



MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2016/2017

**PASSAGEM DE PEIXES NOS AH DA EDPP: LEVANTAMENTO,
ESTADO DE CONSERVAÇÃO E DEFINIÇÃO DE MEDIDAS DE
MELHORIA**

MIGUEL ÂNGELO PEREIRA DA COSTA

Dissertação submetida para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri: Cidália Maria de Sousa Botelho
(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de
Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador académico: Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira Maia
(Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de
Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador na empresa: Raquel Pinheiro de Moura
(Técnica Superior Especialista pela Direção de Sustentabilidade da EDP – Gestão da
Produção de Energia, S.A.)

Julho, 2017

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação só foi possível graças ao apoio e contributo de algumas pessoas, as quais passo de seguida a agradecer, sem qualquer ordem específica, uma vez que foram todos importantes, cada um à sua maneira.

Ao Professor Doutor Rodrigo Maia, a quem agradeço toda a orientação e apoio, assim como por todas as suas sugestões e críticas construtivas ao trabalho realizado, que só serviram para melhorar e elevar o presente documento.

À Eng.^a Raquel Moura, pelo incondicional apoio e ajuda prestada ao longo destes 6 meses, bem como pela exigência que incutiu, o que só permitiu que os objetivos propostos fossem alcançados com sucesso. Além disto, também agradecer por toda a amizade, conselhos e motivação transmitida, fazendo com que estes 6 meses tenham se tornado mais agradáveis.

Um agradecimento particular ao Professor Doutor Nuno Formigo que, apesar de apenas ter sido meu professor em muitas poucas aulas durante estes 5 anos, revelou-se uma pessoa extremamente importante na realização desta tese, sendo de louvar toda a sua ajuda, e acima de tudo, toda a sua disponibilidade mostrada ao longo destes 6 meses, tendo os seus contributos e ajuda sido de enorme importância para a elaboração deste documento.

Um agradecimento particular também ao Eng.^o João Miguel Oliveira, por todo o apoio e amizade demonstrada, sendo que sem a sua ajuda, partilha de conhecimentos e críticas construtivas, a realização desta dissertação não teria sido possível.

A toda a Direção de Sustentabilidade, na pessoa do Eng.^o Nuno Portal, agradeço o modo como me voltaram a acolher e por todo o apoio e amizade transmitidos.

À EDP agradeço a possibilidade de realizar esta dissertação em ambiente empresarial, tendo sido uma experiência muito gratificante a nível pessoal e profissional.

Aos meus pais e ao meu irmão Nuno que sempre foram pedra basilar ao longo deste percurso académico e por terem me terem aturado, especialmente nestes 6 meses, coisa que acredito que não tenha sido fácil.

A todos os meus amigos pelo apoio e por terem ouvidos muitos “não” ao longo deste período, com um especial agradecimento à Catarina Mano, assim como ao Álvaro Oliveira, Gonçalo Amorim, Kristian Tavares e Ricardo Ramos por terem tornado estes 5 anos de faculdade mais fáceis e agradáveis.

Por fim, a agradecer a todas as pessoas que não mencionei, mas que de forma direta ou indireta, foram importantes na realização desta etapa.

A todos o meu sincero obrigado!

RESUMO

Nos últimos anos tem-se assistido a um crescimento do número de dispositivos de passagem de peixes construídos, sobretudo ao nível dos pequenos aproveitamentos hidroelétricos, como forma de minimizar o efeito da quebra da conectividade fluvial.

Porém, a maioria dos dispositivos instalados têm-se revelados ineficazes na passagem de peixes, resultando assim numa perda da biodiversidade ao nível da ictiofauna, uma vez que não permitem a migração por parte das espécies piscícolas.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia de dispositivos de passagem de peixes pertencentes à EDP Produção, bem como elaborar um Plano Estratégico de Avaliação do Funcionamento e Eficácia dos Dispositivos de Passagem de Peixes, a aplicar na generalidade dos dispositivos existentes.

Com essa finalidade, foram selecionados os dispositivos de passagem de peixes incluídos nos aproveitamentos hidroelétricos de Bouçoais-Sonim, Rebordelo, Nunes e Torga, sendo os dois primeiros compostos por bacias sucessivas e elevador e os últimos dois apenas por bacias sucessivas.

Seguidamente, procede-se ao estudo da eficácia dos dispositivos de passagem de peixes alvo de estudo começando por analisar as características mais relevantes dos dispositivos, assim como o comportamento hidráulico.

Através da relação entre as capacidades natatórias dos peixes e o comportamento hidráulico dos dispositivos constatou-se que dificilmente os dispositivos de Bouçoais-Sonim e Rebordelo permitem a passagem de peixes para montante, devendo-se tal facto às altas velocidades de escoamento na entrada para a cuba do elevador.

Por sua vez, os dispositivos de Nunes e Torga apenas são adequados para as espécies com maiores capacidades natatórias, tais como o Barbo do Norte (*Luciobarbus bocagei*), Boga do Douro (*Pseudochondrostoma duriensis*), Truta-de-rio (*Salmo trutta*) e Escalo do Norte (*Squalius carolitertii*), sendo este último apenas no dispositivo de Torga.

Tendo por base as condicionantes verificadas são sugeridas modificações nos dispositivos no sentido de potenciar uma maior utilização dos mesmos por parte da comunidade piscícola.

Para os dispositivos alvo de estudo é também apresentada uma metodologia de monitorização da passagem de peixes através de contagem visual dos peixes.

Por fim, através do conhecimento e experiência adquiridos ao longo deste estudo, é apresentado um Plano Estratégico de Avaliação do Funcionamento e Eficácia dos Dispositivos de Passagem de Peixes, sendo o mesmo transversal à generalidade dos dispositivos existentes.

PALAVRAS-CHAVE: Bacias sucessivas; Conetividade fluvial; Dispositivos de passagem de peixes; Espécies Potamódromas; Migração de peixes.

ABSTRACT

In the last years there has been a growth of fish passage devices construction, especially at small hydroelectric powerplants, as a way to minimize the effect of the loss in river connectivity.

However, the majority of the fish passage devices have proved to be ineffective in terms of fish passage, thus resulting in the loss of biodiversity at the ichthyofauna level, as it prevents migration of the fish species from occurring.

Therefore, the present work aims to evaluate the efficiency of the fish passage devices managed by EDP Produção, as well to elaborate a Strategic Plan for the Operation and Effectiveness Evaluation of Fish Passage Devices, to be applied for the majority of the existing devices.

For this purpose, the fish passage devices included in the Bouçoais-Sonim, Rebordelo, Nunes and Torga Hydroelectric Powerplants were selected, where Bouçoais-Sonim and Rebordelo have pool-type fishways and fish lift, while Nunes and Torga have only pool-type fishways.

The effectiveness of the target fish passages devices was then studied, starting with an analysis of the most relevant devices characteristics, as well as their hydraulic behavior.

Through the relationship between fish swimming capacity and the devices hydraulic behavior was verified that the devices of Bouçoais-Sonim and Rebordelo hardly allow the passage of fish upstream, which is due to the high flow rates in the inlet to the elevator shaft.

On the other hand, the Nunes and Torga devices are only suitable for the species with greater swimming capacities, such as the Iberian barbel (*Luciobarbus bocagei*), Northern straight-mouth nase (*Pseudochondrostoma duriensis*), Brown trout (*Salmo trutta*) and North Iberian chub (*Squalius carolitertii*), this latter only at Torga.

Based on the verified constraints, device modifications are suggested in order to promote a greater use by the fish community.

For the target devices, a methodology for monitoring the passage of fish through visual fish counting is also presented.

Finally, through the knowledge and experience acquired during the development of this study, a Strategic Plan for the Operation and Effectiveness Evaluation of Fish Passage Devices is presented, aiming to be transversal for most of the existing devices.

KEY-WORDS: Pool- type fishways; River connectivity; Fish passage devices; Potamodromous species; Fish Migration.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO	1
1.2 ÂMBITO E OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	2
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2 MIGRAÇÃO DE PEIXES E OBSTÁCULOS À LIVRE CIRCULAÇÃO	5
2.1 INTRODUÇÃO	5
2.2 MIGRAÇÃO DE PEIXES	5
2.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES DE ACORDO COM O PADRÃO DE MIGRAÇÃO	6
2.4 CAPACIDADES NATATÓRIAS DAS ESPÉCIES	7
2.5 IMPACTES DAS OBRAS HIDRÁULICAS NA FAUNA PISCÍCOLA	8
2.6 ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO DA CONETIVIDADE FLUVIAL	9
2.6.1 DIRETIVA QUADRO DA ÁGUA	9
2.6.2 PLANOS DE GESTÃO DE REGIÃO HIDROGRÁFICA (PGRH)	10
2.6.3 PLANO DE GESTÃO DA ENGUIA (2009 – 2012) (PGE)	10
2.6.4 DOCUMENTAÇÃO LEGAL INTERNACIONAL	11
3 DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES	13
3.1 INTRODUÇÃO	13
3.2 CARACTERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES	13
3.3 TIPOS DE DISPOSITIVOS DE PASSAGENS DE PEIXES	14
3.3.1 PASSAGENS DE PEIXES NATURALIZADAS	14
3.3.1.1 Leito do Rio Modelado	14
3.3.1.2 Canais Laterais	15
3.3.1.3 Rampas para peixes	15
3.3.2 PASSAGENS DE PEIXES TÉCNICAS	16
3.3.2.1 Bacias Sucessivas	16
3.3.2.2 Deflectores ou dispositivo do tipo Denil	17

3.3.3	PASSAGENS DE PEIXES ESPECIAIS.....	18
3.3.3.1	Passagem de Enguias.....	18
3.3.3.2	Eclusas	18
3.3.3.3	Elevador de peixes	19
3.4	EFICIÊNCIA DE UM DISPOSITIVO DE PASSAGEM DE PEIXES.....	20
3.4.1	LOCALIZAÇÃO DA ENTRADA DE PEIXES.....	20
3.4.2	CAUDAL DE ATRAÇÃO	21
3.5	MONITORIZAÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE PASSAGEM DE PEIXES	21
3.5.1	CONTROLO DO FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO E MECÂNICO.....	21
3.5.2	DETERMINAÇÃO DAS ESPÉCIES PISCÍCOLAS A JUSANTE DOS OBSTÁCULOS.....	22
3.5.3	MONITORIZAÇÃO DA PASSAGEM DE PEIXES NUM DPP	22
3.5.3.1	Métodos dependentes da captura de peixes.....	22
3.5.3.2	Métodos independentes da captura de peixes.....	24
3.6	ESTUDO HISTÓRICO DOS DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES EM PORTUGAL	24
4	PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DE UM DISPOSITIVO DE PASSAGEM DE PEIXES DO TIPO BACIAS SUCESSIVAS	27
4.1	INTRODUÇÃO.....	27
4.2	DIMENSIONAMENTO DE BACIAS SUCESSIVAS	27
4.2.1	CONFIGURAÇÃO DO CANAL	27
4.2.2	DECLIVE DO CANAL	27
4.2.3	NÚMERO E DIMENSÕES DAS BACIAS.....	28
4.2.4	QUEDA DE ÁGUA ENTRE BACIAS	28
4.2.5	FORMAS DE COMUNICAÇÃO ENTRE BACIAS	29
4.2.5.1	Orifícios de fundo.....	29
4.2.5.2	Descarregadores de superfície.....	29
4.2.5.3	Fendas verticais.....	30
4.3	FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DAS BACIAS SUCESSIVAS	31
4.3.1	CAUDAL.....	31
4.3.1.1	Orifício de fundo.....	31
4.3.1.2	Descarregador de superfície	31
4.3.1.3	Fenda vertical	33
4.3.2	VELOCIDADE DE ESCOAMENTO.....	33
4.3.3	TURBULÊNCIA	33
5	CASOS DE ESTUDO	35

5.1	INTRODUÇÃO	35
5.2	DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES DO TIPO MISTO	36
5.2.1	A.H. BOUÇOAIS-SONIM	36
5.2.1.1	Dispositivo de passagem de peixes	36
5.2.1.2	Caracterização do dispositivo de passagem de peixes	38
5.2.1.3	Análise do funcionamento hidráulico do dispositivo de passagem de peixes	40
5.2.2	A.H. REBORDELO	43
5.2.2.1	Dispositivo de passagem de peixes	43
5.2.2.2	Caracterização do dispositivo de passagem de peixes	45
5.2.2.3	Análise do funcionamento hidráulico do dispositivo de passagem de peixes	46
5.3	DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES DO TIPO BACIAS SUCESSIVAS	47
5.3.1	A.H. NUNES	47
5.3.1.1	Dispositivo de passagem de peixes	47
5.3.1.2	Caracterização do dispositivo de passagem para peixes	49
5.3.1.3	Análise do funcionamento hidráulico do dispositivo de passagem de peixes	51
5.3.2	A.H. TORGA	61
5.3.2.1	Dispositivo de passagem de peixes	61
5.3.2.2	Caracterização do dispositivo de passagem de peixes	63
5.3.2.3	Análise do funcionamento hidráulico do dispositivo de passagem de peixes	64
6	ADEQUAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES ÀS ESPÉCIES PISCÍCOLAS	69
6.1	INTRODUÇÃO	69
6.2	INVENTÁRIO DA ICTIOFAUNA	69
6.3	CAPACIDADES NATATÓRIAS DAS ESPÉCIES PISCÍCOLAS	71
6.4	ADEQUAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES ÀS ESPÉCIES PISCÍCOLAS	73
6.4.1	A.H. BOUÇOAIS-SONIM	73
6.4.2	A.H. REBORDELO	74
6.4.3	A.H. NUNES	74
6.4.4	A.H. TORGA	75
6.4.5	SÍNTESE DE RESULTADOS	76
7	PROPOSTA DE MEDIDAS DE MELHORIA A APLICAR NOS DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES	77
7.1	INTRODUÇÃO	77
7.2	DISPOSITIVOS MISTOS DE PASSAGEM DE PEIXES	77

