguia-europeia	Vis	EN; C/I; 1; 2
PLEURONECTIFORMES			
Pleuronectidae			
<i>Platichthys flesus</i> L.	Solha-das-pedras	Vis	DD; 1; 2
GASTEROSTEIFORMES			
Gasterosteidae			
<i>Gasterosteus aculeatus</i> L.	Esgana-gata	MigRep/Res	EN; 1; 2
CYPRINIFORMES			
Cyprinidae			
<i>Luciobarbus bocagei</i> (Steindachner, 1864)	Barbo do Norte	Res/EndIb	LC; B/III; H/V; 1
<i>Carassius auratus</i> L.	Pimpão	NInd	NA; 1; 3/I
<i>Pseudochondrostoma polylepis</i> (Steindachner, 1864)	Boga-comum	Res/EndIb	LC; B/III; H/II; 1
<i>Cyprinus carpio</i> L.	Carpa	NInd	NA; 1; 3/I
<i>Gobio lozanoi</i> L.	Góbio	NInd	NA; 1; 3/I
Complexo de <i>Squalius alburnoides</i> (Steindachner, 1866)	Bordalo	Res/EndIb	VU; B/III; H/II; 1
<i>Squalius carolitertii</i> (Doadrio, 1988)	Escalo do Norte	Res/EndIb	LC; 1
<i>Achondrostoma oligolepis</i> (Steindachner, 1866)	Ruivaco	Res/EndIb	LC; H/II; 1
Cobitidae			
<i>Cobitis paludica</i> (de Buen, 1930)	Verdemã-comum	Res/EndIb	LC; H/II; 1

Tabela 3 (continuação)

SALMONIFORMES			
Salmonidae			
<i>Salmo trutta</i> L.	Truta-de-rio	Res	LC; 1
ATHERINIFORMES			
Atherinidae			
<i>Atherina boyeri</i> (Risso, 1810)	Peixe-rei	Res	DD; 1; 2
CYPRINODONTIFORMES			
Mugilidae			
<i>Liza ramada</i> (Risso, 1827)	Muge	Vis	LC; 1; 2
Cyprinodontidae			
<i>Gambusia hoolbrooki</i> (Girard, 1859)	Gambússia	NInd	NA; 1; 3/III
PERCIFORMES			
Centrarchidae			
<i>Lepomis gibbosus</i> L.	Perca-sol	NInd	NA; 1; 3/III
<i>Micropterus salmoides</i> (Lacepède, 1802)	Achigã	NInd	NA; 1; 3/I
Percidae			
<i>Sander lucioperca</i> L.	Sandre	NInd	NA; 1; 3/I

Fenologia: Res – residente, Vis – visitante, MigRep - migrador reprodutor, NInd - não-indígena, End - endêmico (do Continente, dos Açores ou da Madeira), EndIb - endêmico da Península Ibérica.

Estatutos de conservação e instrumentos legais: CR - Criticamente em Perigo, EN - Em Perigo, VU - Vulnerável, LC - Pouco Preocupante, DD - Informação Insuficiente, NA - Não Aplicável; H - Directiva Habitats Anexos II (H/II) ou V (H/V); B/III - Convenção de Berna Anexo III; C/1 – Cites Anexo I; 1 - Lei da pesca nas águas interiores; 2 - Lei da pesca nas águas interiores não oceânicas sob jurisdição da autoridade marítima; 3 – Decreto-Lei que regula a introdução na natureza de espécies não-indígenas da flora e da fauna. Anexos I (3/I) e III (3/III).

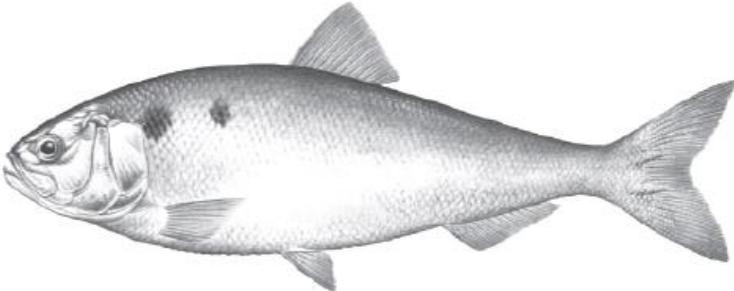
A listagem de espécies presentes no rio Mondego é composta por 22 espécies. A família Cyprinidae é a mais representativa. Salienta-se a presença de 3 espécies anádromas (lampreia-marinha, sável e savelha) e 3 espécies catádromas (enguia-europeia, muge e solha-das-pedras) a maior parte delas com valor comercial (Cabral *et al.*, 2005). Do total de 22 espécies, 6 delas são exóticas ou não indígenas.

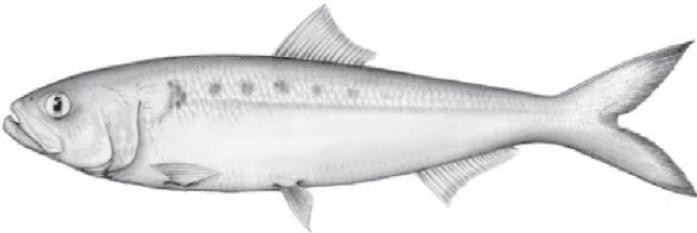
Das espécies listadas na tabela 3, a maioria não se assume como potencial utilizadora da PPP do Açude-Ponte. Nesse sentido a monitorização do dispositivo deve focar-se sobretudo nas espécies piscícolas que incluem no seu ciclo de vida a realização de migrações com o objetivo de alcançar os locais propícios para desova e/ou alimentação, nomeadamente os migradores anádromos (lampreia-marinha, sável e savelha), catádromos (muge, e enguia) e potamódromos (barbo do Norte, boga-comum e truta). O esgana-gata apesar de estar descrito como migrador anádroma pelo Livro Vermelho dos Vertebrados, não será incluído neste trabalho de monitorização uma vez que o seu carácter migrador, e como tal de potencial utilizador da PPP,

ainda não obteve confirmação em Portugal. O mesmo acontece com a solha-das-pedras, que apesar de estar perfeitamente identificada e confirmada como migradora catádromas, o facto de possuir uma morfologia muito específica, associada a uma capacidade de natação reduzida, diminui a probabilidade desta utilizar a PPP com sucesso.

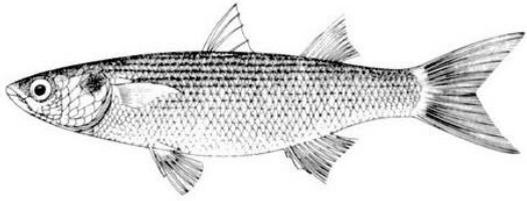
De seguida serão apresentadas as fichas descritivas das espécies que efectivamente se consideram potencial utilizadoras da PPP do Açude-Ponte em Coimbra, e desta forma, alvo da monitorização.

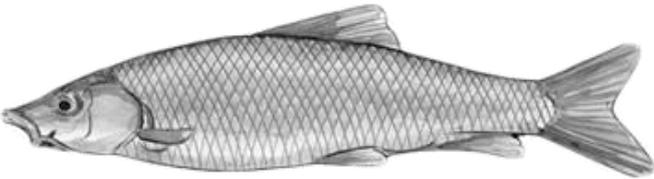
L A M P R E I A - M A R I N H A	 <p data-bbox="608 562 1043 584">Ilustração de Break P. Cent (animalsanimals.com)</p>
NOME CIENTÍFICO	<i>Petromyzon marinus</i> L.
TIPO DE OCORRÊNCIA	Espécie migradora anádroma que, em Portugal, ocorre nas principais bacias hidrográficas a norte do Rio Sado, estando igualmente descrita a sua ocorrência, embora em menor abundância, na bacia hidrográfica do Guadiana (Cabral <i>et al.</i> , 2005).
MORFOLOGIA	Ao longo do seu ciclo de vida a lampreia-marinha passa por dois períodos distintos, a fase larvar, os amocetes, e mais tarde, sofrendo uma metamorfose, a fase adulta. Quando alcança o porte adulto, apresenta o corpo longo e cilíndrico, com exceção da cauda achatada. Atinge grandes dimensões (>50 cm) e pode pesar até 2,5 kg. Apresenta a boca em forma de ventosa, com dentes uniformemente distribuídos. Não ostenta barbatanas peitorais e as duas barbatanas dorsais estão significativamente separadas quando são animais juvenis e próximas em animais adultos. Pele nua, rica em glândulas mucosas. Todo o esqueleto é cartilaginoso (Maitland, 2000; Ribeiro <i>et al.</i> , 2007).
MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO	Os adultos da lampreia-marinha vivem no mar e iniciam em Dezembro a migração reprodutora para os cursos de água. Este trajeto pode englobar algumas centenas de quilómetros. Verifica-se geralmente um pico da migração entre Fevereiro e Abril e a época de reprodução pode durar até Maio. A fase larvar dura entre 4 a 7 anos. Trata-se de uma espécie semelpara, ou seja, reproduz-se apenas uma vez ao longo do seu ciclo de vida, morrendo logo de seguida (Almeida <i>et al.</i> , 2000; Almeida <i>et al.</i> , 2002; Maitland, 1980; Quintella <i>et al.</i> , 2003).
HABITAT	No mar vivem a profundidades entre os 200 e 300 metros e nos rios desovam em zonas com substrato predominantemente composto por seixo, cascalho e areia, em zonas pouco ensombradas e habitualmente localizadas a montante de rápidos. As larvas exibem preferência por rios de dimensão média e pequena, pouco profundos, com fundos arenosos, correntes fracas, temperaturas moderadas e zonas ensombradas (Almeida & Quintella, 2002; Maitland, 1980; Quintella <i>et al.</i> , 2003).
AMEAÇAS	Perda da conectividade longitudinal dos cursos de água; poluição aquática; sobrepesca e pesca ilegal; destruição do habitat larvar através de extração de inertes (Almeida <i>et al.</i> , 2002; Cabral <i>et al.</i> , 2005).
MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO	Construção de passagens para peixes adequadas à espécie; Controlo da emissão de poluentes e da extração de inertes; Gestão sustentada da pesca; Controlo das atividades furtivas (Almeida <i>et al.</i> , 2002; Cabral <i>et al.</i> , 2005).

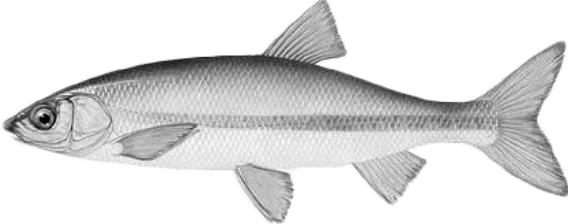
S Á V E L	 <p data-bbox="619 629 1034 656">Ilustração de Lauri Urho (fonte: scandfish.com).</p>
NOME CIENTÍFICO	<i>Alosa alosa</i> L.
TIPO DE OCORRÊNCIA	Espécie migradora anádroma que ocorre nas bacias hidrográficas nacionais do Minho, Lima, Vouga, Mondego, Tejo e Guadiana, embora nesta última a sua abundância seja residual (Cabral <i>et al.</i> , 2005).
MORFOLOGIA	Peixe de tamanho grande (>50 cm) com corpo fusiforme e alto, escamas grandes, delgadas e pouco aderentes. Boca terminal, maxila superior com um recorte nítido que corresponde a uma protuberância na maxila inferior. Apresenta 70 a 80 escamas na linha longitudinal e 90 a 120 branquiospinhas no arco branquial. Apresenta uma ou mais manchas pretas atrás do opérculo (Arahamian <i>et al.</i> , 2003; Maitland & Hatton-Ellis, 2000; Ribeiro <i>et al.</i> , 2007).
MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO	O peixe adulto que inicia a migração em Março passa a maior parte da sua vida no mar. Nessa altura pára de se alimentar e move-se para dentro dos estuários migrando para os cursos de água podendo a reprodução durar até ao mês de Junho. Os machos migram primeiro, seguidos das fêmeas, uma ou duas semanas depois. As suas migrações podem alcançar as centenas de quilómetros. A população do Mondego é smelpara (Acolas <i>et al.</i> , 2004; Alexandrino, 1994; Arahamian <i>et al.</i> , 2003; Maitland & Hatton-Ellis, 2000).
HABITAT	Espécie pelágica que ocupa principalmente a coluna de água. Quando migra para os rios, o habitat procurado para a desova caracteriza-se por uma sucessão de zonas de corrente lenta a intermédia e profundidade elevada e zonas menos profundas com velocidade de corrente mais elevada. O substrato é maioritariamente constituído por gravilha (Maitland & Hatton-Ellis, 2003).
AMEAÇAS	Perda da conectividade longitudinal dos cursos de água; poluição aquática; sobrepesca (Cabral <i>et al.</i> , 2005; Costa <i>et al.</i> , 2001).
MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO	Construção de passagens para peixes adequadas à espécie; Controlo da emissão de poluentes; Gestão sustentável da pesca; Controlo das atividades furtivas (Cabral <i>et al.</i> , 2005; Costa <i>et al.</i> , 2001).

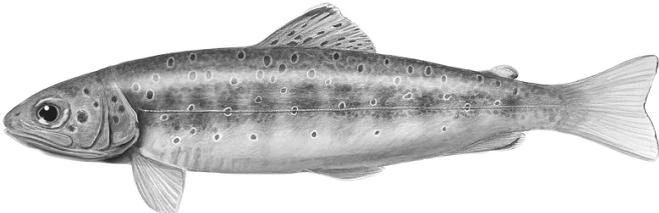
S Á V E L H A	
	Ilustração de Lauri Urho (fonte: scandfish.com).
NOME CIENTÍFICO	<i>Alosa fallax</i> (Lacépède, 1803)
TIPO DE OCORRÊNCIA	Espécie migradora anádroma que ocorre nas bacias hidrográficas nacionais do Minho, Lima, Vouga, Mondego, Tejo, Sado, Mira e Guadiana (Cabral <i>et al.</i> , 2005).
MORFOLOGIA	Peixe de tamanho grande (25-40 cm) com corpo fusiforme, alto, escamas grandes, delgadas e pouco aderentes. Maxila superior com um recorte nítido que corresponde a uma protuberância na maxila inferior. Tem cerca de 60 a 65 escamas na linha longitudinal, 50 a 60 branquiospinhas no arco branquial. Distingue-se do sável pelo tamanho geralmente mais reduzido, pela presença de mais (4 a 8) manchas escuras no dorso e por um menor número de branque espinhas no primeiro arco branquial (Aprahamian <i>et al.</i> , 2003; Maitland & Hatton-Ellis, 2000; Ribeiro <i>et al.</i> , 2007).
MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO	Semelhante ao sável (Acolas <i>et al.</i> , 2004; Aprahamian <i>et al.</i> , 2003; Maitland & Hatton-Ellis, 2000).
HABITAT	Semelhante ao sável. Habitualmente desova em zonas mais a jusante nos cursos de água do que o sável (Maitland & Hatton-Ellis, 2003).
AMEAÇAS	Perda da conectividade longitudinal dos cursos de água; poluição aquática; sobrepesca (Cabral <i>et al.</i> , 2005; Costa <i>et al.</i> , 2001).
MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO	Construção de passagens para peixes adequadas à espécie; Controlo da emissão de poluentes; Gestão sustentável da pesca (Cabral <i>et al.</i> , 2005; Costa <i>et al.</i> , 2001).

<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">ENGUIA - EUROPEIA</p>	 <p style="text-align: center;">Ilustração de Gosta Sundman (fonte: fineartamerica.com).</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">NOME CIENTÍFICO</p>	<p><i>Anguilla anguilla</i> L.</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">TIPO DE OCORRÊNCIA</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">MORFOLOGIA</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">HABITAT</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">AMEAÇAS</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO</p>	<p>Espécie migradora catádroma que ocorre em todas as bacias hidrográficas continentais, desde o Minho até ao Guadiana. Pode atingir um tamanho considerável (~1 m), possuindo um elevado interesse comercial e gastronómico (Cabral <i>et al.</i>, 2005).</p> <p>Peixe alongado que após completar todas as etapas de desenvolvimento (enguia de vidro, meixão, enguia amarela e finalmente a enguia adulta) pode atingir grandes dimensões (>50 cm). Apresenta barbatanas pares e barbatanas ímpares unidas formando uma barbatana única. Não tem barbatana ventral. A sua cabeça é estreita, facilitando o refúgio na areia, lama e buracos estreitos, e a sua boca é proeminente. O seu corpo é coberto de muco (Ribeiro <i>et al.</i>, 2007; Tesch, 2003).</p> <p>Espécie que vive em águas continentais e migra para o Mar dos Sargaços para se reproduzir. A migração reprodutora dos adultos para o mar processa-se entre os meses de Outubro e Dezembro. As larvas regressam às zonas costeiras onde se metamorfoseiam em meixão, ou enguia-de-vidro, migrando, entre Outubro e Março, para as águas interiores onde crescem. A enguia é uma espécie semelpara, que se reproduz unicamente uma vez ao longo do seu ciclo de vida, morrendo logo após a desova (Domingos, 2003; Tesch, 2003).</p> <p>Durante a sua fase dulçaquícola é uma espécie generalista capaz de colonizar uma grande variedade de habitats. Ocorre habitualmente em ambientes lóticos, temperados e com elevada disponibilidade de refúgios, desde leitos arenosos com vegetação até zonas de substrato mais grosseiro (Tesch, 2003).</p> <p>Sobrepesca e pesca ilegal, sobretudo na fase juvenil de meixão. Perda da conectividade longitudinal dos cursos de água; disseminação do agente patogénico <i>Anguillicoloides crassus</i> (Cabral <i>et al.</i>, 2005; Costa <i>et al.</i>, 2008).</p> <p>Gestão sustentada da pesca e desativação/fiscalização do mercado ilegal de meixão. Construção de passagens para peixes adequadas à espécie (Cabral <i>et al.</i>, 2005).</p>

MUGGE	 <p data-bbox="751 544 898 568">Fonte: FAO.org</p>
NOME CIENTÍFICO	<i>Liza ramada</i> (Risso, 1810)
TIPO DE OCORRÊNCIA	Espécie migradora catádroma que ocorre em todas as bacias hidrográficas continentais, desde o Minho até ao Guadiana (Kottelat & Freyhof, 2007).
MORFOLOGIA	Peixe de dimensões médias (<50 cm) com duas barbatanas dorsais bem separadas, tendo primeira barbatana dorsal 4 raios. A cabeça é mais pontiaguda e achatada, o contorno da cabeça forma um ângulo obtuso. O lábio superior é estreito e o olho não apresenta membrana ocular adiposa (Ribeiro <i>et al.</i> , 2007).
MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO	Na costa portuguesa, os indivíduos adultos realizam a sua migração reprodutora para o estuário durante o Outono (Setembro a Novembro). Posteriormente, durante a Primavera (Março a Junho), verifica-se uma migração dos indivíduos para montante (Almeida, 1996).
HABITAT	Espécie euritópica com uma grande capacidade de adaptação as diferentes tipos de habitats. Pode ocorrer desde as zonas mais salobras até meios de salinidade bastante baixa ou mesmo nula. (Costa <i>et al.</i> , 1993; Kottelat & Freyhof, 2007; Ribeiro <i>et al.</i> , 2007).
AMEAÇAS	Perda da conectividade longitudinal dos cursos de água (Almeida, 1996).
MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO	Construção de passagens para peixes adequadas à espécie.

<p style="text-align: center;">BARBO DO NORTE</p>	 <p style="text-align: center;">Fonte: nilsa.com</p>
<p style="text-align: center;">NOME CIENTÍFICO</p>	<p><i>Luciobarbus bocagei</i> (Steindachner, 1864)</p>
<p style="text-align: center;">TIPO DE OCORRÊNCIA</p>	<p>Espécie migradora potamódromas, considerada um endemismo ibérico, que, em território nacional, ocorre em todas as bacias hidrográficas situadas entre o Minho e Sado (Doadrio, 2001).</p>
<p style="text-align: center;">MORFOLOGIA</p>	<p>Espécie de tamanho médio (<50 cm) , que tem o perfil da cabeça ligeiramente convexo, com boca inferior com dois pares de barbilhos. Os barbilhos posteriores atingem a linha média do olho. A barbatana dorsal apresenta o raio ossificado a 2/3 da altura da dorsal sendo o perfil posterior da barbatana quase linear e oblíquo relativamente ao perfil dorsal do corpo. O lábio superior é grande e espesso estando o lábio inferior ligeiramente retraído (Doadrio, 2001; Ribeiro <i>et al.</i>, 2007).</p>
<p style="text-align: center;">MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO</p>	<p>A migração reprodutora processa-se entre Março e Junho. Nas regiões mais a Sul a migração e maturação das gónadas inicia-se geralmente mais cedo. Os barbos são potamódromos, migrando para montante em busca do habitat mais propício para a reprodução (Baras <i>et al.</i>, 1994; Rodriguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992).</p>
<p style="text-align: center;">HABITAT</p>	<p>Ocorre habitualmente nos troços médios e inferiores dos rios, em zonas com velocidade de corrente reduzida ou moderada, com exceção da época de reprodução onde se desloca para zonas de corrente elevada e substrato grosseiro, assumindo um comportamento reófilo. Pode ocorrer nas zonas mais profundas das barragens (Doadrio, 2001; Ribeiro <i>et al.</i>, 2007).</p>
<p style="text-align: center;">AMEAÇAS</p>	<p>Perda da conectividade longitudinal dos cursos de água; poluição aquática; introdução de exóticas (Doadrio, 2001; Ribeiro <i>et al.</i>, 2007).</p>
<p style="text-align: center;">MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO</p>	<p>Construção de passagens para peixes adequadas à espécie; controlo da emissão de poluentes; controlo das espécies exóticas (Doadrio, 2001; Ribeiro <i>et al.</i>, 2007).</p>

BOGA - COMUM	 <p data-bbox="751 555 898 577">Fonte: fishing.pl</p>
NOME CIENTÍFICO	<p data-bbox="296 741 866 770"><i>Pseudochondrostoma polylepis</i> (Steindachner, 1864)</p>
<p data-bbox="225 880 268 1016">TIPO DE OCORRÊNCIA</p> <p data-bbox="225 1061 268 1211">MORFOLOGIA</p> <p data-bbox="225 1256 268 1406">MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO</p> <p data-bbox="225 1451 268 1576">HABITAT</p> <p data-bbox="225 1621 268 1733">AMEAÇAS</p> <p data-bbox="225 1778 268 1928">MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO</p>	<p data-bbox="296 920 1353 976">Espécie potamódromas considerada um endemismo Ibérico, que, em território português, ocorre em todas as bacias hidrográficas localizadas entre o Vouga e o Sado (Doadrio, 2001).</p> <p data-bbox="296 1043 1353 1223">Espécie de tamanho médio (<50 cm) , que tem o perfil da cabeça ligeiramente convexo, com boca inferior com dois pares de barbilhos. Os barbilhos posteriores atingem a linha média do olho. A barbatana dorsal apresenta o raio ossificado a 2/3 da altura da dorsal sendo o perfil posterior da barbatana quase linear e oblíquo relativamente ao perfil dorsal do corpo. O lábio superior é grande e espesso estando o lábio inferior ligeiramente retraído (Doadrio, 2001; Ribeiro <i>et al.</i>, 2007).</p> <p data-bbox="296 1267 1353 1379">Espécie potamódroma que inicia a sua migração reprodutora para montante em Fevereiro. A época de reprodução pode durar até Maio/Junho. Durante este período, assume um comportamento gregário (Doadrio, 2001; Lobon-Cervia & Elvira, 1981; Rodriguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992).</p> <p data-bbox="296 1447 1353 1570">Espécie reófila que ocupa habitualmente os troços médios dos rios de maior ordem, em zonas de corrente elevada e com densa cobertura ripária. Durante a época de reprodução assume uma preferência por zonas de cascalho/gravilha e velocidade de corrente elevada. Pode ocorrer em barragens (Doadrio, 2001; Ribeiro <i>et al.</i>, 2007).</p> <p data-bbox="296 1637 1353 1727">Perda da conectividade longitudinal dos cursos de água; poluição aquática; destruição das zonas de postura através de extração de água e inertes; introdução de exóticas (Doadrio, 2001; Ribeiro <i>et al.</i>, 2007).</p> <p data-bbox="296 1827 1353 1883">Construção de passagens para peixes adequadas à espécie Controlo da emissão de poluentes; Controlo das espécies exóticas (Doadrio, 2001; Ribeiro <i>et al.</i>, 2007).</p>

TRUTA - DE - RIO	 <p>Fonte: fineartamerica.com</p>
NOME CIENTÍFICO	<p><i>Salmo trutta</i> L.</p>
TIPO DE OCORRÊNCIA	<p>A forma potamódroma desta espécie ocorre em todas as bacias hidrográficas portuguesas a norte do Rio Tejo e a forma migradora anádroma desta espécie, vulgarmente conhecida por truta-marisca, apenas se encontra descrita para as populações dos rios Minho e Lima pelo que, esta caracterização será apenas relativa à forma sedentária (Cabral <i>et al.</i>, 2005).</p>
MORFOLOGIA	<p>Espécie de tamanho médio (<50 cm) com duas barbatanas dorsais sendo a primeira espinhosa e a segunda adiposa. As escamas relativamente pequenas. Boca maior do que a do Salmão estendendo-se para lá do bordo posterior da orbita (Doadrio, 2001; Kottelat & Freyhof, 2007; Ribeiro <i>et al.</i>, 2007).</p>
MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO	<p>Inicia a migração reprodutora em Novembro. O período de desova pode prolongar-se até Janeiro (Lobón-Cerviá <i>et al.</i>, 1986; Kottelat & Freyhof, 2007).</p>
HABITAT	<p>Ocorre habitualmente em rios com águas frias e bem oxigenadas, em zonas com velocidade de corrente elevada, substrato grosseiro e densidade de vegetação capaz de conferir abrigo aos indivíduos adultos durante a desova e às larvas e juvenis no período pós-eclosão. Por ocorrer geralmente em rios com boa qualidade de água, esta espécie é geralmente utilizada como indicador biológico (Lobón-Cerviá <i>et al.</i>, 1986; Kottelat & Freyhof, 2007).</p>
AMEAÇAS	<p>Perda da conectividade longitudinal dos cursos de água; poluição aquática; destruição das zonas de postura através de extração de água e inertes; introdução de exóticas.</p>
MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO	<p>Construção de passagens para peixes adequadas à espécie; Controlo da emissão de poluentes; Controlo das espécies exóticas.</p>

2.2. Recolha e Análise de dados

2.2.1. Recolha de dados abióticos

No âmbito do programa de monitorização foi instalada na PPP do Açude-Ponte, uma sonda multiparamétrica (EXO2 Water Quality Sonde) equipada para medir em contínuo parâmetros abióticos que à partida foram considerados como potenciais preditores do tipo de utilização da PPP efetuado pela fauna piscícola. A sonda inclui sensores de turbidez, temperatura, condutividade e salinidade. Tem uma autonomia de registo de cerca de 3 meses e foi programada para registar com um intervalo de tempo de 30 minutos os referidos parâmetros. O local selecionado para a colocação da sonda foi a primeira bacia da PPP. O referido equipamento foi colocado no interior de um tubo de PVC de uma forma que permitisse a sua remoção sem que seja necessário esvaziar a PPP. Foram feitos vários procedimentos de download dos dados ao longo do período de estudo (figura 12).



Figura 12 - Sonda multiparamétrica e respetivo procedimento de backup.

Para além dos dados abióticos recolhidos com recurso à sonda multiparamétrica, foram ainda disponibilizados pela APA, a entidade gestora do Açude-Ponte, dados da gestão de caudais, nomeadamente, caudais efluentes totais, e registos de aberturas das 9 comportas que compõem o Açude-Ponte.

Por fim, foram compiladas outras informações ambientais consideradas importantes como o ciclo lunar, os crepúsculos e o comprimento do dia, que variam ao longo do tempo. Estes dados foram recolhidos no site (<http://oal.ul.pt/>) do Observatório Astronómico de Lisboa.

A recolha de toda esta informação é de extrema importância, pois permitirá relacionar a passagem de determinadas espécies com os parâmetros acima designados, o que permite aferir a PPP em períodos críticos de migração de determinadas espécies.

2.2.2. Contagens visuais

Na fase inicial dos trabalhos de monitorização, foram detetadas algumas fragilidades na estação de observação, que prejudicavam principalmente a captação de imagens, não sendo possível atingir a qualidade suficiente para a contagem e identificação das espécies que utilizaria a PPP. A realização de alguns trabalhos adicionais que incluíram a substituição e adaptação do equipamento, já incluído no projeto da PPP, foi essencial para o aperfeiçoamento da qualidade das imagens obtidas na sala de monitorização. Após a realização destas tarefas foi evidente a melhoria na qualidade das imagens (figura 13).



Figura 13 - Imagens da camera de monitorização antes (à esquerda) e depois (à direita) das tarefas de aperfeiçoamento relacionadas com a retroiluminação da janela de monitorização.

Posto isto, para que as contagens visuais ocorressem com a fiabilidade necessária, o registo formal dos dados só foi iniciado após a concretização das tarefas de melhoria da estação de monitorização, em 10 de Janeiro de 2013, momento em que foi possível reunir todas as condições para a obtenção de imagens com qualidade suficiente para a contagem e identificação inequívoca das espécies. As contagens visuais foram feitas em contínuo, e para efeitos do presente trabalho de dissertação terminaram em final de Junho de 2013, procurando abranger as épocas de migração das principais espécies alvo.

Durante o período de amostragem ocorreu uma falha técnica do sistema de gravação relacionado directamente com o processo de backup que gerou uma perda de dados

correspondente a cerca de 5 dias (entre as 10 horas de 3 de Abril e as 0 horas de 8 de Abril). Este período não foi utilizado nas análises deste trabalho de dissertação.

Uma análise inicial das imagens captadas na PPP permitiu concluir que a opção de deteção de movimento prevista inicialmente no sistema de captação de imagens, cuja função é registar e identificar o período durante o qual foi detetado movimento na janela de visualização da PPP, não apresentou sensibilidade suficiente para uma utilização com algum grau de confiança. Esta circunstância aumentou significativamente o tempo necessário para o processamento das imagens uma vez que, desta forma, os registos diários tiveram de ser analisados na sua totalidade.

As imagens foram analisadas *a posteriori* com recurso a um software de visualização básico (*Backup Viewer v1* da Samsung Techwin Co., Ltd.) incluído no pacote do sistema de filmagem.

Durante a observação das imagens foram registados um conjunto de informações consideradas relevantes tanto para o trabalho de monitorização, como para o presente trabalho de dissertação de mestrado, nomeadamente a identificação taxonómica dos peixes que surgem na janela de visualização, o sentido da sua migração (montante/jusante) e qualquer outro comportamento considerado peculiar. Para além das passagens para montante e jusante já referidas, observou-se igualmente, com alguma frequência, um comportamento identificado como sendo representativo de uma “tentativa” de migração para montante, em que um espécime surge na janela de visualização vindo de jusante, e, por vezes, transpõe a janela, mas logo de seguida é novamente “arrastado” para jusante, interrompendo o movimento migratório. Normalmente, esse mesmo peixe inicia posteriormente uma nova tentativa. Este movimento para jusante só foi registado como passagem para jusante nos casos em que aparentemente o peixe transpunha a janela para jusante definitivamente.

Ainda que não devam ser discriminados dos trabalhos de monitorização de PPP, os movimentos para jusante não foram considerados nas análises dos dados, pelos seguintes motivos: (i) o período em análise neste estudo (de Janeiro a Junho) coincide sobretudo com a época migratória para montante das espécies monitorizadas; e (ii) a frequência de movimentos para jusante registada a partir das contagens visuais, no período de estudo, foi muito reduzida pelo que, provavelmente os movimentos para jusante realizam-se essencialmente pelas comportas do açude.

Durante a visualização dos vídeos, não foi possível identificar, por vezes, alguns dos espécimes piscícolas que utilizam a PPP, tendo-se designado estas visualizações como “Não Identificado” (NI). A não identificação destes peixes deve-se essencialmente a situações de elevada turbidez que diminuem a qualidade da imagem nos vídeos capturados, impossibilitando por isso a observação de características diagnosticantes das espécies. Por outro lado, para os peixes de

pequena dimensão, especialmente os ciprinídeos (normalmente com menos de 15 cm), torna-se difícil efetuar uma identificação inequívoca, pelo que uma parte deles também foi identificado como “NI”. O registo destes dados foi feito em contínuo mas posteriormente agrupado em intervalos de 15 minutos para facilitar o seu tratamento.

2.2.3. Análise circadiana

Para cada uma das espécies que utilizaram a passagem mais frequentemente, nomeadamente a lampreia-marinha, as duas espécies de clupeídeos, o barbo do Norte, a boga-comum, e o muge entre Janeiro e Junho de 2013, foi feita uma análise da distribuição circadiana do número de passagens. A utilização ao longo do dia que cada espécie fez da PPP foi realizada com recurso ao software ORIANA versão 4.02, para cada um dos meses analisados e para a totalidade do período de estudo, utilizando-se como variável a proporção de indivíduos de cada espécie, relativamente ao seu número total, que utilizou a PPP, em cada intervalo de 1h. Para esta análise, cujo principal objetivo é o de identificar os padrões circadianos de atividade na PPP de cada uma das espécies analisadas, foram apenas consideradas as passagens que os indivíduos observados efetuaram para montante.