7.3	DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES DO TIPO BACIAS SUCESSIVAS	82
8	MONITORIZAÇÃO DA PASSAGEM DE PEIXES NOS DISPOSITIVOS EM ESTUDO	89
8.1	INTRODUÇÃO	89
8.2	DISPOSITIVO DE PASSAGEM DE PEIXES DE BOUÇOAIS-SONIM E REBORDELO	90
8.3	DISPOSITIVO DE PASSAGEM DE PEIXES DE NUNES	92
8.4	DISPOSITIVO DE PASSAGEM DE PEIXES DE TORGA	93
9	PLANO ESTRATÉGICO DE AVALIAÇÃO DO FUNCIONAMENTO E DA EFICÁCIA DE DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES	95
9.1	INTRODUÇÃO	95
9.2	AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS	95
9.2.1.1	Bacias Sucessivas	96
9.2.1.2	Eclusas	96
9.2.1.3	Elevadores	97
9.3	DETERMINAÇÃO DAS ESPÉCIES SITUADAS A JUSANTE DOS DISPOSITIVOS	98
9.4	MONITORIZAÇÃO DA PASSAGEM DE PEIXES	98
9.5	PLANO ESTRATÉGICO DE AVALIAÇÃO DO FUNCIONAMENTO E DA EFICÁCIA DOS DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES	100
10	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	103
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
	ANEXOS	113
	ANEXO A – CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES	115
	ANEXO B – DETERMINAÇÃO DO CAUDAL ESCOADO NO DISPOSITIVO DE NUNES AQUANDO DAS MEDIÇÕES ...	119
	ANEXO C – FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DOS DISPOSITIVOS DE BOUÇOAIS-SONIM E DE REBORDELO COM A IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA MIS_1B	123
	ANEXO D – CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DAS ESPÉCIES PISCÍCOLAS ALVO DE ESTUDO	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Esquema de um leito de rio modelado para passagem de peixes (Santo 2005)	15
Fig. 2 - Esquema de um canal lateral para passagem de peixes (Silva, 2009).....	15
Fig. 3 - Esquema de uma rampa para peixes (Santo, 2005)	15
Fig. 4 - Passagens para peixes por bacias sucessivas (Pinheiro, 2006 <i>in</i> Alvarez, 2008).....	17
Fig. 5 - Representação esquemática de uma passagem para peixes por defletores (Kamula & Bärthel, 2000)	17
Fig. 6 - Representação esquemática de uma eclusa para peixes (adaptado de Travade & Larinier 2002).....	19
Fig. 7 - Elevador de peixes (Pinheiro, 2006) <i>in</i> (Alvarez, 2008)	20
Fig. 8 - Rádio-transmissores colocados nos peixes (Pinheiro, et al., 2005)	23
Fig. 9 - Colocação de PIT-Tags nos peixes (Division, s.d.)	23
Fig. 10 - Orifício de fundo para passagem de peixes em bacias sucessivas (Santo, 2005)	29
Fig. 11 - Septo de bacia sucessiva com descarregador superficial (Santo, 2005).....	30
Fig. 12 - Septo de bacia sucessiva com descarregador superficial lateral (Santo, 2005).....	30
Fig. 13 - Representação esquemática de um descarregador lateral munido de um septo defletor (Santo, 2005)	30
Fig. 14 - Bacia sucessiva com passagem através de fenda vertical (Santo, 2005)	31
Fig. 15 - Tipos de escoamento em bacias sucessivas com descarregadores de superfície: escoamento desafogado “plunging flow” (esquerda); escoamento afogado “streaming flow” (direita) (Clay, 1995).....	32
Fig. 16 - Representação esquemática de um jato mergulhante (esquerda) e de um jato de superfície (direita) em bacias sucessivas de descarregador superficial (Larinier, 2002c)	32
Fig. 17 - A.H de Bouçoais-Sonim	36
Fig. 18 - Esquematização do dispositivo de passagem de peixes de A.H. Bouçoais-Sonim (adaptado do desenho do projeto).....	37
Fig. 19 - Representação das bacias sucessivas do A.H. Bouçoais-Sonim (adaptado do desenho do projeto).....	37
Fig. 20 - Escoamento entre bacias sucessivas.....	38
Fig. 21 - Configuração da entrada para as bacias sucessivas no A.H Bouçoais-Sonim.....	39
Fig. 22 - Caudal escoado através do elevador	39
Fig. 23 - Desnível entre a soleira de saída dos peixes do elevador e o nível de albufeira	39
Fig. 24 - Descarga de caudal proveniente do interior do corpo da barragem	40
Fig. 25 - Passadiço de acesso às bacias sucessivas	40
Fig. 26 - Cálculo da altura média de água (exemplo do dispositivo de Bouçoais-Sonim).....	42

Fig. 27 - A.H. Rebordelo	43
Fig. 28 - Dispositivo de passagem de peixes presente no A.H. Rebordelo	44
Fig. 29 - Esquema das bacias sucessivas presente no A.H. Rebordelo (adaptado do desenho do projeto)	45
Fig. 30 - Rampa de lançamento dos peixes na albufeira - Dispositivo de Rebordelo	45
Fig. 31 - Inexistência de acesso às bacias sucessivas do dispositivo de Rebordelo	46
Fig. 32 - A.H Nunes	47
Fig. 33 - Desenho em planta da passagem para peixes no A.H. de Nunes (Santo, 2005)	48
Fig. 34 - Troço a montante do dispositivo de passagem de peixes no A.H Nunes (Adaptado do projeto)	48
Fig. 35 - Localização da entrada do dispositivo de peixes (seta vermelha) e do caudal ecológico (seta verde)	49
Fig. 36 - Orifícios de entrada de água (saída de peixes) no dispositivo munidos de comportas do tipo mural	49
Fig. 37 - Diferentes tipos de jatos pelo descarregador superficial: jato desafojado (bacia superior) e jato afogado (bacia inferior)	50
Fig. 38 - Bacia a transbordar	50
Fig. 39 - Obstrução do descarregador lateral.....	50
Fig. 40 - Orifício de fundo obstruído	50
Fig. 41 - Acumulação de detritos no fundo das bacias	51
Fig. 42 - Determinação de velocidades em diferentes pontos da bacia com recurso a um micromolinete.....	52
Fig. 43 - Contagem do número de voltas do micromolinete.....	52
Fig. 44 - Medição de carga de água sobre os descarregadores superficiais.....	56
Fig. 45 - A.H Torga	61
Fig. 46 - Vista em planta do dispositivo de passagem de peixes do A.H. Torga (adaptado do projeto)	62
Fig. 47 - Bacias inferiores do dispositivo do A.H. Torga inundadas.....	63
Fig. 48 - Existência de condições hidráulicas que impossibilitam a passagem de peixes	64
Fig. 49 - Perturbação do escoamento no descarregador lateral devido à existência de ranhuras	64
Fig. 50 - Queda de água desafojada.....	64
Fig. 51 - Fraca dissipação de turbulência nas bacias	64
Fig. 52 - Conduta de descarga de caudal ecológico nos A.H. Bouçoais-Sonim e Rebordelo (adaptado do projeto)	78
Fig. 53 - Configuração da conduta de derivação do caudal.....	78

Fig. 54 - Localização da conduta de derivação de caudal ecológico no dispositivo de Bouçoais-Sonim	79
Fig. 55 - Localização da conduta de derivação de caudal ecológico no dispositivo de Rebordelo	79
Fig. 56 - Localização da descarga de caudal ecológico derivado no A.H. Bouçoais-Sonim (Propostas Mis_2b)	80
Fig. 57 - Inserção de um canal de ao longo do qual se efetua a descarga do caudal desviado	80
Fig. 58 - Presença de detritos junto às aberturas de admissão de caudal	84
Fig. 59 - Grelha de retenção de detritos no elevador de Touvedo	85
Fig. 60 - Local de implementação da nova comporta	87
Fig. 61 - Sistema de deteção de passagem de peixes (a vermelho) no descarregador frontal e acesso às bacias sucessivas	91
Fig. 62 - Sistema de deteção de passagem de peixes (a vermelho) a montante do descarregador frontal e acesso às bacias sucessivas	91
Fig. 63 - Cuba do elevador do A.H. Rebordelo de cor escura	91
Fig. 64 - Tipo de material a colocar no fundo da cuba dos elevadores (Santos, et al., 2008)	91
Fig. 65 - Sugestão de um sistema de contagem visual nos dispositivos do tipo bacias sucessivas (Pinheiro, et al., 2005)	92

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Comportamento hidráulico das bacias sucessivas presentes no A.H. Bouçoais-Sonim	42
Tabela 2 - Análise do funcionamento hidráulico das bacias sucessivas presentes dispositivo de passagem de peixes do A.H. Rebordelo	46
Tabela 3 - Velocidades de escoamento em vários pontos da bacia 3.....	52
Tabela 4 - Padrão de velocidades no dispositivo de passagem de peixes do A.H. Nunes, para um caudal de 0,127 m ³ /s,.....	55
Tabela 5 - Caracterização hidráulica com base nas medições realizadas no dispositivo de passagem de peixes no A.H. Nunes	57
Tabela 6 - Comportamento hidráulico do dispositivo de peixes de A.H. Nunes para diferentes cenários	59
Tabela 7 - Padrões de velocidades, para diferentes caudais a escoar, no dispositivo de passagem de peixes do A.H. Nunes	60
Tabela 8 - Funcionamento hidráulico do dispositivo de Torga quando se escoar o caudal máximo possível.....	66
Tabela 9 - Velocidades ao longo do dispositivo de passagem de peixes de Torga para um caudal de 0,143 m ³ /s.....	67
Tabela 10 - Comportamento hidráulico, para diferentes cenários, do dispositivo de passagem de peixes do A.H. Torga	67
Tabela 11 - Padrão de velocidades no dispositivo de Torga para diferentes cenários	68
Tabela 12 - Classificação das espécies consoante a probabilidade de extinção	70
Tabela 13 - Distribuição das espécies piscícolas pelos diferentes A.H. em estudo.....	71
Tabela 14 - Período de migração das diferentes espécies.....	71
Tabela 15 - Capacidades natatórias das diferentes espécies	72
Tabela 16 - Adequação dos dispositivos às espécies migratórias	76
Tabela 17 - Gama de caudal adequada para os dispositivos de passagem de peixes de Nunes e Torga consoante as diferentes épocas de migração	83
Tabela 18 - Análise das variações do nível de albufeira durante o período de migração dos ciprinídeos	86
Tabela 19 - Análise das variações do nível de albufeira durante o período de migração da <i>Salmo trutta</i>	86

Índice de Organogramas

Organograma 1 – Plano Estratégico de Avaliação do Funcionamento e da Eficácia dos Dispositivos de Passagem de Peixes	101
--	-----

Símbolos e abreviaturas

B – Largura da bacia (m)

b – Largura do descarregador superficial (m)

b_f – Largura da fenda vertical

C_d – Coeficiente de escoamento através do descarregador superficial

C_f – Coeficiente de escoamento através da fenda vertical

C_o – Coeficiente de escoamento através do orifício de fundo

d – Distância (m)

d_{meio} – Distância entre a forma de comunicação e o meio da bacia a jusante (m)

g – Aceleração da gravidade (m/s²)

H₁ – Carga de água sobre o descarregador lateral / fenda vertical (m)

h – Altura (m)

h_{água} – Altura média de água (m)

h_{soleira} – Altura a que se encontra a soleira do descarregador superficial / fenda vertical (m)

h_{total} – Desnível entre bacias (m)

i – Declive (m/m)

K – Coeficiente de redução de caudal induzido pelo afogamento

L – Comprimento (m)

L_{máximo} – Comprimento máximo do peixe (m)

L_{médio} – Comprimento médio do peixe (m)

n – Número de bacias

P/V – Potência Volúmica dissipada (W/m³)

Q – Caudal (m³/s)

Q_d – Caudal a escoar através do descarregador superficial (m³/s)

Q_f – Caudal a escoar através da fenda vertical (m³/s)

Q_o – Caudal a escoar através do orifício de fundo (m³/s)

S – Área de secção do orifício de fundo (m²)

U_{crit} – Velocidade crítica de natação (m/s)

U_{cruz} – Velocidade de cruzeiro (m/s)

U_{descarregador} – Velocidade de escoamento através do descarregador superficial (m/s)

U_{max} – Velocidade máxima de natação (m/s)

U_{média} – Velocidade média de escoamento (m/s)

U_{orifício} – Velocidade de escoamento através do orifício de fundo (m/s)

v – Velocidade máxima de escoamento numa bacia (m/s)

$Z_{\text{água}}$ – Cota de água (m)

Z_{bacia} – Cota média da soleira da bacia (m)

Δh – Queda de água entre bacias (m)

ρ – massa volúmica da água (Kg/m³)

A.H. – Aproveitamento Hidroelétrico

CEMG – Transmissores de rádio eletromiogramados codificados

DPP – Dispositivo de passagem de peixes

DQA – Diretiva Quadro da Água

EDDP – EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A.

EMG – Eletromiogramas

NMC – Nível de Máxima Cheia

Nme – Nível mínimo de exploração

NPA – Nível de Pleno Armazenamento

O.D. – Oxigénio dissolvido

PGE – Plano de Gestão da Enguia

PGRH – Plano de Gestão de Região Hidrográfica

1

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

Como forma de dar resposta a todas as necessidades impostas pelo crescimento populacional e pelo desenvolvimento económico das sociedades, os rios têm sido dos sistemas mais explorados, sendo esta exploração feita com recurso ao represamento de massas de água. Este represamento de água, por sua vez, é conseguido através da construção de infraestruturas hidráulicas, tais como barragens e açudes. (Ferreira, et al., 2000)

Estes tipos de estrutura apresentam benefícios para a sociedade, uma vez que permitem o armazenamento de água para os mais diversos usos, tais como os usos no sector agrícola e no sector industrial. Para além do armazenamento de água, grande parte das barragens são projetadas tendo por objetivo a produção de energia elétrica, configurando assim uma fonte de energia renovável (Branco, et al., 2012).

Entretanto, e embora quando comparada com a energia produzida pelos combustíveis fósseis e centrais nucleares, a energia hidroelétrica seja considerada uma energia limpa, a construção dos aproveitamentos hidroelétricos causa inúmeros impactes sobre os ecossistemas aquáticos e nos organismos que dependem destes. Estes impactes incidem sobretudo na alteração das condições físicas, químicas e biológicas da água a montante e a jusante da infraestrutura, levando a que as populações piscícolas sejam um dos grupos mais afetados (Hasler, et al., 2009).

A criação de obstáculos físicos artificiais nos rios faz com que estes sejam quase sempre intransponíveis pelas espécies piscícolas, o que provoca uma quebra da conectividade fluvial do rio. A esta quebra estão associados grandes prejuízos, nomeadamente para as espécies migradoras, uma vez que impossibilita o acesso a diferentes tipos de habitats ao longo do seu ciclo de vida, levando ao isolamento das espécies e perda de diversidade genética (Lucas & Baras, 2001; Branco, et al., 2016).

Numa tentativa de minimizar o efeito da quebra da conectividade longitudinal nas populações piscícolas foram desenvolvidos dispositivos com o intuito de possibilitar a transponibilidade dos referidos obstáculos, sendo os mesmos designados como “Dispositivos de passagem de peixes”. Estes resultam de uma interpelação de conhecimentos das áreas de Engenharia Civil e da Biologia, pelo que, se bem dimensionados, permitem manter o *continuum fluvial*, bem como minimizar alguns dos impactes provocados pela criação de obstáculos (Santo, 2005).

Em Portugal, os dispositivos de passagem de peixes têm vindo a assumir um papel importante devido crescente número de barragens e açudes construídos, que conduziu a que nos grandes rios, com destaque

para o Douro e o Tejo, outrora povoados por um grande número de espécies piscícolas, tenha vindo a ser progressivamente reduzida a presença destas. Esta redução foi, numa primeira fase, mais significativa nas espécies que efetuavam a migração do mar para os cursos de água doce. Porém, numa fase posterior, essa redução foi sendo sentida também nas espécies de água doce, levando assim a uma enorme perda de biodiversidade nos cursos de água (Santo, 2005).

1.2 ÂMBITO E OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho foi realizado no âmbito de protocolo para a realização da dissertação em ambiente empresarial na EDP – Gestão da Produção de Energia, S.A., na Direção de Sustentabilidade (DST).

Com esta dissertação pretendeu-se realizar uma análise sobre os dispositivos de passagem de peixes existentes em Aproveitamentos Hidroelétricos (A.H) da EDP Produção, nomeadamente, nos A.H de Bouçoais-Sonim, Rebordelo, Nunes e Torga, todos situados na Bacia Hidrográfica do rio Douro.

O objetivo principal passou por realizar um levantamento geral do estado de conservação dos dispositivos de passagem de peixes, estudar o seu funcionamento e adequabilidade ao local e espécies do rio onde se localizam.

Um outro objetivo passou por apresentar um conjunto de medidas que tornem os dispositivos de passagem de peixes estudados adequados a um maior número de espécies.

Por fim, tendo por base os diversos estudos realizados nos quatro casos de estudo, um último objetivo passou pela elaboração de um Plano Estratégico de Avaliação do Funcionamento e da Eficácia de Dispositivos de Passagem de Peixes, tendo como propósito que o mesmo seja abrangente à generalidade dos dispositivos existentes, e não apenas aos dispositivos alvo de estudo.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação encontra-se estruturada em dez capítulos, sendo apresentada de seguida uma descrição sucinta de cada um dos restantes, para além do presente (capítulo 1), de introdução.

No capítulo 2 é abordada a temática da migração das espécies piscícolas e obstáculos à livre circulação das mesmas. Neste, são descritos de forma sucinta quais os fatores intervenientes na migração dos peixes, bem como a classificação das diferentes espécies tendo em conta o processo de migração, assim como quais as diferentes capacidades natatórias dos peixes. São, também, apresentados os impactes mais significativos para os peixes decorrentes da construção de estruturas hidráulicas nos rios. Por fim, capítulo é rematado com uma revisão da legislação em vigor mais relevante no que respeita à mitigação destes impactes.

No capítulo 3 é introduzida a temática dos dispositivos de passagem de peixes, descrevendo os correspondentes princípios de funcionamento. São ainda apresentados os diferentes tipos de dispositivos existentes, bem como os parâmetros que mais afetam a sua eficácia e quais os processos utilizados na monitorização dos mesmos. Por fim, apresenta-se uma descrição do panorama nacional no que concerne à eficácia dos dispositivos instalados. Para tal, são considerados três tipos de dispositivos, que foram já alvo de estudos anteriores.

O capítulo 4 resume os parâmetros mais importantes na conceção de dispositivos de passagem de peixes do tipo bacias sucessivas. São apresentados os aspetos a ter em conta no dimensionamento deste tipo de dispositivo, bem como quais as formas de aferir o seu funcionamento hidráulico.

No capítulo 5 são apresentados os casos de estudo analisados, nomeadamente os dispositivos de passagem de peixes de Bouçoais-Sonim, Rebordelo, Nunes e Torga. Sendo os dois primeiros do mesmo tipo e os dois últimos de um outro tipo, o capítulo encontra-se dividido por dispositivos de passagem de peixes do tipo misto (dois primeiros dispositivos) e por dispositivos de passagem de peixes do tipo bacias sucessivas (Nunes e Torga). Para cada um deles, é feito um breve enquadramento do A.H. correspondente, seguindo-se uma descrição sucinta do atual estado de conservação do dispositivo. Também, e de forma a permitir avaliar se o dispositivo permite a passagem das diferentes espécies piscícolas a jusante do mesmo, é realizada uma análise do funcionamento hidráulico de cada um dos dispositivos de passagem de peixes, caracterizando-se os diferentes comportamentos esperados para diferentes valores de caudais a escoar através dos dispositivos.

Na sequência da caracterização dos parâmetros de funcionamento relevantes para cada um dos dispositivos efetuada, no capítulo 6 é estudada a adequação de cada um dos dispositivos às espécies suscetíveis de utilizar os mesmos. Este estudo da adequação é realizado tendo em conta o cruzamento das propriedades hidráulicas dos dispositivos com as capacidades natatórias dos peixes. Desta forma, começa-se por identificar as espécies presentes nos troços fluviais adjacentes a cada AH, bem como o período de migração de cada uma delas. De seguida são definidas as capacidades natatórias das diferentes espécies, e por fim, tendo em conta todos os aspetos referidos, é analisada a adequação de cada um dos dispositivos para restabelecimento da conectividade fluvial.

O capítulo 7 é dedicado à apresentação de propostas de melhoria para cada um dos dispositivos estudados e que poderão potenciar a eficácia dos mesmos no que se refere à passagem de peixes.

No capítulo 8 são apresentadas as especificidades resultantes da aplicação de um processo de contagem visual com recurso a gravações de vídeo como método de monitorização dos dispositivos de passagem de peixes alvo de estudo, como forma de permitir aferir acerca da eficácia dos mesmos.

Por sua vez, no capítulo 9, tendo por base os conhecimentos adquiridos e a experiência assimilada, é apresentado um plano estratégico a aplicar na generalidade dos dispositivos de passagem de peixe, de forma a avaliar o funcionamento, quer hidráulico, quer mecânico, e a eficácia dos mesmos.

Por fim, o capítulo 10 tem por objetivo apresentar as conclusões mais relevantes acerca desta dissertação.

2

MIGRAÇÃO DE PEIXES E OBSTÁCULOS À LIVRE CIRCULAÇÃO

2.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo aborda as questões relacionadas com a migração dos peixes, no qual se refere qual a importância das migrações e quais os fatores que levam à ocorrência de tal processo.

É também apresentada a classificação das espécies tendo em conta o padrão das suas deslocações migratórias, assim como quais as diferentes capacidades natatórias que as espécies utilizam na sua deslocação.

Por fim, são apresentadas as principais implicações das obras hidráulicas na fauna piscícola, referindo-se qual a legislação em vigor no combate a esta problemática.

2.2 MIGRAÇÃO DE PEIXES

As espécies piscícolas são muito dependentes das características dos habitats aquáticos, uma vez que estas são o suporte das mais diversas funções biológicas tais como a reprodução, nutrição, entre outros.

Porém, em grande parte das espécies piscícolas, estas funções não conseguem ser realizadas em apenas um habitat, pelo que, de forma a assegurar a sua integridade e desenvolvimento, existe a necessidade de se deslocarem para outros habitats mais propícios às suas necessidades, iniciando assim o processo de migração.

O fenómeno da migração pode ser definido como sendo um conjunto de movimentos entre dois ou mais habitats, que ocorrem em intervalos de tempo regulares, podendo envolver uma larga fração da população (Binder, et al., 2011). Como tal, é um processo que contribui para a realização do ciclo de vida da ictiofauna, permitindo o acesso a três tipos funcionais de habitats importantes para as comunidades piscícolas, correspondentes a: zonas de reprodução, zonas de repouso e zonas de alimentação (Northcote, 1978). A utilização destas zonas varia de acordo com as diversas necessidades do peixe ao longo do seu ciclo de vida, pelo que dependendo da natureza da migração e das espécies, as distâncias percorridas entre estes habitats podem variar desde alguns metros até centenas de quilómetros (Lucas & Baras, 2001).

Todavia, de forma a que ocorra a migração é necessário que esta seja induzida por um conjunto de vários fatores, os quais podem ser agrupados em fatores externos ou internos. Os fatores externos são fatores locais e ambientais, tais como a temperatura da água, saturação de oxigénio, luminosidade, estação do ano, qualidade da água, velocidades de escoamento, entre outros fatores. Por sua vez, os fatores internos

assentam nas diferentes necessidades metabólicas e das próprias propriedades genéticas das populações (Lucas & Baras, 2001).

Existindo um vasto leque de fatores que podem despoletar o processo de migração, têm sido efetuados diferentes estudos de forma a determinar quais os principais fatores responsáveis por promover a migração. Contudo, e dado que alguns destes fatores se relacionam frequentemente com outros e porque a importância de cada fator depende das características do local onde ocorre a migração, a identificação dos principais fatores torna-se difícil (Binder et al. 2011).

2.3 CLASSIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES DE ACORDO COM O PADRÃO DE MIGRAÇÃO

Consoante a utilização de habitats de diferentes teores de salinidade, os ciclos de vidas das espécies podem ser de dois tipos: holobiótico ou anfibiótico. O primeiro é característico das espécies que passam toda a sua vida no mar ou em água doce, enquanto que o ciclo de vida anfibiótico é representativo de espécies que efetuam deslocações entre ambientes com diferentes teores de salinidade (Binder, et al., 2011).

Deste modo, de acordo com a capacidade das espécies se adaptarem a diferentes biomas, estas são classificadas segundo a seguinte terminologia (Santo, 2005):

- **Espécies Oceanódromas:** as migrações efetuam-se exclusivamente em ecossistemas marinhos.

- **Espécies Potamódromas:** as migrações efetuam-se exclusivamente em ecossistemas fluviais.

- **Espécies Diádromas:** O ciclo de vida é repartido entre ecossistemas marinhos e fluviais.

Estas últimas, mediante o seu estado de desenvolvimento e direção de migração podem também subdividir-se em três outras classes (Porcher & Travade, 2002; Santo 2005):

- **Espécies Anádromas:** a reprodução ocorre em água doce, enquanto que o crescimento e a alimentação ocorrem no mar.

- **Espécies Catádromas:** a reprodução ocorre no mar, enquanto que o crescimento e a alimentação se efetuam em água doce.

- **Espécies Anfidromas:** utilizam a água doce e a água salgada para se movimentarem com vista à procura de alimento ou abrigo, sendo que estas movimentações não se relacionam com a reprodução, uma vez que a mesma ocorre em águas doces.

Embora esta classificação das espécies seja vista como conveniente, a mesma não permite conhecer quais as características comportamentais ou fisiológicas existentes ao longo da migração. A única exceção a esta situação são as espécies diádromas, uma vez que estas alternam as suas movimentações por entre meios hipertónicos e hipotónicos (Binder et al. 2011).

Em termos quantitativos, dentro das espécies diádromas, os migradores catádromos são menos comuns que os anádromos, sendo que em Portugal, os migradores anádromos mais comuns são a truta (*Salmo trutta*), o sável (*Alosa alosa*), a savelha (*Alosa falax*) e a lampreia (*Petromyzon marinus*) (Bochechas, 1995).

Porém, devido à crescente construção de barragens e açudes, houve uma redução dos migradores anádromos nos cursos de água, pelo que os migradores potamódromos assumiram-se como as espécies mais representativas dos rios portugueses, dos quais se destacam o Barbo (*Barbus sp.*), a Boga (*Chondrostoma sp.*) e o Escalo (*Squalius sp.*) (Santo, 2005).

2.4 CAPACIDADES NATATÓRIAS DAS ESPÉCIES

Resultado de diferenças de índole morfológica e fisiológica, as espécies migradoras apresentam diferentes capacidades natatórias. Estas, apesar de variarem de espécie para espécie, também variam entre indivíduos da mesma espécie consoante a dimensão e a idade dos peixes, assim como em função das condições ambientais durante a migração (Lucas & Baras, 2001).

A capacidade natatória de cada peixe depende da ondulação do corpo e da barbatana caudal, sendo estes definidos como as principais fontes de propulsão de natação. Por sua vez, os referidos movimentos natatórios dependem da temperatura da água e do tipo de músculos envolvidos na deslocação (Santo, 2005).

Os músculos envolvidos na natação de um peixe são de dois tipos: branco e vermelho. Atenta à utilização destes dois tipos de músculos, são considerados três tipos de atividades natatórias, a que correspondem diferentes velocidades (Lariniér, 2002a; Santo, 2005):

- Natação de cruzeiro (“Cruising activity”)

Este regime de natação é definido pela velocidade máxima a que os peixes se conseguem deslocar sem causar alterações fisiológicas no organismo, podendo ser mantido durante horas. Este tipo de regime é desencadeado pelo uso do músculo vermelho, estando associado a uma atividade muscular aeróbia.

Tendo em conta estudos realizados, a velocidade de cruzeiro (U_{cruz}) para peixes com comprimento (L), inferior a 0,55 m é de (Videler, 1993):

$$U_{cruz} = 0,15 + 2,4 L \quad \text{ou} \quad U_{cruz} = 2,3 L^{0,8} \quad (m/s) \quad (1)$$

- Natação explosiva (“Burst activity”)

A este regime de natação está associada a velocidade máxima a que os peixes se conseguem deslocar, podendo este regime apenas ser mantido durante um curto período de tempo. Esta curta duração deve-se ao facto desta atividade estar associada à utilização do músculo branco, originando assim uma atividade anaeróbia.

Uma relação entre o comprimento do peixe (L) e a velocidade máxima (U_{max}), aplicável a peixes com comprimento inferior (L) a 0,50 m é a seguinte (Videler, 1993) in (Santo, 2005):

$$U_{max} = 0,4 + 7,4 L \quad (m/s) \quad (2)$$

- Natação sustentada (“Sustained activity”)

Este regime é o resultado de uma mistura da natação de cruzeiro com a explosiva, podendo ser mantido durante alguns minutos, mas com cansaço para os peixes. Neste tipo de natação, quanto maior for o esforço, maior será a contribuição da componente anaeróbia.

Apesar destes três regimes corresponderem às diferentes capacidades natatórias que um peixe possui, a capacidade natatória geral de um peixe é geralmente determinada através da velocidade crítica de natação (U_{crit}), que corresponde a uma medida aproximada da capacidade máxima aeróbia de natação de um peixe. Como tal, pode ser encarada como uma aproximação do regime de natação sustentada, podendo incluir a mistura entre regimes aeróbios e anaeróbicos (Brett, 1964).

O conhecimento das diferentes atividades natatórias é visto como um fator determinante a ter conta no projeto de passagens de peixes, uma vez que as condições hidráulicas na passagem devem estar em

sintonia com as velocidades de natação, assim como com a resistência de cada uma das espécies piscícolas suscetíveis de usar os dispositivos (Larinier, 2002a).

2.5 IMPACTES DAS OBRAS HIDRÁULICAS NA FAUNA PISCÍCOLA

Entre as atividades antropogénicas suscetíveis de provocar impactes na fauna piscícola, a causa maior dos impactes mais significativos é a regularização de rios, efetuada através construção de obras hidráulicas, nomeadamente açudes ou barragens.

Dos impactes provocados pela regularização, o mais significativo é o efeito barreira, uma vez que quebra a conectividade fluvial, conduzindo assim à redução da disponibilidade e acessibilidade aos habitats necessários para os peixes completarem o seu ciclo de vida.

O efeito barreira tem repercussões em ambos os sentidos, apresentando contudo maiores consequências a nível da migração para montante. Nesta, o efeito do obstáculo está dependente da altura do obstáculo e das capacidades natatórias dos peixes, sendo que as condições hidráulicas sobre o obstáculo, bem como a jusante, são também fatores relevantes na dimensão do impacte associado (Pinheiro, s.d.). Por sua vez, no que se refere à migração para jusante, o grande problema reside no facto da conceção dos diferentes dispositivos de passagem de peixes não terem em conta, de forma geral, esta situação. Como tal, a migração respetiva é realizada através de turbinas ou por cima dos descarregadores, causando danos corporais aos peixes e tornando-os mais suscetíveis à desorientação, favorecendo assim a predação por parte de outras espécies (Svendsen, et al., 2010).

Contudo, não só o efeito barreira afeta negativamente as comunidades piscícolas, sendo que alguns outros fenómenos, ainda que decorrentes da presença de um obstáculo físico, prejudicam as populações piscícolas (Garcia, et. Al., 2011; Wang, et al., 2011; Caudill, et al., 2013; Anderson, et al., 2015):

- Alteração de habitats: o represamento das águas promove a transformação de sistemas lóticos em sistemas lênticos, reduzindo assim a heterogeneidade ao nível dos habitats.
- Modificações nos regimes de escoamento: o regime de escoamento em rios regularizados é variável, levando a que haja modificações bruscas de caudal e o desaparecimento das variações sazonais, alterando assim a composição física e estabilidade do habitat aquático.
- Alteração da qualidade da água: a qualidade da água descarregada por uma obra hidráulica depende da localização dos dispositivos de captação de água para descarga a jusante. Mediante esta localização, a água pode apresentar diferentes características consoante as alturas de ano, pondo assim em causa as populações piscícolas a jusante.
- Alteração da temperatura da água: a imposição do obstáculo faz com que a temperatura da água sofra alterações mediante as condições climáticas. Sendo este um dos fatores externos que despoleta a migração, uma alteração da temperatura da água pode significar um atraso ou inibição da migração.
- Aumento do risco de predação e de doenças: a acumulação de grande densidade de peixes, sobretudo a jusante do obstáculo, faz com que estes se tornem alvos fáceis para os predadores. De igual modo, os peixes nas várias tentativas de transpor o obstáculo são submetidos a um grande desgaste físico, podendo levar a sua desorientação, sendo que tal comportamento pode potenciar a ocorrência de doenças nos peixes.

De uma forma mais genérica, os diferentes impactes associados à construção de barragens e açudes foram sistematizados e classificados em três ordens, sendo que os impactos de 1ª ordem conduzem aos de 2ª ordem, e estes aos de 3ª ordem (Petts 1988 *in* Santo 2005).