2.2.4. Obtenção do comprimento total das lampreias-marinhas

Procedeu-se à medição do comprimento total de 1000 lampreias-marinhas, subamostradas a partir do número total de indivíduos que utilizaram a PPP do Açude-Ponte em Coimbra, com movimentos migratórios para montante, entre Janeiro e Junho de 2013.

Esta metodologia foi aplicada apenas para uma espécie (lampreia-marinha) devido ao facto de ser uma tarefa que exige muito tempo para ser concretizada.

O principal objetivo desta tarefa é estimar o peso de cada lampreia-marinha medida produzindo dados suficientes para estimar a biomassa total de lampreia-marinha que fez a transposição para montante através da PPP do Açude-Ponte em Coimbra durante o período de estudo. No futuro pretende-se aplicar esta metodologia às restantes espécies alvo.

As medições foram feitas com recurso às gravações recolhidas na estação de monitorização da PPP do Açude-Ponte em Coimbra. O processo de medição das lampreias-marinhas apresentou duas fases. Primeiro, com o auxílio de uma mesa gráfica, procedeu-se ao decalque de cada lampreia-marinha obtido através do registo de vídeo efetuado para cada movimento processado.

Para isso, foi desenhada uma linha longitudinal, ao longo do corpo da lampreia-marinha, cujo comprimento coincide com o comprimento total de cada indivíduo. Numa segunda fase, estas linhas, desenhadas para cada lampreia-marinha, foram analisadas num software de análise de imagem (Image J 1.47v), onde foi calculado o comprimento total de cada lampreia-marinha. Nesta medição foi corrigido o desfasamento entre o comprimento real das lampreias-marinhas e o comprimento das mesmas nas gravações (registo de imagem obtido com alguma distorção provocada pelo posicionamento da câmara relativamente à janela de observação), e tendo em conta que a instalação da camara foi feita numa zona superior da janela e não de frente para a janela, como seria o correto se a sala de monitorização tivesse espaço que permitisse este tipo de posicionamento da câmara de vídeo. Com o objetivo de eliminar o erro associado a estas medições, para cada ficha de registo, foram consideradas duas escalas de medição para calibrar o registo do comprimento dos animais, relacionadas com a zona da janela onde foi observada cada lampreia, uma para a zona superior da janela (s) e outra para a zona inferior da janela (i). A figura 14 exemplifica uma ficha de registo das linhas, correspondentes aos comprimentos de cada indivíduo.

PPP Açude-Ponte Coimbra_Medições de Lampreia-marinha

Data:

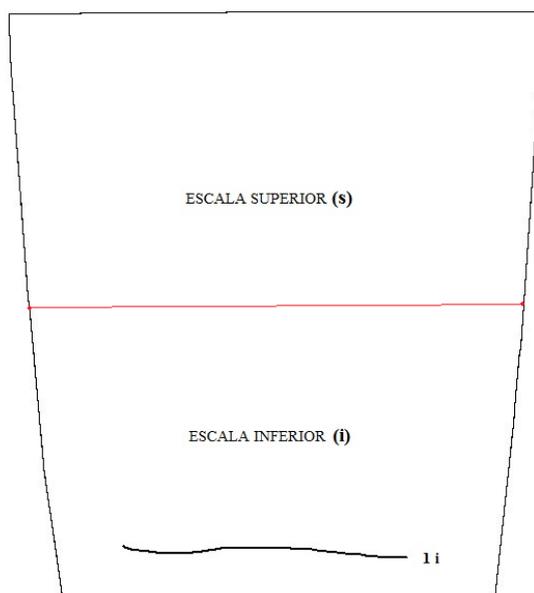


Figura 14 - Ficha de registo da curva de cada lampreia-marinha, correspondente ao comprimento total de cada indivíduo, segundo a escala (s) e (i).

2.2.5. Cálculo da biomassa total de lampreias-marinhas

A estimativa do peso das lampreias-marinhas foi feita com base na relação peso-comprimento descrita pela função:

$$W = aL^b,$$

onde W é o peso estimado, L é o comprimento total observado, e a e b são parâmetros estimados por $\log W = \log a + b \log L$, em que a é a intercepção da regressão e b o declive da regressão linear (Jones, 1999).

Para o presente estudo foram utilizados os parâmetros obtidos por Quintella (2006), expressos no gráfico apresentado na figura 15.

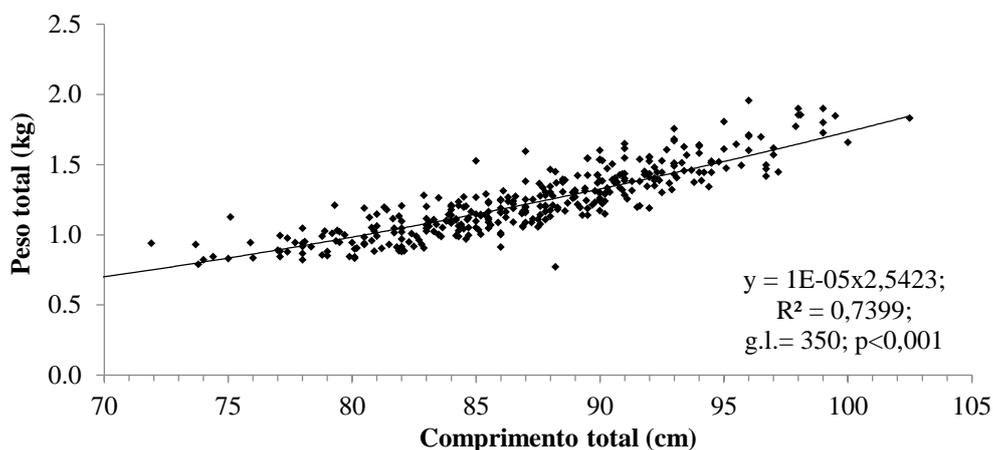


Figura 15- Gráfico que expressa a relação comprimento-peso de lampreias-marinhas adultas (adaptado de Quintella, 2006).

Após o cálculo do peso de cada lampreia, foi calculado a biomassa total da sub-amostra de 1000 lampreias-marinhas analisadas, e de seguida este valor foi extrapolado para o número total de lampreias-marinhas registadas em contagens visuais a efetuar movimentos para montante, entre o período de Janeiro de 2013 e Junho de 2013.

2.2.6. Modelos explicativos-preditivos

Espécies alvo e intervalos de estudo

A migração das comunidades piscícolas é um fenómeno que ocorre para dar resposta a requisitos particulares das espécies ao longo do seu ciclo de vida. As distâncias percorridas podem variar entre espécies, entre populações da mesma espécie ou mesmo entre indivíduos pertencentes à mesma população (Kroes *et al.*, 2006). Os períodos de migração, sendo específicos de cada taxa e curso de água, podem variar interanualmente (FAO/DVWK, 2002). Tendo em conta o período de estudo (Janeiro a Junho de 2013) e as épocas de migração das espécies ocorrentes no Rio Mondego (tabela 4) que potencialmente poderiam utilizar a PPP, foram criados modelos de explicação/previsão da utilização da PPP para as seguintes espécies:

- Lampreia – marinha
- Sável
- Savelha
- Barbo do Norte
- Boga-comum

As restantes espécies, nomeadamente a enguia-europeia, o muge e a truta, apresentam uma época de migração mais prolongada (tabela 4) que as espécies-alvo deste estudo (lampreia-marinha, sável, savelha, barbo do Norte e boga-comum), e que o próprio período de amostragem, que ocorreu entre Janeiro e Junho.

Tabela 4 - Épocas de migração das espécies mais abundantes presentes no Rio Mondego referidas na bibliografia (Almeida, 1996; Almeida *et al.*, 2000; Aprahamian *et al.*, 200; Rodriguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992; Lobon-Cervia & Elvira, 1986; Tesch, 2003; Kottelat & Freyhof, 2007)

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

Migração para montante
 Migração para jusante
 Migração para montante e para jusante simultaneamente

Para os modelos foram utilizados dados de contagens de passagens para montante registadas a partir de censos visuais com recurso a filmagens de vídeo recolhidas na estação de monitorização da PPP do Açude-Ponte de Coimbra. Para cada modelo foram compreendidas todas as contagens de movimentos para montante registados em intervalos de 1 hora entre o início de Janeiro de 2013 e final de Junho de 2013. Foram excluídos do modelo períodos em que não existem dados de passagens, nomeadamente, períodos anteriores ao melhoramento da estação de contagem e períodos onde ocorreram falhas do sistema (procedimentos mencionados na alínea 2.2.2.). Estes períodos não foram considerados devido à impossibilidade de garantir uma fiabilidade necessária na identificação e contagem.

Tendo em conta que o objetivo principal deste trabalho é perceber que preditores explicam a utilização da PPP por parte das espécies em estudo, durante a migração reprodutora, a presente análise foi centrada essencialmente no intervalo correspondente à época de migração das espécies-alvo que vem de encontro ao período de maior utilização da PPP. Para isso, a amostra de dados utilizada nos modelos foi delimitada segundo os dados de contagens de passagens recolhidos da estação de monitorização da PPP. Este processo envolveu o cálculo dos percentis 20 e 80 da amostra de dados da variável resposta para cada espécie alvo, de forma a eliminar períodos da época de migração durante os quais grande parte do tempo não se contabilizou nenhuma passagem. Este procedimento aproximou o intervalo da amostra utilizada na análise BRT ao pico migratório descrito para as espécies-alvo de estudo (e ao pico de utilização da PPP de cada espécie).

Preditores

Os movimentos migratórios são influenciados por alterações fisiológicas do peixe e factores externos ao mesmo, tal como modificações ambientais naturais como o fotoperíodo, a variação da temperatura, o ciclo lunar, variação de caudal, entre outros (Pavlov, 1989; Katapodis, 1992). Desta forma, trabalhos com as características do presente estudo, que envolvem a avaliação da eficácia e eficiência de uma PPP, devem ter em conta factores que potencialmente influenciariam os movimentos da espécie numa situação hipotética de rio não perturbado (Maitland *et. al.*, 2000; Almeida *et. al.*, 2002; FAO/DVWK, 2002; Santos *et. al.*, 2005; Baras *et. al.*, 2010;).

Numa primeira análise foram seleccionado os preditores da tabela seguinte, para utilização nos modelos de explicação/previsão das espécies-alvo.

Tabela 5 - Variáveis ambientais candidatas à utilização nos modelos explicativos – preditivos

Tipo	Variável	Código	Breve descrição	Fonte dos dados
Ambientais	Temperatura (°C)	Temp	Temperatura média horária da água do rio registada a partir de 30 min de intervalo.	Sonda multiparamétrica instalada na primeira bacia da PPP
	Condutividade específica (µS/cm)	CondEsp	Condutividade específica média da água do rio registada a partir de 30 min de intervalo.	
	Turbidez (FNU)	Turb	Turbidez média horária do rio registada a partir de 30 min de intervalo.	
	Salinidade (psu)	Sal	Salinidade média horária do rio registada a partir de 30 min de intervalo.	
Hidráulicas	Caudal efluente total (m ³ /s)	CauTot	Caudal efluente total médio horário que corresponde ao caudal efluente médio horário descarregado pelas 9 comportas mais o caudal efluente médio do canal da PPP.	Agência Portuguesa do Ambiente
	Caudal efluente total (m ³ /s) desfasado 2 horas	CauTot 2h	Caudal efluente total médio horário com desfasamento de +2 horas, tendo em conta o caudal efluente total.	
	Caudal efluente total (m ³ /s) desfasado 4 horas	CauTot 4h	Caudal efluente total médio horário com desfasamento de +4 horas, tendo em conta o caudal efluente total.	
Hidráulicas	Gestão das comportas da esquerda	CompEsq	Gestão do conjunto de 3 comportas localizadas mais próximas da margem esquerda.	Agência Portuguesa do Ambiente
	Gestão das comportas do centro	CompCen	Gestão do conjunto de 3 comportas localizadas ao centro do açude.	
	Gestão das comportas da direita	CompDir	Gestão do conjunto de 3 comportas localizadas mais próximas da margem direita.	
Astronómicas	Fotoperíodo	FotPer	Número de horas que equivalem ao comprimento do dia.	Observatório Astronómico de Lisboa
	Ciclo lunar	CicLun	Fases da lua (lua nova, quarto crescente, lua cheia, quarto minguante).	
	Período do dia	PerDia	Fase do dia segundo os crepúsculos (raiar da aurora, dia claro, escurecer, noite fechada).	

Apesar de os modelos explicativos/ preditivos utilizados (*i.e.*, BRT) serem de uma forma geral uma técnica robusta, não requerendo uma seleção *a priori* de variáveis, Dormann *et. al.* (2012), descreve que é preferível a eliminação de correlações numa pré análise. Assim, foi investigada a presença de correlações elevadas entre os preditores da tabela 5. Todas as correlações entre variáveis superiores em valor absoluto a 0,8 foram excluídas (Snelder & Lamouroux, 2010). Para uma análise de correlação entre variáveis, assumindo que estamos a lidar com dados não paramétricos, foi utilizado o teste de Spearman (Dormann *et. al.* 2012).

BOOSTED REGRESSION TREES

O modelo utilizado para examinar a relação entre a utilização da PPP do Açude-Ponte de Coimbra pelas espécies alvo e os preditores abióticos, bem como para fazer previsões de utilização da PPP, foi o *Boosted Regression Trees* (BRT; Elith, 2008; Leathwick, 2008; Hastie 2009). Este tratamento estatístico é intitulado desta forma devido ao seu formato de regressão logística que incorpora dois algoritmos: as árvores de decisão, 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, adicionando uma componente estocástica ao processo, melhorando a performance preditiva do modelo final. Esta técnica é originária de estatísticas do tipo máquina de aprendizagem, mas pode ser considerada uma forma avançada e complexa de regressão (Friedman, 2000). As BRT são um método estatístico desenvolvido recentemente, concebido para melhorar a performance de modelos criados anteriormente que funcionam isoladamente. É um método inovador devido à sua possibilidade de ajustar vários modelos, combinando-os entre si com o objetivo de criar previsões mais próximas do real (Elith, 2008; Pinkerton, 2010). O *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*, o que reflecte o facto de a cada passo ser adicionado um termo ao modelo para diminuir ligeiramente o erro preditivo, ou seja, a perda de performance preditiva gerada por um modelo sub-óptimo. Os termos são adicionados sob a forma de pequenas árvores de regressão, que são ajustadas continuamente para ter em conta as observações que são pior ajustadas pelos modelos precedentes (Elith *et al.*, 2006). A média dos resultados deste conjunto de árvores de regressão constitui a predição final (Leathwick *et al.*, 2008). Este método de média do modelo permite que este seja explicativo mas ao mesmo tempo preditivo (De'ath, 2007; Elith *et al.*, 2008).

As vantagens deste método residem: (i) na sua capacidade de incluir vários tipos de preditores e possíveis ausências de dados de variáveis abióticas; (ii) na sua imunidade perante efeitos de *outliers* extremos e de preditores irrelevantes; (iii) na sua capacidade de ajustar relações não lineares complexas; e (iv) na sua facilidade de ajustar interações entre preditores (Elith, 2008; Leathwick *et al.*, 2008). Porém, as árvores de decisão contêm duas desvantagens que dizem respeito à sua fraca capacidade de prever, assim como à possibilidade de criarem árvores de grande dimensão que, normalmente, se tornam difíceis de interpretar. Estas fraquezas normalmente são ultrapassadas pela outra metade deste método, o algoritmo *boosting*, que origina excelentes preditores, produzindo gráficos simples, facilitando interpretações de relações complexas (De'ath, 2007).

A sua utilização em estudos ecológicos é recente, porém, já se demonstrou uma técnica muito útil para lidar com séries de dados biológicos complexos e por vezes encontra-se em vantagem no que diz respeito à capacidade preditiva se comparado com métodos como os General Linear Models (GLM) e Generalized Additive Models (GAM) (Elith, 2006; De'ath, 2007; Elith, 2008; Leathwick, 2008; Ferreira *et al.*, 2013).

Ajuste dos modelos e a sua performance

As análises foram corridas em ambiente R (versão 2.7.1, R Development Core Team, 2004) utilizando o pacote “gbm” (Ridgeway, 2006) e o suplemento de funções de Elith *et. al.* (2008).

Durante a análise preliminar, foram determinadas as combinações óptimas para três parâmetros do modelo, discriminados na tabela 6, avaliados através da redução do erro de validação cruzada, ou seja, o desvio preditivo em relação aos dados de treino. A técnica de validação-cruzada (CV) com 10 partições é uma abordagem que permite o uso de toda a informação disponível, enquanto utiliza subconjuntos dos dados para estimar a performance do modelo quando prevê para dados independentes (Leathwick *et al.*, 2006; De'ath, 2007). É um método cada vez mais usado e aconselhado para amostras de pequena dimensão (menos de 250 réplicas) (Elith *et. al.*, 2008).

O método CV ajusta uma série de modelos a 10 subconjuntos temporários, seleccionados ao acaso e compreendendo 90% dos dados disponíveis, com as árvores sendo sucessivamente adicionadas até que não sejam detetadas melhorias na capacidade preditiva para os 10% dos 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 das 10 interações. A implementação CV determina primeiro o número de árvores óptimo, e depois ajusta um modelo final a todos os dados (Pinkerton *et. al.*, 2010).

Para este processo de ajustamento foi utilizado o script “gbm.step” do pacote “gbm” (Ridgeway, 2006) e o processo de validação cruzada com 10 partições para determinar o número óptimo de árvores para cada modelo, ou seja, o que fornece a máxima performance preditiva.

Tabela 6 - Caracterização dos parâmetros de ajuste dos modelos BRT

Parâmetros	Breve descrição
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 (ensemble model) (Friedman, 2001).
Complexidade da árvore- tc (tree complexity)	Controla o número de nós de cada árvore e por isso, o número máximo de interações ajustadas. Uma tc de 1 (ramo de decisão único, dois nós terminais) ajusta um modelo aditivo, uma tc de dois ajusta um modelo com o máximo dois sentidos de interações, e assim por diante.
“Bag fraccion”	Controla a fracção de dados de treino seleccionada aleatoriamente para construir cada árvore. A “bag fraccion” padrão é de 0,5, o que significa que a cada interacção, 50% dos dados são seleccionados 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, 2002). 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 <i>et al.</i> , 2008).
Número de árvores- nt (number of trees)	Valor obtido com a definição dos restantes parâmetros e através de validação cruzada. Representa o número de árvores necessário para a predição óptima (Elith <i>et al.</i> 2008).

Este procedimento trabalha no sentido de impedir o sobreajustamento, construindo progressivamente 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). 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. (Elith *et al.*, 2006). Para cada modelo, foram determinadas três métricas de performance, o *cv deviance*, a percentagem explicativa (R^2) e o *cv correlation* (tabela 7).

Tabela 7 - Parâmetros utilizados para avaliar a performance preditiva do modelo e respectiva condição que indica boa performance (Leathwick, *et. al.* 2006; Abeare, 2009; Pinkerton, *et. al.* 2010; Rodil, *et. al.* 2012)

Tipo de métrica	Breve descrição	Condição de boa performance
<i>Cv deviance</i>	Erro preditivo da validação cruzada.	O menor possível. Varia entre 0 e 1, em que 0 representa nenhuma variação
R^2	Porcentagem de variação explicada pelo modelo calculada através da média total da variação e dos resíduos médios da variação.	explicada e má performance do modelo e 1 a melhor performance possível com 100% de variação da resposta explicada pelo modelo.
<i>Cv correlation</i>	Medida de correlação entre os dados observados e os dados ajustados; calculado a partir da correlação de Pearson.	Correlação significativa.

Contribuição das variáveis

A importância das variáveis preditivas nos modelos BRT foi avaliada utilizando um *script* do *gbm* que calcula a contribuição de cada preditor para o ajustamento do 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 100, com os valores mais elevados indicando maior influência na resposta (Froeschke *et al.*, 2010).

Simplificação

Nos casos em que os preditores participam no modelo com uma pequena contribuição de explicação da variação (<3%), estas variáveis devem ser eliminadas do modelo final. Este processo para a eliminação de variáveis não-informativas envolve a simplificação do modelo pela queda do preditor menos importante (Rodil *et. al.*, 2012). Segundo o princípio da parcimônia, um modelo deve ser tão simples quanto possível, ou seja, o modelo não deve 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. No presente estudo, a simplificação do modelo foi conseguida ajustando um modelo máximo e, em seguida, simplificando-o (Crawley, 2013) utilizando o *script* “*gbm.simplify*”. Este procedimento reduz o risco de negligenciar um aspecto importante dos dados (Crawley, 2013). A performance do modelo, após simplificação deve ser

avaliada num procedimento de validação cruzada com 10 partições, que simplifica progressivamente o modelo ajustado em cada vez, e utiliza o erro CV médio para decidir quantas variáveis podem ser removidas antes que ocorra degradação da qualidade do modelo (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 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 (tc) (Leathwick *et al.*, 2006). No entanto, 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”) que cria, para cada possível par de preditores, um modelo linear que relaciona previsões temporárias propositadamente geradas entre todos os pares de preditores. A variância residual neste modelo linear indica a força relativa da interação ajustada por BRT, com uma variância residual de zero indicando que nenhuns efeitos da interação foram ajustados (Elith *et al.*, 2008) e maiores valores indicando dependências mais fortes (De’ath, 2007). A existência de interações nos modelos ($tc > 1$) melhora a performance dos mesmos se compararmos com modelos sem interações ($tc = 1$) (Parravicini *et al.*, 2013).

Previsões – contagens esperadas

Para além de identificar variáveis ambientais importantes que contribuem para os padrões de migração das espécies alvo deste estudo, outro dos objectivos deste trabalho é gerar previsões explícitas de contagens esperadas numa determinada série temporal. Futuramente, e no âmbito

da monitorização da PPP do Açude-Ponte de Coimbra, o que se pretende é concluir este procedimento validando o modelo com base em dados independentes (Pinkerton *et. al.*, 2010), mas tendo em conta as limitações temporais deste trabalho de tese, o modelo foi validado sobre a mesma matriz onde foram ajustados os modelos. Estas previsões foram geradas utilizando um script disponível no “gbm”:
predict.gbm”.

3. RESULTADOS

3.1. Parâmetros abióticos

Os dados de temperatura (°C), turbidez (FNU) e condutividade específica (µS/cm) foram recolhidos entre Janeiro e Junho de 2013. No mesmo período foram registados os níveis de caudal total efluente do Açude-Ponte. Na tabela 8 são apresentados os valores máximos, mínimos, médios, e respetivos desvios-padrão, para cada um dos meses analisados, e o respetivo total, dos parâmetros em estudo, mencionados anteriormente, numa amostra de dados que inclui dois registos horários, excluindo o caudal, que apresenta um registo por hora. Os gráficos 17, 18, 19 e 20 apresentam valores médios diários de temperatura, turbidez, condutividade específica e caudal efluente total, respetivamente.

A sonda multiparamétrica, no total do período de estudo, registou no dia 25 de Junho a temperatura máxima de 23,49 °C e no dia 28 de Fevereiro a temperatura mínima de 9,19 °C. A temperatura média registada entre Janeiro e Junho foi de 14,65 °C. Relativamente, à turbidez da água foi registado o valor máximo no dia 7 de Junho de 5253 FNU e o mínimo dia 7 de Fevereiro de 2,20 FNU. Em média a sonda, registou valores de turbidez de 35,81 FNU ao longo de tudo o período de estudo. Quando à condutividade específica, o seu valor máximo de 190 µS/cm foi alcançado no dia 22 de Fevereiro e o mínimo de 31 µS/cm no dia 27 de Junho. A condutividade específica média registada no intervalo de estudo foi de 79,46 µS/cm. Os caudais efluentes atingiram o valor máximo a 30 de Março e o mínimo a 10 de Junho, com 1276,08 m³/s e 3,50 m³/s respetivamente. Em média, o Açude-Ponte registou caudais de 175,67 m³/s entre Janeiro e Junho de 2013.

Tabela 8 - Registo mensal dos parâmetros recolhidos entre Fevereiro e Junho de 2013 pela sonda multiparamétrica instalada na PPP do Açude-ponte em Coimbra. Dados retirados de uma amostra que inclui dois registos horários, excluindo o caudal, que apresenta um registo por hora. A ausência de dados de temperatura, turbidez e condutividade específica em Janeiro deve-se ao facto da sonda multiparamétrica ter sido instalada apenas a 5 de Fevereiro de 2013,

mês	métricas	Temp. (°C)		Turb. (FNU)		Cond. esp. (µS/cm)		Caud. tot. (m³/s)	
		valor	data de registo (dia)	valor	data de registo (dia)	valor	data de registo (dia)	valor	data de registo (dia)
Janeiro	Mínimo							3,50	10
	Máximo							797,52	19
	Média	<i>ausência de dados</i>						260,37	-
	DP							251,46	-
Fevereiro	mínimo	9,19	28	2,20	7	87,00	13	17,50	2
	máximo	12,11	22	1214,30	5	190,00	22	251,37	15
	média	10,67	-	16,23	-	115,64	-	129,39	-
	desvio padrão	0,46	-	61,56	-	16,90	-	60,39	-
Março	mínimo	9,58	1	3,00	1	47,00	8	55,41	7
	máximo	12,86	29	3319,90	4	124,00	4	1276,08	30
	média	15,10	-	62,77	-	80,72	-	353,45	-
	DP	3,23	-	177,02	-	18,25	-	223,22	-
Abril	mínimo	11,75	6	4,10	22	64,00	30	6,59	27
	máximo	16,56	18	249,10	5	119,00	5 e 6	1031,95	1
	média	13,88	-	29,35	-	86,30	-	230,16	-
	DP	1,16	-	13,17	-	13,76	-	245,41	-
Maio	mínimo	13,08	1	4,50	10 e 14	62,00	6, 26, 27 e 28	5,61	19
	máximo	19,83	24	1057	24	99,00	9	180,07	3
	média	17,75	-	17,74	-	70,84	-	51,99	-
	DP	2,22	-	132,47	-	5,66	-	46,89	-
Junho	mínimo	16,45	11	6,00	12	31,00	27	9,32	13
	máximo	23,49	25	5253,00	7	81,00	19	92,90	3
	média	19,42	-	64,84	-	62,44	-	21,30	-
	DP	1,73	-	189,67	-	6,97	-	16,28	-
total	mínimo	9,19	28 Fev.	2,20	7 Fev.	31	27 Jun.	3,50	10 Jan.
	máximo	23,49	25 Jun.	5253,00	7 Jun.	190	22 Fev.	1276,08	30 Mar.
	média	14,65	-	35,81	-	79,46	-	175,67	-
	DP	3,34	-	125,55	-	19,60	-	210,52	-

A análise gráfica destes parâmetros, apresentada de seguida, foi baseada em valores médios diários. A figura 16 expressa o crescimento gradual da temperatura média diária do rio ao longo do período de estudo. É evidente a ocorrência de algumas oscilações de temperatura entre o início do mês de Maio e final do mês de Junho. A sonda registou quatro picos de turbidez média diária ao longo do período de estudo, dois deles na fase inicial, em 5 de Fevereiro (286,29 FNU) e 4 de Março (496,67FNU) e os restantes no final do intervalo a 7 de Junho (249,58 FNU) e a 25 de Junho (338,79). No restante período a água manteve sempre valores de turbidez inferiores a uma média diária de 107,75 FNU (figura 17). No padrão de valores médios diários observados de condutividade específica da água do rio, é evidente um pico superior de 186,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, no dia 22 de Fevereiro, e, logo de seguida um decréscimo dos valores até aos 54,44 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no dia 8 de Março. No dias seguintes a condutividade específica assume valores crescentes até 5, 6 de Abril (114,71 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e a partir daí valores decrescentes até ao final do período de estudo (figura 18). A figura 19 expressa o padrão dos valores médios diários de caudal total efluente do Açude-Ponte ao longo do período de estudo, que apresenta dois picos principais no dia 19 de Janeiro, com 743,889 m^3/s , e no dia 30 de Março, com 996,543 m^3/s . No restante período foram registados caudais com múltiplas oscilações, terminando com valores bastante baixos e constantes a partir de final de Maio.

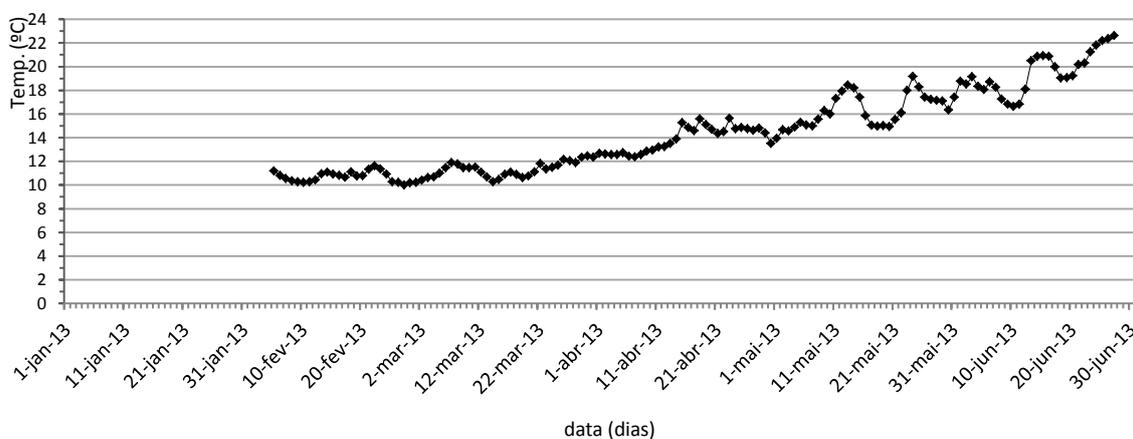


Figura 16 - Registos da temperatura média diária do rio obtidos na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Fevereiro e Junho de 2013.

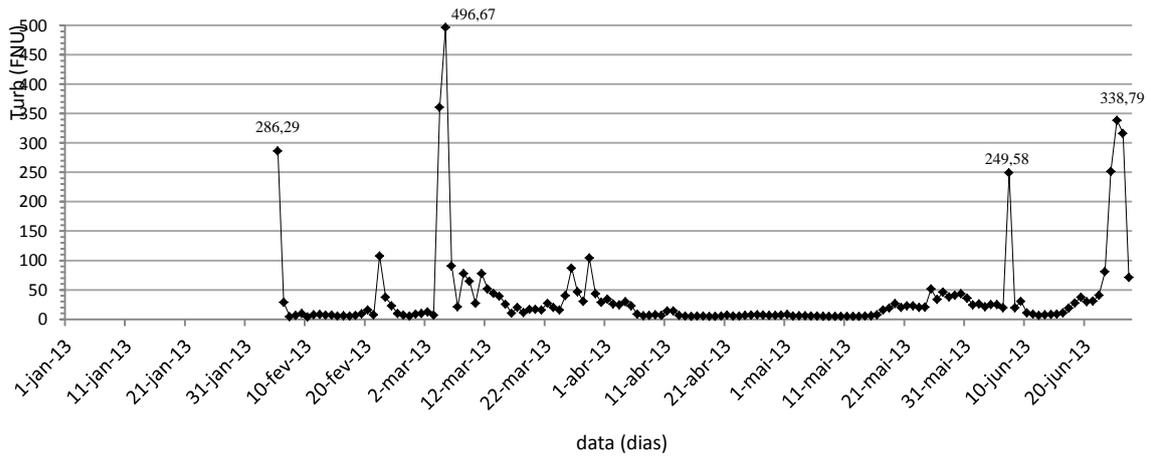


Figura 17 - Registos da turbidez média diária do rio obtidos na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Fevereiro e Junho de 2013.

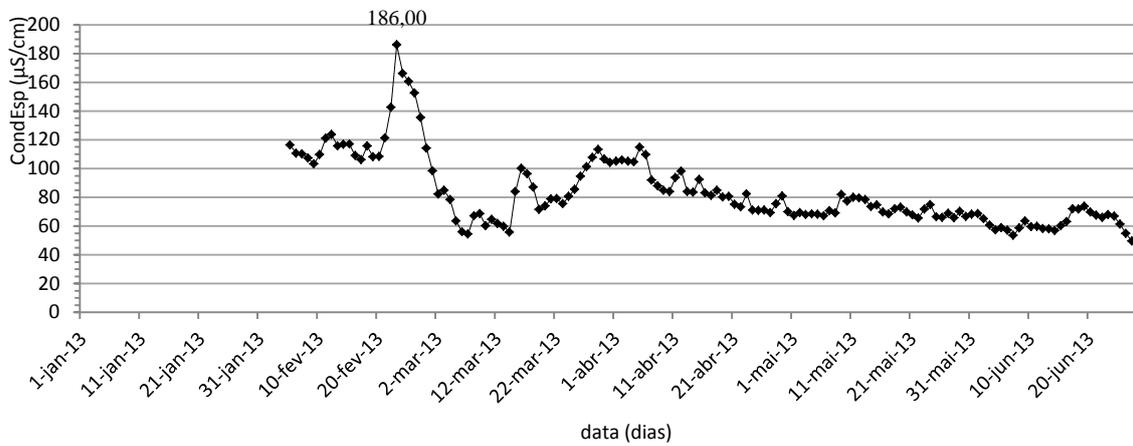


Figura 18 - Registos da condutividade específica média diária do rio obtidos na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Fevereiro e Junho de 2013.

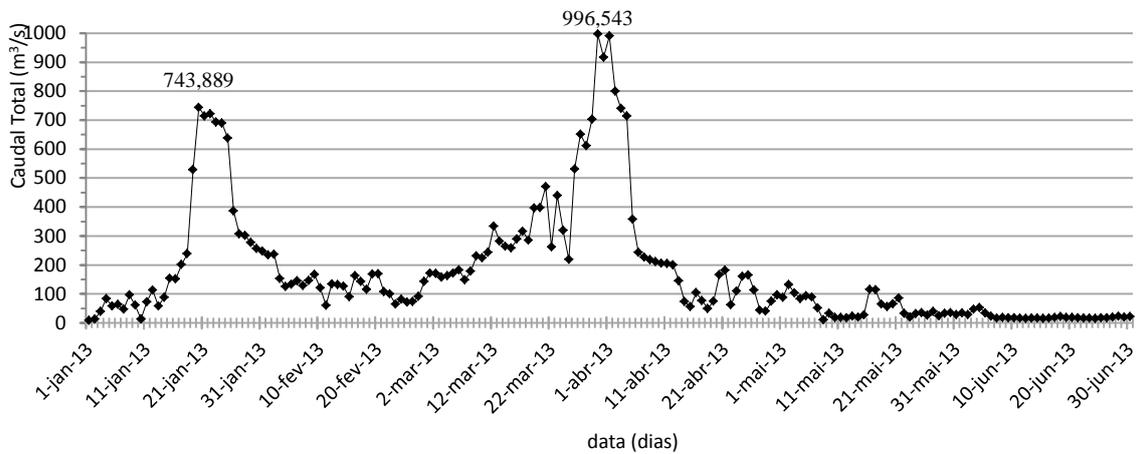


Figura 19 - Registos de caudais médios diários do rio obtidos na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013.

3.2. *Transposição para montante*

Durante o período de estudo (Janeiro a Junho de 2013), a PPP do Açude-Ponte de Coimbra foi utilizada pelas seguintes espécies piscícolas: lampreia-marinha, sável/ savelha, barbo do Norte, boga-comum, muge, truta, enguia-europeia, carpa, achigã e perca-sol. Destas, apenas a carpa, o achigã e a perca-sol não são espécies autóctones. Na figura 20 é possível observar todas as espécies registadas na PPP. Através do método de observação e identificação, baseado em características morfológicas de cada espécie evidenciadas essencialmente através da sua silhueta lateral, não foi possível diferenciar inequivocamente os espécimes de sável e savelha, sendo que estes indivíduos serão sempre mencionados ao nível do género *Alosa spp.*.



Figura 20 - Espécies piscícolas que utilizaram a PPP do Açude-Ponte de Coimbra durante o período de estudo: lampreia-marinha, *Alosa spp.*, barbo do Norte, boga-comum, muge, truta, enguia-europeia, carpa, achigã e perca-sol.

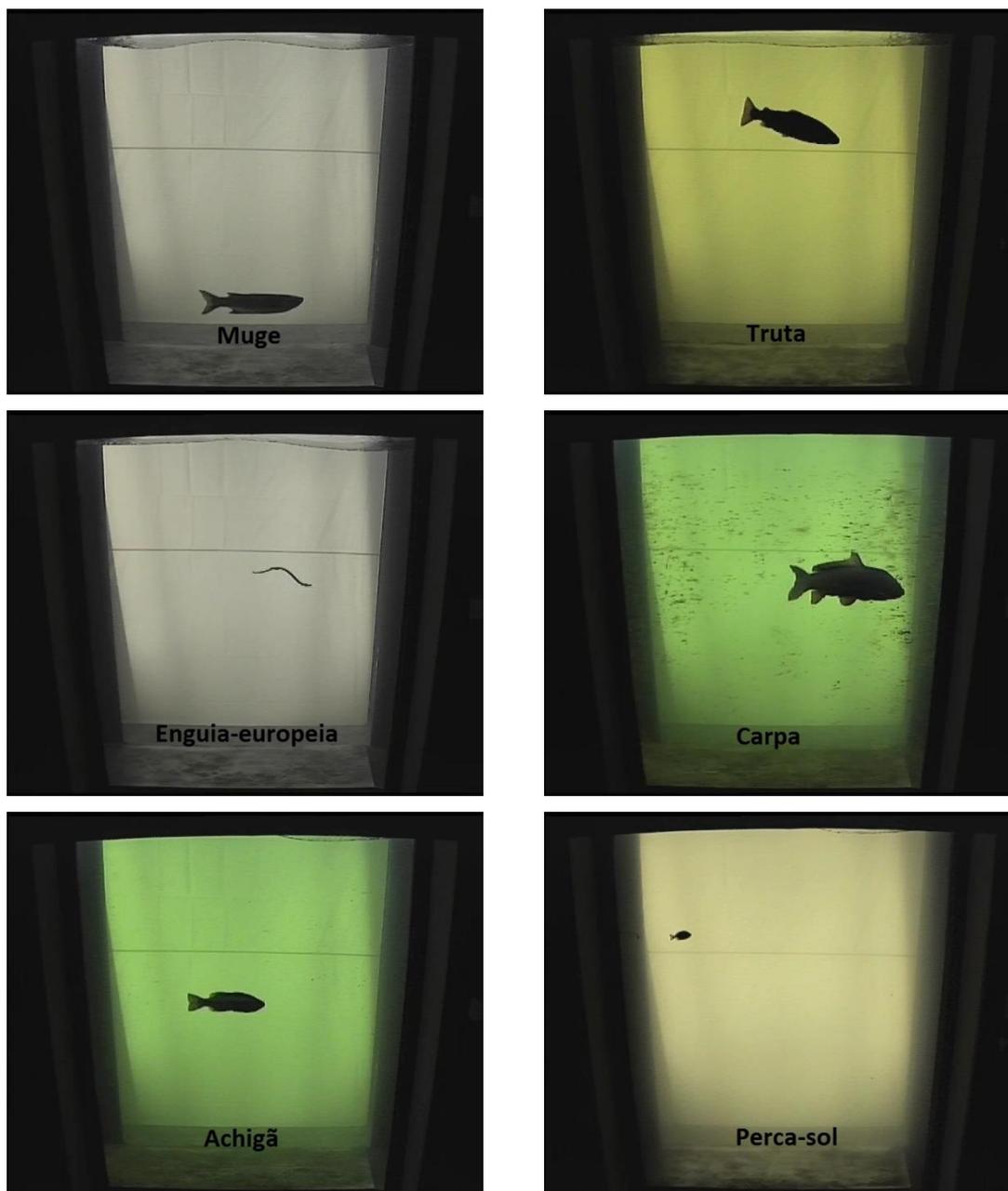


Figura 20 (continuação) - Espécies piscícolas que utilizaram a PPP do Açude-Ponte de Coimbra durante o período de estudo: lampreia-marinha, *Alosa* spp., barbo do Norte, boga-comum, muge, truta, enguia-europeia, carpa, achigã e perca-sol.

No intervalo de tempo analisado (Janeiro a Junho de 2013) notou-se uma tendência para uma utilização crescente da PPP por parte da ictiofauna do Rio Mondego atingindo o número total de 203058 animais (tabela 9).

A tabela 9 reúne o número total de passagens para montante, discriminadas por espécie e mês, na PPP do Açude-Ponte de Coimbra. A distribuição das passagens ao longo deste período demonstra que os meses durante os quais a PPP foi utilizada com mais frequência foram os meses de Junho com 41,48% das passagens totais, e de seguida o mês de Abril (25,31%), Maio

(25,08%) e por fim os meses de Janeiro, Fevereiro e Março com menos de 5% das passagens totais. O mês com menos passagens foi o mês de Fevereiro com 0,67% das passagens totais, o que corresponde a 1359 animais.

A espécie mais frequente foi o muge com 66% das passagens, equivalente a 134028 passagens para montante. De seguida a boga-comum (17,53%), o barbo do Norte (7,73%), a lampreia-marinha (3,74%), os indivíduos do género *Alosa spp.* (3,54%), a enguia-europeia (0,14%) e a truta (0,09%). As restantes espécies (carpa, achigã e perca-sol) apresentaram frequências de passagens residuais (tabela 9).

Tabela 9 - Frequência de movimentos para montante na PPP Açude-ponte em Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013 (dados mensais)

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	TOTAL	Proporção (%)
Lampreia-marinha	8	60	669	6167	685	4	7593	3,74
<i>Alosa spp.</i>	0	11	6	3116	3709	348	7190	3,54
Barbo do Norte	44	17	231	7413	5035	2965	15705	7,73
Boga-comum	4974	1194	7824	17113	2543	1953	35601	17,53
Muge	12	0	0	16947	38781	78288	134028	66,00
Enguia-europeia	0	0	16	30	5	225	276	0,14
Truta	0	3	0	6	15	154	178	0,09
Carpa	0	0	0	0	2	5	7	0,00
Achigã	0	0	0	0	1	3	4	0,00
Perca-sol	0	0	0	0	0	2	2	0,00
NI	386	74	985	597	156	276	2474	1,22
TOTAL	5424	1359	9731	51389	50932	84223		
Proporção (%)	2,67	0,67	4,79	25,31	25,08	41,48	203058	

Dados diários

A análise gráfica seguinte, expressa o padrão de passagem para montante das espécies que mais frequentemente utilizaram a PPP no período de Janeiro de 2013 a Junho de 2013.

É possível observar o comportamento de utilização da PPP da lampreia-marinha na figura 21. O primeiro registo de utilização ocorre no dia 13 de Janeiro e o último no dia 6 de Junho. É evidente a presença de um principal pico de passagem no dia 27 de Abril, que corresponde a 2335 animais, 30,7% das passagens totais. O período preferencial de utilização da PPP por parte

da lampreia-marinha, que corresponde a cerca de 80% das passagens totais, é entre 22 de Março e 27 de Abril.

Quanto à *Alosa* spp. (figura 22), o primeiro registo de passagem aconteceu no dia 7 de Fevereiro e o último no último dia de amostragem (30 de Junho). Tal como acontece com a lampreia-marinha, no caso de *Alosa* spp. também ocorre um grande pico de passagem no dia 27 de Abril, com 2488 animais a utilizar a PPP, correspondendo a 34,6% das passagens totais. A *Alosa* spp. utiliza a PPP preferencialmente no mês de Abril e Maio, pois 80% das passagens ocorrem entre 27 de Abril e 15 de Maio.

Ao contrário das espécies anádromas, as espécies potamódromas, nomeadamente o barbo do Norte e a boga-comum, utilizaram a PPP de uma forma mais dispersa ao longo do período de estudo. Relativamente ao barbo do Norte (figura 23), ocorrem 3 principais picos de passagem nos dias 16 de Abril, 19 de Abril e 27 de Junho com 1483, 860 e 672 animais a utilizarem a PPP, respetivamente. Oitenta por cento das passagens totais ocorrem entre o mês de Abril e Maio.

A boga-comum apresenta um padrão de utilização da PPP ainda mais disperso por todo o intervalo de estudo, contendo uma série de picos de passagem nos dias 13 de Abril (4707 passagens), 15 de Abril (2542 passagens), 26 de Janeiro (2214 passagens), 5 de Março (1798 passagens) e 27 de Junho (1687 passagens). Este comportamento não permitiu restringir a um mês a preferência de utilização da PPP porque 80% das passagens de boga-comum ocorreram entre Janeiro e Abril (figura 24).

Ao observar o figura 25 torna-se evidente que a época de migração do muge não se restringe ao período de estudo. O pico de passagem ocorre nos últimos dias de amostragem (28 e 29 de Junho), com o total de 17594 animais. O mesmo acontece com a enguia-europeia (figura 26) e com a truta (figura 27), em que 80% das passagens ocorreram no mês de Junho.

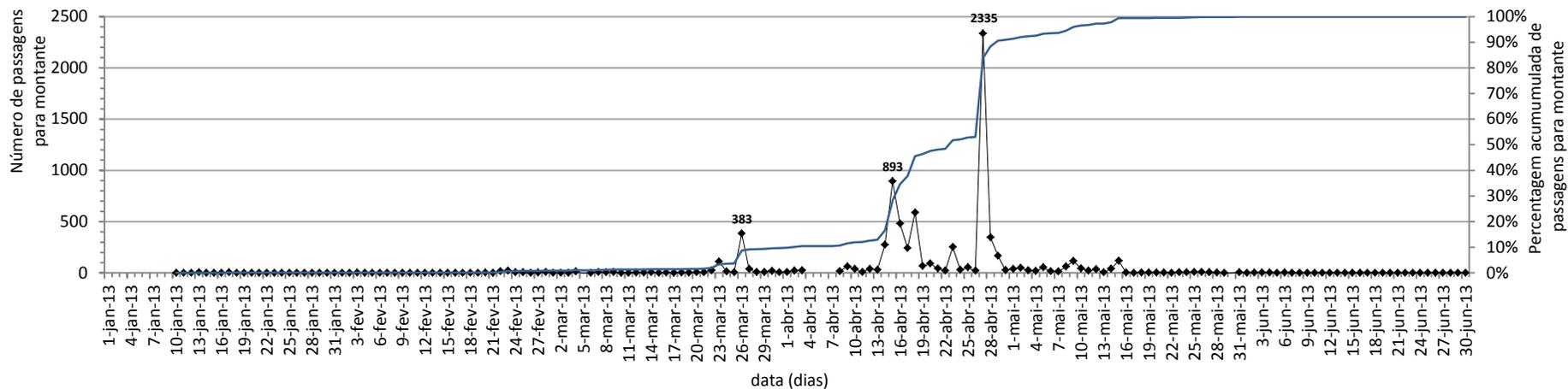


Figura 21 - Distribuição diária de passagens (linha preta) e percentagem acumulada de passagens (linha azul) de lampreia-marinha na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013.

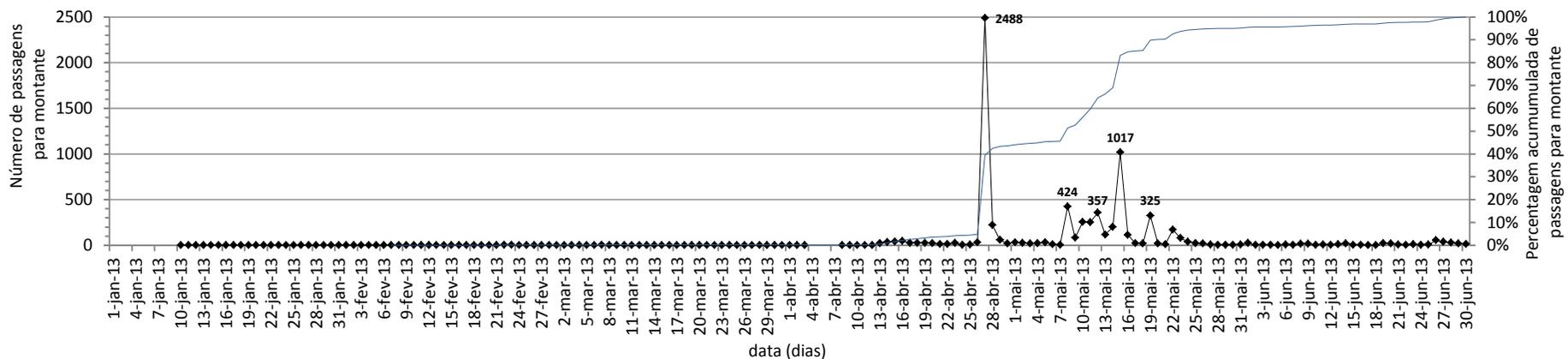


Figura 22 - Distribuição diária de passagens (linha preta) e percentagem acumulada de passagens (linha azul) de *Alosa spp.* na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013.

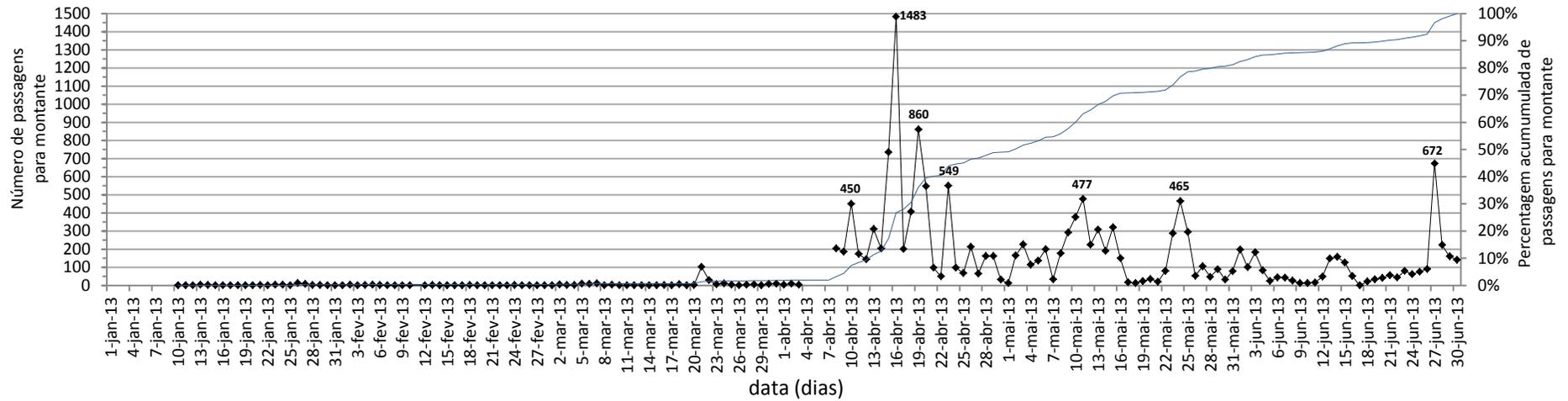


Figura 23 - Distribuição diária de passagens (linha preta) e percentagem acumulada de passagens (linha azul) de barbo do Norte na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013.

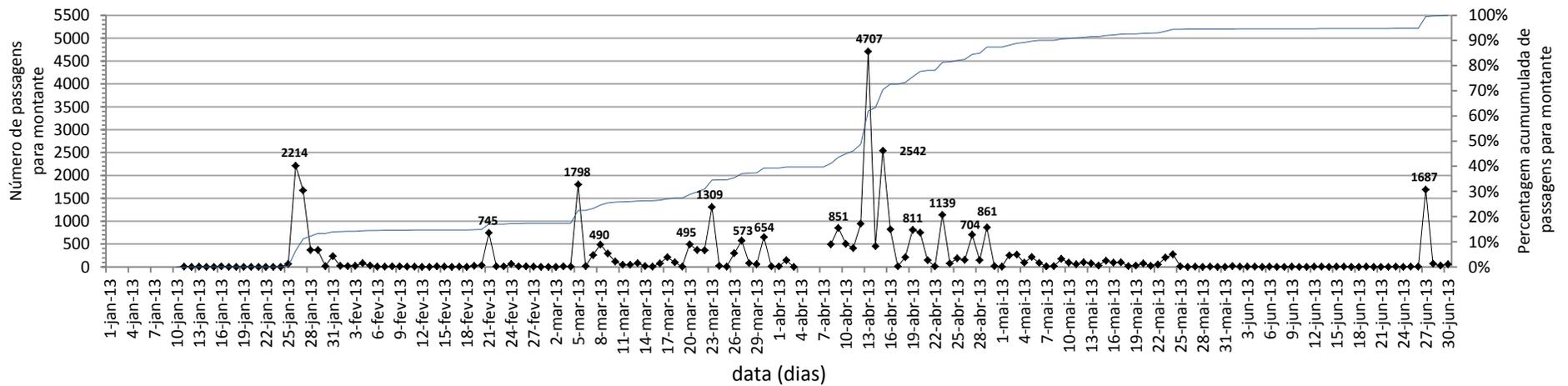


Figura 24- Distribuição diária de passagens (linha preta) e percentagem acumulada de passagens (linha azul) de boga-comum na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013.

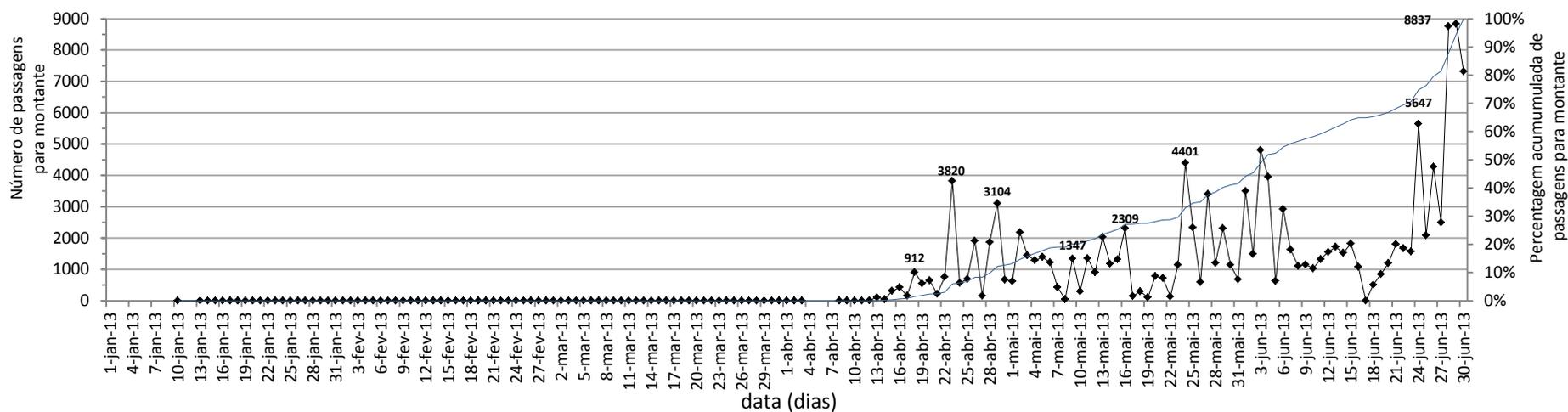


Figura 25 - Distribuição diária de passagens (linha preta) e percentagem acumulada de passagens (linha azul) de muge na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013.

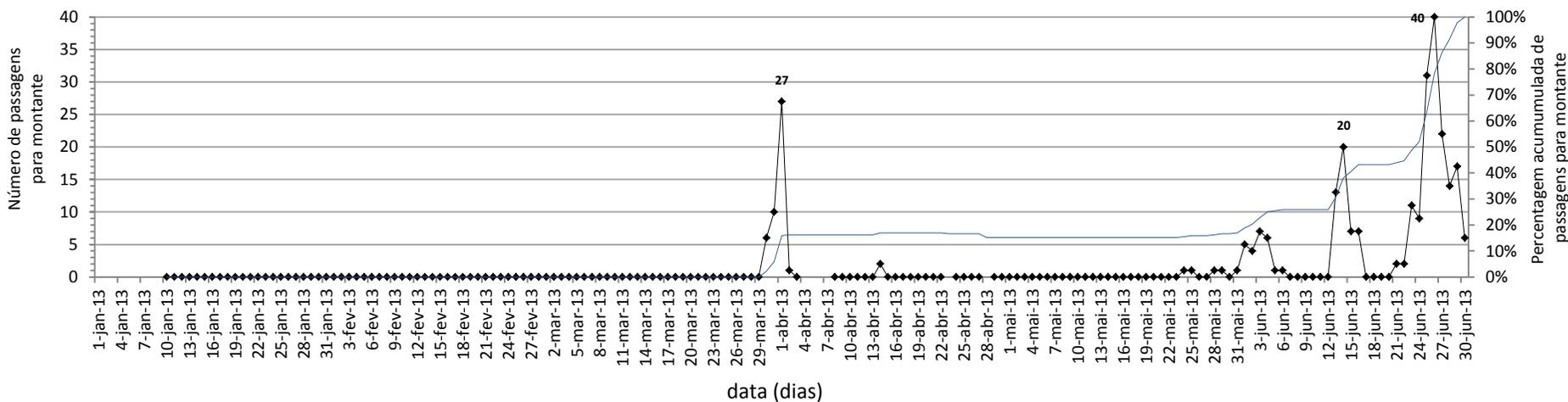


Figura 26-Distribuição diária de passagens (linha preta) e percentagem acumulada de passagens (linha azul) de enguia-europeia na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho 2013

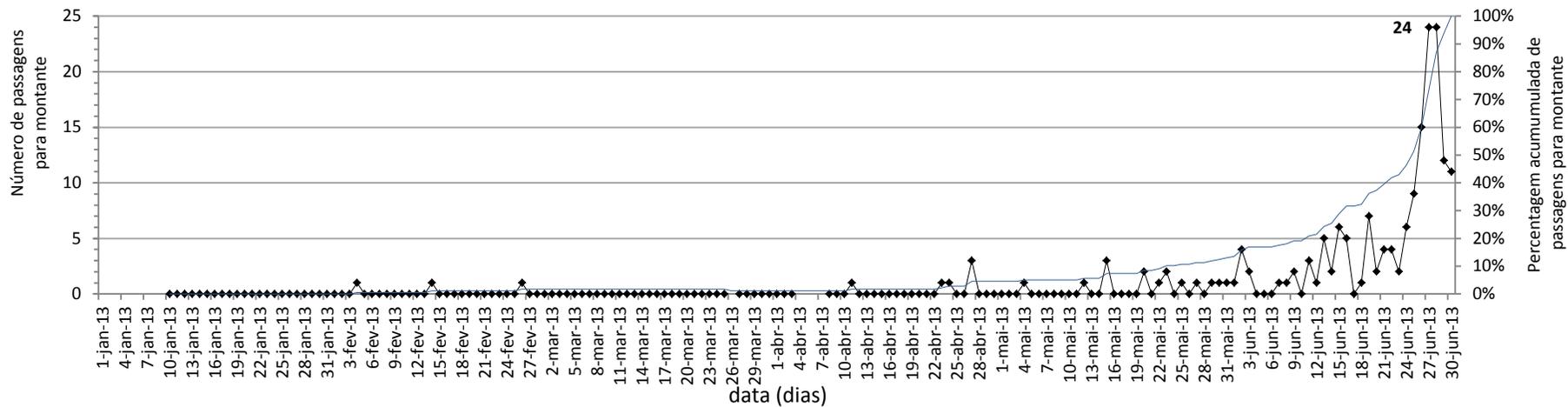


Figura 27 - Distribuição diária de passagens (linha preta) e percentagem acumulada de passagens (linha azul) de truta-de-rio na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013.

Distribuição circadiana

O padrão circadiano das passagens para montante das espécies que utilizaram a PPP foi analisado com recurso a gráficos circulares.

Na figura 28 é possível analisar a distribuição circadiana da lampreia-marinha, de *Alosa spp.*, do barbo do Norte, da boga-comum e do muge ao longo do período de estudo. Anexado a este trabalho estão apresentados os gráficos circulares correspondentes ao comportamento circadiano de cada espécie em cada mês do período de estudo.

Relativamente à lampreia-marinha, cerca de 80% das passagens ocorreram no período entre as 0 e as 11 horas. Quanto a *Alosa spp.*, a utilização da PPP ocorreu essencialmente (>50%) durante as 13 e as 18 horas. O mesmo ocorreu com o barbo do Norte, que concentrou (>50%) os movimentos de passagem na PPP entre as 12 e as 19 h. Quanto à boga-comum, o período de utilização da PPP mais frequente (cerca de 50%) foi entre as 12 e 18 horas. Por fim, o muge, também utilizou a PPP em dois períodos distintos, primeiro, com mais frequência (cerca de 65%) o período da tarde, início da noite, entre as 12 e as 20 horas, em segundo lugar (cerca de 35%), o período da manhã, entre as 6 e as 11 horas.

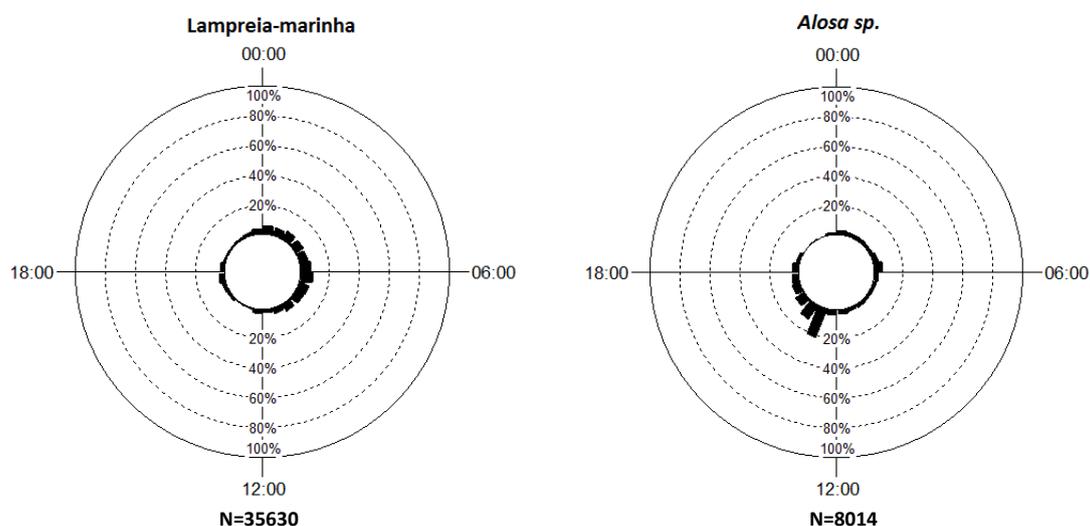


Figura 28 - Distribuição circadiana dos movimentos para montante detetados na PPP de lampreia-marinha, *Alosa sp.*, barbo do Norte, boga-comum e muge, ao longo do período de estudo. Para algumas espécies, o número total de animais que passou para montante através da PPP do Açude-Ponte difere do número de animais utilizado nesta análise. Esta situação é mais evidente nas lampreias-marinhas devido ao elevado número de registos de movimentos no sentido de montante, derivado das várias tentativas que cada animal executa antes de concretizar efetivamente a passagem para montante.

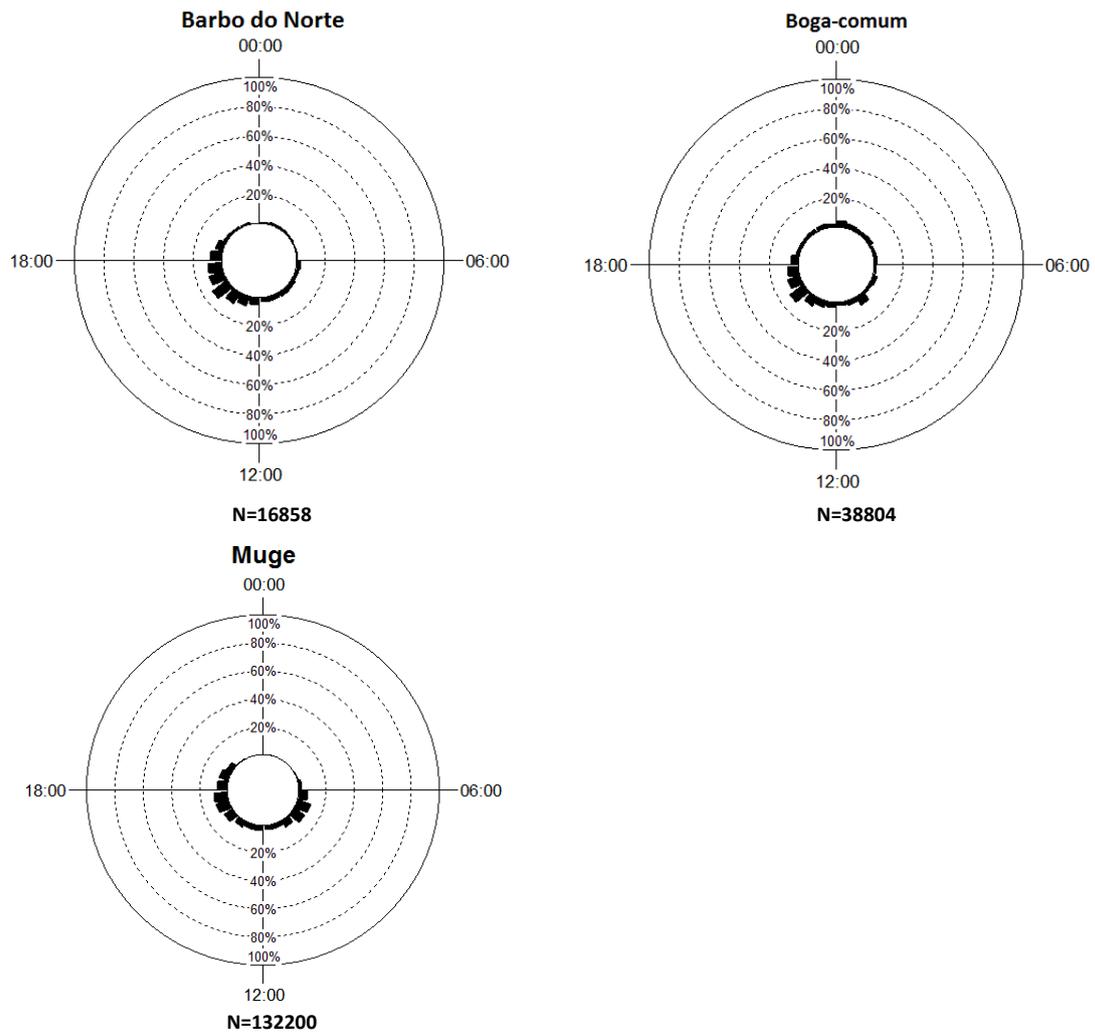


Figura 28 (continuação) - Distribuição circadiana dos movimentos para montante detetados na PPP de lampreia-marinha, *Alosa sp.*, barbo do Norte, boga-comum e muge, ao longo do período de estudo. Para algumas espécies, o número total de animais que passou para montante através da PPP do Açude-Ponte difere do número de animais utilizado nesta análise. Esta situação é mais evidente nas lampreias-marinhas devido ao elevado número de registos de movimentos no sentido de montante, derivado das várias tentativas que cada animal executa antes de concretizar efetivamente a passagem para montante.