Como impactos de 1ª ordem, foram considerados:

- o efeito barreira à livre circulação das espécies;
- alteração do regime natural de caudais;
- alteração da granulometria e de locais de deposição de sedimentos, assim como a sua quantidade;
- alterações da qualidade da água a jusante, sobretudo se as descargas forem captadas na zona do hipolímnio;
- alterações qualitativas e quantitativas no plâncton, provocadas devido arrastamento das espécies que se desenvolvem na albufeira.

Por sua vez, estes impactes originam os de 2ª ordem, que incluem:

- alterações frequentes na forma do canal fluvial e na distribuição de habitats;
- alterações na distribuição, no tipo e quantidade de plantas.

Por fim, os impactos de 2ª ordem induzem os considerados impactos de 3ª ordem, que dizem respeito a alterações na comunidade de macroinvertebrados e de peixes (composição e biomassa).

2.6 ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO DA CONETIVIDADE FLUVIAL

A temática da conetividade fluvial, a nível nacional e comunitário, é enquadrada legislativamente pela Diretiva Quadro da Água (DQA), Diretiva nº 2000/60/CE, do parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro, transporta para a lei portuguesa através da Lei da Água (Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro, alterada e republicada pelo Decreto-Lei n.º 130/2012, de 22 de junho) e pelos Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH) e de Gestão de Enguia (PGE) (ICNF, 2014).

2.6.1 DIRETIVA QUADRO DA ÁGUA

A Diretiva Quadro da Água (DQA) (Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2000) é o principal instrumento da Política da União Europeia relativa à água, estabelecendo um quadro de ação comunitária para a proteção das águas de superfície interiores, das águas de transição, das águas costeiras e das águas subterrâneas. Esta foi transposta para a lei nacional através da Lei da Água, Lei nº 58/2005, de 29 de dezembro, alterada pelo Decreto-lei nº 130/2012 de 22 de junho.

Esta diretiva estabelece que todos os estados membros da União Europeia devem proteger, melhorar e restaurar os ecossistemas aquáticos, sendo que os objetivos da DQA são alcançados através do estabelecimento de objetivos ambientais para as massas de água interiores, incluindo metas ecológicas, definidas através de uma estrutura integrada ao nível da gestão de bacia hidrográfica.

O estado das águas de superfície é definido tendo por base dois estados: Estado Ecológico e Químico, sendo que a classificação final é obtida em função do pior dos dois.

No que se refere ao Estado Ecológico, este é classificado tendo por base elementos biológicos, elementos hidromorfológicos e elementos químicos e físico-químicos, sendo estes dois últimos usados como suporte dos elementos biológicos.

Um dos elementos biológicos usados para a classificação do estado ecológico consiste na composição, abundância e estrutura etária da fauna piscícola, sendo que a continuidade do rio, no qual se engloba a migração aquática e o transporte de sedimentos, é apresentada como um dos elementos hidromorfológicos de suporte dos elementos biológicos.

Em suma, de forma a conseguir-se alcançar um bom estado ecológico das massas de água superficiais, a conectividade fluvial deve ser encarada como uma prioridade, uma vez que a mesma é um dos elementos que tem um maior impacte na fauna piscícola.

2.6.2 PLANOS DE GESTÃO DE REGIÃO HIDROGRÁFICA (PGRH)

Tal como já referido, a DQA foi transposta para a legislação nacional através Lei de Água, Lei nº 58/2005, de 29 de dezembro, alterada pelo Decreto-lei nº 130/2012 de 22 de junho.

De acordo com o artigo 45.º da Lei da Água, os objetivos ambientais para as águas superficiais são prosseguidos através da aplicação dos programas de medidas especificados nos Planos de Gestão de Região Hidrográfica (PGRH).

Os PGRH são instrumentos de planeamento das águas, nos quais são definidos os objetivos ambientais para as massas de água, assim como os programas de ações e medidas previstos de forma a se atingir o cumprimento dos objetivos propostos. Atualmente, os PGRH vigoram desde 2016, sendo estes vigentes até 2021, enquadrando assim o 2º ciclo de PGRH, sucedendo aos do 1º ciclo que vigoraram entre 2009 e 2015 (APA, 2017a).

Nos PGRH a temática da conectividade fluvial está inserida nas medidas de minimização de alterações hidromorfológicas (código PTE3), mais concretamente na promoção da continuidade longitudinal (PTE3P01) e no melhoramento das condições hidromorfológicas das massas de águas (PTE3P02).

No que se refere à medida de continuidade longitudinal (PTE3P01), o PGRH do Douro (APA, 2017b) indica que a medida a tomar passa pela implementação das medidas preconizadas no Plano de Gestão da Enguia (PGE) para a bacia do Douro. De igual modo, outras das medidas inseridas na medida PTE3P01 consiste na promoção da continuidade fluvial, através do restabelecimento da conectividade lítica do rio Ouro, nomeadamente na transposição dos principais obstáculos presente no mesmo.

Por sua vez, no âmbito do melhoramento das condições hidromorfológicas das massas de água (PTE3P02), a conectividade fluvial é retratada através de um plano de remoção de infraestruturas transversais que deixaram de ter associados os usos que as justificavam, sendo que a remoção total ou parcial destas permitirá repor a conectividade fluvial.

2.6.3 PLANO DE GESTÃO DA ENGUIA (2009 – 2012) (PGE)

A elaboração do PGE (Regulamento CE 1100/2007) resultou de um parecer do Conselho Internacional de Exploração do Mar sobre a enguia-europeia *Anguilla anguilla*, no qual indicou que a unidade populacional se encontrava abaixo dos limites biológicos de segurança. Como tal, houve necessidade de identificar e definir as bacias hidrográficas situadas no território português que constituem habitats naturais para a enguia-europeia, indicando quais as medidas a implementar em cada uma delas de forma a preservar e permitir o desenvolvimento populacional desta espécie.

No caso da região hidrográfica do Douro apenas 2% da sua extensão total é considerada livre para a enguia, o que faz com que tenham sido elaboradas algumas medidas estruturais que tornem os rios transitáveis para a mesma, tendo sido estas divididas em diferentes níveis de prioridade:

- **1º Nível:** Garantir a transponibilidade pela enguia das barragens de: Crestuma-Lever, Carrapatelo, Régua, Valeira e Pocinho. Estabelecer um programa de avaliação da eficácia das eclusas de navegação como alternativa aos dispositivos de passagem para peixes.

- **2º Nível:** garantir a transponibilidade de todos os obstáculos nos rios Sousa, Tâmega, Paiva, Arda, Corgo, Pinhão, Tua, Sabor e Côa.

- **3º Nível:** garantir a transponibilidade de todos os obstáculos existentes nos afluentes principais dos rios referidos no 2º nível de prioridade.

Uma vez que os dispositivos de passagem de peixes a estudar no âmbito desta dissertação se encontram em afluentes do rio Tua, em concreto nos rios Rabaçal e Tuela, a prioridade nas intervenções é de nível 3, sendo que neste caso as medidas definidas a aplicar são:

- instalação de passagens para peixes adequadas à enguia em todos os obstáculos transversais existentes nesses rios, com exceção daqueles em que os objetivos para a enguia possam ser razoavelmente atingidos por outras alternativas;
- recuperação ou substituição das passagens de peixes existentes e que não sejam eficazes;
- proceder à reavaliação e monitorização das passagens de peixes existentes;
- nas infraestruturas já existentes iniciar estudos de avaliação da viabilidade técnica de instalação de passagens para enguia ou para todas as espécies piscícolas;
- implementar medidas alternativas à instalação de passagens para peixes, como seja a captura de enguias a jusante dos obstáculos e o seu transporte para montante.

2.6.4 DOCUMENTAÇÃO LEGAL INTERNACIONAL

Foram redigidos outros documentos legislativos, nomeadamente a nível europeu, relativos às espécies fluviais migradoras, sendo de realçar a Convenção de Bona, o Tratado de Berna e a Diretiva Habitats (Kroes, et al., 2006).

De referir que a DQA tem em conta as disposições da Diretiva Habitats, ainda que não contenha requisitos específicos para a implementação da mesma, o que faz com que haja uma concordância entre os dois documentos de forma a manter e reforçar a coerência ecológica e conectividade dos ecossistemas aquáticos (ICNF, 2014).

3

DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES

3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo sintetizar os diferentes tipos de dispositivos de passagem de peixes (DPP) existentes, assim como referir no que consiste um dispositivo de passagem de peixes.

Além disto, são apresentados os fatores que influenciam a eficácia dos dispositivos de passagem de peixes, apresentando-se os diferentes métodos de monitorização utilizados na avaliação da eficácia de um dispositivo.

Por fim, são apresentados alguns estudos realizados acerca da eficácia de alguns dos dispositivos de passagem de peixes instalados em Portugal.

3.2 CARACTERÍSTICAS DOS DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES

A mitigação dos efeitos da quebra de conectividade fluvial é conseguida através de inúmeras ações, sendo os dispositivos de passagem de peixes um dos principais meios a aplicar na restauração da conectividade fluvial.

O princípio geral destes dispositivos consiste em atrair peixes migradores para um determinado ponto no rio, localizado a montante e/ou jusante do obstáculo, induzindo ou fazendo passar os mesmos através de um caminho de água (passagem para peixes em sentido estrito), ou através da captura destes num tanque ou estrutura similar (ascensores e sistemas de captura e transporte), procedendo-se depois à transferência dos peixes (Santo, 2005).

Do ponto de vista de conceção, estes dispositivos são estruturas com um elevado grau de especificidade e exigência, uma vez que necessitam de uma interligação entre aspetos hidráulicos (velocidade da água e o regime de escoamento) e fatores de ordem biológica das espécies, tais como as capacidades natatórias e sensibilidade dos peixes a regimes de turbulência (Larinier, 2002b; Santo, 2005).

Para que um dispositivo seja considerado eficaz, os peixes devem conseguir encontrar facilmente a entrada do mesmo e transporem-na sem dificuldades significativas, atrasos excessivos ou stress, uma vez que estes são fatores que podem colocar em causa o sucesso da migração por parte da ictiofauna (Larinier, 2002b).

Uma vez que os locais de implementação diferem entre si, cada situação é um caso específico, resultando assim numa multiplicidade de fatores de ordem biológica, hidráulica, hidrológica, topográfica, entre outros que têm de ser tidos em conta. Como tal, de uma forma geral, no processo de escolha do tipo de dispositivo de passagem para peixe deve ser considerado (Porcher & Larinier, 2002):

- Espécies que utilizarão o dispositivo;
- Caudal a escoar no interior do dispositivo;
- Variações de nível a montante e a jusante do obstáculo;
- Constrangimentos topográficos;
- Diferença de altura a vencer;
- Custo de funcionamento;
- Transporte Sólido;

3.3 TIPOS DE DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES

Tendo por base a necessidade de terem de se adaptar a diferentes contextos, existem vários tipos de dispositivos de passagem de peixes, sendo estes divididos em (FAO/DVWK, 2002):

Passagens de peixes naturalizadas “Close-to-nature types of fish passes”

- Leito do rio Modelado (*Bottom ramps and slopes*)
- Canais laterais (*Bypass Channels*)
- Rampa para peixes (*Fish ramps*)

Passagens de peixes técnicas “Technical fish passes”

- Bacias Sucessivas (*Pool passes or vertical-slot*)
- Defletores ou tipo Denil (*Denil passes*)

Passagens especiais “Special fish passes”

- Passagem para enguias (*Eel ladders*)
- Eclusas de peixes (*Fish locks*)
- Ascensores / Elevadores (*Fish lifts*)

3.3.1 PASSAGENS DE PEIXES NATURALIZADAS

A conceção deste tipo de passagem para peixes tem como principal característica a mimetização de um curso natural do rio, possuindo uma maior orientação ecológica do que outros dispositivos. Para que tal seja alcançável, o material usado neste tipo de passagem é o presente no próprio local em condições naturais (Larinier, 2002b).

Neste tipo de passagens o escoamento é caracterizado por possuir velocidades relativamente baixas, sendo que a energia do escoamento é dissipada pela turbulência gerada devido à rugosidade do substrato do leito e das margens, bem como pela presença de certos materiais colocados ao longo da passagem. Tais características fazem com que estes tipos de passagens sirvam como habitats para outros elementos da fauna aquático, tais como os macroinvertebrados (Katopodis & Williamns, 2012).

As passagens naturalizadas podem ser de 3 tipos, nomeadamente: leito do rio modelado, canal bypass e rampas para peixes (FAO/DVWK, 2002),

3.3.1.1 Leito do Rio Modelado

Este tipo de solução (Figura 1) é caracterizado por transformar toda a largura do curso de água numa superfície rugosa e de pequena inclinação, permitindo assim a suavização do gradiente hidráulico ao longo da passagem.

Sob uma perspectiva ecológica, este tipo de configuração possibilita a restauração da massa de água a montante do açude, uma vez que permite a remoção e arrastamento de materiais finos e anteriormente acumulados (FAO/DVWK, 2002).

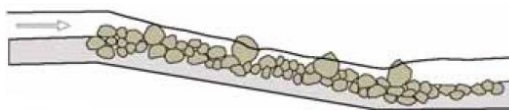


Fig. 1 - Esquema de um leito de rio modelado para passagem de peixes (Santo, 2005)

3.3.1.2 Canais Laterais

Um canal lateral, ou também designado por canal naturalizado, consiste numa passagem naturalizada implementada nas margens do curso de água, unindo montante e jusante, tal como representado na Figura 2 (FAO/DVWK, 2002).

A ligação entre dois troços deve-se situar fora da influência do reservatório de água formado, o que faz com que seja a única passagem de peixes que permite ultrapassar o impacto negativo da formação de massa de água lântica originada pela presença do obstáculo (Santo, 2005).

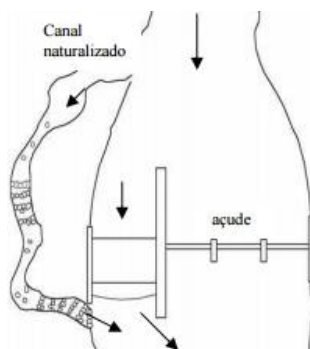


Fig. 2 - Esquema de um canal lateral para passagem de peixes (Silva, 2009)

3.3.1.3 Rampas para peixes

As rampas para peixes (Figura 3) são estruturas que apresentam um declive suave, formadas por uma zona de curso de água, cuja largura deverá ser no mínimo de 20 metros (FAO/DVWK, 2002).

Devem ser revestidas por uma superfície rugosa de forma a assegurar uma redução da velocidade de escoamento, sendo que a profundidade de água sobre as rampas deverá ser superior a 0,30-0,40 m, enquanto que o caudal escoado deverá ter valores próximos de 100 l/s (FAO/DVWK, 2002).

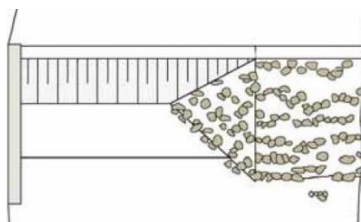


Fig. 3 - Esquema de uma rampa para peixes (Santo, 2005)

3.3.2 PASSAGENS DE PEIXES TÉCNICAS

Os dispositivos técnicos de passagem de peixes são dispositivo que obrigam os peixes a deslocar-se entre eles, provocando assim um gasto de energia nos peixes aquando da deslocação. Estes podem ser de dois tipos:

- Bacias Sucessivas
- Defletores ou dispositivo do tipo Denil

3.3.2.1 Bacias Sucessivas

As bacias sucessivas são o tipo dispositivo de passagem de peixes mais usual em pequenos aproveitamentos hidroelétricos e pequenos açudes, representando 80 % dos dispositivos existentes em Portugal (Silva, et al., 2006). Estas adaptam-se a um grande número de espécies piscícolas, permitindo a migração em ambos os sentidos, assim como proporcionam a passagem de outros elementos da fauna aquática, em particular se o seu fundo for revestido com substrato rugoso (Larinier, 2002b).

Em termos de funcionamento, este tipo de dispositivo consiste na divisão da altura de água, entre montante e jusante, em pequenas quedas transponíveis pelas espécies piscícolas, formando uma série de bacias que se dispõem sucessivamente separadas por septos, tal como presente na Figura 4 (Larinier, 2002c).