3.3. Relação comprimento-peso de lampreia-marinha

A figura 29 apresenta a distribuição de frequências do comprimento total de 1000 lampreias-marinhas subamostradas a partir de uma população total de 7593 lampreias-marinhas que utilizaram a PPP do Açude-ponte de Coimbra entre Janeiro e Junho de 2013. A classe dimensional mais observada entre as lampreias-marinhas medidas é a de]90-95cm] com 27,2%, seguida da de]85-90 cm] com 25,7%. A menor classe dimensional registada foi a de]65-70 cm] com 0,5%, e a maior de]115-120cm] com 0,2%.

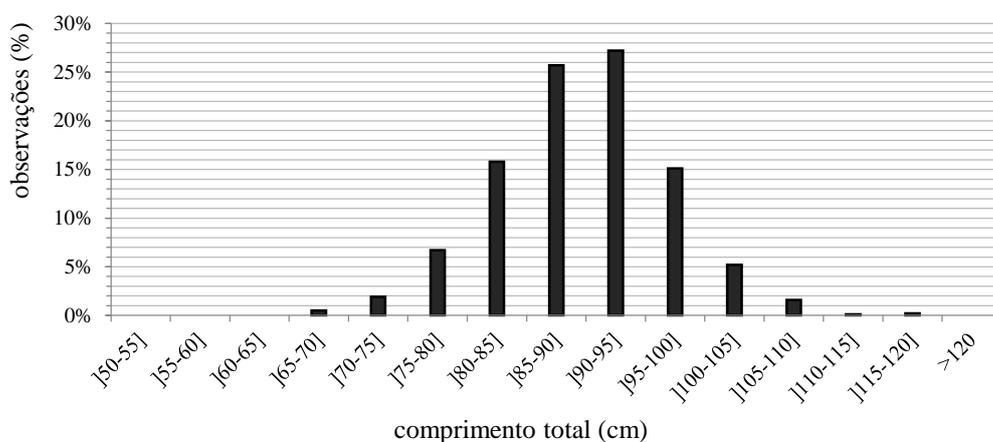


Figura 29 - Distribuição do comprimento total da subamostra de 1000 lampreias-marinhas medidas.

Após a medição das lampreias-marinhas, foi estimado o seu peso através da relação peso comprimento calculada por Quintella (2006) com uma amostra de 351 lampreias. Na figura 30, é possível observar a distribuição de frequências de peso total estimado para as 1000 lampreias subamostradas. Cerca de 17,8% das lampreias-marinhas medidas pesam entre 1200 e 1300 g, 15,2% pesam entre 1300 e 1400 g e 14,2% das lampreias pesam entre 1100 e 1200 g. A menor classe de peso estimado foi de]500-600 g] e a maior de]2500-2600 g].

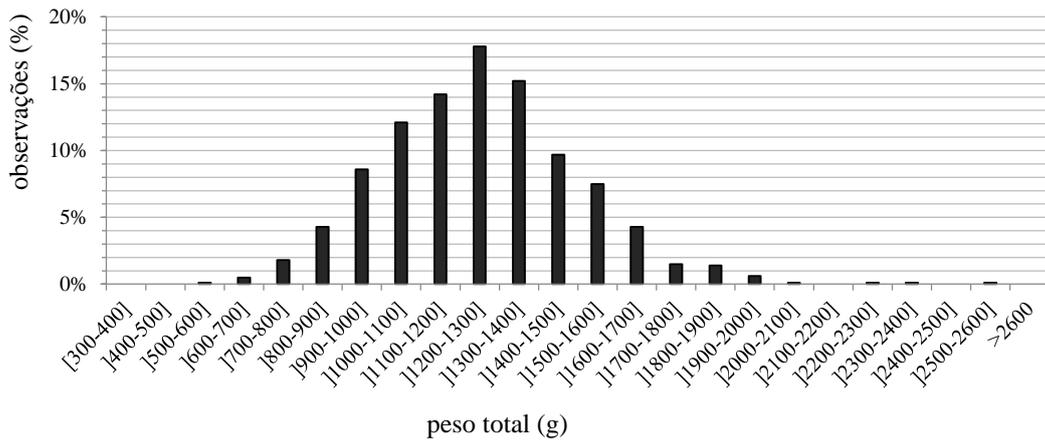


Figura 30 - Distribuição do peso total estimado a partir da relação peso-comprimento calculada por Quintella (2006) para a subamostra de 1000 lampreias-marinhas cujo comprimento total foi calculado.

A subamostra de 1000 lampreias-marinhas, apresenta um peso total estimado de 1153,45 kg. Tendo em conta que o número total de lampreias-marinhas que utilizaram a PPP do Açude-Ponte no período de estudo foi de 7593, a estimativa da biomassa total de lampreias-marinhas que transpuseram a PPP do Açude-Ponte de Coimbra, para montante, entre Janeiro e Junho de 2013, foi de 8758,15 Kg.

3.4. Modelos explicativos-preditivos

Análise de correlações

Baseado nos resultados do teste de Spearman, expostos na tabela 10, foi tomada a decisão de não proceder à utilização das variáveis fotoperíodo e salinidade, por estas estarem fortemente correlacionadas com a temperatura e condutividade específica, respetivamente. As variáveis relacionadas com a gestão das comportas também foram eliminadas da análise BRT devido à sua forte correlação entre a variável caudal total para o caso das variáveis comportas da margem esquerda e comportas do centro e temperatura para o caso da variável comportas da margem direita.

No que diz respeito às três variáveis relacionadas com o caudal total efluente do Açude-Ponte, nomeadamente o caudal total, caudal total com desfasamento de duas horas e caudal total com desfasamento de quatro horas, foi necessário proceder a mais análises para perceber, quais dos caudais deveriam ser excluídos das matrizes de cada modelo (de cada espécie). Para isso, o modelo foi ajustado para cada espécie duas vezes por não se saber a priori o tempo médio de transposição do dispositivo para cada espécie. A primeira fase serviu apenas para auxiliar esta decisão e demonstrar que caudal (com ou sem desfasamento) é mais importante, ou contribuí mais significativamente para a construção dos modelos, isto é, que desfasamento de caudal é mais adequado para cada espécie. O modelo definitivo foi o obtido na segunda fase da análise para cada espécie.

Tabela 10 - Resultados da análise de correlação de Spearman entre os 11 preditores inicialmente selecionados para incluir nos modelos BRT para cada espécie. As correlações superiores em valor absoluto a 0,8 encontram-se, assinaladas por *

	Temp	Turb	CondEsp	Sal	FotPer	CauTot	Cautot 2h	Cautot 4h	ComEsq	CompCen	CompDir
Temp	1,000	0,112	-0,540	-0,569	0,951*	-0,766	-0,760	-0,750	-0,704	-0,758	-0,843*
Turb		1,000	-0,292	-0,258	0,177	0,137	0,149	0,151	0,173	-0,083	-0,026
CondEsp			1,000	0,927*	-0,611	0,492	0,484	0,465	0,406	0,484	0,557
Sal				1,000	-0,630	0,506	0,492	0,474	0,448	0,473	0,614
FotPer					1,000	-0,491	-0,490	-0,490	-0,388	-0,528	-0,707
CauTot						1,000	0,950*	0,901*	0,875*	0,843*	0,775
Cautot 2h							1,000	0,950*	0,835*	0,767	0,756
Cautot 4h								1,000	0,799	0,708	0,737
CompEsq									1,000	0,739	0,698
CompCen										1,000	0,668
CompDir											1,000

LAMPREIA-MARINHA

A amostra de dados utilizada para a construção do modelo explicativo-preditivo de lampreia-marinha apresenta valores horários de passagens para montante entre as 19 horas do dia 5 de Fevereiro e as 9 horas do dia 2 de Junho de 2013. Esta amostra não corresponde à totalidade da época migratória mas ao período relativo ao pico de utilização da PPP que inclui 7966 registos de passagens de lampreia-marinha em 2448 réplicas (linhas). Numa primeira fase de ajustamento do modelo, foi analisada a importância dos preditores caudal total e caudal total com desfasamento de 2 e 4 horas. Com o objetivo de evitar informações redundantes, foram eliminadas as variáveis caudal total e caudal total com desfasamento de 4 horas, incluindo no modelo final apenas o preditor caudal total com desfasamento de 2 horas, tendo sido este o preditor relacionado com os caudais efluentes do Açude-Ponte, aquele que demonstrou ser o mais importante na primeira fase de ajustamento (tabela 11).

Tabela 11 - Características da matriz utilizada na construção do modelo de lampreia-marinha

Intervalo da amostra [P20-P80]	[05/02/2013 19:00h – 02/06/2013 09:00h]
Número de passagens para montante	7966
Preditores	Temperatura
	Turbidez
	Condutividade específica
	Ciclo Lunar
	Período do dia
	Caudal total desfasado 2 horas
Variáveis excluídas após análise de correlação	Salinidade
	Fotoperíodo
	Comportas margem esquerda
	Comportas centro
Variáveis excluídas na 1ª fase de ajustamento	Comportas margem direita
	Caudal total
tamanho da amostra (réplicas)	Caudal total desfasado 4 horas
	2448

Ajustamento do modelo

A combinação ótima de parâmetros para os modelos de lampreia-marinha foi determinada através da utilização de vários valores que resultaram em modelos de qualidade distinta (Tabela

12). Os resultados indicam a seguinte tendência: à medida que aumentamos a taxa de aprendizagem, o número de árvores diminui, ocorre uma ligeira diminuição no erro preditivo da validação cruzada (cv deviance) e observa-se o melhoramento do teste de correlação da validação cruzada (cv correlation) e da variação explicada pelo modelo (R^2). Neste caso, a combinação de parâmetros que otimiza o processo de ajustamento é uma taxa de aprendizagem 0,005 e uma complexidade da árvore de 4 que resulta num número de árvores de 6500.

Tabela 12 - Comparação da performance preditiva dos modelos de lampreia-marinha tendo em conta o cv deviance, o cv correlation 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

tc	lr	nt	estimated cv deviance - SE	cv correlation - SE	R^2
1	0,0005			*	
	0,001			*	
	0,005			*	
	0,01	7800	8,496-1,129	0,576-0,078	0,642
	0,05	3250	8,024-1,301	0,578-0,093	0,706
2	0,0005			*	
	0,001			*	
	0,005	7900	7.941-1,587	0,885-0,077	0,772
	0,01	4500	7.609- 1,386	0,622-0,062	0,788
	0,05	2150	6.451 – 1,228	0,638 – 0,099	0,846
3	0,0005			*	
	0,001			*	
	0,005	4900	7,702- 1,795	0,604-0,079	0,817
	0,01	4400	7,518-1,891	0,583-0,09	0,856
	0,05	1600	6,564-1,313	0,672-0,052	0,887
4	0,0005			*	
	0,001			*	
	0,005	6500	6,104-1,237	0,671-0,064	0,862
	0,01	2050	7,233-1,688	0,609-0,083	0,829
	0,05	1050	5,801-2,164	0,725-1,12	0,882
5	0,0005			*	
	0,001			*	
	0,005	4950	7,061-1,711	0,625-0,077	0,864
	0,01	2700	6,819-1,826	0,652-0,091	0,870
	0,05	550	5,87-1,12	0,644-0,09	0,871

O comportamento dos modelos à medida que são adicionadas árvores encontra-se representado na figura 31. O processo de validação cruzada pode considerar-se ideal se evitar o sobre

ajustamento e se alcançar o seguinte cenário: com valores de lr baixos, utiliza-se o maior número de árvores possível para alcançar o menor erro preditivo.

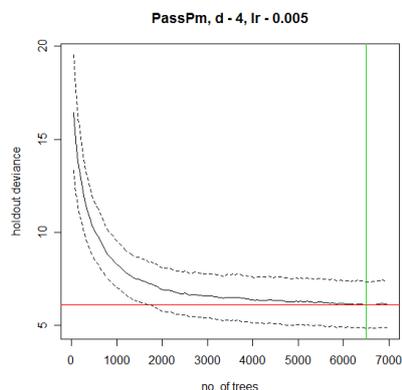


Figura 31 - Demonstração gráfica do método de validação cruzada (cv) ajustado para o modelo da lampreia-marinha, que identifica o número óptimo de árvores (linha verde) em que o erro preditivo é o menor (linha vermelha) para um nível de complexidade da árvore (tc)

Contribuição dos preditores

O modelo corrido com uma taxa de aprendizagem de 0,005 e uma complexidade das árvores de 4, obteve, em média, as contribuições de cada variável para o modelo total (Figura 32).

O preditor que mais explica a variação do modelo, com uma contribuição de 85,95%, é o caudal total com desfasamento de 2 horas. Este resultado significa que no processo de construção do modelo explicativo-preditivo da lampreia-marinha, a variável caudal total com desfasamento de 2 horas foi aquela que mais vezes foi seleccionada para processos de divisão em nós de decisão. Em termos práticos, significa que a entrada das lampreias-marinhas na PPP foi influenciada essencialmente pelo caudal total desfasado 2 horas.

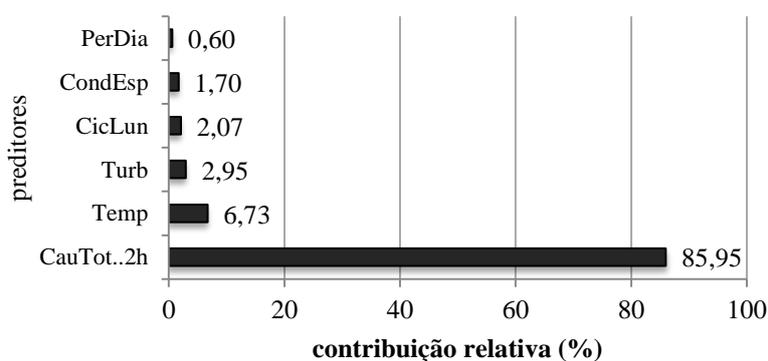


Figura 32 - Contribuição relativa (%) das variáveis preditivas para o modelo da lampreia-marinha desenvolvido a partir do método de validação cruzada, usando um nível de complexidade da árvore (tc) de 4 e uma taxa de aprendizagem (lr) de 0.005. PerDia – período do dia, CondEsp – Condutividade Especifica, CicLun – ciclo lunar, Turb – Turbidez, Temp – Temperatura, Caudtot. 2h – Caudal total com desfasamento de 2 horas.

Simplificação do modelo

Durante a simplificação do modelo verificou-se que este não apresentava variáveis passíveis de serem excluídas visto que, no caso de exclusão de 1 ou mais variáveis, o erro preditivo aumenta (Figura 33). 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.

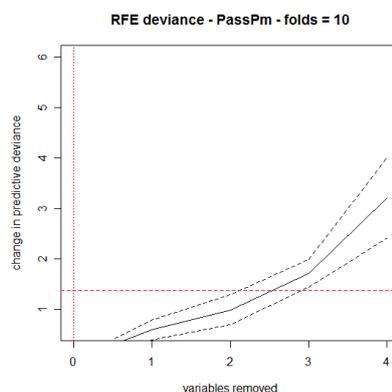


Figura 33 - Demonstração gráfica do desenvolvimento da performance do modelo da lampreia-marinha, perante a remoção de 4 variáveis em que a linha preenchida indica a mudança média no desvio preditivo, e as linhas ponteadas um erro padrão, calculado sobre as 10 vezes das validações cruzadas.

Funções parciais

Os gráficos das funções parciais (Figura 34) mostram o efeito de cada preditor, na variável resposta depois de ser incluído o efeito médio das restantes variáveis do modelo. No caso de estudo, as funções parciais permitem uma descrição da relação entre a utilização da PPP por parte da lampreia-marinha e os preditores abióticos.

Os resultados da figura 34, permitem concluir que as lampreias-marinhas utilizam a PPP do Açude-Ponte essencialmente quando o caudal total efluente desfasado 2 horas é de cerca de $50\text{m}^3/\text{s}$, inibindo a entrada de lampreias-marinhas quando esta variável atinge valores elevados.

Relativamente ao preditor temperatura, parece haver um pico de resposta (i.e., aumento da atividade migratória) quando a água do Rio Mondego atinge a temperatura de 15°C .

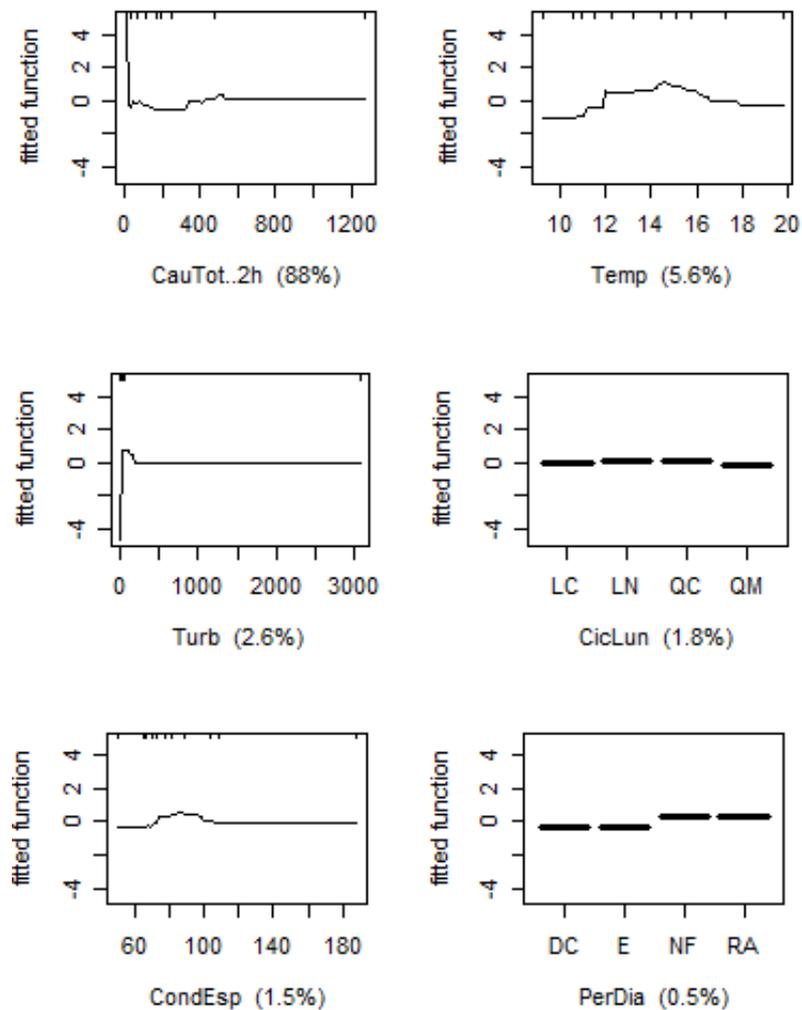


Figura 34 - Gráficos de dependência parcial para as variáveis preditivas do modelo da lampreia-marinha. O eixo do y está representada uma escala logit e encontra-se centrado para ter média de zero na distribuição dos dados. Caudtot. 2h – Caudal total com desfasamento de 2 horas; Temp – Temperatura; Turb – Turbidez; CicLun – ciclo lunar, em que LC – Lua cheia, LN – Lua nova, QC – Quarto crescente, QM – Quarto minguante; CondEsp – Condutividade Específica; PerDia – período do dia, em que DC- Dia claro, E – Escurecer, NF – Noite fechada, RA – Raiar da aurora.

Interações mais significativas

As interações entre pares de preditores mais fortemente significativas, no modelo explicativo-preditivo da lampreia-marinha, são entre as variáveis temperatura e turbidez e entre as variáveis turbidez e caudal total desfasado 2 horas, e encontram-se representadas na tabela 13.

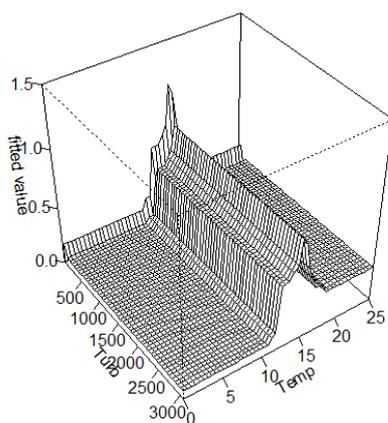
Tabela 13 - Interações entre pares de variáveis preditivas

	Temp	Turb	CondEsp	CicLun	PerDia	CauTot..2h
Temp	1	186,64*	6,33	0,32	2,31	49,24
Turb		1	55,74	30,99	4,55	60,88*
CondEsp			1	0,02	5,67	13,15
CicLun				1	0,01	13,93
PerDia					1	8,79
CauTot 2h						1

O gráfico da figura 35 a) exprime a interação entre a variável temperatura e a variável turbidez. Existe uma resposta significativa para valores de turbidez muito baixos e para uma larga amplitude de valores de temperatura. E para uma larga amplitude de valores de turbidez existe uma resposta significativa entre os 13 e 20 °C, e mais uma vez, ainda mais evidente com valores de turbidez muito baixos.

Como é evidente na figura 35 b) , a interação entre a variável caudal total desfasado 2 horas e a variável turbidez é mais acentuada para valores de caudal muito baixos. Existe também uma ligeira resposta quando o caudal total desfasado 2 horas apresenta valores médios (500 m³/s).

a)



b)

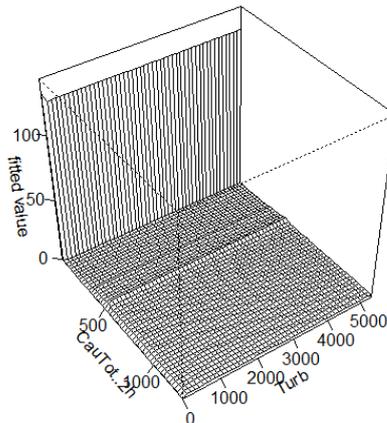


Figura 35 - Gráficos tri-dimensionais das interações consideradas mais significativas no modelo da lampreia-marinha; a) turbidez e temperatura e b) Caudal total desfasado 2 horas e turbidez. Temp – Temperatura, Turb – Turbidez.

Valores de previsão para lampreia-marinha

A figura 36 expressa a diferença entre os valores reais ou observados e os valores criados pelo modelo explicativo-preditivo da lampreia-marinha de passagens para montante na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre as 19 horas do dia 5 de Fevereiro e as 9 horas do dia 2 de Junho de 2013. A diferença entre estes dois conjuntos de valores está representada na figura 37 pela linha vermelha, denominada como o erro diário médio, definido como o módulo da diferença entre o valor observado e o valor previsto, para cada ponto. Neste caso, o desvio entre o observado e a previsão, é relativamente baixo e acentua-se apenas nos períodos onde ocorrem picos de passagens, nomeadamente no dia 27 de Abril.

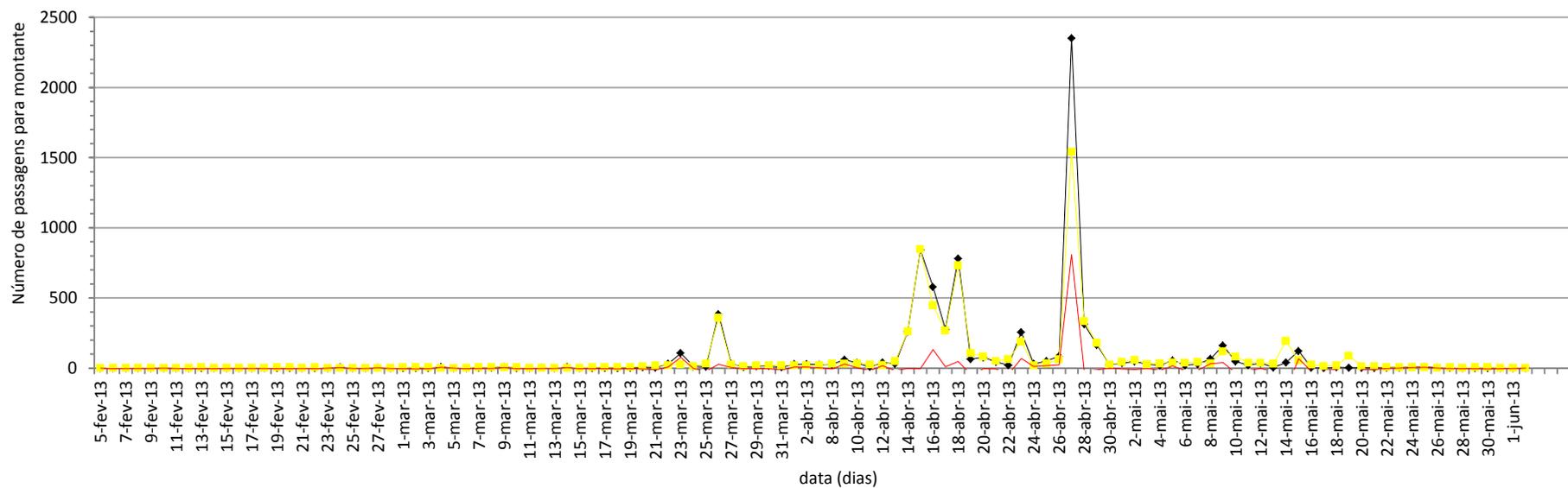


Figura 36 - Distribuição diária de passagens (linha preta), previsão da distribuição diária de passagens (linha amarela), e distribuição diária do desvio entre os valores observados e valores de previsão (linha vermelha) das passagens de lampreia-marinha na PPP do Açuce-Ponte de Coimbra entre 5 de Fevereiro e 2 de Junho de 2013.

Performance do modelo

A tabela 14 resume a performance explicativa e preditiva do modelo de lampreia-marinha, que se pode considerar elevada, tendo em conta que, para um ajustamento baseado no menor erro preditivo, apresenta uma variação explicada de 86%, uma medida de correlação bastante satisfatória (*cv correlation*) e um desvio de 8,1% entre o número total de passagens contabilizado e os valores estimados pelo modelo (644 lampreias, no total de 7966 lampreias registadas na PPP).

Tabela 14 - Performance preditiva do modelo explicativo-preditivo da lampreia-marinha

métricas	valores
Cv deviance	6,104-1,237
R ²	0,862
Cv correlation	0,671-0,064
Diferença total entre os valores observados e os valores de previsão	644 (para um N observado de 7966)

Alosa spp.

A amostra de dados utilizada para a construção do modelo explicativo-preditivo de *Alosa spp.* apresenta valores horários de passagens para montante entre as 8 horas do dia 11 de Fevereiro e as 14 horas do dia 28 de Maio de 2013. Esta amostra não corresponde à totalidade da época migratória mas ao período relativo ao pico de utilização da PPP que inclui 6964 registos de passagens de *Alosa spp.* em 2234 réplicas (linhas). Numa primeira fase de ajustamento do modelo, foi analisada a importância dos preditores caudal total e caudal total com desfasamento de 2 e 4 horas. Com o objetivo de evitar informações redundantes, foram eliminadas as variáveis caudal total e caudal total com desfasamento de 2 horas, incluindo no modelo apenas o preditor caudal total com desfasamento de 4 horas, tendo sido este o preditor relacionado com os caudais efluentes do Açude-ponte, aquele que demonstrou ser o que mais contribuía para a explicação do modelo na primeira fase de ajustamento (tabela 15).

Tabela 15 - Características da matriz utilizada na construção do modelo de *Alosa spp.*

Intervalo da amostra [20-80]	[11/02/2013 08:00h – 28/05/2013 14:00h]
Número de passagens para montante	6964
Preditores	Temperatura Turbidez Condutividade específica Ciclo Lunar Período do dia Caudal total desfasado 4horas
Variáveis excluídas com teste de correlações	Salinidade Fotoperíodo Comportas margem esquerda Comportas centro Comportas margem direita
Variáveis excluídas na 1ª fase de ajustamento	Caudal total Caudal total desfasado 2horas
tamanho da amostra (réplicas)	2234

Ajustamentos do modelo

A combinação ótima de parâmetros para os modelos de *Alosa spp.* foi determinada através da utilização de vários valores que resultaram em modelos de qualidade distinta (Tabela 16). O

critério de seleção da combinação de parâmetros mais adequada foi semelhante ao utilizado no modelo desenvolvido para a lampreia-marinha. Neste caso, a combinação de parâmetros que otimiza o processo de ajustamento é uma taxa de aprendizagem 0,001 e uma complexidade da árvore de 5 que resulta num número de árvores de 7450.

Tabela 16 - Comparação da performance preditiva dos modelos de *Alosa spp.* tendo em conta o cv deviance, o cv correlation e o R², 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

tc	lr	nt	estimated cv deviance - SE	cv correlation - SE	R ²
	0,0005			*	
	0,001			*	
1	0,005	4050	9,005-2,77	0,596-0,069	0,680
	0,01	2900	9,041-3,29	0,461-0,069	0,723
	0,05	50	8,992-3,125	0,6-0,077	0,727
	0,0005			*	
	0,001	6450	8,215-2,654	0,571-0,102	0,733
2	0,005	7650	7,289-3,241	0,611-0,081	0,880
	0,01	4550	7,351 - 3,105	0,634 -0,083	0,889
	0,05			**	
	0,0005			*	
	0,001	6300	8,256-3,018	0,57-0,082	0,756
3	0,005	1750	7,855-2,962	0,539-0,071	0,795
	0,01	4850	8,221 - 4,076	0,635- 0,073	0,919
	0,05			**	
	0,0005			*	
	0,001	6500	8,171-3,008	0,582-0,09	0,780
4	0,005	1000	8,109-2,961	0,571-0,058	0,749
	0,01	800	7,495-2,354	0,546-0,081	0,798
	0,05	200	8,61-3,384	0,506-0,091	0,824
	0,0005			*	
	0,001	7450	7,262-2,368	0,54-0,08	0,812
5	0,005	1300	7,549-2,422	0,592-0,09	0,793
	0,01	4650	5,399-2,206	0,742-0,041	0,945
	0,05	850	9,143 - 5,493	0,553 - 0,07	0,940

O comportamento dos modelos à medida que são adicionadas árvores encontra-se representado na figura 37.

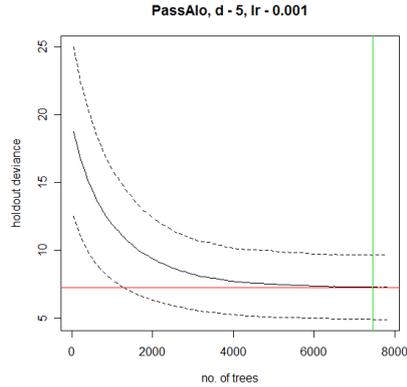


Figura 37 - Demonstração gráfica do método de validação cruzada (cv) ajustado para o modelo da *Alosa spp.*, que identifica o número ótimo de árvores (linha verde) em que o erro preditivo é o menor (linha vermelha) para um nível de complexidade da árvore (tc) de 5 e uma taxa de aprendizagem (lr) de 0,001.

Contribuições dos preditores

O modelo corrido com uma taxa de aprendizagem de 0,001 e uma complexidade das árvores de 5 obteve, em média, as contribuições de cada variável para o modelo total (Figura 38).

A variável que mais contribui para a variação do modelo, com o valor de 53,47 %, é o caudal total com desfasamento de 4 horas e logo de seguida a temperatura com 44,11% de contribuição relativa. De uma forma prática, significa que a utilização da PPP do Açude-Ponte por parte de *Alosa spp.* foi influenciada essencialmente pelo caudal total desfasado 4 horas e pela temperatura do rio.

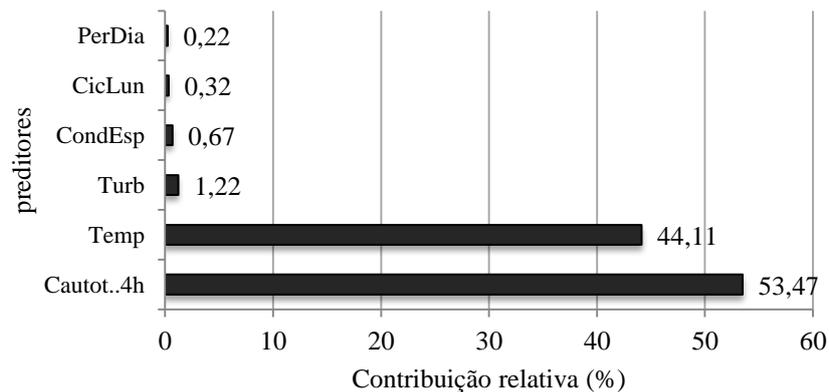


Figura 38 - Contribuição relativa (%) das variáveis preditivas para o modelo de *Alosa spp.* desenvolvido a partir do método de validação cruzada, usando um nível de complexidade da árvore (tc) de 5 e uma taxa de aprendizagem (lr) de 0,001. PerDia – período do dia; CicLun – ciclo lunar, CondEsp – Condutividade Específica, Turb – Turbidez, Temp – Temperatura, Cautot. 4h – Caudal total com desfasamento de 4 horas.

Simplificação do modelo

Durante a simplificação do modelo verificou-se que este apresentava variáveis redundantes e que estas podem ser excluídas sem que exista um aumento do erro preditivo (ver figura 39). Verificou-se que as variáveis que contribuem menos para a explicação da variação na resposta foram as seguintes (por ordem crescente de contribuição): 1-Período do dia (0,2%), 2- Ciclo lunar (0,32%), 3- Condutividade específica (0,67%) e 4 – Turbidez (1,22%).

Pode-se observar na figura 39 que, removendo quatro variáveis, se consegue obter o máximo de diminuição do erro da validação cruzada, verificando-se que ao remover mais que quatro, esse parâmetro começa a aumentar. As variáveis explicativas ficaram assim resumidas a duas: caudal total desfasado 4 horas e temperatura.

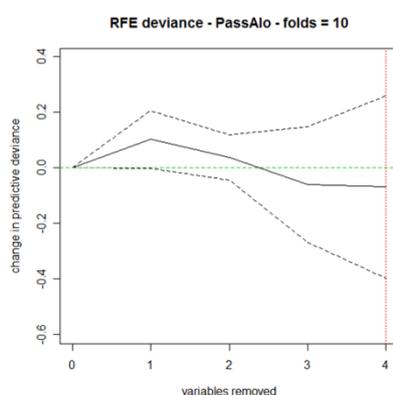


Figura 39 - Demonstração gráfica do desenvolvimento da performance do modelo de *Alosa spp.* perante a remoção de 4 variáveis em que a linha preenchida indica a mudança média no desvio preditivo, e as linhas ponteadas um erro padrão, calculado sobre as 10 vezes das validações cruzadas.

Com a simplificação do modelo, verifica-se que as contribuições das variáveis preditivas que se mantêm, aumentam ligeiramente (Figuras 40).

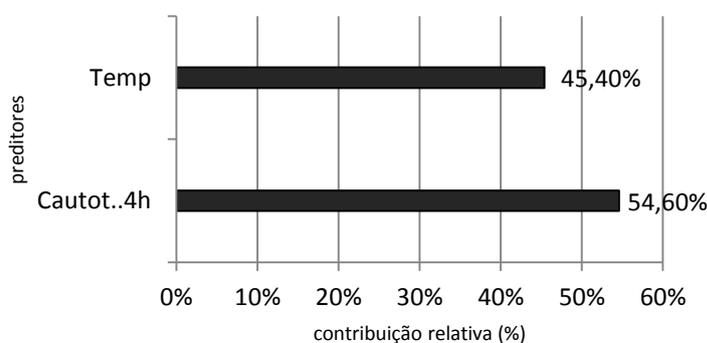


Figura 40 - Contribuições médias relativas (%) de cada uma das duas variáveis abióticas do modelo BRT simplificado para *Alosa spp.* Temp – temperatura, Cautot. 4h – Caudal total com desfasamento de 4 horas.

O modelo de base, antes da sua simplificação, já apresentava uma boa performance preditiva, tendo em conta o respetivo valor de R^2 , isto é, a percentagem de variação explicada pelo modelo, era de 81% (ver tabela 17). Verifica-se, de acordo com a tabela 17, que a simplificação do modelo de seis para duas variáveis explicativas mantém a boa performance do modelo de base. O erro preditivo da validação cruzada e o R^2 diminui ligeiramente, e por outro lado, a correlação da validação cruzada aumenta, tal como o número de árvores.

Tabela 17 - Performance preditiva do modelo base (seis variáveis) e do modelo simplificado (duas variáveis), avaliados por validação cruzada com 10 partições e uma lr de 0.001 e Tc de 5,

	modelo de base	modelo simplificado
nt	7450	7500
Número de variáveis preditivas	6	2
Cv deviance	7,262-2,368	7,639 - 2,722
Cv correlation	0,54-0,08	0,59
R^2	0,812	0,797698

Funções parciais

Os gráficos das funções parciais (Figura 41) mostram o efeito de cada preditor, na variável resposta depois de ser incluído o efeito médio das restantes variáveis do modelo. No caso de estudo, as funções parciais permitem uma descrição da relação entre a utilização da PPP por parte de *Alosa spp.* e os preditores abióticos.

Os resultados da figura 41 permitem concluir que *Alosa spp.* utilizaram a PPP do Açude-Ponte quando o caudal total efluente desfasado 4 horas foi bastante baixo $50\text{m}^3/\text{s}$. Quanto ao preditor temperatura, verifica-se que os indivíduos de *Alosa spp.* utilizaram a PPP a partir de temperaturas superiores a $14\text{ }^\circ\text{C}$, com um pico de resposta a temperaturas entre os 17 e $18\text{ }^\circ\text{C}$.

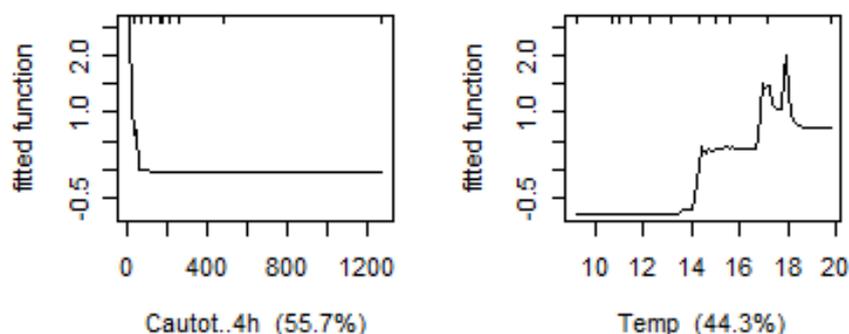


Figura 41 - Gráficos de dependência parcial para as variáveis preditivas do modelo de *Alosa spp.* O eixo dos yy está representado numa escala logit e encontra-se centrado para ter média de zero na distribuição dos dados. Cautotot. 4h – Caudal total com desfasamento de 4 horas, Temp – Temperatura.

Interações mais significativas

As interações entre pares de preditores mais fortemente significativas, no modelo explicativo-preditivo de *Alosa spp.*, são entre as únicas variáveis existentes no modelo, isto é, entre a temperatura e o caudal total desfasado 4 horas, com o valor de significância de 73,84.

O gráfico da figura 42 exprime a interacção entre a variável temperatura e a variável caudal total desfasado 4 horas. Existe uma resposta significativa para valores de caudal baixos quando associados a uma amplitude de valores de temperatura que variam, sensivelmente, entre os 15°C e 20°C.

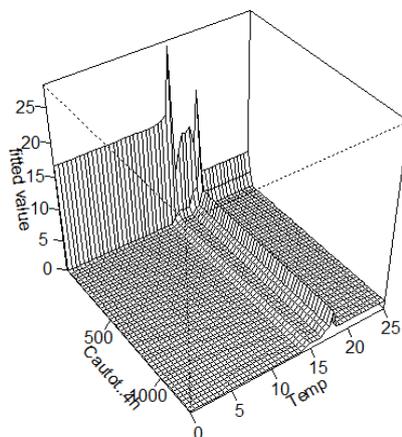


Figura 42 - Gráficos tri-dimensionais das interacções consideradas mais significativas no modelo de *Alosa spp.* Temp – Temperatura, Cautotot. 4h – Caudal total com desfasamento de 4 horas.

Valores de previsão para *Alosa spp.*

A figura 43 expressa a diferença entre os valores reais ou observados e os valores criados pelo modelo explicativo-preditivo da *Alosa spp.* de passagens para montante na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre as 8 horas do dia 11 de Fevereiro e as 14 horas do dia 28 de Maio de 2013. O desvio entre o observado e a previsão é relativamente baixo e acentua-se apenas nos períodos onde ocorrem picos de passagens, nomeadamente no dia 27 de Abril e no dia 15 de Maio.

Valores de previsão

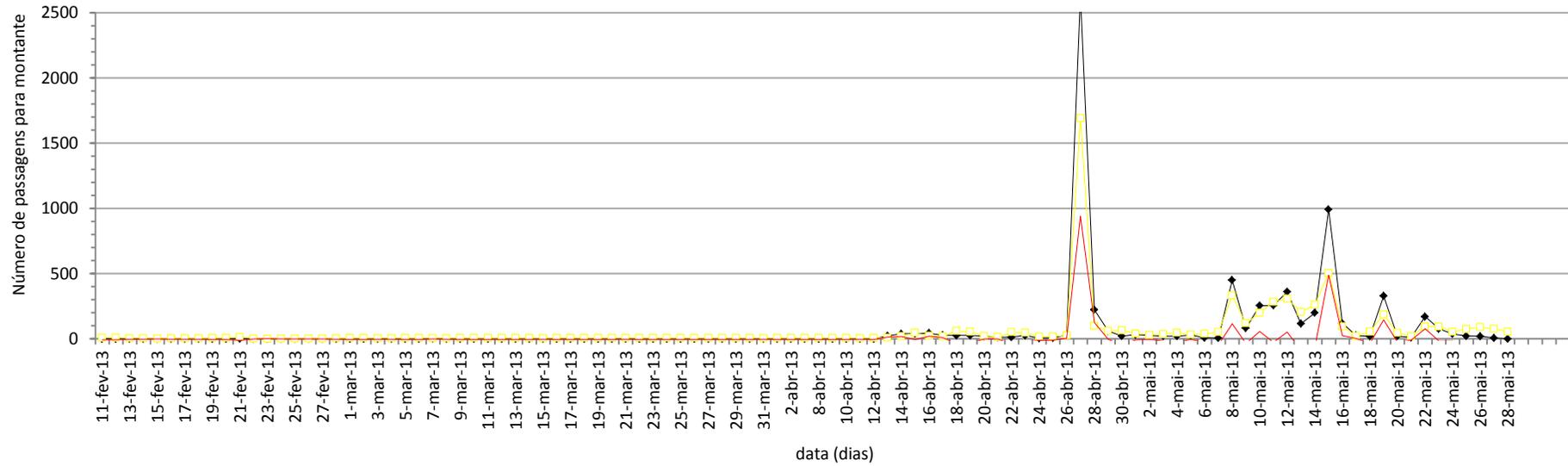


Figura 43 - Distribuição diária de passagens (linha preta), previsão da distribuição diária de passagens (linha amarela), e distribuição diária do desvio entre os valores observados e valores de previsão (linha vermelha) das passagens de *Alosa spp.*

Performance do modelo

A tabela 18 resume a performance explicativa e preditiva do modelo final de *Alosa spp.*, que se pode considerar elevada, tendo em conta que, para um ajustamento baseado no menor erro preditivo, apresenta uma variação explicada de 80%, uma medida de correlação boa (cv correlation), e um desvio de 13.4% entre os valores observado e os valores de previsão (933.24 *Alosa sp.*, no total de 6964 registadas na PPP).

Tabela 18- Performance preditiva do modelo explicativo-preditivo da *Alosa spp.*,

métricas	valores
Cv deviance	7,639 - 2,722
R ²	0,80
Cv correlation	0,59 - 0,085
Diferença total entre os valores observados e os valores de previsão	933,24 (para um N observado de 6964)

BARBO DO NORTE

A amostra de dados utilizada para a construção do modelo explicativo-preditivo de barbo do Norte apresenta valores horários de passagens para montante entre as 20 horas do dia 6 de Fevereiro e a 1 hora do dia 25 de Maio de 2013. Esta amostra não corresponde à totalidade da época migratória mas ao período relativo ao pico de utilização da PPP que inclui 12528 registos de passagens de barbo do Norte em 2229 réplicas (linhas). Numa primeira fase de ajustamento do modelo, foi analisada a importância dos preditores caudal total e caudal total com desfasamento de 2 e 4 horas. Com o objetivo de evitar informações redundantes, foram eliminadas as variáveis caudal total com desfasamento de 2 horas e caudal total com desfasamento de 4 horas, incluindo no modelo apenas o preditor caudal total, tendo sido este o preditor relacionado com os caudais efluentes do Açude-Ponte, aquele que demonstrou ser o mais importante na primeira fase de ajustamento (tabela 19).

Tabela 19 - Características da matriz utilizada na construção do modelo de abundância de barbo do Norte

Intervalo da amostra [P20-P80]	[06/02/2013 20:00h – 25/05/2013 01:00h]
Número de passagens para montante	12528
Preditores	Temperatura
	Turbidez
	Condutividade específica
	Ciclo Lunar
	Período do dia
	Caudal total
Variáveis excluídas com teste de correlações	Salinidade
	Fotoperíodo
	Comportas margem esquerda
	Comportas cento
Variáveis excluídas na 1ª fase	Comportas margem direita
	Caudal total com desfasamento de 2 horas
	Caudal total com desfasamento de 4 horas
tamanho da amostra (réplicas)	2229

Ajustamento do modelo

A combinação óptima de parâmetros para os modelos de barbo do Norte foi determinada através da utilização de vários valores que resultaram em modelos de qualidade distinta (Tabela 20). De

acordo com critério utilizado nos modelos já apresentados, a combinação de parâmetros que otimiza o processo de ajustamento é uma taxa de aprendizagem 0,005 e uma complexidade da árvore de 5 que resulta num número de árvores de 9400.

Tabela 20 - Comparação da performance preditiva dos modelos de barbo do Norte tendo em conta o cv deviance, o cv correlation e o R2, 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

tc	lr	nt	estimated cv deviance - SE	cv correlation - SE	R ²
1	0,0005			*	
	0,001			*	
	0,005	5950	8,695-0,976	0,578-0,027	0,642
	0,01	4450	8,395-0,829	0,57-0,039	0,658
	0,05	1000	8,468-1,406	0,595-0,023	0,669
2	0,0005			*	
	0,001			*	
	0,005	8400	7,3-0,957	0,62-0,03	0,804
	0,01	5350	7,36-1,208	0,613-0,034	0,819
	0,05	4200	6,965-0,982	0,626-0,042	0,894
	0,1	3200	6,692-1,097	0,676-0,04	0,916
3	0,0005			*	
	0,001			*	
	0,005	8850	6,515-1,181	0,686-0,034	0,854
	0,01	5250	6,777-1,237	0,663-0,041	0,863
	0,05	3500	6,079-0,867	0,689-0,031	0,926
4	0,1	1300	6,05-0,968	0,675-0,037	0,909
	0,0005			*	
	0,001			*	
	0,005	8250	6,338-0,984	0,685-0,035	0,878
	0,01	5200	6,155-1,072	0,699-0,055	0,890
5	0,05	3000	6,051-0,844	0,664-0,035	0,938
	0,1	850	6,247-1,175	0,674-0,038	0,912
	0,0005			*	
	0,001			*	
	0,005	9400	6,044-0,984	0,708-0,041	0,903
5	0,01	5950	5,764-0,882	0,724-0,03	0,914
	0,05	2500	5,712-0,819	0,724-0,031	0,944
	0,1	1200	6,222-1,356	0,706-0,049	0,939

O comportamento dos modelos à medida que são adicionadas árvores encontra-se representado na figura 44.

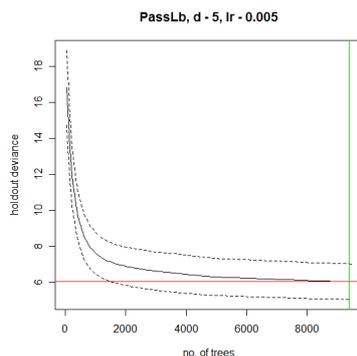


Figura 44 - Demonstração gráfica do método de validação cruzada (cv) ajustado para o modelo da barbo do Norte, que identifica o número óptimo de árvores (linha verde) em que o erro preditivo é o menor (linha vermelha) para um nível de complexidade da árvore (tc) de 5 e uma taxa de aprendizagem (lr) de 0,005.

Contribuições dos preditores

O modelo corrido com uma taxa de aprendizagem de 0,005 e uma complexidade das árvores de 5 obteve, em média, as contribuições de cada variável para o modelo total (Figura 45).

As variáveis que mais explicam a variação do modelo e a sua respetiva contribuição relativa para a construção do modelo final, são as seguintes: o caudal total com 26,78%, de seguida a temperatura com 24,56%, em terceiro lugar a condutividade específica com 18,32% e em quarto lugar a turbidez com 16,64%. As restantes variáveis, período do dia e ciclo lunar apresentam uma percentagem de contribuição bastante menor (7,74% e 5,95% respetivamente).

Verifica-se que no modelo do barbo do Norte, a resposta é influenciada não apenas por uma ou duas variáveis abióticas, como acontece nos modelos das duas espécies anteriormente descritas, mas por um grupo de preditores que, em conjunto, parecem influenciar a utilização que esta espécie faz da PPP do Açude-ponte.

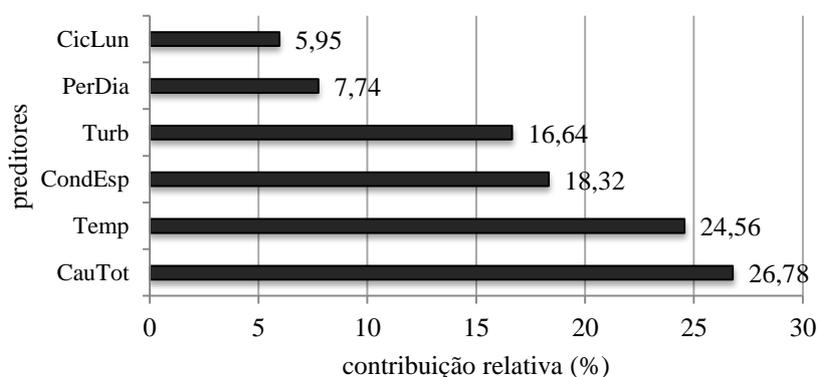


Figura 45 - Contribuição relativa (%) das variáveis preditivas para o modelo de barbo do Norte desenvolvido a partir do método de validação cruzada, usando um nível de complexidade da árvore (tc) de 5 e uma taxa de aprendizagem (lr) de 0,005. PerDia – período dia; CicLun – ciclo lunar, CondEsp – Condutividade Específica, Turb – Turbidez, Temp – Temperatura, Caudtot. 4h – Caudal total com desfasamento de 4 horas.

Simplificação do modelo

Durante a simplificação do modelo verificou-se que este não apresentava variáveis passíveis de serem excluídas visto que, no caso de exclusão de 1 ou mais variáveis, o erro preditivo aumenta (Figura 46). 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.

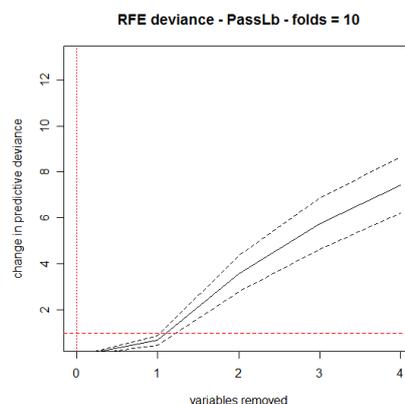


Figura 46 - Demonstração gráfica do desenvolvimento da performance do modelo de barbo do Norte perante a remoção de 4 variáveis em que a linha preenchida indica a mudança média no desvio preditivo, e as linhas pontilhadas um erro padrão, calculado sobre as 10 vezes das validações cruzadas.

Funções parciais

Os gráficos das funções parciais (Figura 47) mostram o efeito de cada preditor, na variável resposta depois de ser incluído o efeito médio das restantes variáveis do modelo. No caso de estudo, as funções parciais permitem uma descrição da relação entre a utilização da PPP por parte do barbo do Norte e os preditores abióticos.

É possível perceber pela figura 47 que o barbo do Norte utilizou a PPP com menos frequência em períodos de caudais baixos e a sua presença na PPP parece ser mais frequente a partir de caudais com 200 m³/s, tendo-se registando um pico de resposta para caudais com cerca de 500 m³/s. Relativamente à temperatura, observou-se que o barbo do Norte, começou a utilizar a PPP do Açude-Ponte a partir de períodos com temperaturas de cerca de 12 °C com um aumento gradual até aos 19 °C, a partir dos quais parece haver uma estabilização da resposta à variação deste preditor. Quanto à condutividade específica observou-se um ligeiro pico de utilização da PPP do Açude-Ponte por parte do barbo do Norte em períodos em que se registaram uma amplitude de valores de 70 a 100 µS/cm. Relativamente à variável turbidez, a interpretação do gráfico da figura 47 não é muito evidente, tendo-se apenas registado uma variação residual para valores de turbidez até 500 FNU

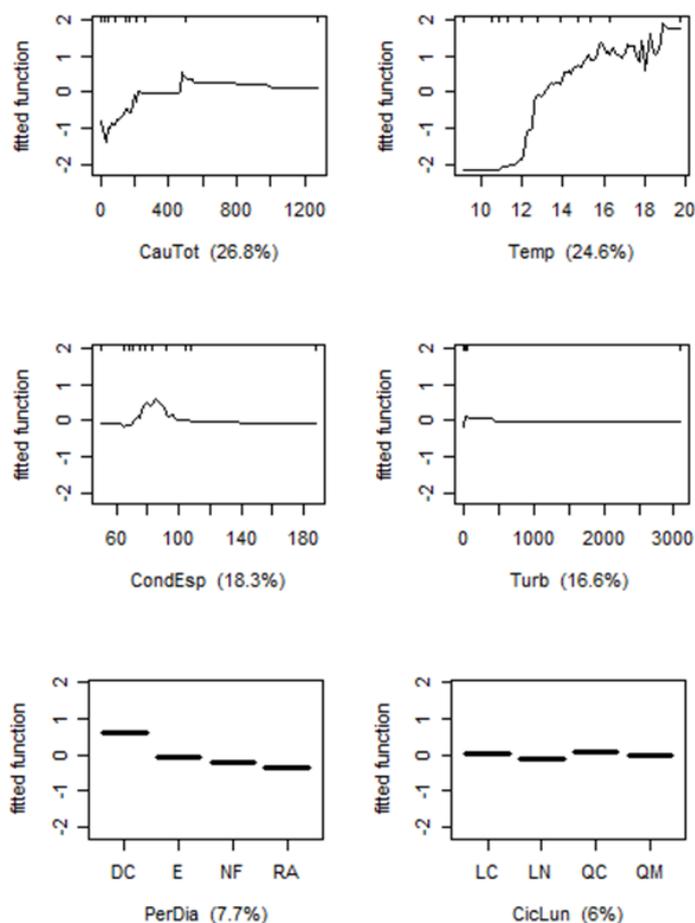


Figura 47 - Gráficos de dependência parcial para as variáveis preditivas do modelo de barbo do Norte. O eixo dos yy está representado numa escala logit e encontra-se centrado para ter média de zero na distribuição dos dados. Caudtot. 2h – Caudal total; Temp – Temperatura; CondEsp – Condutividade Especifica; Turb – Turbidez; PerDia – período do dia, em que DC- Dia claro, E – Escurecer, NF – Noite fechada, RA – Raiar da aurora; CicLun – ciclo lunar, em que LC – Lua cheia, LN – Lua nova, QC – Quarto crescente, QM – Quarto minguante.

Interações das variáveis mais significativas

As interações entre pares de preditores mais fortemente significativas, no modelo explicativo-preditivo de barbo do Norte, são entre as variáveis condutividade especifica e temperatura e entre as variáveis período do dia e temperatura, e encontram-se representadas na tabela 21.

Tabela 21 - Interações entre pares de variáveis preditivas

	Temp	Turb	CondEsp	CicLun	PerDia	CauTot
Temp	1	39,03	115,6*	60,92	87,16*	16,72
Turb		1	14,75	3,45	1,33	5,16
CondEsp			1	1,7	0,15	8,99
CicLun				1	0,09	18,01
PerDia					1	0,3
Cautot						1

O gráfico da figura 48 exprime a interação entre as variáveis condutividade específica e temperatura que apresenta uma resposta significativa para valores de temperatura de 15°C e 20°C, conjuntamente com registos de condutividade específica baixos.

A segunda interação não foi possível apresentar num gráfico 3D devido ao facto da variável período do dia se tratar de um preditor com dados categóricos.

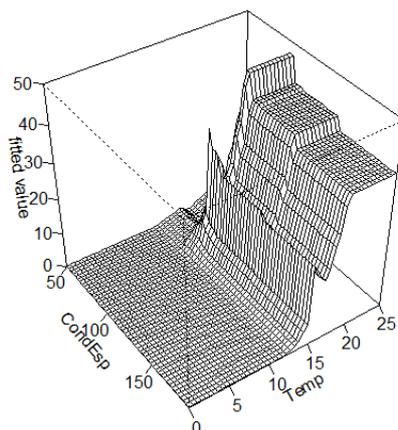


Figura 48 - Gráficos tri-dimensionais das interações consideradas mais significativas no modelo da barbo do Norte. CondEsp – Condutividade Especifica, Temp – Temperatura.

Valores de previsão para Barbo do Norte

A figura 49 expressa a diferença entre os valores reais ou observados e os valores criados pelo modelo explicativo-preditivo de barbo do Norte de passagens para montante na PPP do Açude-ponte em Coimbra entre as 20 horas do dia 6 de Fevereiro e a 1 hora do dia 25 de Maio de 2013. A diferença entre estes dois conjuntos de valores está representada na figura 49 pela linha vermelha, denominada como o erro diário médio, definido como o módulo da diferença entre o valor observado e o valor previsto, para cada ponto. Neste caso, o desvio entre o observado e a previsão, é muito baixo, podendo-se considerar que os valores reais de passagens e os valores de previsão estão bem ajustados.

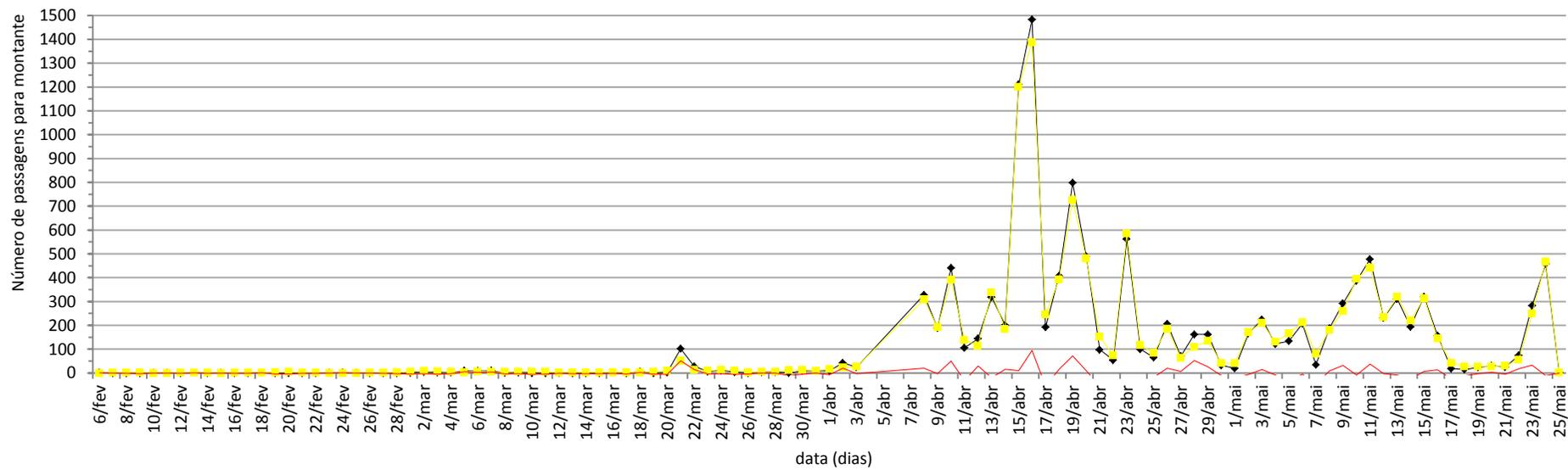


Figura 49 - Distribuição diária de passagens (linha preta), previsão da distribuição diária de passagens (linha amarela), e distribuição diária do desvio entre os valores observados e valores de previsão (linha vermelha) das passagens de barbo do Norte na PPP do Açude-ponte em Coimbra entre 11 de Fevereiro e 28 de Maio de 2013.

Performance do modelo

A tabela 22 resume a performance explicativa e preditiva do modelo de barbo do Norte, que se pode considerar elevada, tendo em conta que, para um ajustamento baseado no menor erro preditivo, apresenta uma variação explicada de 90,3%, uma medida de correlação bastante boa (cv correlation) e um desvio de 0,7% entre os valores observado e os valores de previsão (88,26 barbos do Norte, no total de 12528 barbos do Norte registadas na PPP).

Tabela 22 - Performance preditiva do modelo explicativo-preditivo do barbo do Norte

métricas	valores
Cv deviance	6,044-0,984
R ²	0,903
Cv correlation	0,708-0,041
Diferença total entre os valores observados e os valores de previsão	88,26 (para um N observado de 12528)

BOGA-COMUM

A amostra de dados utilizada para a construção do modelo explicativo-preditivo de boga-comum apresenta valores horários de passagens para montante entre a 1 hora do dia 12 de Fevereiro e as 12 horas do dia 27 de Maio de 2013. Esta amostra não corresponde à totalidade da época migratória mas ao período relativo ao pico de utilização da PPP que inclui 38898 registos de passagens de boga-comum em 2188 réplicas (linhas). Numa primeira fase de ajustamento do modelo, foi analisada a importância dos preditores caudal total e caudal total com desfasamento de 2 e 4 horas. Com o objetivo de evitar informações redundantes, foram eliminadas as variáveis caudal total com desfasamento de 2 horas e caudal total com desfasamento de 4 horas, incluindo no modelo apenas o preditor caudal total, tendo sido este o preditor relacionado com os caudais efluentes do Açude-ponte, aquele que demonstrou ser o mais importante na primeira fase de ajustamento (tabela 23).

Tabela 23 - Características da matriz utilizada na construção do modelo de abundância de boga-comum

Intervalo da amostra [P20-P80]	[12/02/2013 1:00h – 27/05/2013 12:00h]
Número de passagens para montante	38898
Preditores	Temperatura
	Turbidez
	Condutividade específica
	Ciclo Lunar
	Período do dia
	Caudal total
Variáveis excluídas com teste de correlações	Salinidade
	Fotoperíodo
	Comportas margem esquerda
	Comportas cento
Variáveis excluídas na 1ª fase	Comportas margem direita
	Caudal total com desfasamento de 2 horas
	Caudal total com desfasamento de 4 horas
Tamanho da amostra (réplicas)	2188

Ajustamento do modelo

A combinação óptima de parâmetros para os modelos de boga-comum foi determinada através da utilização de vários valores que resultaram em modelos de qualidade distinta (Tabela 24). De acordo com o critério utilizado nos modelos anteriores, a combinação de parâmetros que otimiza o processo de ajustamento é uma taxa de aprendizagem 0,01 e uma complexidade da árvore de 5 que resulta num número de árvores de 6750.

Tabela 24 - Comparação da performance preditiva dos modelos de boga-comum tendo em conta o cv deviance, o cv correlation 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

tc	lr	nt	estimated cv deviance - SE	cv correlation - SE	R^2
1	0,0005			*	
	0,001			*	
	0,005	7100	52,743-8,736	0,425-0,048	0,471
	0,01	5100	52,084-5,571	0,423-0,052	0,491
	0,05	2850	49,02-5,603	0,474-0,042	0,571
	0,1	1950	50,381-10,779	0,445-0,057	0,607
2	0,0005			*	
	0,001			*	
	0,005			*	
	0,01	6400	39,135-5,426	0,546-0,06	0,786
	0,05	3850	35,647-5,277	0,575-0,049	0,868
	0,1	2600	36,979-6,516	0,569-0,064	0,888
3	0,0005			*	
	0,001			*	
	0,005			*	
	0,01			*	
	0,05	3350	34,248-5,458	0,581-0,049	0,910
	0,1	1050	36,957-5,527	0,528-0,065	0,876
4	0,0005			*	
	0,001			*	
	0,005			*	
	0,01	7100	35,984-7,338	0,579-0,042	0,886
	0,05	2800	34,102-6,141	0,637-0,047	0,927
	0,1			**	
5	0,0005			*	
	0,001			*	
	0,005	5050	39,666-5,88	0,551-0,035	0,819
	0,01	6750	34,89-7,321	0,642-0,043	0,904
	0,05	1650	36,067-7,177	0,568-0,067	0,912
	0,1	1350	33,9-4,423	0,608-0,068	0,935

O comportamento dos modelos à medida que são adicionadas árvores encontra-se representado na figura 50.

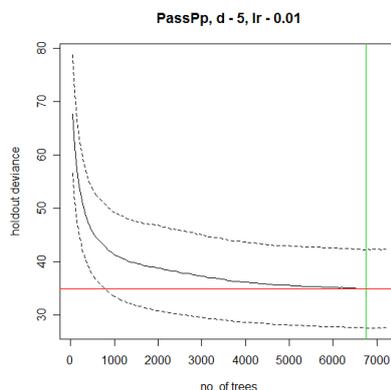


Figura 50 - Demonstração gráfica do método de validação cruzada (cv) ajustado para o modelo da boga-comum, que identifica o número óptimo de árvores (linha verde) em que o erro preditivo é o menor (linha vermelha) para um nível de complexidade da árvore (tc) de 5 e uma taxa de aprendizagem (lr) de 0,01.

Contribuições dos preditores

O modelo corrido com uma taxa de aprendizagem de 0,01 e uma complexidade das árvores de 5 obteve, em média, as contribuições de cada variável para o modelo total (Figura 51).

As variáveis que mais explicam a variação do modelo e a sua respetiva contribuição relativa para a construção do modelo final, são as seguintes: a turbidez com 29,08%, de seguida a temperatura com 23,98%, em terceiro lugar o caudal total com 22,32% e em quarto lugar a condutividade específica com 13,24%. As restantes variáveis, período do dia e ciclo lunar apresentam uma percentagem de contribuição bastante inferior, 7,44% e 3,94% respetivamente.

Tal como no modelo do barbo do Norte, no modelo de boga-comum, a resposta é controlada não apenas por uma ou duas variáveis abióticas, mas por um grupo de preditores que, em conjunto, parecem influenciar a utilização que esta espécie faz da PPP do Açude-Ponte.