A sua forma de construção faz com que não sejam necessários caudais muito elevados, podendo comportar uma gama de caudais alargada, respondendo bem a alguma variação do nível da água a montante (Santo, 2005).

Além de assegurarem a passagem de peixes, as bacias sucessivas também têm o duplo objetivo de providenciar zonas de descanso, bem como proporcionar a dissipação da energia do escoamento (Larinier, 2002c).

O deslocamento de peixes entre bacias pode-se efetuar de inúmeras maneiras, dependendo do tipo e da forma de septo, o que leva a que as bacias sucessivas possam ser de dois tipos (FAO/DVWK, 2002):

- **“Pool passes”** – a passagem de peixes efetua-se por descarregadores de superfície e/ou através de orifícios situados nas paredes de separação entre as bacias;
- **“vertical-Slot passes”** – a passagem de peixes efetua-se por intermédio de um ou duas fendas verticais.

Uma “pool pass” consiste num canal no qual se dispõem septos com aberturas no topo (descarregadores de superfície) e no fundo (orifícios de fundo). Este tipo é adequado para todas as espécies piscícolas, podendo ser, contudo, algo limitada face a variações do nível da água a montante. Como principal desvantagem apresentam um elevado risco de obstrução, nomeadamente nos orifícios, requerendo assim uma elevada necessidade de manutenção (Larinier, 2002c).

Por sua vez, uma bacia sucessiva de fendas verticais consiste num canal de bacias, ao longo do qual estão presentes paredes de separação com uma ou duas barras verticais na parte lateral. Esta forma de comunicação entre bacia adapta-se bem a pequenas barragens nas quais as variações do nível de água a montante são frequentes (Clay, 1995). Também, quando comparado com as “pool passes”, as bacias de fendas verticais apresentam um risco mais baixo de obstrução, assim como suportam escoamentos relativamente mais elevados, formando boas condições de atração para os peixes (FAO/DVWK, 2002).

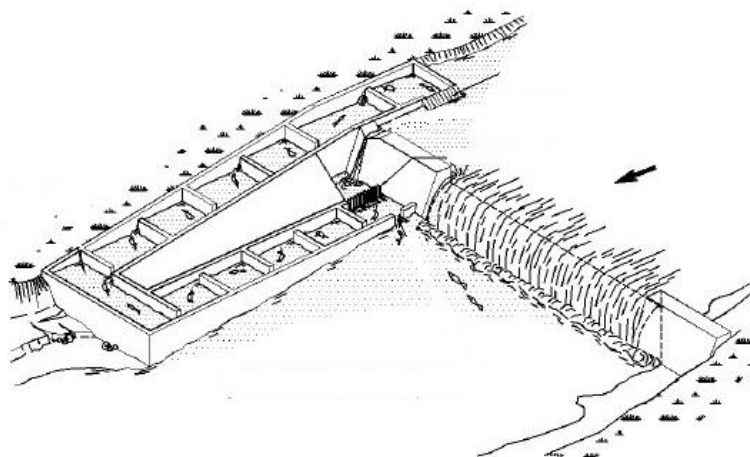


Fig. 4 - Passagens para peixes por bacias sucessivas (Pinheiro, 2006) *in* (Alvarez, 2008)

3.3.2.2 Deflectores ou dispositivo do tipo Denil

Desenvolvidas por volta de 1908 por G. Denil, na Bélgica, os dispositivos de passagem de peixes do tipo deflectores ou tipo Denil (Figura 5) consistem num canal retilíneo, de seção retangular e de declive relativamente acentuado (normalmente até 20%), com defletores dispostos ao longo do fundo e/ou nas paredes (Santo, 2005).

Estes deflectores têm por objetivo criar correntes hélicas, de forma a que ocorra dissipação da energia de escoamento, reduzindo assim a velocidade de escoamento. Geralmente, estes possuem a forma de U, sendo dispostos com um ângulo de cerca de 45° contra a direção do escoamento (Larinier, 2002b).

Este tipo de dispositivo de passagem de peixes é caracterizado por possuir elevadas velocidades e turbulência, sendo apenas adequado aos salmonídeos, uma vez que exige grandes capacidades natatórias, podendo ser apenas aplicado em barreiras de pequenas alturas (FAO/DVWK, 2002).

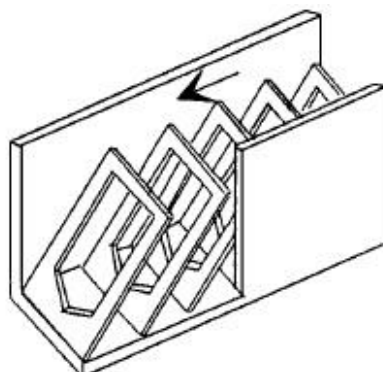


Fig. 5 - Representação esquemática de uma passagem para peixes por defletores (Kamula & Bärthel, 2000)

3.3.3 PASSAGENS DE PEIXES ESPECIAIS

Os dispositivos de passagem de peixes especiais permitem que os peixes se desloquem através dos mesmos sem necessitarem de realizar grandes esforços, sendo apenas adequados em situações cujo desnível a vencer é elevado (> 10 m).

Os tipos de dispositivos especiais existentes são:

- Eclusa de peixes
- Elevador / Ascensor de Peixes

Além destes, também dispositivos específicos para determinadas espécies são considerados dispositivos especiais, sendo exemplo o dispositivo de passagem de peixes para enguias.

3.3.3.1 Passagem de Enguias

Uma vez que as enguias possuem fracas capacidades natatórias, os dispositivos de passagem de peixes para enguias consistem em dispositivos especialmente dimensionados para a espécie, podendo ser de dois tipos:

- i) Canais revestidos com adaptações como escova ou gravilha, atravessados por uma pequena lâmina de água
- ii) Canais revestidos com pequenas escovas, mato, galhos ou gravetos, sendo estes inseridos na própria estrutura do açude e a designados por “*eel pipes*”.

Este tipo de dispositivo é geralmente usado como um circuito secundário em dispositivo de passagem de peixes do tipo bacias sucessivas com descarregadores de superfície e orifícios submersos, sendo a sua implementação unicamente necessária em locais de ocorrência de migração da enguia (Porcher, 2002).

3.3.3.2 Eclusas

Uma eclusa de peixes, comumente designada por “Eclusa de *Borland*”, é um dispositivo de passagem de peixes constituído por duas câmaras, uma ao nível de montante e outra ao nível de jusante, sendo estas ligadas por uma conduta vertical ou inclinada, conforme o esquema apresentado na Figura 6 (Travade & Larinier, 2002a).

O princípio de funcionamento deste tipo de dispositivo consiste na atração dos peixes para a câmara inferior situada a jusante, sendo que estes, uma vez dentro da eclusa, são forçados a deslocar-se para montante através da elevação do nível da água no interior da conduta que liga os dois reservatórios (Travade & Larinier, 2002a).

De uma forma mais objetiva, o funcionamento de uma eclusa é composto pelas seguintes fases (FAO/DVWK, 2002; Travade & Larinier, 2002a; Santo, 2005):

- i) **Fase de atração ou de pesca:** os peixes são atraídos para o interior da eclusa através da circulação de caudal no interior da mesma. Para que esta circulação se dê, a comporta de jusante encontra-se totalmente aberta, havendo um controlo de caudal a escoar na eclusa através da regulação da comporta de montante.

- ii) **Fase de enchimento:** a comporta a jusante fecha-se, provocando uma elevação do nível da água na conduta. Os peixes acompanham esta elevação de água, conseguindo passar para a câmara a montante.
- iii) **Fase de saída ou passagem:** os peixes são estimulados a sair da eclusa através de uma corrente criada pela abertura de um “bypass” na câmara de jusante.
- iv) **Fase de esvaziamento:** a comporta de montante é fechada e procede-se ao esvaziamento lentamente da eclusa através do “bypass” ainda aberto. Quando o nível da água na câmara de jusante é suficientemente baixo, ocorre a abertura da comporta a jusante. Esta fase deve ser lenta de forma a evitar a formação de grandes velocidades e turbulências à entrada da eclusa, evitando assim efeitos repelentes sobre os peixes que se encontrem na proximidade da mesma.

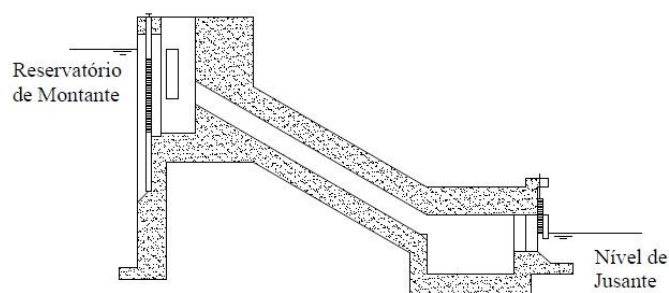


Fig. 6 - Representação esquemática de uma eclusa para peixes (adaptado de Travade & Larinier 2002).

Quanto à duração de cada uma das fases, a mesma é variável, devendo esta ser dependente da quantidade de espécies que utilizam a eclusa (Bochechas, 1995).

Como vantagens, este tipo de dispositivo de passagem de peixes permite vencer desníveis elevados, normalmente superiores a 10 metros de altura, em que o espaço e o escoamento disponível é limitado. Contudo, apresentam algumas desvantagens, sendo que uma delas deve-se ao facto da atração dos peixes para interior da mesma ser apenas realizada durante a fase de enchimento ou pescagem, fazendo com que qualquer peixe que se apresente nesta zona possa abandoná-la antes que se inicie um novo período de atração (Travade & Larinier, 2002a).

3.3.3.3 Elevador de peixes

Um elevador de peixes (Figura 7), ou usualmente designado também por ascensor de peixes, consiste num dispositivo que transporta os peixes de jusante para montante através de uma cuba, sendo a sua utilização adequada para A.H. em que o desnível a vencer é superior a 15 m (FAO/DVWK, 2002).

O funcionamento deste tipo de dispositivo é muito semelhante ao de uma eclusa, sendo compreendidas três fases:

- Fase de atração
- Fase de ascensão
- Fase de lançamento dos peixes a montante do obstáculo.

Tal como numa eclusa, a duração destas fases, nomeadamente, da fase de atração, é variável em função da quantidade de peixes, existentes a jusante, dispostos a transpor o obstáculo (Travade & Larinier, 2002a).

Neste tipo de dispositivo, os peixes não efetuam qualquer esforço para vencer o desnível, o que o torna eficiente para espécies com poucas capacidades natatórias e que sintam maiores dificuldade em usar os dispositivos de passagem mais tradicionais, como o caso das bacias sucessivas (Travade & Larinier, 2002a).

Como vantagens, um elevador de peixes apresenta pouca sensibilidade para variações do nível da água a montante e também o facto de a sua construção ocupar pouco espaço. Porém, o planeamento e a construção deste tipo de dispositivos são de uma elevada exigência, uma vez que requerem elevados custos de funcionamento e de manutenção (Travade & Larinier, 2002a).

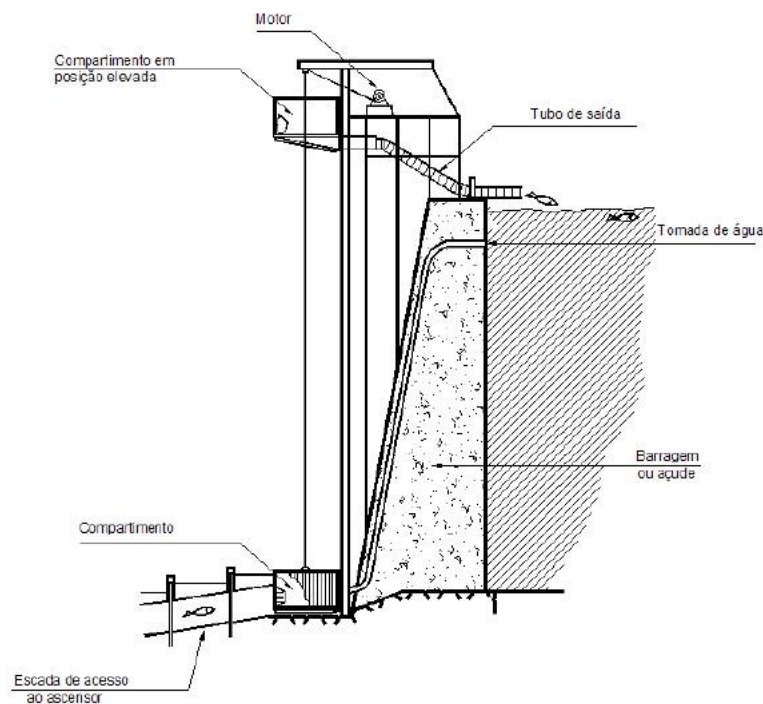


Fig. 7 - Elevador de peixes (Pinheiro, 2006 in Alvarez, 2008)

3.4 EFICIÊNCIA DE UM DISPOSITIVO DE PASSAGEM DE PEIXES

Tendo em conta que a totalidade da largura dos rios está geralmente disponível à migração das espécies e que um dispositivo de passagem de peixes representa apenas uma parte dessa secção, a eficiência de um dispositivo está dependente de alguns fatores importantes, dos quais se destacam a localização da entrada e o caudal de atração.

3.4.1 LOCALIZAÇÃO DA ENTRADA DE PEIXES

Quando comparado com outros caudais, tais como o ecológico ou o turbinado, o caudal que escoia através dos dispositivos de passagem de peixes é substancialmente reduzido. Como tal, de forma a que o mesmo não resulte numa fraca atratividade, um dos parâmetros mais importantes na implementação dos dispositivos de passagem de peixes é a localização da entrada de peixes (Larinier, 2002d).

Como tal, a localização deve situar-se o mais próximo possível do obstáculo a transpor, em áreas com maior aglomerado de peixes e em locais onde as condições hidrológicas permitam que o escoamento proveniente do dispositivo seja atrativo e não mascarado por outros caudais (Williams, et al., 2012).

3.4.2 CAUDAL DE ATRAÇÃO

Para um dispositivo de passagem de peixes ser eficiente, não basta ao mesmo ter a entrada bem localizada, pois em primeira instância, os peixes necessitam de ser atraídos para ela. Como tal, o caudal proveniente do dispositivo não deve ser mascarado pelas descargas de caudal nas imediações, devendo ser 1 a 5% dos caudais competidores, sem nunca, contudo, por em causa o sucesso da passagem de peixes (Santo, 2005).

Nesta ótica, sempre que possível, a libertação do caudal ecológico deve ser efetuada pelo dispositivo de passagem de peixes, de forma a reduzir o efeito atrativo deste (Santo, 2005).

3.5 MONITORIZAÇÃO DE UM DISPOSITIVO DE PASSAGEM DE PEIXES

Os dispositivos de passagem de peixes são estruturas complexas, cuja eficácia depende de uma relação estreita entre conhecimento das áreas de Engenharia Civil e Biologia. Deste modo, apesar da projeção de um dispositivo de passagem de peixes ser direcionada para a transposição do maior número de peixes não existem garantias teóricas que o mesmo será eficaz na passagem de todas as espécies para o qual foi projetado.

Deste modo, após a construção, é necessário efetuar uma monitorização dos dispositivos, de forma a avaliar as suas condições de funcionamento e eficácia, sendo que este procedimento permitirá ajustar alguns pormenores e efetuar alterações nos dispositivos, caso se verifique necessário.

Para que tal seja possível, as ações de monitorização a implementar devem compreender sobretudo três parâmetros (Travade & Larinier, 2002b):

- Controlo do funcionamento hidráulico e mecânico;
- Determinação das espécies piscícolas a jusante;
- Monitorização da passagem de peixes através de um dispositivo.