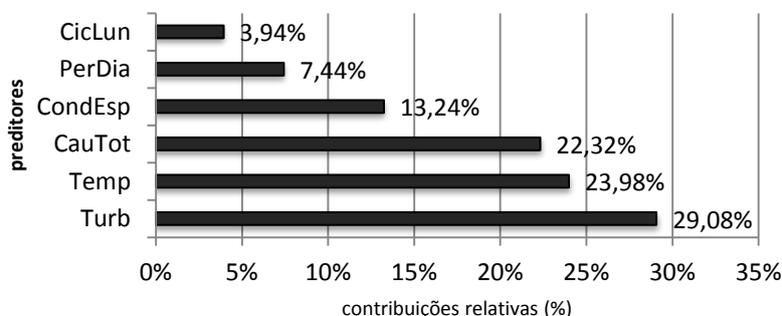


Figura 51 - Contribuição relativa (%) das variáveis preditivas para o modelo de boga-comum desenvolvido a partir do método de validação cruzada, usando um nível de complexidade da árvore (tc) de 5 e uma taxa de aprendizagem (lr) de 0,01. PerDia – período do dia ; CicLun – ciclo lunar, CondEsp – Condutividade Especifica, Turb – Turbidez, Temp – Temperatura, Caudtot. 4h – Caudal total com desfaseamento de 4 horas.

Simplificação do modelo

Durante a simplificação do modelo verificou-se que este não apresentava variáveis passíveis de serem excluídas visto que, no caso de exclusão de 1 ou mais variáveis, o erro preditivo aumenta (Figura 52). 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.

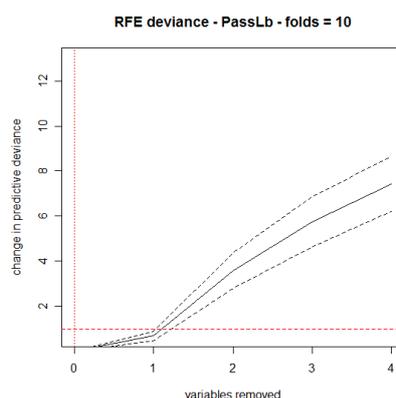


Figura 52 - Demonstração gráfica do desenvolvimento da performance do modelo de boga-comum perante a remoção de 4 variáveis em que a linha preenchida indica a mudança média no desvio preditivo, e as linhas ponteadas um erro padrão, calculado sobre as 10 vezes das validações cruzadas.

Funções parciais

Os gráficos das funções parciais (Figura 53) mostram o efeito de cada preditor na variável resposta, depois de ser incluído o efeito médio das restantes variáveis do modelo. No caso de estudo, as funções parciais permitem uma descrição da relação entre a utilização da PPP por parte da boga-comum e os preditores abióticos.

A boga-comum ocorre com mais frequência em dois momentos de turbidez distintos, em primeiro lugar para valores de turbidez muito baixos ou quase nulos, e para valores de turbidez de 500 FNU, mantendo-se seguidamente constante até valores elevados de turbidez. Relativamente à temperatura, esta espécie começa a utilizar o dispositivo de passagem em períodos em que se registam 11 °C. A partir desse momento a boga-comum aumenta a frequência de utilização da PPP de uma forma gradual à medida que a temperatura também aumenta, registando-se um pico bastante significativo para temperaturas de 19°C. A utilização da PPP por parte da boga-comum regista um crescimento gradual para e até valores de caudal de 400 m³/s, e a partir desse ponto decresce lentamente à medida que o caudal aumenta. Ocorre também uma frequência elevada de passagens de boga-comum para caudais muito baixos, perto de 0. Tal como acontece para o modelo do barbo do Norte quanto ao preditor condutividade

específica, observa-se um pico de utilização em períodos em que se registaram uma amplitude de valores de 70 a 100 $\mu\text{S/cm}$.

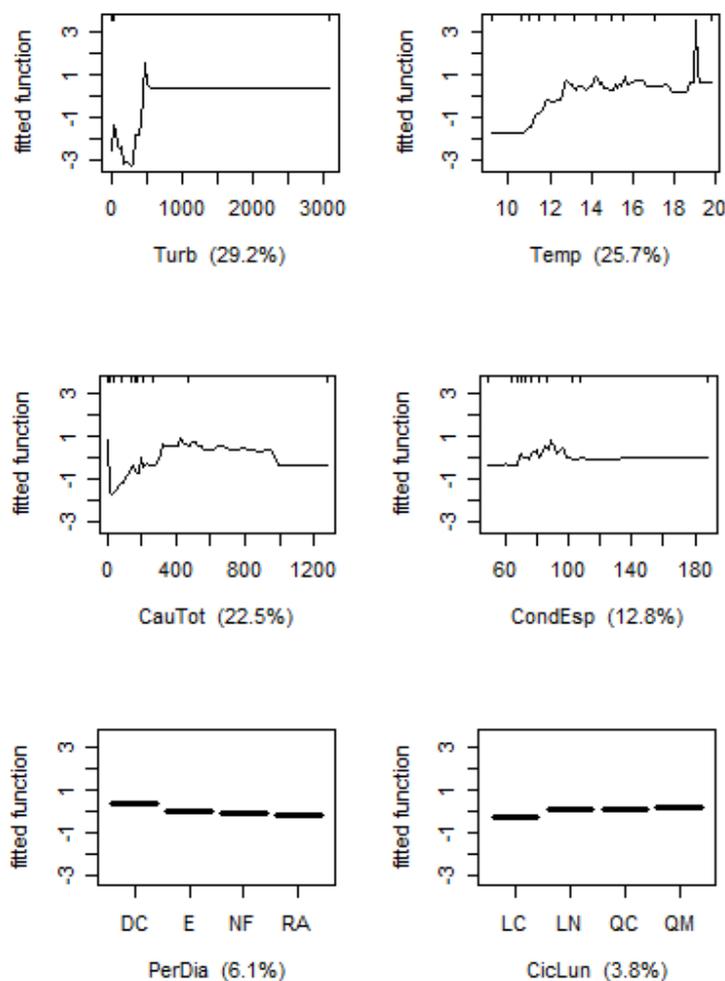


Figura 53 - Gráficos de dependência parcial para as variáveis preditivas do modelo de *Alosa sp.*. O eixo dos yy está representado numa escala logit e encontra-se centrado para ter média de zero na distribuição dos dados. Turb – Turbidez; Temp – Temperatura; Caudtot. – Caudal total; CondEsp – Condutividade Especifica; PerDia – período do dia, em que DC- Dia claro, E – Escurecer, NF – Noite fechada, RA – Raiar da aurora; CicLun – ciclo lunar, em que LC – Lua cheia, LN – Lua nova, QC – Quarto crescente, QM – Quarto minguante.

Interações mais significativas

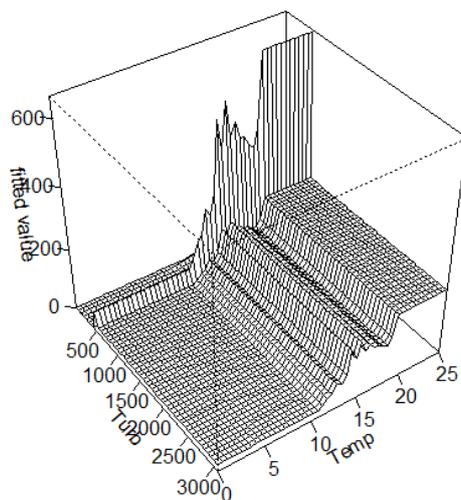
As interações entre pares de preditores mais fortemente significativas, no modelo explicativo-preditivo de boga-comum, ocorreram entre as variáveis turbidez e temperatura e entre as variáveis condutividade específica e temperatura, e encontram-se representadas na tabela 25.

Tabela 25 - Interações entre pares de variáveis preditivas

	Temp	Turb	CondEsp	CicLun	PerDia	CauTot
Temp	1	39,03*	115,6*	60,92	87,16	16,72
Turb		1	14,75	3,45	1,33	5,16
CondEsp			1	1,7	0,15	8,99
CicLun				1	0,09	18,01
PerDia					1	0,3
Cautot						1

O gráfico da figura 54 a) exprime a interação existente entre as variáveis turbidez e temperatura. É evidente que existe uma forte utilização da PPP por parte da boga-comum em períodos com temperaturas superiores a 11°C e turbidez a 500FNU. A interação entre as variáveis condutividade específica e temperatura, à semelhança do modelo do barbo do Norte, apresenta uma resposta significativa para valores de temperatura de 15°C e 20 °C, para toda a amplitude dos valores de condutividade específica (gráfico 54 b)).

a)



b)

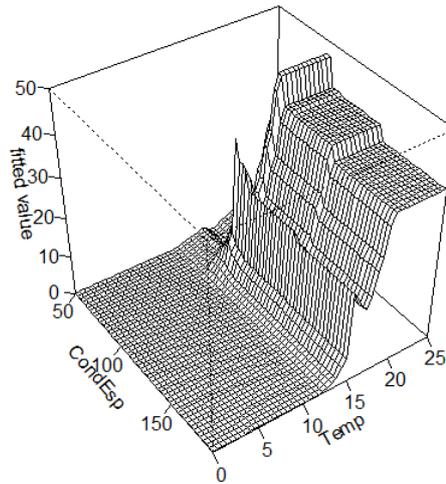


Figura 54 - Gráficos tri-dimensionais das interações consideradas mais significativas no modelo da boga-comum; a) turbidez e temperatura e b) condutividade específica e temperatura. CondEsp – Condutividade Específica, Turb – Turbidez, Temp – Temperatura.

Valores de previsão para boga-comum

A figura 55 expressa a diferença entre os valores reais ou observados e os valores criados pelo modelo explicativo-preditivo das passagens de boga-comum pela PPP do Açude-Ponte de Coimbra. A diferença entre estes dois conjuntos de valores está representada na figura 55 pela linha vermelha, denominada como o erro diário médio. Neste caso, o desvio entre o observado e a previsão, é muito baixo, podendo-se considerar que os valores reais de passagens e os valores de previsão estão bem ajustados.

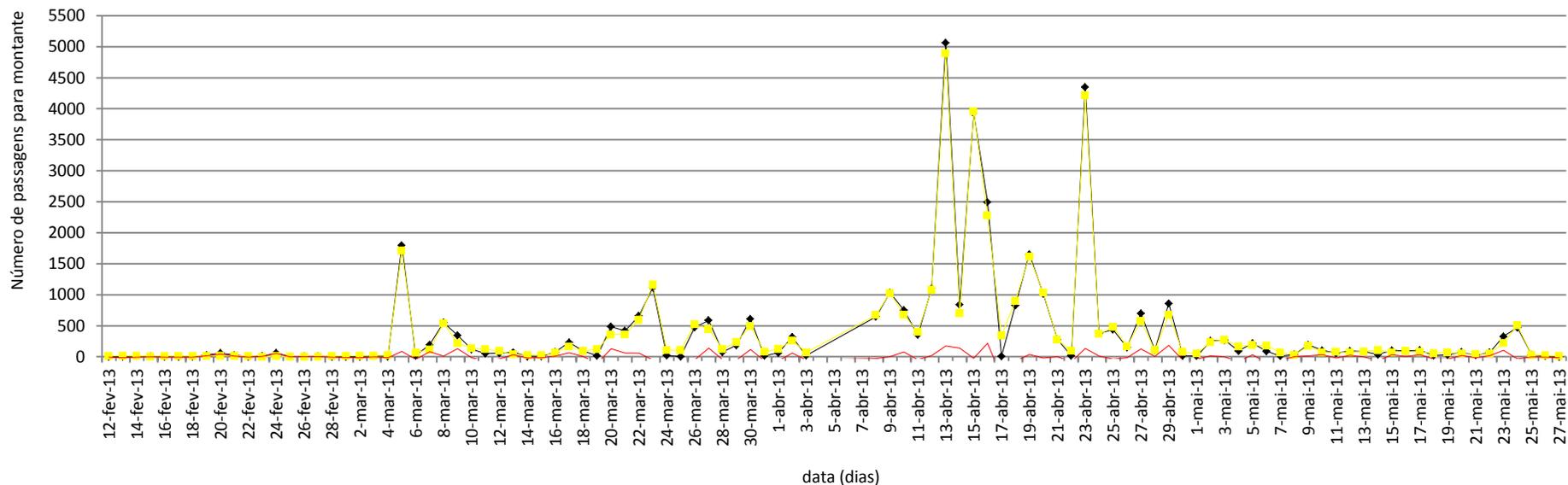


Figura 55 -- Distribuição diária de passagens (linha preta), previsão da distribuição diária de passagens (linha amarela), e distribuição diária do desvio entre os valores observados e valores de previsão (linha vermelha) das passagens de boga-comum na PPP do Açude-Ponte de Coimbra entre 12 de Fevereiro e 27 de Maio de 2013.

Performance do modelo

A tabela 26 resume a performance explicativa e preditiva do modelo de boga-comum, que se pode considerar elevada, tendo em conta que, para um ajustamento baseado no menor erro preditivo, apresenta uma variação explicada de 90,4%, uma medida de correlação bastante satisfatória (cv correlation) e um desvio inferior a 1% entre os valores observado e os valores de previsão (380,155 bogas-comum, no total de 38898 indivíduos desta espécie na PPP).

Tabela 26 - Performance preditiva do modelo explicativo-preditivo da boga-comum,

métricas	valores
Cv deviance	34,89-7,321
R ²	0,904
Cv correlation	0,642-0,043
Diferença total entre os valores observados e os valores de previsão	380,2 (para um N observado de 38898)

4. DISCUSSÃO

4.1. Épocas de migração

A grande parte dos estudos sobre comportamentos migratórios das espécies alvos deste trabalho, referem a temperatura como um dos fatores mais importantes e que regulam o início da migração, isto é, a principal variável que permite definir o período de migração de cada espécie (Rodríguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992; Baras *et al.*, 1994; Maitland, 2000; Amprahamian *et al.*, 2003; Tesch, 2003; Rustadbakken *et al.*, 2004).

O período de utilização da PPP do Açude-Ponte pela lampreia-marinha foi entre 13 de Janeiro e 27 de Abril, com um pico de movimentos ou época preferencial de passagem, entre 22 de Março e 27 de Abril durante o qual foram contabilizadas 80% das passagens que ocorreram durante a época migratória de 2013. Segundo Almeida *et al.* (2000) a lampreia-marinha entra nos estuários e inicia a sua migração reprodutora em água continentais em Dezembro, questão que não foi possível corroborar por este estudo pelas amostragens terem sido iniciadas apenas em Janeiro de 2013. O pico de migração descrito na bibliografia ocorre entre Fevereiro e Abril (Almeida *et al.*, 2000), cerca de um mês antes do pico de passagem observado na PPP.

Os indivíduos do género *Alosa spp.* utilizaram a PPP entre 7 de Fevereiro e 30 de Junho e a época preferencial de passagem foi entre 27 de Abril e 15 de Maio. Aprahamian, *et al.* (2003) refere que a época de migração do sável e da savelha ocorre entre Março e Junho, iniciando um mês depois do observado neste trabalho.

A época de passagem do barbo do Norte foi entre 13 de Janeiro e 30 de Junho e os meses preferenciais de utilização da PPP foram Abril e Maio. Rodríguez-Ruiz & Granado-Lorencio (1992) observaram num estudo em Espanha, que a migração reprodutora de barbo do Norte inicia-se em Março e termina em Junho, época bem mais reduzida comparativamente ao registo de passagens observado na PPP do Açude-Ponte durante os primeiros seis meses do ano.

A boga-comum utilizou a PPP entre 11 de Janeiro e 30 de Junho. A grande parte das passagens (80%) ocorreram de uma forma mais dispersa de Janeiro a Abril. No mesmo trabalho Rodríguez-Ruiz & Granado-Lorencio (1992) observaram, que a migração reprodutora de boga-comum inicia-se em Fevereiro e termina entre Maio e Junho, corroborando a maior extensão da época de migração comparativamente à outra espécie potamódroma, o barbo do Norte.

O primeiro muge a utilizar a PPP do Açude-Ponte, fê-lo no dia 2 de Abril. A partir desse dia, apesar de algumas oscilações e decréscimos acentuados nas passagens diárias de PPP, ocorreu um aumento de registos desde a primeira visualização de muge até ao dia 30 de Junho, o final

do período de estudo, não havendo nenhum decréscimo decisivo que indicasse um pico migratório. Com isto, é possível perceber que o período de migração do muge está para além do que foi observado entre 2 de Abril e 30 de Junho de 2013, facto confirmado no decorrer dos trabalhos de monitorização videográfica. No trabalho desenvolvido por Almeida (1996) foi observada a migração reprodutora do muge, para o estuário e de seguida para o mar entre Setembro e Novembro e o regresso às águas continentais que ocorreu na Primavera entre Março e Junho. Porém, neste trabalho foi observada uma época de migração significativamente mais extensa que a referida no estudo de Almeida (1996).

A enguia-europeia utilizou pela primeira vez a PPP com movimentos para montante, no dia 30 de Março e prolongou a sua utilização para além do período de estudo. Tesch (2003), refere que a migração reprodutora das enguias para jusante ocorre entre Outubro e Dezembro e que as larvas regressam à zona costeira e entram nos cursos de água já com a forma de meixão entre Outubro e Março. A presença de um local de abrigo proporcionado pela pequena fenda situada por baixo da rampa instalada na janela de contagem, colocada exatamente para não permitir a passagem de peixes por locais fora do campo de visão da camara, pode ter causado uma subestimação dos registos de passagens de enguia-europeia durante o período analisado (figura 56). A migração para montante é feita por indivíduos juvenis com uma capacidade de natação reduzida que perante o caudal elevado do interior da PPP encontram dificuldades a transpor a zona da janela de visualização que apresenta uma redução da secção, aumentando assim a velocidade da água naquela zona. Esta espécie poderá ter utilizado a rampa como uma zona de refúgio ou descanso, no que diz respeito ao comportamento de transposição, e uma forma de facilitar a transposição de uma zona com uma velocidade da água elevada. Com isto, é possível concluir que a contabilização do número de enguias que utilizou a PPP pode não corresponder ao verdadeiro número de indivíduos desta espécie que transpuseram o Açude-Ponte através deste dispositivo.



Figura 56 - Enguia-europeia a refugiar-se na fenda entre o vidro da janela de visualização e a rampa de passagem da PPP.

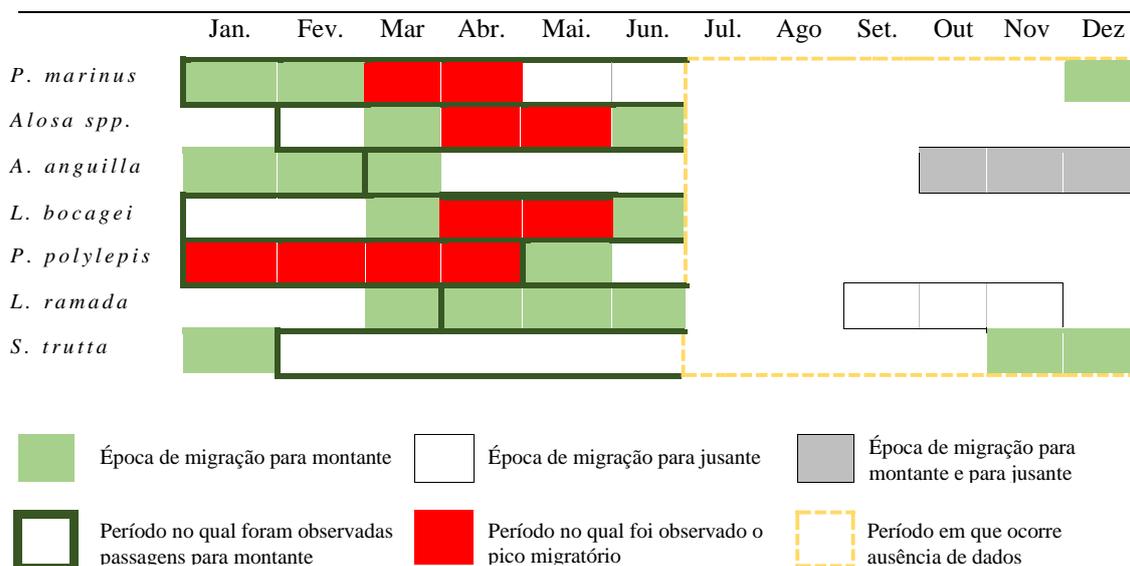
Para a truta, tal como se verificou com o muge e com a enguia-europeia, as passagens, apesar de apresentarem algumas oscilações, tiveram um registo crescente ao longo do período de estudo,

não se observando a época de migração completa da truta. A primeira visualização ocorreu no dia 4 de Fevereiro e as passagens diárias foram sempre inferiores a 24 indivíduos. O referido na bibliografia é bastante diferente do observado. Está descrito que esta espécie na sua forma potamódroma, inicia a migração reprodutora em Novembro e a desova pode ocorrer até ao mês de Janeiro (Kottelat & Freyhof, 2007).

A tabela 27 compara as épocas de migração referidas na bibliografia para cada espécie com as épocas de passagem observadas na PPP do Açude-Ponte de Coimbra. O período de migração observa-se mais prolongado que o descrito no caso da lampreia-marinha (o observado na PPP termina dois meses depois), da *Alosa* spp. (o observado na PPP inicia-se um mês antes), do barbo do Norte (o observado inicia-se dois meses antes), da boga-comum (o observado inicia-se um mês antes e termina também um mês antes). Porém, para estas espécies, o período de maior actividade observado na PPP encontra-se incluído no período de migração descrito na bibliografia. As espécies em que se observou maior discordância com o que estava descrito nas referências bibliográficas, foram a enguia-europeia, o muge e a truta. No entanto, por ter sido contabilizado apenas os primeiros seis meses do ano, não é ainda possível clarificar por completo esta questão, porque o período de amostragem deste trabalho revelou-se muito curto para a observação do período de migração completo destas espécies.

A tabela 27 apresenta uma comparação entre o descrito na bibliografia e o observado neste estudo, em que o delineado a verde corresponde ao período em que ocorreram passagens e o delineado a vermelho ao período de maior frequência de passagens onde ocorreram 80% das passagens de cada espécie.

Tabela 27 - Épocas de migração das espécies mais abundantes presentes no Rio Mondego referidas na bibliografia (Lobon-Cervia & Elvira, 1986; Rodriguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992; Almeida, 1996; Almeida et. al., 2000; Aprahamian et. al., 2000; Tesch, 2003; Kottelat & Freyhof, 2007) e épocas de passagem observadas na PPP do Açude-Ponte em Coimbra



4.2. Utilização da PPP

Segundo a definição de Travade *et al.* (1998) de eficácia de uma PPP, o dispositivo em estudo, durante o período de estudo foi eficaz na medida que permitiu a passagem de todas as espécies alvo da monitorização, nomeadamente, a lampreia-marinha, o sável, a savelha, o barbo do Norte, a boga-comum, a truta, o muge e a enguia-europeia. É possível afirmar desta forma que a PPP tem potencial para cumprir o objetivo pretendido de mitigar o efeito de barreira do Açude-Ponte. Uma avaliação mais objetiva implica efetuar estudos sobre a eficiência da PPP para o conjunto de espécies alvo.

Contudo, o conceito de eficiência não pode ser avaliado com a metodologia aplicada no presente trabalho visto que, apenas os indivíduos que utilizaram a PPP são contabilizados. De modo a determinar a eficiência deste dispositivo é necessário determinar a proporção de animais da população migradora que utilizou a PPP. Para isso, trabalhos complementares de captura de indivíduos das comunidades piscícolas do Rio Mondego têm vindo a ser realizados no decorrer dos trabalhos de monitorização. Para além das contagem com recurso a capturas, têm vindo a ser realizados trabalhos de marcações de peixes que permitem perceber qual o atraso na migração associado à PPP, isto é, que tempo necessita cada individuo marcado para encontrar a entrada da PPP, a entrar no dispositivo e a transpor o mesmo. A metodologia aplicada neste trabalho de dissertação também não permitiu retirar conclusões acerca deste aspecto. Apenas um conjunto de métodos associados permitem avaliar de uma forma completa a performance de um dispositivo de PPP (Travade & Larinier, 2002).

Os peixes anádromos podem representar um elevado input de nutrientes e energia para o sistemas de água doce, nomeadamente quando os adultos iniciam a sua migração reprodutora. Qualquer processo que diminua a abundância destes animais num determinado ecossistema, como é o caso da presença de uma barreira ou uma acentuada atividade de pesca, pode ser suficiente para afetar de forma significativa os processos do ecossistema, tal como a produção primária e os processos detriticos (Pauly & Christensen, 1995; Freeman *et al.*, 2003). A PPP do Açude-Ponte permitiu que 7593 lampreias-marinhas transpusessem o Açude-Ponte o que acarretou um incremento de biomassa de lampreia-marinha a montante na ordem dos 8758kg sendo possível afirmar que durante o período de estudo observou-se um grande input de nutrientes e um conseqüente contributo para os ecossistemas a montante do Açude que não seria possível antes da PPP do Açude-Ponte encontrar-se operacional.

4.3. Modelos explicativos-preditivos

4.3.1. Performance dos modelos

Predições e explicações precisas são objectivos fundamentais da análise estatística, porém muito difíceis de alcançar. As BRT são um método estatístico de aprendizagem que alcança estes dois objectivos em análises de regressão e de classificação. Este método pode lidar com vários tipos de variáveis (numéricas, categóricas e censuradas), de funções (Gaussian, binomial, Poisson, e robusta) e de preditores (numéricos e categóricos) (De'ath, 2007).

Aplicado ao presente estudo as BRT apresentaram uma excelente capacidade explicativa quantificando e ilustrando as relações entre os preditores e a variável resposta. Um modelo BRT trouxe grandes melhoramentos na capacidade de previsão, ajustando uma grande ordem de interações de uma forma não alcançável com GAM, GLM ou outros modelos similares. As BRT impõem um contínuo melhoramento na interpretação ecológica, particularmente no que diz respeito a relações entre a ocorrência ou abundância de uma espécie e os factores ambientais/abióticos (Leathwick *et al.*, 2006).

Como é possível observar na tabela 28, a performance dos modelos construídos no âmbito deste trabalho é bastante elevada. Todos os modelos apresentam uma percentagem de variação explicada (R^2) igual ou superior a 80%. O modelo com maior desvio entre os valores de passagens observadas e os valores que foram criados é o de *Alosa spp.*, porém, continuando a ser uma percentagem bastante reduzida. Os modelos de barbo do Norte e boga-comum apresentam a melhor performance com 0,9% de R^2 e um desvio inferior a 1%. Esta avaliação pode-se dever há menor irregularidade da distribuição de dados das passagens de barbo do Norte e boga-comum, comparativamente às distribuições de lampreia-marinha e *Alosa spp.* que apresentam mais valores extremos.

Tabela 28 - Avaliação da performance dos modelos de lampreia-marinha, *Alosa spp.*, barbo do Norte e boga-comum

Modelos	Cv deviance	R^2	Cv correlation	Desvio entre os valores observados e previstos
Lampreia-marinha	6,10-1.24	0,86	0,67-0,06	8,1% 644 (para um N observado de 7966)
<i>Alosa spp.</i>	7,64 – 2,72	0,80	0,59 – 0,09	13,4% 933,24 (para um N observado de 6964)
Barbo do Norte	6,04-0,98	0,90	0,71-0,04	<1% 88,26 (para um N observado de 12528)
Boga-comum	34,89-7,32	0,90	0,64-0,04	<1% 380,2 (para um N observado de 38898)

A previsão para qualquer lista de dados usa o modelo final, e consiste na soma das previsões de todas as árvores multiplicadas pela taxa de aprendizagem (Elith *et al.*, 2008). Os valores gerados pelos modelos de lampreia-marinha, *Alosa spp.*, barbo do Norte e boga comum, foram baseadas na mesma matriz onde foram ajustados os modelos. Pinkerton *et al.* (2010) afirma que o procedimento aplicado neste estudo não é aconselhado. O autor afirma que estas previsões devem ser geradas a partir de uma matriz de dados independentes, porém, neste caso, tal facto não foi possível, devido à existência de dados de variáveis abióticas de apenas uma época de migração. No futuro, pretende-se utilizar os dados recolhidos em 2014 para validar os modelos obtidos neste trabalho.

4.3.2. Preditores que condicionam a utilização da PPP pelas espécies alvo

O período de migração e o comportamento dos peixes durante esse período depende da interação entre o estado fisiológico do peixe e os factores externos, isto é, a migração de um peixe está dependente da sua taxa de crescimento, do seu estado de maturação e de variáveis ambientais que desencadeiam a migração como por exemplo a temperatura da água (MacDowall, 1997; Blinder *et al.*, 2011). Porém apenas alguns estudos demonstraram estatisticamente a ligação das variáveis abióticas com a actividade migratória (Blinder *et al.*, 2011).

A temperatura parece ser o factor físico que mais influencia o início da migração, porém existem alguns autores que consideram o caudal ou o ciclo lunar como fatores determinantes (Rodriguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992). Para compreender bem o efeito dos parâmetros ambientais nas migrações piscícolas é necessário entender se estes factores são inibidores, ou desencadeadores da migração, ou, se por outro lado, regulam apenas o nível de atividade associado ao movimento migratório.

As BRT representam uma técnica flexível de modelagem e regressão que oferece importantes benefícios para a modelação de dados ecológicos (Elith *et al.*, 2008). A preparação para a construção destes modelos implica a escolha dos preditores mais adequados e o despiste de informações redundantes, com a presença de variáveis correlacionadas significativamente, que no fundo fornecem a mesma informação. Para além da análise de correlações, foi executado numa primeira fase um ajustamento dos modelos, com o objetivo de perceber quais dos caudais deveriam ser excluídos das matrizes de cada modelo. A contribuição para a explicação dos mesmos, variou no que diz respeito aos preditores relacionados com o caudal total do Açude-Ponte. Para a lampreia-marinha o caudal com maior contribuição foi o desfasado 2 horas. Informação complementar obtida no decorrer dos trabalhos de monitorização da PPP do Açude-

Ponte de Coimbra, com a marcação e *tracking* de duas lampreias com recurso a rádio-telemetria, permitiu observar que o tempo médio necessário para esta espécie transpor o dispositivo com sucesso foi cerca de 3 horas. Esta informação indica um desfasamento entre a entrada no dispositivo de passagem e a passagem pela janela de monitorização de cerca de 3 horas. No caso de *Alosa spp.* o preditor que melhor explicou a passagem, entre os três relacionados com o caudal total, foi o caudal total desfasado 4 horas. Isto poderá significar que o sável/savelha levam mais tempo que a lampreia-marinha a entrar e transpor com sucesso a PPP. Na primeira fase de ajuste do modelo de barbo do Norte, conclui-se que o preditor mais importante, entre as variáveis relacionadas com o caudal total, foi o caudal total sem desfasamento. O que pode significar que o barbo do Norte transpõe a PPP mais rapidamente que a lampreia-marinha e os indivíduos do género *Alosa spp.*. O mesmo resultado foi obtido para a boga-comum.

Relações entre a utilização da PPP e as variáveis ambientais

No modelo BRT desenvolvido para a lampreia-marinha, o preditor que melhor explica a entrada e passagem de lampreia-marinha no Açude-Ponte é o caudal total (desfasado 2 horas) com 85,95 de percentagem relativa de explicação. De seguida, com níveis de explicação residuais comparativamente ao caudal, a temperatura (6,7%), turbidez (2,95%), ciclo lunar (2,07%), condutividade específica (1,7%) e período do dia (0,6%). A análise das funções parciais permitiu concluir que o caudal total (desfasado 2 horas) inibe a passagem das lampreias-marinhas a partir de valores de 50 m³/s. Pela percentagem relativa de contribuição do preditor caudal total com desfasamento de 2 horas (85,95%), é evidente que o factor que condiciona a entrada na PPP e a sua transposição pela lampreia-marinha para montante, são as descargas do Açude-Ponte. Caudais libertados pelo Açude-Ponte superiores a 50 m³/s parecem afectar negativamente a eficiência do dispositivo porque, provavelmente, os indivíduos são atraídos ou desviados pelo caudal libertado nas comportas. Vários estudos afirmam que o fator que desencadeia o processo de migração da lampreia-marinha é a temperatura da água (Beamish, 1980; Maitland, 2000). Já o caudal do rio, o período do dia e o ciclo de marés têm um importante papel no comportamento migratório desta espécie (Almeida *et al.*, 2002; Maitland, 2000; Quintella *et al.*, 2003). Efetivamente, Maitland (2000), Almeida *et al.* (2002) e Quintella *et al.* (2003), reforçam que os caudais tanto podem desencadear como inibir os movimentos migratórios. Estes trabalhos referem que os caudais de cheia são prejudiciais para a migração dificultando o acesso a locais de desova. Por outro lado, caudais baixos também podem ser inibidores de movimentos porque impedem a migração no caso de cursos de água pouco profundos. A área de estudo, o rio Mondego, é altamente regularizada pela presença de várias barragens, mais concretamente as barragens da Raiva, Agueira e Fronhas e os caudais efluentes

do Açude-Ponte são essencialmente dependentes do funcionamento diário do empreendimento da Raiva. Caudais baixos alternados com caudais altos podem funcionar simultaneamente como estímulos e inibidores para o movimento migratório das lampreias (Almeida *et al.*, 2002) e, segundo os resultados do presente trabalho, para a entrada dos indivíduos na PPP. Quando o pico da descarga alcança a lampreia-marinha, promove um estímulo que desencadeia o movimento migratório do animal, e/ou um aumento da atividade de natação. Porém se o caudal é demasiado elevado, segundo Almeida *et al.* (2002) maior que 72 m³/s, causa um retardamento na migração para montante (Almeida *et al.*, 2002; Quintella *et al.*, 2003). O mesmo ocorreu com a utilização da PPP durante o período de estudo para caudais de descarga do Açude-Ponte superiores a 50m³/s.

A componente explicativa do modelo de *Alosa spp.* confirma que os preditores que influenciam a passagem de *Alosa spp.* são o caudal total (desfasado 4 horas) com 54,6% de explicação e a temperatura que explica 45,4% das passagens de *Alosa spp.* A partir das funções parciais percebe-se que o caudal total a partir dos 50 m³/s inibem a passagem de *Alosa spp.*. Quanto à temperatura pode afirmar-se que é quando a temperatura atinge os 14°C que a passagem de *Alosa spp.* pela PPP é iniciada e o pico de passagens é atingido a temperaturas entre os 17 e os 18°C. De acordo com a bibliografia, a migração de *Alosa spp.* inicia-se quando a temperatura da água atinge valores entre os 10-12°C (Maitland & Hatton-Ellis, 2000; Amprahamian *et al.*, 2003; Acolas *et al.*, 2004). Tal como para a lampreia, uma vez despoletado o estímulo migratório, o caudal e o período do dia funcionam como variáveis ambientais reguladores do comportamento e actividade migratória (Travade *et al.*, 1998; Acolas *et al.*, 2004; Amprahamian *et al.*, 2003). Descargas de elevado caudal, como acontecem por exemplo em situações de cheia, inibem a migração (Amprahamian *et al.*, 2003; Acolas *et al.*, 2004).

No modelo de barbo do Norte os preditores que influenciam a sua passagem na PPP do Açude-Ponte são o caudal total sem desfasamento (26,78%) e a temperatura (24,56%), que juntos representam mais de 50% da contribuição relativa para a explicação da utilização da PPP por parte desta espécie. Com menor, mas ainda assim importante contribuição, estão a condutividade específica (18,32%) e a turbidez (16,64%). A análise das funções parciais indica que o passagem de barbo do Norte parece acontecer preferencialmente com caudais acima de 200 m³/s, ocorrendo um pico para caudais de 500 m³/s. O registo de movimentos de barbos do Norte na PPP parece aumentar com temperaturas superiores a 12°C, ocorrendo um pico de passagem aos 19 °C. Esta constatação vem ao encontro do que é referido noutros trabalhos com barbos do Norte ou indivíduos do género *Luciobarbus* (Baras & Cherry, 1990; Rodriguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992; Baras *et al.*, 1994; Santos *et al.*, 2002) que referem que a temperatura, a variação de caudais e o período do dia, influenciam a actividade migratória dos peixes. Os movimentos ocorrem quando a temperatura está entre os 10 e os 22°C e abaixo

(Inverno) e acima (Verão) desses valores a actividade estabiliza. Após o início da migração a transposição de um obstáculo depende essencialmente da presença de um caudal de descarga suficiente para sustentar o estímulo migratório (Baras *et al.*, 1994).

O modelo de boga-comum permitiu concluir que os preditores que contribuíram mais para explicação da utilização da PPP por parte da boga-comum foram a turbidez (29,08%), a temperatura (23,98%) e o caudal total sem desfasamento (22,32%), que no total correspondem a 75,38% da contribuição relativa para a explicação do modelo. Valores de turbidez de cerca de 0 FNU e 500 FNU provocam dois picos de passagem, sendo que o segundo é o mais acentuado. As passagens de boga-comum são mais frequentes a partir de temperaturas acima dos 11 °C, com um pico de passagens bastante acentuado aos 19°C. Quanto ao caudal, a boga-comum utiliza a PPP quando ocorrem valores perto de 0 e entre os 200 e os 1000 m³/s. Tal como o barbo do Norte, a boga-comum apresenta um comportamento migratório cujo o nível de actividade parece ser regulado pela temperatura e pelo caudal (Rodríguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992).

Tal como referido anteriormente, a maior parte dos estudos sobre comportamentos migratórios das espécies em questão, referem a temperatura como o fator externo que desencadeia a migração, isto é, a principal variável que permite definir o período de migração de cada espécie (Rodríguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992; Baras *et al.*, 1994; Amprahamian *et al.*, 2003; Maitland, 2000). Porém, neste estudo, o que está a ser avaliado não são os factores que regulam a migração das espécies que utilizam a PPP do Açude-Ponte, mas os factores que condicionam a utilização deste dispositivo durante o período migratório das espécies alvo. Nesse sentido, os resultados deste estudo demonstram que o preditor mais importante e que influencia determinadamente a utilização da PPP é o caudal de descarga do Açude-Ponte. No caso da lampreia-marinha este preditor surge com mais de 80% de contribuição relativa para a explicação da variável resposta, o que permite concluir que o caudal de descarga do Açude-Ponte é o principal fator que inibe ou possibilita a entrada de lampreias na PPP, e permite a transposição para montante desta espécie. Os estudos efetuados anteriormente no Rio Mondego sobre o comportamento migratório da lampreia-marinha e tendo em conta o efeito do Açude-Ponte na regularização do caudal, afirmam que valores de caudal elevados (>72m³/s) inibem a actividade de migração para montante desta espécie (Almeida *et al.*, 2002; Quintella *et al.*, 2003). O presente estudo reforça o descrito nos trabalhos consultados, na medida em que, efetivamente o caudal é a principal variável que influencia os movimentos dos indivíduos, tendo em conta que nos períodos em que se registaram valores de caudal total superiores a 50 m³/s, a utilização da PPP por parte da lampreia-marinha foi escassa, observando-se grande utilização para valores abaixo deste nível de caudal.

Nos modelos das restantes espécies foi observado que a passagem de indivíduos na PPP é influenciada não exclusivamente pelo caudal, mas também pela temperatura no caso de *Alosa spp.* e do barbo do Norte, e pela turbidez, no caso da boga-comum. Estes resultados assemelham-se mais ao descrito na bibliografia que descreve um comportamento migratório de *Alosa spp.*, do barbo do Norte e da boga-comum influenciado essencialmente pelo conjunto de duas variáveis ambientais, a temperatura e o caudal (Rodriguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992; Baras *et al.*, 1994; Amprahamian *et al.*, 2003). Relativamente à turbidez da água, não existe referência sobre a relação entre esta variável e a migração da boga-comum, porém, a bibliografia disponível sobre o comportamento migratório desta espécie é escassa.

No caso da *Alosa spp.* e tal como observado para a lampreia-marinha, a utilização da PPP é elevada para valores de descargas até aos 50m³/s, sendo aparentemente inibida a utilização da PPP para valores superiores. Contudo, existe uma repartição da explicação da resposta entre o caudal e a temperatura, e inclusivamente, ocorre uma interação significativa entre a ação destas duas variáveis, que se descreve como uma utilização acentuada da PPP para valores de caudal baixos (<50m³/s) e para valores de temperatura entre os 15 e os 20°C. Temperaturas um pouco superiores ao descrito como pico de migração em sistemas hidrográficos no Norte da Europa (10-14°C) (Maitland, 2000).

Os resultados dos modelos de barbo do Norte e a boga-comum permitem constatar que estas duas espécies provavelmente terão um comportamento a jusante de obstáculos que, comparativamente à lampreia-marinha e à *Alosa spp.*, lhes permite descobrir com mais eficiência a PPP mesmo numa situação confusa em termos hidráulicos associada a condições de caudal elevado que podem camuflar o caudal de atração do dispositivo de passagem. O barbo do Norte utiliza a PPP em períodos em que ocorrem valores de caudais superiores a 200m³/s e temperaturas superiores a 12°C, cenário semelhante ao observado por Rodriguez-Ruiz & Granado-Lorencio (1992) e Baras *et al.* (1994) nos seus estudos sobre movimentos migratórios de indivíduos do género *Barbus spp.*. Baras *et al.* (1994), estudou o comportamento de uma amostra de indivíduos da espécie *Barbus barbus*, perante a presença de uma barreira e de uma PPP no rio Meuse na Bélgica. Este autor observou que a utilização da PPP por parte dos indivíduos em estudo foi influenciada principalmente pelas condições de atratividade do dispositivo que o autor descreve como a conjugação do caudal no interior da PPP e o caudal de descarga. Concluindo assim que apesar de referir a temperatura como um fator que influencia a migração, o caudal é o fator decisivo para a entrada dos animais numa PPP ou simplesmente para a transposição de um obstáculo.

Em relação à boga-comum os preditores turbidez, temperatura e caudal, em conjunto, representaram a maior parte da explicação da utilização da PPP. Inclusivamente a turbidez e a

temperatura apresentaram uma interação significativa na construção do modelo de utilização da PPP por parte da boga-comum, que descreve a grande parte das passagens em condições de temperatura superiores a 11°C e para valores de turbidez de 500 FNU. Quanto ao caudal preferencial para a passagem de boga-comum, pode-se afirmar que existem dois tipos de preferências, a de caudais perto de valores de zero e de caudais superiores a 200-400 m³/s. A bibliografia que estuda os movimentos migratórios de boga-comum descreve a influência do caudal e da temperatura como reguladores da migração destes indivíduos, auxiliando assim a compreender o comportamento desta espécie observado durante este trabalho (Rodríguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992). O mesmo não acontece com a variável turbidez, não descrita nestes estudos e pouco referida na bibliografia.

O preditor período do dia, apesar de bastante presente na bibliografia como variável que influencia significativamente o comportamento migratório das espécies piscícolas, os modelos construídos neste estudo apresentam esta variável com uma explicação residual, não relacionando a utilização da PPP com a ação deste preditor.

4.4. Comportamentos característicos

A influência do período do dia nos movimentos migratórios da ictiofauna foi observada em vários trabalhos sobre espécies migradoras (Baras & Cherry, 1990; Almeida, 1996; Travade *et al.*, 1998; Almeida *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2005).

O estudo de Almeida *et al.* (2000) analisa o comportamento migratório da população de lampreia-marinha no Rio Mondego com recurso a marcações com telemetria acústica. O seu trabalho refere que os movimentos migratórios são efectuados essencialmente durante a noite e madrugada. O observado nesta dissertação corrobora em parte o que foi descrito por Almeida *et al.* (2000) visto que as lampreias que utilizaram a PPP com movimentos para montante, fizeram-no principalmente entre as 0 e as 11 horas, concluindo-se que de facto estes animais têm preferência pelo período noturno para executarem os seus movimentos para montante.

A bibliografia descreve que o sável e a savelha preferem migrar durante o dia, a partir das 8 horas, atingindo o pico às 19 horas (Amrahamian *et al.*, 2003). O presente estudo corrobora o descrito visto que mais de 50% das passagens ocorreram entre as 13 e as 18 horas.

Quanto ao barbo do Norte observou-se que mais de 50% das passagens ocorreram entre as 12 e as 19 horas (dia e crepúsculo), resultados um pouco diferentes dos verificados em outros estudos que referem que os barbos na época de migração estão mais ativos ao crepúsculo e durante a noite (Baras & Cherry, 1990; Santos *et al.*, 2005). O mesmo comportamento apresenta a boga-comum, tendo em conta que os mesmos estudos anteriores descrevem uma atividade migratória mais frequente ao crepúsculo e à noite. As informações obtidas no presente trabalho confirmam, em parte, esta constatação pois cerca de 50% das passagens de boga-comum ocorreram entre as 12 e as 18 horas (dia e crepúsculo).

Cerca de 65% das passagens de muge ocorreram entre as 12 e as 20 horas e as restantes entre as 6 e as 11 horas. Almeida (1996) no seu estudo no Rio Mira não registou qualquer relação significativa entre os movimentos observados e o período do dia, embora neste caso o estudo incidisse sobre os movimentos desta espécie numa zona sob influência da maré. Contudo, os dados do presente estudo parecem apresentar uma tendência para a ocorrência de passagens na PPP durante o período do dia.

Durante a análise videográfica deste trabalho, foi possível, não só com a contagem das passagens, mas também pela observação do comportamento das espécies durante a passagem, registar situações interessantes e de extrema importância a nível biológico e técnico, permitindo o futuro melhoramento da PPP do Açude-Ponte e de outros dispositivos similares. Uma dessas situações diz respeito à dificuldade que a lampreia-marinha, após transpor as 23 bacias, apresenta a superar a última etapa da PPP composta pela zona de estrangulamento da janela de

monitorização e a curva de saída do dispositivo. Devido a esta dificuldade, durante o período de estudo, a maioria dos indivíduos necessitou de mais de uma tentativa para transpor esta última etapa da PPP, antes de efetivamente concluir a transposição com sucesso, saindo para montante do dispositivo. Esta situação dificultou o processo de contagem e por sua vez todo o processo de monitorização por vídeo-gravação, visto que duplicou o número de observações e consequentemente o tempo de visualização. Este comportamento poderá dever-se à presença da curva e do alargamento do canal à saída da PPP, já referido anteriormente nas figuras 6 e 7, que têm a principal função de impedir a entrada de lixos no interior do dispositivo de passagem. A opção escolhida para o desenho da saída da PPP não foi totalmente bem-sucedida na concretização do seu objetivo, tendo em conta que grandes quantidades de lixos e detritos foram observados a passar na PPP (figura 57). O comportamento hesitante das lampreias parece indicar a brusca diminuição do caudal sentida pelos animais quando passam da zona de estreitamento para a zona mais larga da curva, diminui o estímulo reofílico da lampreia-marinha provocando assim o recuo exemplificado na figura 58.



Figura 57 - Detritos e lixos de grande dimensão no interior da PPP do Açude-Ponte em Coimbra.

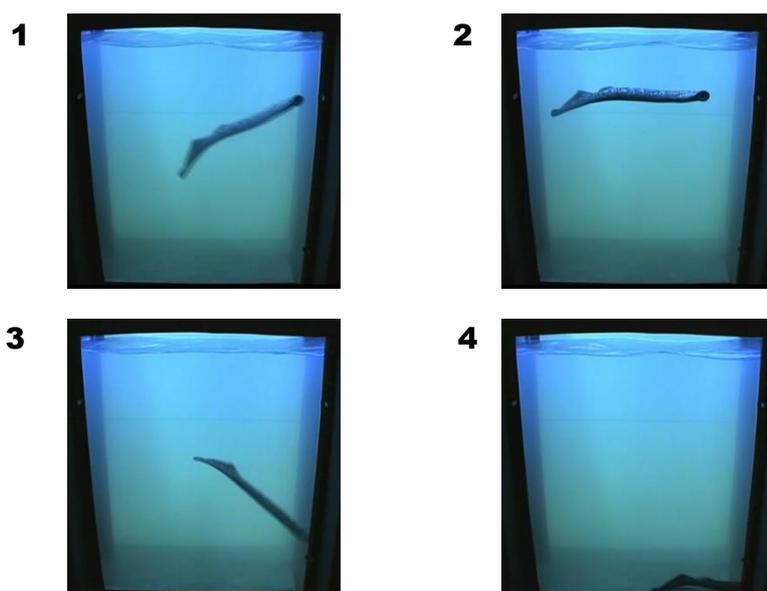


Figura 58 – Movimento caracterizado como tentativa de transposição da PPP do Açude-Ponte de Coimbra por uma lampreia-marinha: 1-lampreia arrastada para jusante; 2 – lampreia fixa no vidro da sala de monitorização da PPP; 3 e 4 – Movimento para montante e nova tentativa de transposição da PPP.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia de amostragem aplicada no presente trabalho, as contagens visuais, permitiu monitorizar a utilização da PPP do Açude-Ponte pelas espécies alvo, tal como, recolher alguma informação complementar relativa ao comportamento das espécies. O registo e recolha de dados abióticos teve como principal objetivo relacionar essa informação com a actividade biológica na PPP. Este procedimento permitiu identificar os factores abióticos que condicionam a utilização que é feita do dispositivo de passagem, por cada uma das espécies analisadas, nomeadamente a lampreia-marinha, o barbo do Norte, a boga-comum e para o género *Alosa spp.* Este conhecimento constitui uma ferramenta de gestão que pode ser utilizada para maximizar a eficiência de dispositivos de passagem com características idênticas à da PPP do Açude-Ponte de Coimbra.

Para o conjunto das espécies diádromas e potamódromas analisadas, as variáveis ambientais com maior poder explicativo foram o caudal total, a temperatura e a turbidez. Em geral as lampreias-marinhas entram na PPP com caudais inferiores a $50\text{m}^3/\text{s}$. Caudais superiores a este valor inibem a entrada na PPP de animais desta espécie. Os indivíduos do género *Alosa spp.* utilizam a PPP sobretudo durante períodos da época migratória durante os quais o caudal libertado pelo Açude-Ponte de Coimbra é inferior a $50\text{m}^3/\text{s}$ e para valores de temperatura entre os 15 e os 20°C. O barbo do Norte utiliza a PPP a partir de caudais superiores a $200\text{m}^3/\text{s}$ e de temperaturas superiores a 12°C. Relativamente à boga, a condição ideal para a utilização da PPP é a turbidez da água com 500 FNU, a temperatura a partir dos 11°C e com caudais a partir dos $200\text{m}^3/\text{s}$. Contudo observou-se passagens de bogas também com valores de turbidez e caudal perto de zero. Os dados obtidos são coerentes tendo em conta o ciclo de vida das espécies analisadas. A atividade migratória na PPP das espécies diádromas parece estar sobretudo regulada pelo caudal. Para as espécies potamódromas, para além do caudal outros preditores explicativos foram identificados como a temperatura e a turbidez. Esta informação vem de encontro ao que está descrito na bibliografia para estas espécies que refere que o início e duração dos períodos de migração, são sobretudo influenciados pela temperatura. Durante o pico migratório destas espécies, o nível de actividade é sobretudo regulado pelo caudal dos rios (Rodríguez-Ruiz & Granado-Lorencio, 1992; Baras *et al.*, 1994; Amprahamian *et al.*, 2003; Maitland, 2000).

No futuro, com base na informação recolhida, será possível modelar os caudais a jusante do Açude-Ponte de Coimbra para maximizar a eficiência de passagem da PPP. Para a lampreia-marinha e para o sável seria desejável que, pelo menos uma vez por semana, o caudal libertado fosse inferior a $50\text{m}^3/\text{s}$ durante o pico de passagem destas espécies pelo dispositivo, ou seja, os meses de Março e Abril para a lampreia-marinha, e os meses de Abril e Maio para o sável e a

savelha. Para o barbo do Norte e para a boga-comum o caudal foi identificado como um preditor importante do modelo que explica a utilização que estas espécies fazem da PPP durante a época migratória. No entanto, não é ainda claro de que forma será possível através da modelação dos caudais aumentar a eficiência do dispositivo. Acresce que a retenção, ou atraso do movimento, das espécies migradoras a jusante do Açude-Ponte de Coimbra é particularmente mais problemática para as espécies anádromas por serem frequentemente alvo de atividades furtivas.

O pico de utilização da PPP da lampreia-marinha foram os meses de Março e Abril, quanto aos indivíduos do género *Alosa* spp., o período onde ocorreu o pico de passagens aconteceu em Abril e Maio. O barbo do Norte utilizou a PPP principalmente entre Abril e Maio e a boga-comum, de uma forma mais dispersa ao longo do tempo, entre Janeiro e Abril. Quanto às restantes espécies, enguia-europeia, muge e truta, o seu período de migração, segundo descrito, é mais longo que a própria época de amostragem deste estudo, por isso mesmo, não foi possível concluir sobre o período de maior frequência de utilização da PPP. Contudo, o período de tempo em que foi possível observar a passagem pela PPP destas espécies, foi suficiente para afirmar que o “timing” observado da migração é um pouco diferente do descrito na bibliografia.

A monitorização da PPP do Açude-Ponte de Coimbra durante o período de Janeiro e Junho de 2013 permitiu concluir que o dispositivo de transposição é eficaz e potencialmente mitiga o efeito de barreira do Açude-ponte, visto que permitiu a passagem para montante de todas as espécies que teoricamente poderiam utilizar esta PPP, nomeadamente a lampreia-marinha, os indivíduos do género *Alosa* spp., o barbo do Norte, a boga-comum, o muge, a truta e a enguia-europeia. Não foi possível avaliar a eficiência da PPP devido ao facto de ser necessário um conjunto de metodologias que envolvem a marcação dos indivíduos e a utilização de uma sub-amostra para determinar a proporção da população migradora que efetivamente utiliza a PPP com o objetivo de transpor o Açude-Ponte. No entanto, no final do ano de 2013 foi montada uma antena para marcas PIT (Passive Integrated Transponder) junto à janela de monitorização da PPP. Durante a época de migração de 2014 tem sido marcados indivíduos pertencentes às espécies barbo do Norte, boga-comum, muge e lampreia-marinha, pelo que dentro em breve haverá informação adicional que permitirá estimar a eficiência deste dispositivo de passagem para estas espécies.

Com a otimização da metodologia de contagem é pretendido diminuir os recursos necessários para a monitorização com recurso às contagens visuais dos peixes que utilizam a PPP. Isto é, diminuir ou subamostrar o período de visualização e contagem, e mesmo assim conseguir estimar, com um erro negligenciável associado a essa extrapolação, o número total de indivíduos, por espécie, que utilizou a PPP durante cada ciclo anual. Este objetivo não foi completamente conseguido durante o decorrer deste trabalho porque o período de amostragem

não permitiu acompanhar o época de migração de todas as espécies potencialmente utilizadoras da PPP (espécies alvo da monitorização) e também porque apenas um ano de amostragem não possibilitou a validação dos modelos com dados independentes. Para cumprir este objetivo será necessário pelo menos dados de passagens de duas épocas de migração completas para que os modelos ajustados neste trabalho, com os dados da época de migração de 2013, sejam validados com dados das variáveis ambientais independentes. No entanto, pelos dados obtidos durante a época migratória de 2013, o período a sub-amostrar deverá incluir os meses durante os quais as espécies alvo demonstraram níveis de actividade na PPP mais elevados. Por exemplo, para monitorizar o movimento migratório da lampreia-marinha na PPP deverão ser analisadas as imagens recolhidas durante os meses Março e Abril. No caso do sável e da savelha deverão ser visualizadas as imagens correspondendo aos meses de Abril e Maio. O barbo do Norte deverá ser monitorizado entre Abril e Maio e a boga-comum entre Janeiro e Abril.

Durante este processo e durante o período de monitorização, devem ser asseguradas as condições ideais para que a PPP funcione em pleno, de forma a não comprometer o estudo. Para isso devem ser mantidos em contínuo trabalhos de manutenção que solucionem situações como por exemplo avarias do sistema hidráulico ou alterações do sistema fluvial envolvente que possam condicionar a migração dos peixes e a entrada na PPP, como é o caso de avarias do sistema que gera o caudal adicional, o assoreamento do caudal de atracção, ou a deslocação de pedras na soleira a jusante, alterando assim a derivação do caudal para a margem esquerda onde se encontra a entrada da PPP. Algumas destas situações foram observadas durante o período de amostragem deste trabalho. Também a limpeza pouco frequente da janela de visualização da sala de monitorização, constituiu uma dificuldade para a execução das contagens.

Tendo em conta os resultados obtidos por este trabalho e assumindo que devemos encarar o Rio Mondego e principalmente a zona a jusante do Açude-Ponte como um sistema não natural, devido à regularização de caudal pelo sistema Raiva, Aguieira e Fronhas, e pela gestão das comportas do Açude-Ponte, é possível perceber e tentar controlar a transposição para montante a partir da PPP, das populações de peixes migradores do Rio Mondego. Os modelos explicam o comportamento migratório no momento da transposição da PPP, mas não podem ser comparados ou identificados como comportamentos migratórios naturais porque os caudais de descarga acabam por constituir o principal fator de controlo dos períodos de maior actividade dos peixes e utilização da PPP. Tendo isto em consideração, esta situação de regularização do caudal causada pela presença de várias barragens e açudes ao longo do Rio Mondego, deve ser encarada como uma possibilidade que poderá favorecer a gestão piscícola. Esforços devem ser reunidos no sentido de criar protocolos com os empreendimentos hidroeléctricos que poderão permitir a gestão das descargas beneficiando assim as espécies piscícolas em período de migração. Esta situação é obviamente sensível visto que envolve outros interesses para além da

conservação das espécies, nomeadamente a produção de energia, a disponibilidade de água, o fator de segurança da população em situações de cheia, entre outros.

6. BIBLIOGRAFIA

- Abeare, S.M., 2009. Comparisons of boosted regression tree, glm and gam performance in the standardization of yellowfin tuna catch-rate data from the gulf of Mexico online fishery. Master thesis. Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. 94 pp.
- Acolas, M. L., Beégout Anras, M. L., Veéron, V., Jourdan, H., Sabatié, M. R., & Baglinière, J.L. 2004. An assessment of the upstream migration and reproductive behaviour of allis shad (*Alosa alosa* L.) using acoustic tracking. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 1291-1304.
- Alexandre, C.M. & Almeida, P.R. 2010. The impact of small physical obstacles on the structure of freshwater fish assemblages. *River Research and Applications*. 26: 977-994.
- Allan, J.D. & Castillo, M.M. 2007. *Stream Ecology, Structure and Function of Running Waters*. Second Edition. Springer, Dordrecht, The Netherlands. 436 pp.
- Almeida, P.R., 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: 137-150.
- Almeida, P.R., H. T. Silva & B. Quintella, 2000. The migratory behaviour of the sea lamprey *Petromyzon marinus* L., observed by acoustic telemetry in River Mondego (Portugal). In Moore, A. & I. Russel (eds), *Advances in Fish Telemetry*. CEFAS, Suffolk: 99–108
- Almeida, P.R., Quintella, B.R & N.M. Dias, 2002. Movement of radio-tagged anadromous sea lamprey during the spawning migration in the River Mondego (Portugal). *Hydrobiologia* 483: 1–8.
- Almeida, P.R. & Quintella, B.R., 2002. Larval habitat of the sea lamprey (*Petromyzon marinus* L.) in the River Mondego (Portugal). In: M.J. Collares-Pereira, M.M., Coelho & I.G. Cows (eds). *Fresh waterfish conservation: options for the future*. Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford; 121-130.
- Alexandrino, P.J.B. 1994. Contribuição para o estudo da biologia das populações portuguesas do género *Alosa*. Migração, crescimento, diferenciação morfológica e pesca. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Aprahamian, M. W., Aprahamian, C. D., Baglinière, J.L., Sabatié, R. & Alexandrino, P., 2003. *Alosa alosa* and *Alosa fallax* spp. Literature Review and Bibliography. Environment Agency. University of Porto. 349 pp.

- Argent, D.G. & Kimmel, W.G. 2010. Influence of navigational lock and dam structures on adjacent fish communities in a major river system. *River Research and Applications*. PA 15419: 724-938-1529.
- Baras, E. & Cherry, B., 1990. Seasonal activities of female barbel *Barbus barbus* (L.) in the River Ourthe (Southern Belgium), as revealed by radio tracking. *Aquatic Living Resources*. 3: 283–294.
- Baras, E., Lambert, H. & Philippart, J.C., 1994. A comprehensive assessment of the failure of *Barbus barbus* spawning migrations through a fish pass in the canalized River Meuse (Belgium). *Aquatic Living Resources*. 7: 181–189.
- Barbosa, A., Ramos, C.M., Jorge, G.. Dimensionamento da Passagem de Peixes do Açude-Ponte de Coimbra. 7º Congresso da água. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Beamish, F. W. H., 1980. Biology of the North American anadromous sea lamprey, *Petromyzon marinus*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 37: 1924-1943.
- Binder T.R., Cooke S.J. & Hinch S.G. (2011) The Biology of Fish Migration. In: Farrell A.P., (ed.), *Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment*, volume 3, pp. 1921–1927. San Diego: Academic Press.
- Bok, A., Rossouw, J. & Rooseboom, A., 2004. Guidelines for the planning, design and operation of fishways in South Africa.: 1st edition. Water Research Commission Report. Gezina, South Africa. 88 pp.
- Branco, P.J., Segurado, P., Santos, J.M., Pinheiro, P.J. & Ferreira, M.T. 2012. Does longitudinal connectivity loss affect the distribution of freshwater fish? *Ecological Engineering*. 48: 70-78.
- 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. *Journal of Environment Management*. 90: 303-311.
- Bunn, S.E. & Arthington, A.H. 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*. 30: 492-507.
- Cabral MJ (coord.), Almeida J, Almeida PR, Dellinger T, Ferrand de Almeida N, Oliveira ME, Palmeirim JM, Queiroz AI, Rogado L & Santos-Reis M (eds.) (2005). *Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal*. Instituto da Conservação da Natureza. Lisboa. 660 pp.
- Clay, C.H., 1995. *Design of fishways and other fish facilities*, 2nd ed. Lewis Publishers, Boca Raton, LA, 248 pp

- Costa M.J., P.R. Almeida, I.M. Domingos, J.L. Costa, M.J. Correia, M.L. Chaves & C.M. Teixeira, 2001. Present status of the main shads' populations in Portugal. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*. 362/363: 1109-1116.
- Costa, J.L, Domingos, I., Assis, C.A., P.R. Almeida, Moreira, F., Feunteun, E. & Costa, M.J., 2008. Comparative ecology of the European eel, *Anguilla anguilla* (L., 1758), in a large Iberian river. *Environmental Biology of Fishes*. 81: 421–434.
- Crawley, M.J. 2007. *The R Book*. John Wiley & Sons, Imperial College London at Silwood Park, UK. 950 pp.
- De'ath, G. 2007. Boosted trees for ecological modeling and prediction. *Ecology*. 88: 243-251.
- Doadrio, I. 2001. Atlas y libro rojo de los peces continentales de España. Direccion General de Conservación de la Naturaleza & Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. 358 pp.
- Dormann, C. F., J. Elith, S. Bacher, C. Buchmann, G. Carl, G. Carré, J. R. García Marquéz, B.Gruber, B. Lafourcade, P. J. Leitão, Ta. Münkemüller, C. McClean, P. E. Osborne, B. Reineking, B. Schröder, A. K. Skidmore, Da. Zurell & Sv. Lautenbach, 2012. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*. 35: 1–20.
- Domingos, I.M., 2003. A enguia-europeia, *Anguilla anguilla* (L., 1758), na bacia hidrográfica do Rio Mondego. Tese de doutoramento Universidade de Lisboa, Lisboa. 293 pp.
- 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., Overton, J.McC., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K.S., 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: 129-151.
- Elith, J., Leathwick, J.R. & Hastie, T. 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*. 77: 802-813.
- FAO/DVWK. 2002. Fish passes – Design, dimensions and monitoring. FAO, Rome. 119 pp.
- Ferreira, A.P., Ferreira, M.T. & Bochechas, J. 2000. Avaliação global dos efeitos ecológicos de pequenos aproveitamentos hidroelétricos sobre a ictiofauna. 5º Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa. 13 pp.
- Ferreira, A.F., B.R. Quintella, C. Maia , C.S. Mateus, C.M. Alexandre, C. Capinha & P.R. Almeida, 2013. Influence of macrohabitat preferences on the distribution of European brook and river lampreys: Implications for conservation and management. *Biological Conservation*. 159: 175–186.

- Franklin, E.C., Jokiell, P.L. & Donahue, M.J., 2013. Predictive modeling of coral distribution and abundance in the Hawaiian Islands. *Marine Ecology Progress Series*. 481: 121–132.
- Freeman, M.C., Pringle, C.M., Greathouse, E.A. & Freeman, J.B., 2003. Ecosystem-Level Consequences of Migratory Faunal Depletion Caused by Dams. *American Fisheries Society Symposium*. American Fisheries Society. 35:255–266.
- Friedman, J., Hastie, T. & Tibshirani, R., 2000. Special invited paper. Additive Logistic Regression: A statistical view of boosting. *The Annals of Statistics*. 28: 337-407.
- 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.
- Gardner, C., Coghlan J.R., S.M., Zydlewski, J. & Saunders, R. 2011. Distribution and abundance of stream fishes in relation to barriers: Implications for monitoring stream recovery after barrier removal. *River Research and Applications*. DOI: 10.1002/rra.1572.
- Graf, W.L. 2003. *The Changing Role of Dams in Water Resources Management*. Universities Council on Water Resources. University of South Carolina. 126: 54-59.
- Greathouse, E.A., Pringle, C.M., McDowell, W.H. & Holmquist, J.G. 2006. Indirect Upstream Effects of Dams: Consequences of Migratory Consumer Extirpation in Puerto Rico. *Ecological Applications*. 16(1): 339-352.
- Hall, C.J., Jordaan, A. & Frisk, M.G. 2011. The historic influence of dams on diadromous fish habitat with a focus on river herring and hydrologic longitudinal connectivity. *Landscape ecology*. 26: 95–107.
- Hastie, T., Tibshirani, R. & Friedman, J.H. 2009. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Second Edition. Springer-Verlag, New York. 745 pp.
- Hayes, D.B., Dodd, H. & Lessard, J. 2006. Effects of Small Dams on Cold Water Stream Fish Communities. *American Fisheries Society Symposium*. 16 pp.
- Jones, R.E., R.J. Petrell & D. Pauly. 1999. Using modified length relationships to assess the condition of fishes. *Aquacultural Engineering* 20: 261-176.
- Jungwirth, M. 1998. River continuum and fish migration— going beyond the longitudinal river corridor in understanding ecological integrity. In Jungwirth, M., S. Schmutz & S. Weiss (eds), *Fish Migration and Fish Bypasses*. Blackwell Sciences Ltd. Fishing News Books, Oxford, London, Berlin: 19–32.