3.5.1 CONTROLO DO FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO E MECÂNICO

O controlo do funcionamento hidráulico e mecânico dos dispositivos deve ser realizado em duas situações sendo elas: após a entrada em funcionamento e em intervalos regulares. O controlo após a primeira situação permite verificar se existe conformidade entre a situação real e a definida em projeto. Por sua vez, o controlo em intervalos de tempo regulares permite verificar se existem ou não variações nas condições de funcionamento face às determinadas anteriormente (Travade & Larinier, 2002b).

O controlo dos parâmetros hidráulicos incide sobre a medição de caudais a escoar ao longo dos dispositivos, das velocidades de água, dos níveis de água e do nível de turbulência ao longo do dispositivo, podendo-se deste modo averiguar se as condições presentes são apropriadas à transposição das espécies (Santo, 2005).

No que se refere ao controlo mecânico dos dispositivos, este controlo incide sobre o funcionamento dos diferentes órgãos mecânicos dos dispositivos tais como: órgãos reguladores de caudal ou dos

mecanismos que asseguram o funcionamento de alguns dispositivos de passagem de peixes tais como as comportas presentes nas eclusas e as cubas presentes nos elevadores (Santo, 2005).

3.5.2 DETERMINAÇÃO DAS ESPÉCIES PISCÍCOLAS A JUSANTE DOS OBSTÁCULOS

De forma a avaliar a eficácia de um dispositivo de passagem de peixes, a quantificação do número de peixes que usam os dispositivos não é suficiente, uma vez que a mesma não permite saber qual a percentagem de peixes situados a jusante do obstáculo que se deslocou para montante.

Como tal, a determinação das espécies piscícolas a jusante do obstáculo é vista como importante na determinação da eficácia de um dispositivo de passagem de peixes, permitindo assim avaliar a eficácia em termos percentuais.

3.5.3 MONITORIZAÇÃO DA PASSAGEM DE PEIXES NUM DPP

A monitorização da passagem de peixe num dispositivo consiste principalmente na identificação e na contabilização de peixes que utilizam o dispositivo, bem como na determinação de alguns aspetos importantes associados à deslocação dos mesmos (*e.g.* tempo de deslocação, preferência por descarregadores/orifícios, entre outros), permitindo assim avaliar a eficácia do dispositivo no que diz respeito à passagem das espécies consideradas.

Para tal, esta recolha pode ser feita através da aplicação de dois processos diferentes, sendo que um deles envolve a manipulação e a captura dos peixes e a outro utiliza métodos de recolha de informação independentes da captura dos peixes (Santo, 2005).

3.5.3.1 Métodos dependentes da captura de peixes

Um dos métodos de avaliar a eficácia dos dispositivos envolve a captura de peixes é a colocação de armadilhas no interior do dispositivo de passagem de peixes, permitindo a contagem manual dos peixes antes de se proceder à sua libertação a montante do obstáculo (Santo, 2005).

Outro dos métodos de monitorização dependentes da captura de peixes passa por efetuar marcações nos peixes. Este método é um dos mais usados na avaliação da eficácia dos dispositivos de passagem de peixes, uma vez que permite avaliar o comportamento dos indivíduos em termos da sua distribuição espacial, em especial durante a época de migração (Travade & Larinier, 2002b).

De forma a marcar os peixes, existem diversos tipos de marcadores sendo eles divididos em (Travade & Larinier, 2002b):

- Marcações físicas: Rádio-telemetria; Eletromiogramas-EMG, *PIT-tags*, entre outros
- Marcações externas: Mutilações nas barbatanas, *floytags*, etc...
- Marcações químicas: Banhos químicos, injeções, etc...

Dos tipos de marcadores existentes, os mais usuais são os marcadores físicos, pelo que de seguida são apresentadas as características das técnicas adjacentes do uso desses marcadores.

- Radiotelemetria

A radiotelemetria é efetuada através da colocação de rádio-transmissores em peixes (Figura 8), sendo que estes permitem uma recolha de um conjunto de informações, em especial, de dados relativos ao

movimento das espécies e na sua abordagem aos dispositivos de passagem de peixes. Deste modo, através da aplicação de este tipo de técnica é possível determinar o tempo médio que um peixe demora a transpor os dispositivos de passagem de peixes e quais as preferências dos peixes pelos órgãos hidráulicos, como por exemplo, orifícios de fundo e descarregador de superfície (Pinheiro, et al., 2005).

Todavia, esta técnica apresenta como desvantagens o facto do uso deste tipo de marcadores e de equipamento de deteção resultar em elevados custos. Além desta situação, rádio-transmissores não são adequados para peixes de dimensões reduzidas, uma vez que, devido ao seu peso, provocam alterações no comportamento das espécies (Lucas & Baras, 2001).



Fig. 8 - Rádio-transmissores colocados nos peixes (Pinheiro, et al., 2005)

- Telemetria de eletromiogramas (EMG)

O método de telemetria de eletromiograma (EMG) consiste na utilização de transmissores de rádio eletromiogramados codificados (CEMG), nos quais é efetuado o registo de parâmetros fisiológicos associados à natação dos peixes. Deste modo, é possível registar as mudanças na tensão bioelétrica, estabelecendo uma relação deste parâmetro com a força e duração das contrações musculares.

Como tal, esta técnica de telemetria permite fornecer informações sobre o esforço de deslocação a que os peixes são submetidos durante a passagem dos mesmos pelos dispositivos, além de possibilitar a obtenção da frequência de batida, velocidade de natação e do consumo de oxigénio associados à deslocação (Cooke, et al., 2004).

Como resultado, a aplicação desta técnica permite identificar as zonas no interior dos dispositivos que dificultam a deslocação dos peixes, assim como determinar as velocidades de natação de cada espécie, aspeto este que é de extrema importância numa melhor gestão dos dispositivos de passagem de peixes.

- PIT- Tags

Os PIT-Tags (Passive Integrated Transponders) são pequenos cilindros de vidro, no qual se insere uma bobina e um circuito programado para transmitir dados (Figura 9), que tornam possível a monitorização da migração, crescimento, sobrevivência e distribuição espaço-temporal das várias espécies (Lucas & Baras, 2001).

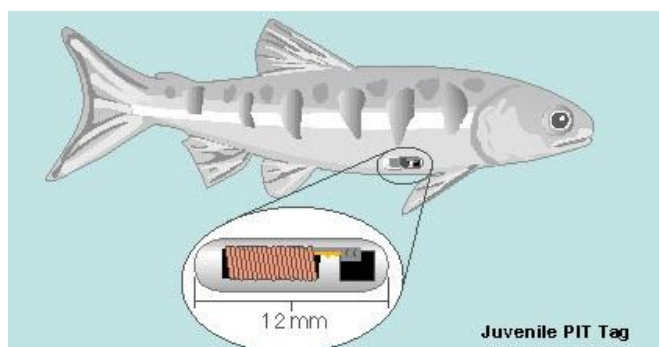


Fig. 9 - Colocação de PIT-Tags nos peixes (Division, s.d.)

Quando comparados com o uso de rádio-transmissores e de eletromiogramas, estes apresentam uma vantagem em relação ao custo-benefício, assim como, pelo facto de ser um método pouco invasivo, o que faz com seja possível a aplicação deste tipo de marcadores em espécies de menores dimensões. Aliado a isto, este tipo de dispositivo tem uma longevidade ilimitada, uma vez que não necessita de nenhuma fonte de energia para poder ser detetada nos locais onde se colocam as antenas próprias para esse registo (Teixeira & Cortes, 2007).

Outra das vantagens desta técnica é o facto de permitir avaliar influência dos fatores ambientais, tais como temperatura da água e caudal, nos peixes, situação esta que pode ser importante no conhecimento das condições ideais que despoletam a migração dos peixes (Pinheiro, et al., 2005).

3.5.3.2 Métodos independentes da captura de peixes

Os métodos de monitorização da passagem de peixes através dos dispositivos, que não englobam a captura de peixes, são divididos em dois tipos (Santo, 2005):

- Contagens automáticas: Consistem na utilização de aparelhos que reagem à passagem de peixes, registando o número de passagens. Como aparelhos desta natureza existe o *Riverwatcher*, *Cerbere*, *FishTick*, entre outros.
- Contagens visuais: A contagem visual é uma técnica que permite a contabilização dos peixes sem necessidade manuseamento dos mesmos. Esta pode ser feita em tempo real, recorrendo a um observador no local, ou com recurso a gravações das passagens de peixes através do uso de vídeo.

3.6 ESTUDO HISTÓRICO DOS DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES EM PORTUGAL

Muito antes do aparecimento do primeiro dispositivo de passagem de peixes já havia referências a supostos mecanismos que tinham por objetivo permitir às espécies piscícolas a transposição de obstáculos, tal como davam conta os artigos 265-266 do Regulamento dos Serviços Hidráulicos de 19 de dezembro de 1892 e no nº 3 do Regulamento Geral dos Serviços Aquícolas de 20 de abril de 1893, que mencionavam: “nos açudes e represas estabelecidos nos leitos das correntes d’águas interiores se estabeleçam escadas para a subida de peixes” (Santo, 2005).

Porém, só na década de 50 é que se procede à construção do primeiro dispositivo de passagem de peixes, tendo este sido construído na barragem de Belver, rio Tejo. O mesmo era do tipo escada de peixes, permitindo vencer um desnível de 12 metros. Este dispositivo nunca entrou em funcionamento permanente, sendo substituído por uma eclusa de Borland em 1983, a qual entrou em funcionamento em 1986. Também em 1983 efetuou-se a construção do um dispositivo de bacias sucessivas no açude de Ponte de Coimbra, localizado no rio Mondego (Santo, 2005).

Uma vez dado os primeiros passos na construção de passagens de peixes, verificou-se, a par do aumento no número de pequenos aproveitamentos hidroelétricos, um aumento significativo na construção de dispositivos de passagem de peixes, como forma de minimizar o desaparecimento progressivo de certas espécies nos cursos de água.

Todavia, uma avaliação à maior parte dos dispositivos de passagem de peixes existentes mostrou que estes, no geral, são considerados ineficientes, devido ao inadequado dimensionamento dos mesmos, que não teve em consideração as espécies piscícolas existentes nos cursos de água portuguesas (Santos, et al., 2012).

Nesta ótica, de um modo mais concreto, foram efetuados estudos de forma a determinar a eficiência de algumas passagens de peixes em Portugal.

- Eclusa de peixes de Belver e de Crestuma-Lever

Num estudo realizado por Bochechas (1995) concluiu-se que as eclusas de Borland instaladas em Belver e em Crestuma-Lever eram ineficazes, devido à existência das seguintes condicionantes:

- Má localização da entrada das eclusas, (apenas no caso de Crestuma-Lever)
- Limitação das eclusas em responder a variações de nível de água a jusante (mais evidente em Crestuma-Lever; na forma de funcionamento das comportas de jusante)
- Caudal de pesca reduzido
- Dificuldade na passagem dos peixes da câmara superior para a albufeira (apenas no caso de Belver)
- Inexistência de iluminação e avarias frequentes.

- Ascensor de peixes do A.H. Touvedo

No caso do ascensor presente no A.H. de Touvedo, a monitorização realizada durante o período de agosto de 2011 a julho de 2012, revelou a eficácia deste dispositivo permitindo, durante o período de agosto de 2011 a julho de 2012 a passagem de um total de 3389 indivíduos pertencente a 5 espécies: Barbo-comum, Boga do Norte, Truta-de-rio; Enguia europeia e Lampreia-marinha. Destas, o ascensor apresentou melhores resultados para o Boga do Norte e o Barbo-Comum, sendo ineficaz para as restantes espécies presentes a jusante do Aproveitamento, nomeadamente: Ruivaco, Perca-Sol e Verdemã-comum (Santos, et al., 2014).

- Dispositivo de bacia sucessivas do Açude-Ponte Coimbra

O dispositivo de passagem de peixes presente no Açude-Ponte de Coimbra é do tipo bacias sucessivas com fendas verticais, tendo a sua construção sido finalizada em 2011. Este veio substituir um antigo dispositivo que não cumpria as funções para o qual fora projetado, sendo que a ineficácia se devia à falta de atratividade e ao desajustamento das condições hidráulicas no interior do mesmo.

De referir que este novo dispositivo foi dimensionado considerando o sável como a espécie mais sensível.

Assim, de forma a avaliar a eficácia deste dispositivo realizou-se uma campanha de monitorização entre os meses de janeiro e junho de 2013. Das espécies potenciais a usar o dispositivo, nomeadamente: Lampreia-marinha; Sável; Savelha; Enguia-europeia; Muge; Barbo do Norte; Boga-Comum e Truta-de-rio, em todas elas se verificou a passagem de indivíduos para montante, tendo sido o Muge a principal espécie utilizadora (66 %), seguido da Boga-comum (17,53%).

Como tal, este dispositivo foi considerado eficaz, na medida em permitiu a passagem de todas as espécies alvo de monitorização (Cardoso, 2014).

4

PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DE UM DISPOSITIVO DE PASSAGEM DE PEIXES DO TIPO BACIAS SUCESSIVAS

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados quais os princípios de funcionamento de um dispositivo de passagem de peixes do tipo bacias sucessivas, sendo também abordadas as componentes relacionadas com o seu dimensionamento e funcionamento hidráulico.

4.2 DIMENSIONAMENTO DE BACIAS SUCESSIVAS

O dimensionamento de um dispositivo de passagem de peixes deve ser sempre realizado tendo em conta as características específicas das espécies a que se destina a passagem, nomeadamente: a capacidade de natação e salto, a condição fisiológica dos peixes e a sua dimensão (Santo, 2005).

Como tal, os principais parâmetros de dimensionamento usados na conceção de um dispositivo de passagem de peixes por bacias sucessivas são as dimensões das bacias e as características geométricas dos septos separadores de bacias (Larinier, 2002c).

4.2.1 CONFIGURAÇÃO DO CANAL

A configuração de uma passagem de peixes por bacias sucessivas representa a forma do canal sobre o qual se dispõem as bacias. A forma mais comum consiste num canal linear, na qual o escoamento segue apenas uma direção. Contudo, por vezes, devido às características das margens, existem limitações de espaço, o que faz com que o canal possa apresentar inflexões, ou que a disposição das bacias seja efetuada lado a lado, sendo esta última configuração designada por configuração em “chicane” (FAO/DVWK, 2002).

4.2.2 DECLIVE DO CANAL

O declive (i) do canal é expresso pela seguinte equação:

$$i = h_{total}/L \quad (m/m) \quad (3)$$

onde, h_{total} é o desnível entre bacias e L é o comprimento total da bacia. Uma vez que existem valores limite para os parâmetros de dimensionamento, o declive máximo a adotar deve resultar da conjugação de um volume de bacia maximizado para um desnível entre bacias minimizado (Santo, 2005).

4.2.3 NÚMERO E DIMENSÕES DAS BACIAS

O número de bacias a implementar depende da queda de água entre bacias (Δh) adequada às espécies a que destina a passagem e do desnível a vencer entre jusante e montante (h_{tot}) (FAO/DVWK, 2002), sendo determinado da seguinte forma:

$$n = \frac{h_{tot}}{\Delta h} - 1 \quad (4)$$

De referir que a determinação do número de bacias é de difícil resolução, uma vez que na fase de projeção do dispositivo pode existir o desconhecimento do nível de água a jusante e suas variações, propiciando assim a ocorrência de transbordos entre bacias ou de quedas excessivas de água (Santo, 2005).

No que se refere ao dimensionamento das bacias, este é efetuado tendo em conta dois aspetos principais: volume de água e tamanho dos peixes que irão usar a passagem. Assim, o tamanho das bacias deverá ser tanto maior quanto maior for a dimensão dos peixes que usarão as bacias, adotando-se por norma um comprimento de bacia igual três vezes o comprimento total do maior peixe (Santo, 2005).