- Katopodis, C., 1992. Introduction to Fishway Design. Freshwater Institute, Canada Fisheries and Oceans, Winnipeg, MB, Canada, 68 pp.
- Kottelat, M. & J. Freyhof, 2007. Handbook of European Freshwater Fishes. Kottelat, Cornol, Switzerland and Freyhof. Berlin, Germany. 646 pp.
- Kroes M.J., Gough P., Schollema P. P. & Wannigen H., 2006. From sea to source; Practical guidance for restoration of fish migration in European rivers. Hunze en Aa's, Veendam, The Netherlands. 120 pp.
- Larinier, M., 2000. Environmental Issues, Dams and Fish Migration, Final Draft. World Commission on Dams. 26 pp.
- Leathwick, J.R., Elith, J., Chadderton, W.L., 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: 1481-1497.
- Lobón-Cerviá, J. & Fernández-Delgado, C., 1984. On the biology of the barbel (*Barbus barbus bocagei*) in the Jarama river. *Folia Zoologica*. 33: 371–384.
- Lobón-Cerviá, J., C. Montañes & A. Sostoa, 1986. Reproductive ecology and growth of a population of Brown trout (*Salmo trutta* L.) in an aquifer-fed stream of old Castile (Spain). *Hydrobiologia* 135: 81-94.
- Magilligan, F.J. & Nislow, K.H. 2005. Changes in hydrologic regime by dams. *Geomorphology*. 71:61–78.
- Maitland PS (1980a). Review of the ecology of lampreys in northern Europe. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 1944–1952.
- Maitland PS (1980b). Assessment of lamprey and fish stocks in the Great Lakes in relation to control of the sea lamprey, *Petromyzon marinus*: report from the SLIS Assessment Measurements Task Force. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 2197–2201.
- Maitland PS (2003). Ecology of the River, Brook and Sea Lamprey. *Conserving Natura 2000 Rivers Ecology Series No. 5*. English Nature, Peterborough. 52 pp.
- Maitland, P.S. & Hatton-Ellis, T.W. 2003. Ecology of the Allis and Twaite Shad. *Conserving Natura 2000 Rivers Ecology Series No. 3*. English Nature, Peterborough. 30 pp.
- Marmulla, G., 2001. Dams, fish and fisheries. Opportunities, challenges and conflict resolution. *FAO Fisheries Technical Paper*. No. 419. Rome, FAO. 2001. 166 pp.

- McDowall, R.M., 1997. The evolution of fiadromy in fishes (revisited) and its place in phylogenetic analysis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 7: 443-462.
- McLaughlin, R.L., Smyth, E.R.B., Castro-Santos, T., Jones, M.L., Koops, M.A., Pratt, T.C. & Vélez-Espino, L.A. 2012. Unintended consequences and trade-offs of fish passage. *Fish Fisheries*. DOI: 10.1111/faf.12003.
- Nilsson, C., Reidy, C.A., Dynesius, M. & Revenga, C. 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*. 308: 405–408.
- Parravicini, V., Kulbicki, M., Bellwood, D. R., Friedlander, A. M., Arias-Gonzalez, J. E., Chabanet, P., Floeter, S. R., Myers, R., Vigliola, L., D'Agata, S. & Mouillot, D. 2013. Global patterns and predictors of tropical reef fish species richness. *Ecography* 36: 1254-1262.
- Pauly, D. & Christensen, V., 1995. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature* 374: 255-257.
- Pavlov, D.S., 1989. Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR. FAO Fisheries Technical Paper, No. 308. FAO, Rome. 97 pp.
- Perkin, J.S. 2012. Fragmentation in stream networks: quantification, consequences, and implications to decline of native fish fauna. PhD Thesis. Kansas State University. Kansas. 128 pp.
- Pinkerton, M.H., Smith, A.N.H, Raymond, B., Hosie, G.W., Sharp, B., Leathwick, J.R. & Bradford-Grieve, J.M., 2010. Spatial and seasonal distribution of adult *Oithona similis* in the Southern Ocean: Predictions using boosted regression trees. *Deep-Sea Research I* 57: 469–485.
- Pringle, C. 2003. What is hydrologic connectivity and why is it ecologically important? *Hydrological Processes*. 17: 2685–2689.
- Quintella, B.R., N.M. Dias & P.R. Almeida, 2003. Efeito das variações de caudal induzidos por aproveitamentos hidroelétricos, no comportamento migratório da lampreia-marinha (*Petromyzon marinus* L.). In: *Actas do 2º Congresso Nacional de Conservação da Natureza*.
- Quintella, B.R., 2006. *Biologia e conservação da lampreia-marinha (Petromyzon marinus L.) em Portugal*. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa 299 pp.
- R Development Core Team 2004. R: a language and environment for statistical computing. Versão 2.7.1. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <http://www.R-project.org> Acesso a: 13/01/2014.

- Ribeiro, F., Beldade, R., Dix, M. & Bochechas, J. 2007 Carta Piscícola Nacional Direcção Geral dos Recursos Florestais-Fluviatilis, Lda. Publicação Electrónica (versão 01/2007). <http://www.cartapiscicola.org/>. Acedido a 13/11/2013.
- Ridgeway, G. 2006. GBM: Generalized boosted regression models. R package. Versão 1.6-3. Disponível em: <http://www.i-pensieri.com/gregr/gbm.shtml>. Acesso a: 13/11/2013.
- Rodil I.F., Compton T.J. & Lastra M. 2012 Exploring Macroinvertebrate Species Distributions at Regional and Local Scales across a Sandy Beach Geographic Continuum. PLoS ONE 7(6): e39609. doi:10.1371/journal.pone.0039609.
- Rodríguez-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: 545–556.
- Rustadbakken, A., J. H. L'Abée-Lund, J. V. Arnekleiv & M. Kraabøl, 2004. Reproductive migration of brown trout in a small Norwegian river studied by telemetry. *Journal of Fish Biology*. 64: 2–15.
- Santo, M., 2005. Dispositivos de passagens para peixes em Portugal. Direcção-Geral dos Recursos Florestais, Lisboa. 137 pp.
- Santos, M. J., Silva, A., Katopodis, C., Pinheiro, P., Pinheiro, A., Bochechas, J. & Ferreira, M.T. 2011. Ecohydraulics of pool-type fishways: Getting past the barriers. *Ecological Engineering* 48: 38– 50.
- 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.
- Syvitski, J.P.M., Vörösmarty, C.J., Kettner, A.J. & Green, P. 2005. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*. 308: 376–380.
- Tesch, F. –W., P. Bartsch, R. Berg, O. Gabriel, I.W. Henderson, A. Kamstra, M. Kloppmann, L.W. Reimer, K. Söffker & T. Wirth, 2003. *The Eel*. Third edition. Blackwell Science Ltd, a Blackwell Publishing Company.
- Travade, F., Larinier, M., Boyer-Bernard, S. & Dartiguelongue J. 1998. “Performance of four fish pass installations recently built in France”, in Jungwirth, M., Schmutz, S. & Weiss, S. (eds.), *Fish migration and fish bypasses*, Fishing News Books, Oxford, UK: Blackwell Science Ltd. Publisher.
- Travade, F. & Larinier, M., 2002. Monitoring Techniques for Fishways. Chapter 12. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*. 326-327: 151 -164.

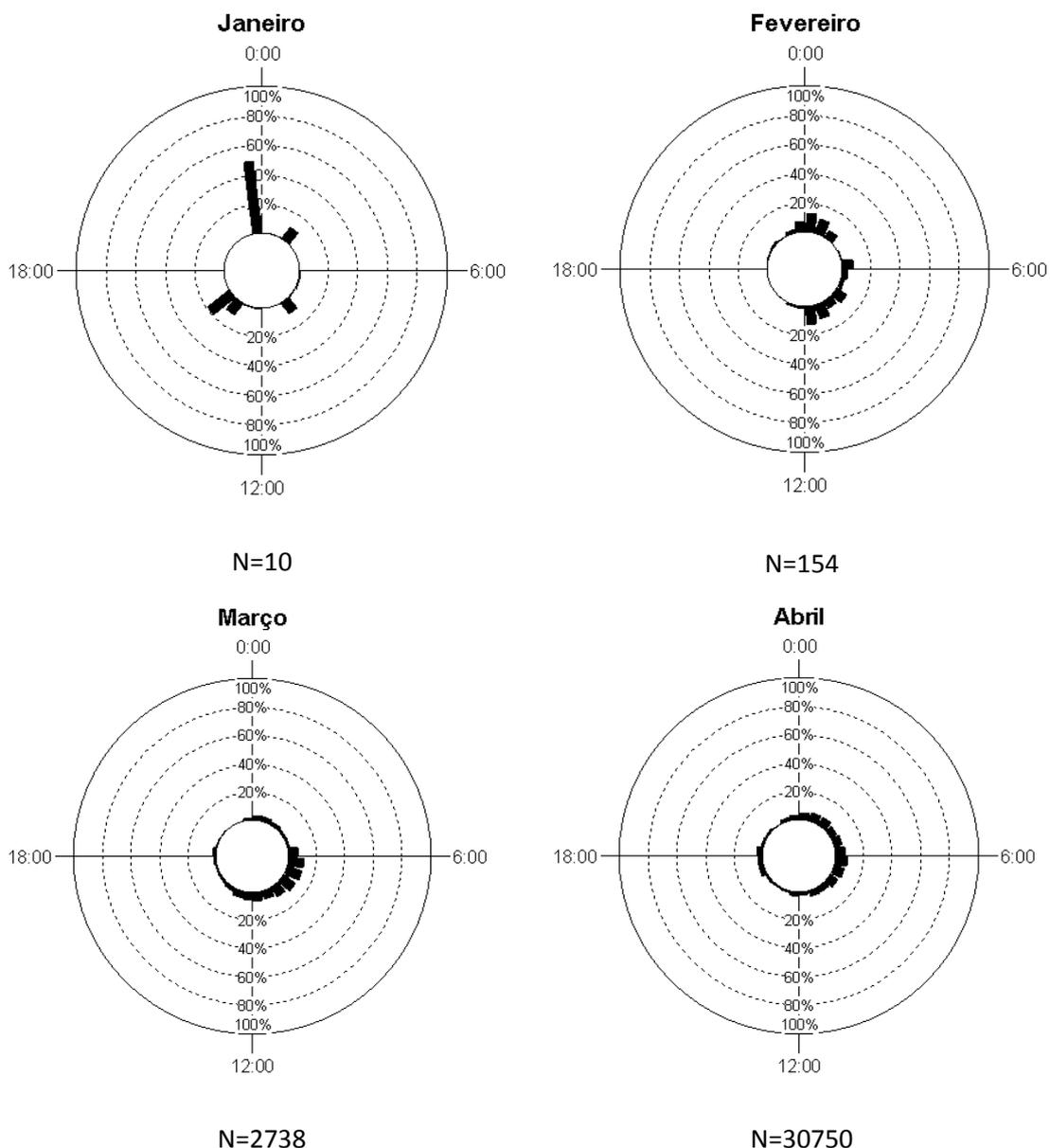
- Tsukamoto, K., M.J. Miller, A. Kotake, J. Aoyama, & K. Uchida, 2009. The Origin of Fish Migration: The Random Escapement Hypothesis. *American Fisheries Society Symposium* 69:45–61.
- Ward, J.V., & Stanford, J.A. 1995. Ecological Connectivity in Alluvial River Ecosystems and its Disruption by Flow Regulation. *Regulated Rivers: Research and Management*. 11: 105-119.
- William L. Graf, 2003. "The Changing Role of Dams in Water Resources Management" *Water Resources Update*. 126: 1-10.
- Winter, H.V., 2007. A fisheye view on fishways. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen. 94 pp.
- World Commission on Dams (WCD). 2000. *Dams and Development: A New Framework for Decision-Making*. Londres. Earthscan Publications Ltd. 404 pp.
- World Water Assessment Programme (WWAP). 2009. *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. Paris: UNESCO, and London: Earthscan.
- Vannote, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R. & Cushing, C.E. 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 37:130–137.

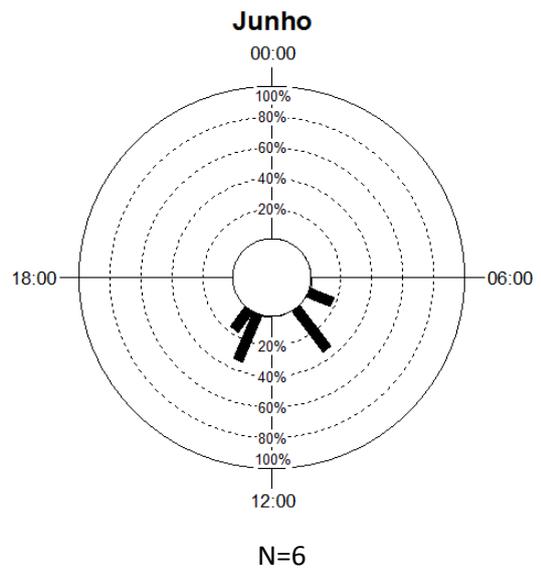
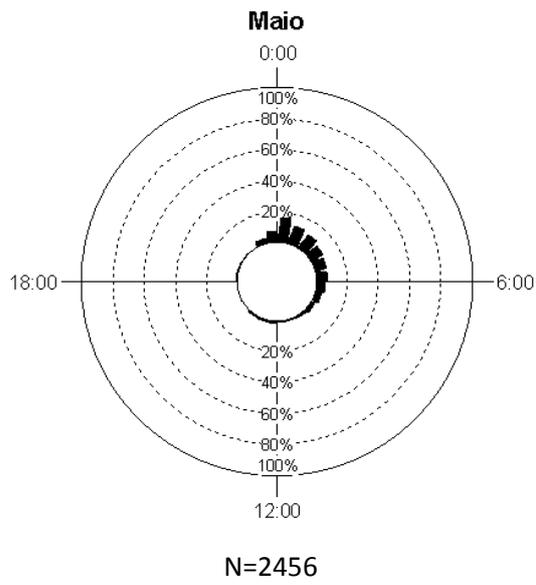
ANEXOS

DISTRIBUIÇÃO CIRCADIANA DAS PASSAGENS NA PPP DO AÇUDE-PONTE EM JANEIRO E JUNHO DE 2013

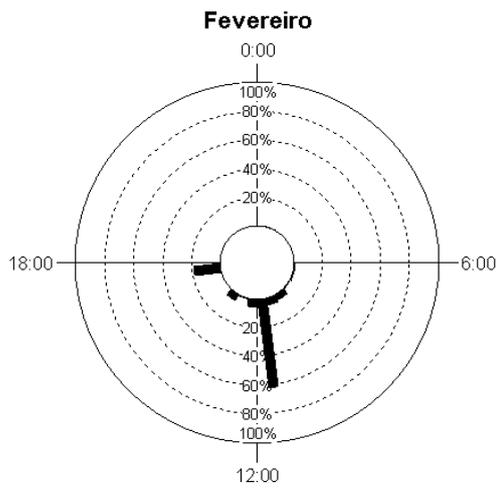
Distribuição circadiana dos movimentos para montante detetados na PPP de lampreia-marinha, *Alosa sp.*, barbo do Norte, boga-comum e muge, ao longo do período de estudo. Para algumas espécies, o número total de animais que passou para montante através da PPP do Açude-Ponte difere do número de animais utilizado nesta análise. Esta situação é mais evidente nas lampreias-marinhas devido ao elevado número de registos de movimentos no sentido de montante, derivado das várias tentativas que cada animal executa antes de concretizar efetivamente a passagem para montante.

Lampreia-marinha

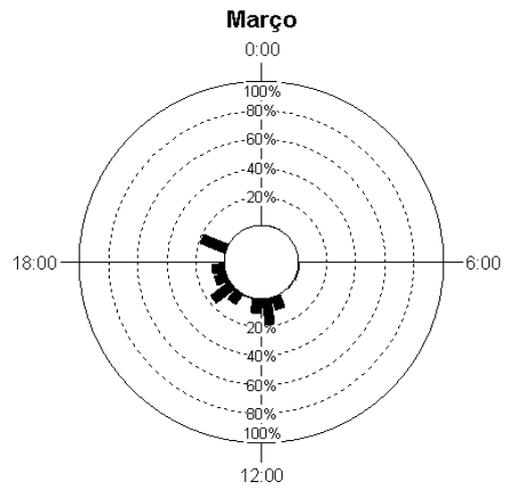




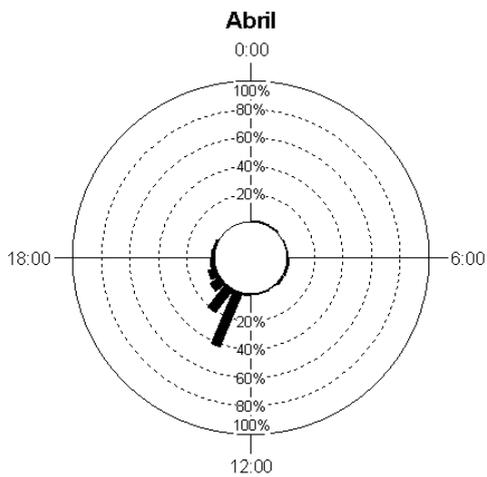
Alosa spp.



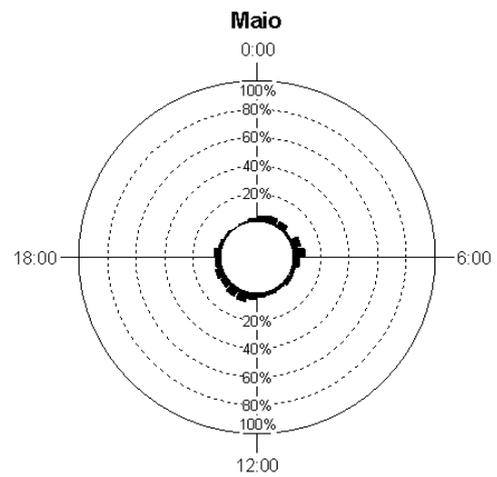
N= 21



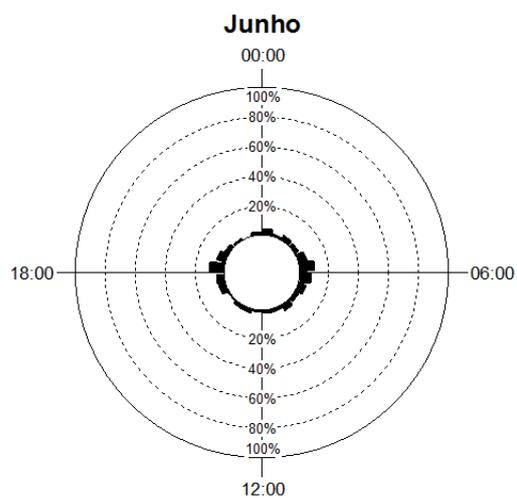
N= 11



N= 3404

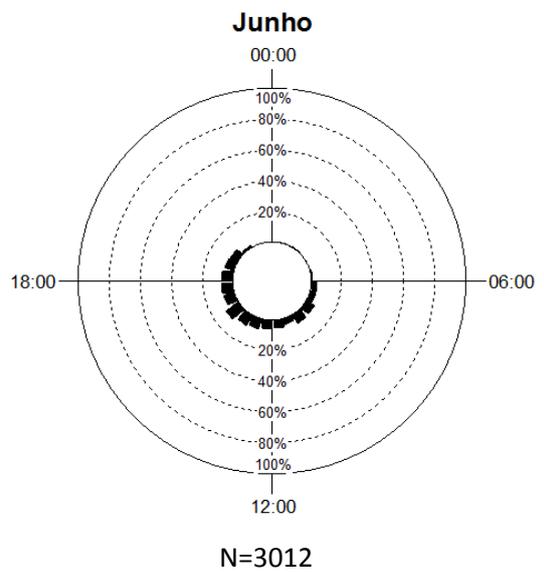
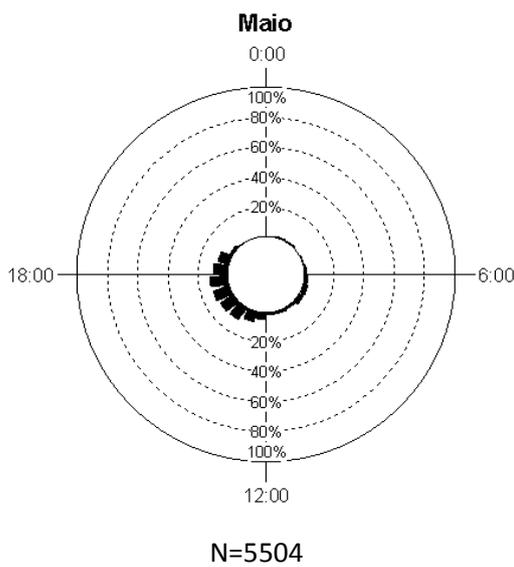
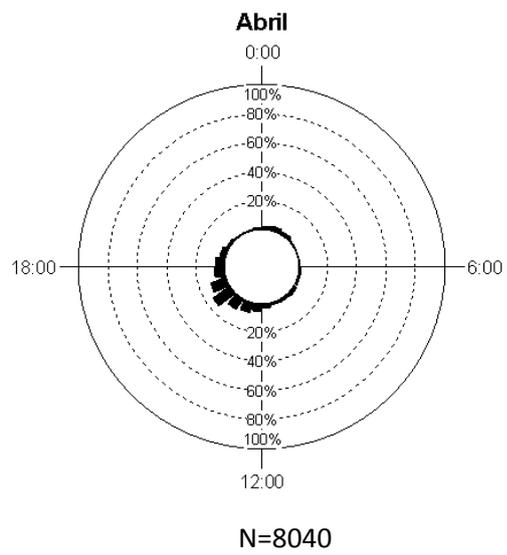
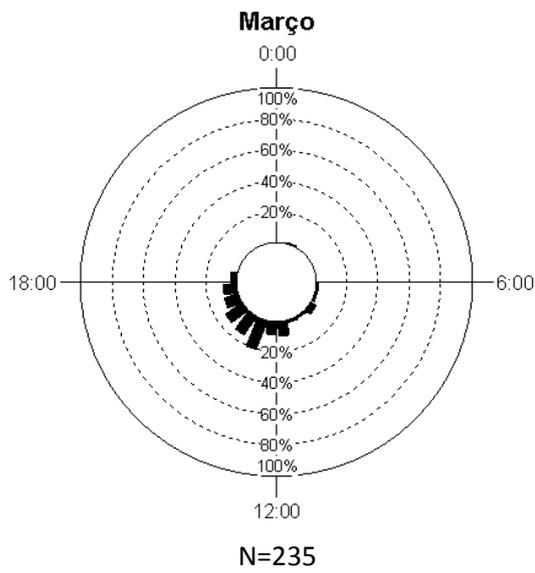
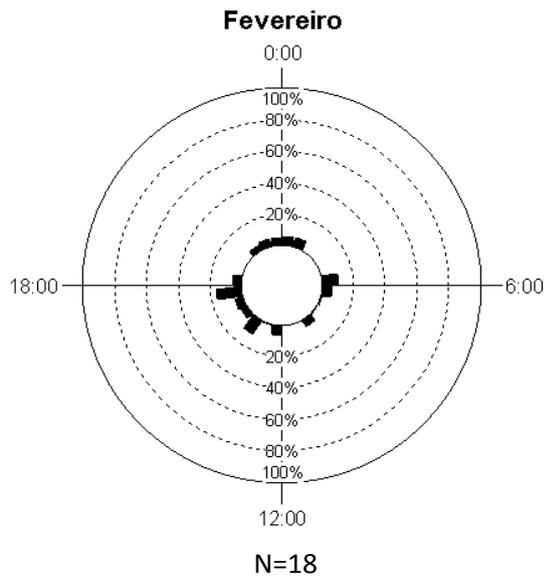
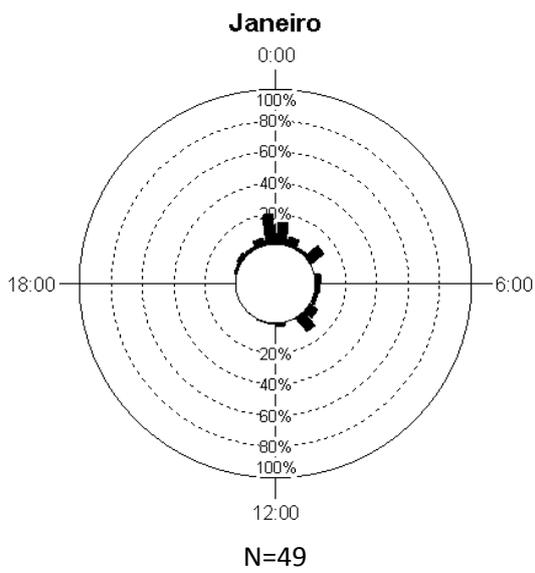


N=4174

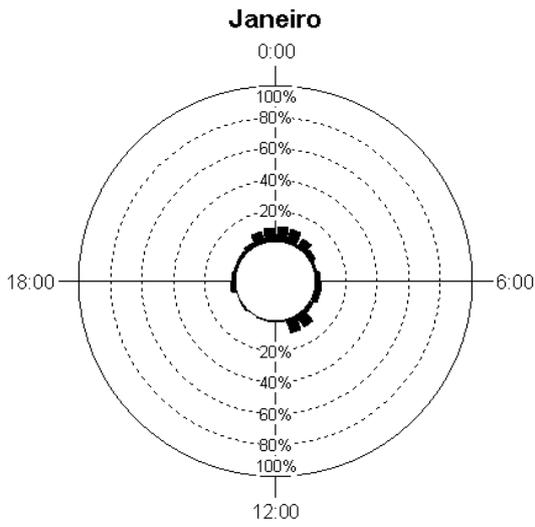


N= 404

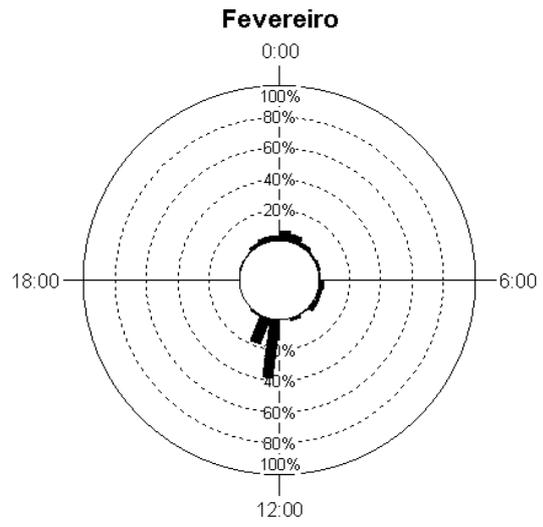
Barbo do Norte



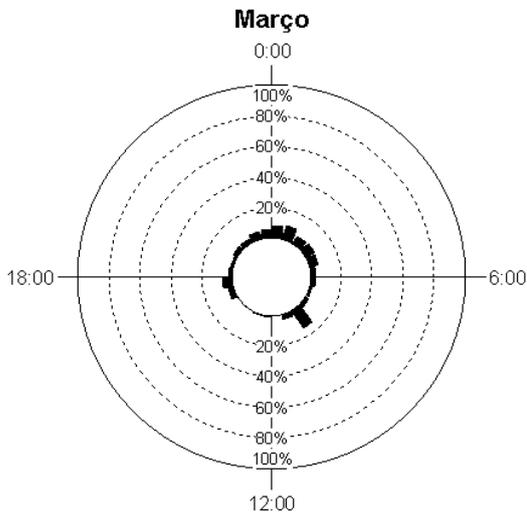
Boga-comum



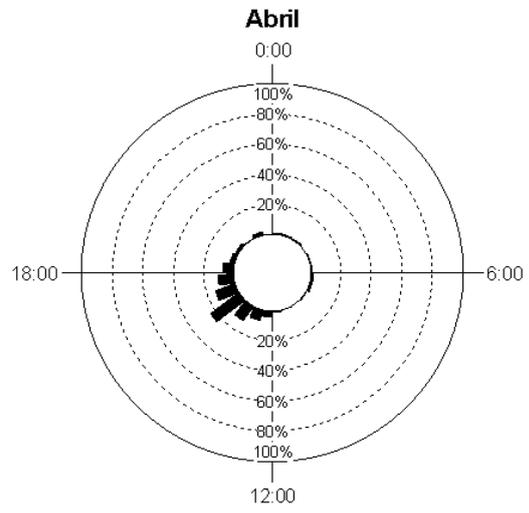
N=4993



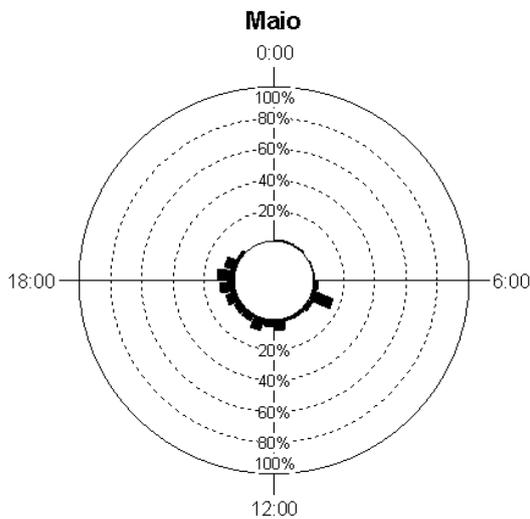
N=1227



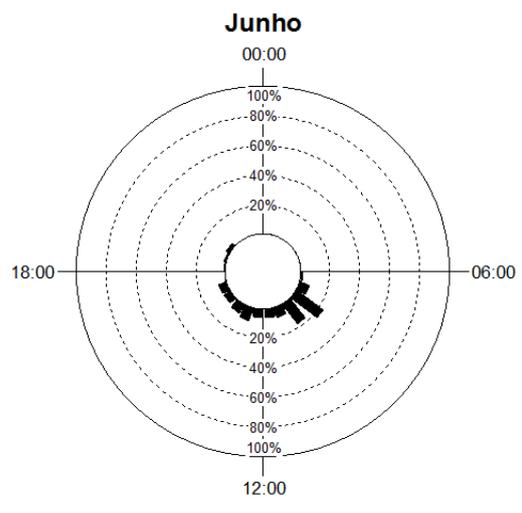
N=8051



N=17367

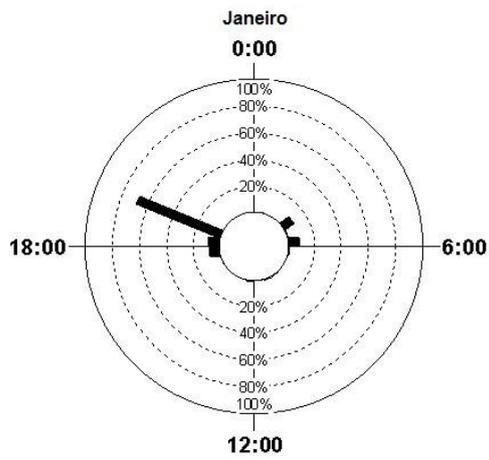


N=3118

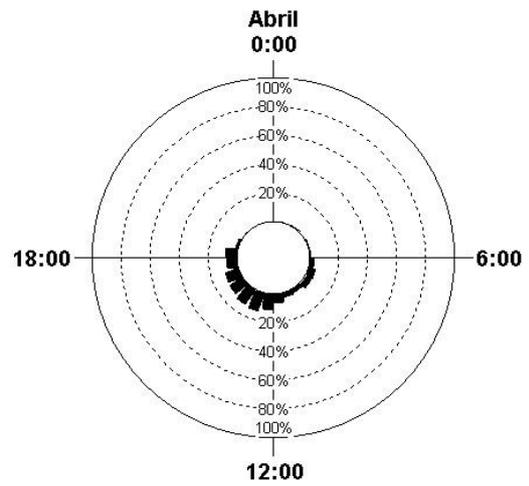


N=2048

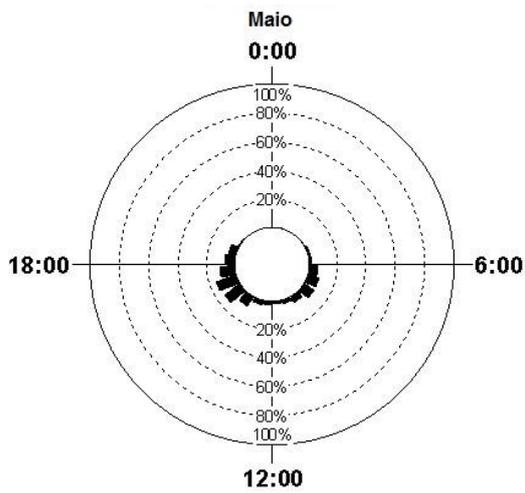
Muge



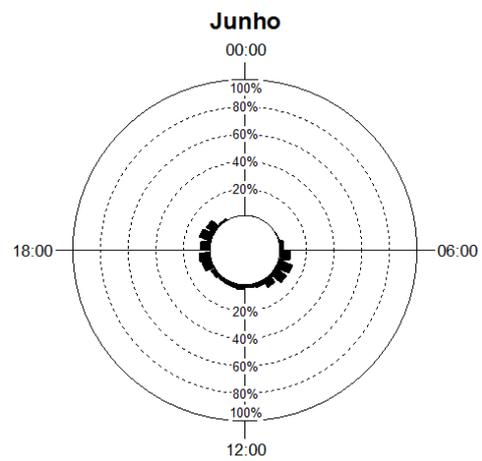
N=12



N=16972



N=39013



N=76204