Segundo Larinier (2002c), o valor de comprimento de uma bacia é de 7 a 12 vezes um valor d , sendo este:

- A carga de água sobre o descarregador nas bacias que comunicam através de descarregadores de superfície;
- O valor mais pequeno entre a largura do descarregador e a carga de água sobre a sua soleira, nas bacias que comunicam através de descarregadores laterais;
- A largura da fenda nas bacias que comunicam através de fendas verticais;
- O diâmetro do orifício ou o menor valor entre a sua altura e a sua largura (se for retangular) nas bacias que comunicam através de orifícios de fundo;

Por sua vez, a profundidade das bacias deverá ter em consideração as capacidades de salto das espécies, sendo que uma profundidade de 1 metro é considerada adequada para grandes salmonídeos (Salmão e Truta Marisca) e 0,6 metros é suficiente para a Truta-de-rio (Larinier, 2002c).

Porém, as dimensões das bacias também são determinadas pelas características hidráulicas do escoamento, nomeadamente, pela turbulência de escoamento, desnível entre bacias, fluxo de escoamento, entre outros (FAO/DVWK, 2002).

4.2.4 QUEDA DE ÁGUA ENTRE BACIAS

A queda de água entre bacias (Δh) é definida como a diferença de cotas altimétricas de água entre dois pontos equivalente de duas bacias sucessivas (Santo, 2005). Este valor, quando possível, deve ser selecionado em função das capacidades natatórias das espécies migratórias, sendo que a passagem será tanto mais facilitada quanto menor for este valor (Larinier, 2002c).

De acordo com Larinier (2002c), a queda de água entre bacias deve ser de:

- 0,60 m para grandes salmonídeos;

- 0,45 m para a Truta;
- 0,30 – 0,40 m para a Truta do mar e Salmão;
- 0,30 m para a Truta e alguns ciprinídeos;
- 0,25 m para o Sável e Savelha;
- 0,15 – 0,25 m para a maioria dos ciprinídeos.

4.2.5 FORMAS DE COMUNICAÇÃO ENTRE BACIAS

Tal como anteriormente as bacias podem ser separadas por septos que possuam descarregadores de superfície e/ou orifícios submersos ou fendas verticais.

4.2.5.1 Orifícios de fundo

Os orifícios de fundo são geralmente quadrados, sendo colocados junto ao fundo da bacia, num dos lados do septo ou ao centro (Figura 10).

Normalmente, a sua utilização como única forma de comunicação entre bacias permite evitar variações de caudal quando instalados em pequenas obras. No entanto, nestes casos é necessário um cuidado espacial com a manutenção, uma vez que poderá ocorrer a colmatção dos mesmos (Larinier, 2002c).

Por sua vez, quando existem dois orifícios no mesmo septo, geralmente um situa-se junto ao fundo e o outro mais acima, o que permite repartir o caudal na passagem e regular a entrada de água por um ou por outro orifício, caso estes possuam comportas (Santo, 2005).

Segundo Larinier (2002c), as áreas mínimas dos orifícios devem variar entre $0,30 \times 0,30 \text{ m}^2$ e $0,40 \times 0,40 \text{ m}^2$ para grandes salmonídeos, enquanto que para os ciprinídeos as dimensões dos orifícios devem ser no mínimo de $0,20 \times 0,20 \text{ m}^2$. Nas bacias sucessivas implementadas em Portugal, as dimensões dos orifícios variam entre $0,15 \times 0,15 \text{ m}^2$ e $0,40 \times 0,40 \text{ m}^2$, sendo que nos casos em que os orifícios são a única forma de comunicação entre bacias, as suas dimensões são maiores (Santo, 2005).

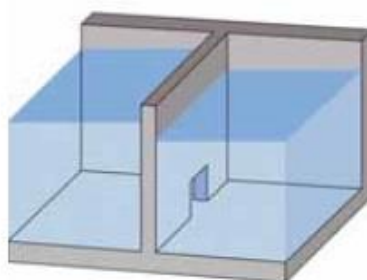


Fig. 10 - Orifício de fundo para passagem de peixes em bacias sucessivas (Santo, 2005)

4.2.5.2 Descarregadores de superfície

Um descarregador de superfície é definido como sendo a largura do septo pela qual é efetuada a descarga de água de uma bacia para a outra (Figura 11). Este pode assumir diferentes formas e posicionar-se em qualquer parte da largura do septo, sendo mais usual a forma retangular com uma altura superior à

largura e posicionado num dos lados do septo (descarregador lateral), tal como representado na Figura 12.

A geometria do descarregador, nomeadamente o seu posicionamento, largura e profundidade relativa ao fundo da bacia, determina a forma do fluxo, assim como a largura disponível para a passagem dos peixes e o tipo de jato de uma bacia para outra (Santo, 2005).

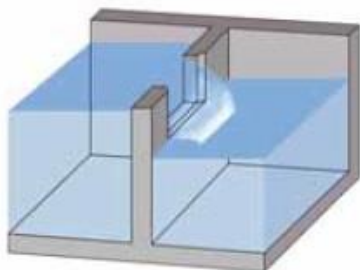


Fig. 11 - Septo de bacia sucessiva com descarregador superficial (Santo, 2005)

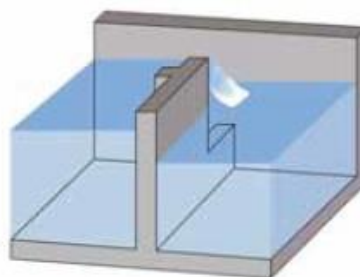


Fig. 12 - Septo de bacia sucessiva com descarregador superficial lateral (Santo, 2005)

A largura mínima do descarregador deve ser de 0,30-0,40m para grandes salmonídeos, 0,45m para a sável e 0,20m para a truta, sendo que, no caso dos ciprinídeos, a largura mínima depende do tamanho da espécie em questão (Larinier, 2002c).

Usualmente, num dos lados do descarregador verifica-se a contração de escoamento, o que pode por em causa a passagem dos peixes pelo mesmo. De forma a evitar tal fenómeno, utiliza-se uma pequena parede perpendicular ao septo, denominada de defletor (Figura 13), que direciona o jato de água que se forma entre bacias, resultando assim em linhas de corrente paralelas (Santo, 2005).

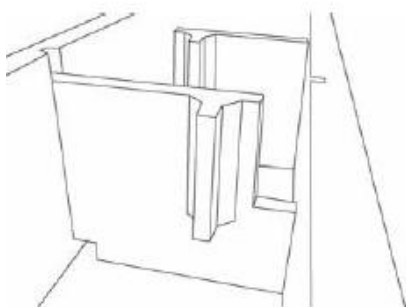


Fig. 13 - Representação esquemática de um descarregador lateral munido de um septo defletor (Santo, 2005)

4.2.5.3 Fendas verticais

As fendas verticais (Figura 14) são outra das formas de comunicação entre bacias sucessivas, sendo adequadas para situações em que haja variações do nível da água entre montante e jusante. A sua configuração permite que os peixes possam escolher qual a profundidade de deslocação, podendo cada septo possuir uma ou duas fendas. Contudo, a configuração das fendas faz com que o caudal que escoar através das mesmas possa ser elevado, o que ameaça a deslocação de espécies com menores capacidades natatórias (Clay, 1995).

A sua largura apresenta os mesmos requisitos mínimos para os descarregadores, sendo esta de igual forma dependente da dimensão do maior peixe a utilizar a passagem (Santo, 2005).

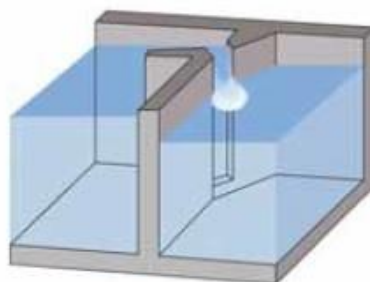


Fig. 14 - Bacia sucessiva com passagem através de fenda vertical (Santo, 2005)

4.3 FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DAS BACIAS SUCESSIVAS

4.3.1 CAUDAL

A alimentação de caudal nas bacias sucessivas pode ocorrer através de três formas de comunicação: orifício de fundo, descarregador superficial e fenda vertical.

4.3.1.1 Orifício de fundo

O caudal que escoar através de um orifício de fundo depende da sua área e do desnível entre os planos de água das bacias a montante e a jusante (Δh), sendo calculado da seguinte forma:

$$Q_o = C_o \cdot S \cdot \sqrt{2g\Delta h} \quad (m^3/s) \quad (5)$$

onde, Q_o é o caudal a escoar através do orifício de fundo (m^3/s), C_o é o coeficiente de escoamento através do orifício, S é a área da seção do orifício do orifício de fundo (m^2) e g é a aceleração da gravidade ($9.81 m/s^2$) (Larinier, 2002c).

No que se refere ao coeficiente de escoamento, este depende da forma e do perfil do orifício, pelo que os seus valores, normalmente, variam entre 0,65 a 0,85 (Larinier, 2002c).

4.3.1.2 Descarregador de superfície

O caudal que escoar sobre um descarregador depende da geometria, posicionamento, largura e profundidade relativa do mesmo ao fundo da bacia. Assim, tendo em conta esta possível variação de configurações, o escoamento pode ser de dois tipos: afogado “*streaming flow*” e desafogado “*plunging flow*” (Figura 15).

O escoamento desafogado ocorre quando a corrente de água passa sobre a soleira do descarregador, mergulhando na bacia a jusante. Neste tipo de escoamento, o jato é desafogado (Figura 16), ou seja, o nível da água na bacia a jusante situa-se abaixo do nível da soleira do descarregador, dando origem à formação de um ressalto, com a energia a ser dissipada através da mistura turbulenta. Este tipo de escoamento é algo que se deve evitar, uma vez que dá origem à formação de correntes de recirculação a jusante do do descarregador, que tendem a desorientar algumas espécies (Larinier, 2002c).

Neste tipo de escoamento o caudal escoado através do descarregador (Q_d) é expresso da seguinte forma:

$$Q_d = C_d \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_1^{1.5} \quad (m^3/s) \quad (6)$$

onde, C_d representa o coeficiente de escoamento através do descarregador superficial (normalmente assume-se um valor de 0,40), b a largura do descarregador (m) e H_1 a carga de água sobre o descarregador (m), ou seja, a diferença entre o nível da água a montante do descarregador e a soleira do descarregador (Santo, 2005).

Por sua vez, um escoamento afogado ocorre quando o afogamento da soleira do descarregador atinge 50 a 60% da carga sobre este, dando origem a um jato do tipo superficial (Figura 16). Este é caracterizado por um nível de água na bacia a jusante acima da soleira do descarregador, originando um fluxo que se prolonga à superfície e dissipa a sua energia de forma uniforme ao longo de toda a bacia (Larinier, 2002c).

O caudal que escoar, quando se verifica este tipo escoamento, é definido pela seguinte expressão:

$$Q_d = K \cdot C_d \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_1^{1.5} \quad (m^3/s) \quad (7)$$

com,

$$K = \left[1 - \left(\frac{H_1 - \Delta h}{H_1} \right)^{1.5} \right]^{0.385} \quad (8)$$

onde, K é um coeficiente de redução de caudal (< 1) induzindo pelo afogamento (Santo, 2005).

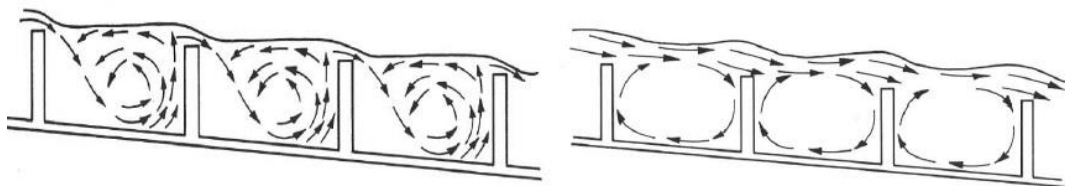


Fig. 15 - Tipos de escoamento em bacias sucessivas com descarregadores de superfície: escoamento desafogado "plunging flow" (esquerda); escoamento afogado "streaming flow" (direita) (Clay, 1995)

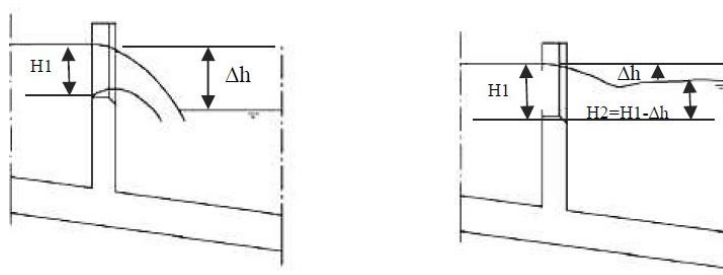


Fig. 16 - Representação esquemática de um jato mergulhante (esquerda) e de um jato de superfície (direita) em bacias sucessivas de descarregador superficial (Larinier, 2002c)

4.3.1.3 Fenda vertical

O caudal que se escoia através de uma fenda vertical (Q_f) é calculado através da seguinte equação (Larinier, 2002c):

$$Q_f = C_f \cdot b_f \cdot H_1 \cdot \sqrt{2g\Delta h} \quad (m^3/s) \quad (9)$$

onde C_f é o coeficiente de escoamento através da fenda vertical e b_f é a largura da fenda vertical (m). O coeficiente de escoamento da fenda depende da sua forma, podendo variar entre 0,65 e 0,85.

4.3.2 VELOCIDADE DE ESCOAMENTO

A velocidade de escoamento, e por consequentemente, o padrão de escoamento, são aspetos que possuem influência na deslocação dos peixes, nomeadamente, na facilidade com que esta é efetuada. Assim, a velocidade máxima de escoamento nas bacias sucessivas (v) é determinada pela queda de água entre bacias, através seguinte forma (Larinier, 2002c):

$$v = \sqrt{2g\Delta h} \quad (m/s) \quad (10)$$

Uma vez que o seu valor depende da queda de água entre bacias, este tipo de velocidade verifica-se normalmente nos descarregadores superficiais.

4.3.3 TURBULÊNCIA

Um dos fatores que exerce influência sobre o comportamento das espécies nos dispositivos de passagem de peixes é a turbulência de escoamento, uma vez que esta pode provocar desorientação nos peixes. Esta varia continuamente no tempo e no espaço, pelo o que, a sua caracterização é feita com recurso a valores médios temporais e através de variações em torno de valores médios (Odeh, et al., 2002 in Alvarez, 2008).

Na maior parte dos casos, este parâmetro é expresso geralmente sob a forma de potência volúmica dissipada (P/V), cuja expressão é a seguinte (Santo 2005):

$$P/V = \frac{\rho g Q \Delta h}{L B h_m} \quad (W/m^3) \quad (11)$$

onde, ρ é a massa volúmica da água (1000 Kg/m³), L é o comprimento da bacia (m), B é a largura da bacia (m) e h_m é a altura média de água na bacia (m).

A potência volúmica dissipada é inversamente proporcional ao volume de água existente na bacia, não devendo o seu valor ultrapassar os 200 W/m³ para os grandes salmonídeos e os 150 W/m³ para as espécies ciprinícolas (Larinier, 2002c).

5

CASOS DE ESTUDO

5.1 INTRODUÇÃO

Os dispositivos de passagem de peixes estudados foram os de Bouçoais-Sonim, Rebordelo, Nunes e Torga. Destes quatros, os primeiros dois são dispositivos do tipo misto, sendo que os de Nunes e Torga são dispositivos do tipo bacias sucessivas, pelo que a análise efetuada foi dividida pelo tipo de dispositivo.

Numa primeira fase é realizado um enquadramento geral de cada um dos A.H., apresentando-se as suas características principais.

De seguida, é apresentado um sumário das características mais relevantes dos dispositivos de passagem de peixes, tendo por base o estado atual de cada dispositivo, sendo também realizada uma análise hidráulica dos mesmos.

No que se refere à caracterização do estado atual dos dispositivos, a mesma foi suportada pela deslocação aos locais no dia 30 de maio de 2017, de onde resultou a avaliação dos seguintes parâmetros:

- | | |
|---|---|
| • Acessibilidade ao dispositivo | • Geometria do dispositivo ¹ |
| • Atratividade do dispositivo | • Limpeza |
| • Estado de conservação | • Padrão de escoamento |
| • Entrada de água no dispositivo / Saída dos peixes | • Situações anómalas |

De referir que as observações apresentadas sobre estes tópicos para cada um dos dispositivos resultam da apreciação da sua conceção em projeto e da observação do mesmo. Contudo, quanto à apreciação do estado de manutenção e conservação importa salientar que as observações dizem respeito às condições verificadas aquando da visita ao local, não sendo estas definitivas e podendo atualmente ser diferentes das referidas neste documento.

De realçar que a numeração apresentada, ao longo deste capítulo, para as bacias sucessivas nos quatro dispositivos foi elaborada tendo em conta o sentido do escoamento.

¹ Presente em Anexo

5.2 DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES DO TIPO MISTO

5.2.1 A.H. BOUÇOAIS-SONIM

O A.H. de Bouçoais-Sonim (Figura 17) encontra-se localizado no rio Rabaçal, afluente do rio Tua, entre a freguesia de Bouçoais, no concelho de Valpaços, distrito de Vila real e a freguesia de Aguiéiras, concelho de Mirandela, distrito de Bragança, sendo a área da bacia abrangida por este A.H. de 867 km² (COBA, 2007a).

O aproveitamento é formado por uma barragem de betão, do tipo gravidade, com uma altura máxima de 32 m entre a fundação e o Nível de Pleno Armazenamento (NPA), estando o coroamento, com um comprimento de 87 m, à cota 341 (COBA, 2007a).

A albufeira, para o NPA de 334 m, possui uma área inundada de 0,153 km², tendo um desenvolvimento de 2600 m. Nesta, o Nível de Máxima Cheia (NMC) está definido para a cota de 340, enquanto que Nível mínimo de exploração (Nme) está para a cota 332.

Neste troço de rio, o caudal modular é de 15,83 m³/s, sendo que o desnível entre montante e jusante, tendo por base o NPA é de 21,9 m (COBA, 2007a).

No que se refere a descargas estas são de 8,10 m³/s através da descarga de fundo e 1500 m³/s através do descarregador de cheias (COBA, 2007a).



Fig. 17 - A.H de Bouçoais-Sonim

5.2.1.1 Dispositivo de passagem de peixes

O dispositivo de passagem para peixes instalado é do tipo misto, sendo constituído por seis bacias sucessivas e elevador, conforme ilustrado na Figura 18.

As seis bacias sucessivas, representadas na Figura 19, têm como objetivo assegurar a deslocação dos peixes entre o curso de água a jusante e o elevador, permitindo vencer um desnível de 1,80 m entre estes locais. A comunicação entre bacias é realizada através de fendas verticais, sendo exceção a comunicação entre o elevador e a segunda bacia e a última bacia e o troço de rio jusante (denominação considerada tendo em conta o sentido do escoamento), uma vez que nestes a comunicação é feita com recurso a um descarregador frontal (COBA, 2007a).

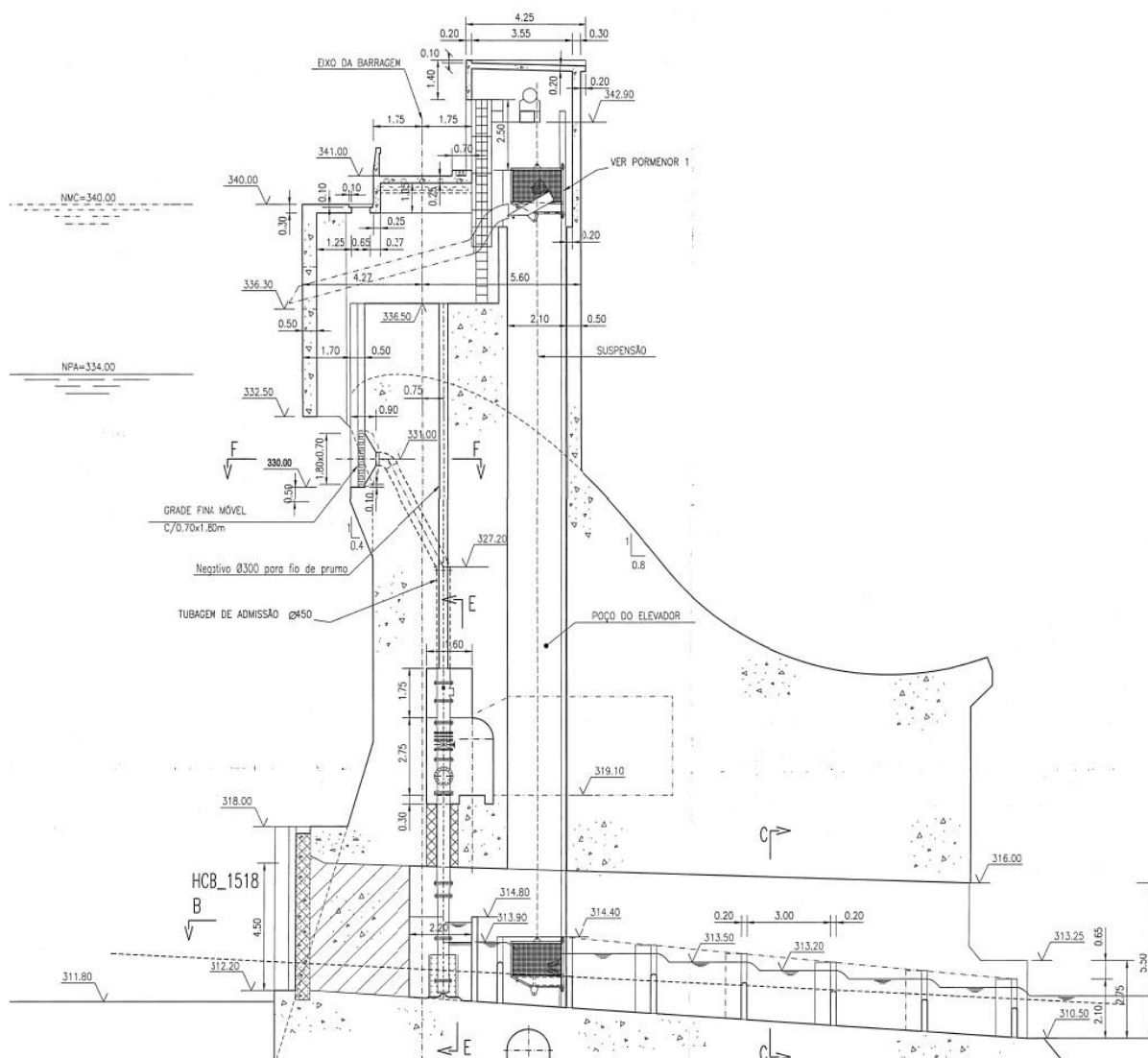


Fig. 18 - Esquemática do dispositivo de passagem de peixes de A.H. Bouçoais-Sonim (adaptado do desenho do projeto)

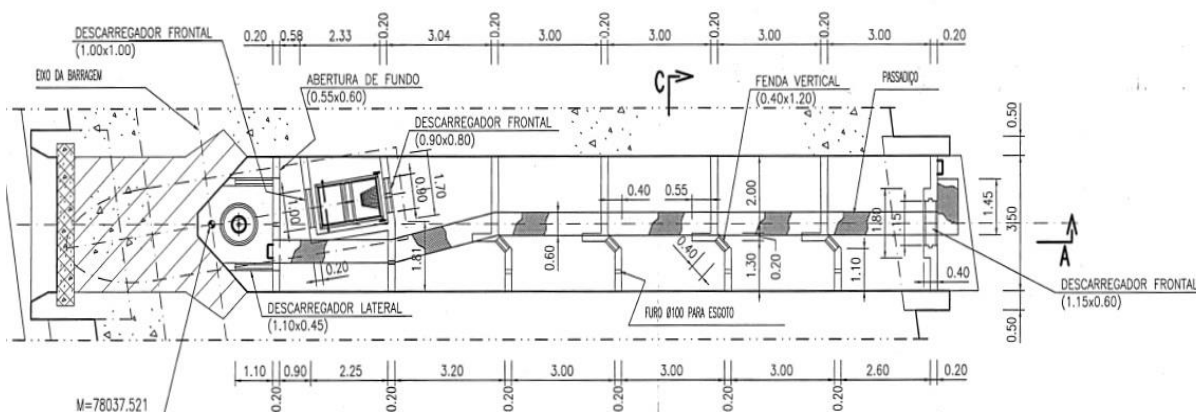


Fig. 19 - Representação das bacias sucessivas do A.H. Bouçoais-Sonim (adaptado do desenho do projeto)

O caudal escoado ao longo das bacias corresponde à totalidade do caudal ecológico, sendo este captado 1 metro abaixo do Nme da albufeira e libertado através de uma conduta situada atrás da bacia que alberga o elevador (COBA, 2007a).

Por sua vez, o elevador encontra-se presente na primeira bacia e apresenta uma área de $1,10 \times 1,80 \text{ m}^2$, com uma altura de 1,20 m, possuindo uma cuba de $0,45 \text{ m}^3$, sendo que, este permite vencer um desnível de 20,1m, caso a albufeira se encontre no NPA. Uma vez feita a elevação, os peixes são descarregados na albufeira através de um canal inclinado com um comprimento de 9,4 m, estando a sua soleira situada aproximadamente à cota 336,30.

Aquando da subida do elevador, existe uma continuidade de escoamento ao longo das bacias sucessivas, pelo que, de forma a impedir que os peixes se desloquem para montante da bacia que alberga o elevador, é levantada uma grade fina que impede a passagem dos mesmos, mas que permite a continuação do escoamento (COBA, 2007a).

Atualmente, o funcionamento do elevador efetua-se de 2 em 2 horas, demorando cerca de 5 minutos a completar a subida, enquanto que as bacias sucessivas escoam permanentemente o caudal ecológico (COBA, 2007a).

5.2.1.2 Caracterização do dispositivo de passagem de peixes

Numa primeira fase, tal como já referido, os peixes necessitam de transpor 6 bacias sucessivas, estando o elevador situado na primeira bacia. Estas encontram-se em bom estado de conservação, tendo-se constatado que o escoamento é uniforme em todas as bacias (Figura 20).

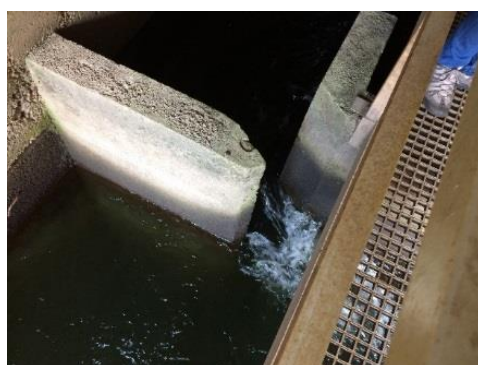


Fig. 20 - Escoamento entre bacias sucessivas

No que respeita à atração dos peixes, o dispositivo possui uma boa atratividade, uma vez que o único caudal escoado a jusante é descarregado apenas através do dispositivo de passagem de peixes, não existindo, portanto, caudais que compitam com o da entrada do dispositivo.

A entrada dos peixes para as bacias (Figura 21) é feita através de um descarregador frontal com 1,15 m de largura, possuindo uma carga máxima de água de 0,60 m. Esta configuração da entrada permite assegurar que exista sempre uma queda de água entre bacia e o nível de água a jusante de acordo com as necessidades das espécies piscícolas, assegurando, na maioria dos casos, que a mesma seja afogada, tal como observado durante a visita.

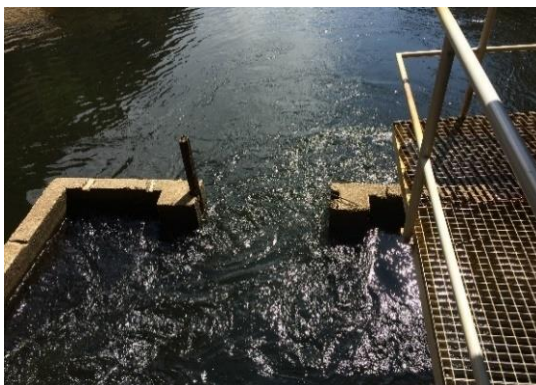


Fig. 21 - Configuração da entrada para as bacias sucessivas no A.H Bouçoais-Sonim

Transpostas as 5 bacias iniciais, os peixes alcançam a cuba do elevador, sendo a entrada para a mesma realizada através de um descarregador frontal com uma largura de 0,90 m e uma carga máxima de água de 0,80 m. Tendo em conta as observações realizadas no local, dificilmente os peixes conseguem ultrapassar esta entrada e aceder ao elevador, uma vez que a velocidade de escoamento nesta secção é excessiva, levando a que seja criada uma grande turbulência neste ponto, conforme apresentado na Figura 22. Todavia, mesmo que alguns peixes consigam aceder à cuba, estes estarão sujeitos a um caudal contínuo, o que pode provocar desorientação nos peixes e levar ao abandono da cuba.

Após entrarem na cuba e serem elevados, os peixes são descarregados para a albufeira através de um pequeno canal, representado na Figura 23, cuja soleira do mesmo se encontra à cota 336,00. Como tal, tendo em conta que o NPA da albufeira se situa à cota 334,00, a queda mínima a que os peixes estarão sujeitos é de 2,30 m, podendo ser superior para níveis de albufeira mais baixos. Nesta situação, o impacto resultante desta queda é suscetível de provocar desorientação nos peixes, podendo em alguns casos provocar mesmo danos ou a morte em alguns indivíduos.



Fig. 22 - Caudal escoado através do elevador



Fig. 23 - Desnível entre a soleira de saída dos peixes do elevador e o nível de albufeira

Além destas situações, verificou-se também a descarga, na primeira bacia, de caudal proveniente do interior do corpo da barragem, tal como representado na Figura 24. Como consequência, existe um acréscimo de caudal a escoar ao longo das bacias sucessivas, podendo este acréscimo resultar em condições hidráulicas que coloquem em causa a transponibilidade de peixes.



Fig. 24 - Descarga de caudal proveniente do corpo da barragem

De referir que a acessibilidade ao dispositivo, nomeadamente às bacias, é assegurada através de um passadiço metálico, conforme mostra a seguinte figura.



Fig. 25 - Passadiço de acesso às bacias sucessivas

5.2.1.3 Análise do funcionamento hidráulico do dispositivo de passagem de peixes

Feita a apresentação do dispositivo de passagem de peixes, bem como a caracterização dos aspetos mais relevantes, efetuou-se uma análise às condições hidráulicas das bacias sucessivas do dispositivo, visto serem o único componente do dispositivo sobre o qual existe escoamento de água.

Tal como referido anteriormente, em condições normal, o único caudal que é escoado através das bacias é o caudal ecológico, sendo este de $0,80 \text{ m}^3/\text{s}$. Como tal, conhecido este valor, a análise hidráulica do dispositivo foi realizada tendo por base o projeto de execução do dispositivo, não tendo sido necessário a realização de medições no local.

Sabendo que o caudal escoado ao longo das bacias corresponde ao caudal ecológico e tendo em consideração que a queda de água entre bacias (Δh), conforme apresentado no projeto, é de $0,30 \text{ m}$, uma fase inicial do estudo hidráulico foi realizada de forma a conhecer quais as cargas de água sobre as formas de comunicação entre bacias.

- Bacia 1 (bacia onde se encontra o elevador)

A alimentação da bacia onde se encontra o elevador é realizada através de um descarregador frontal, tendo o mesmo uma largura de 1,00 m, o que faz com que a carga de água sobre o mesmo seja de:

$$Q_d = C_d \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_1^{1.5} \leftrightarrow 0,80 = 0,40 \cdot 1,00 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot H_1^{1.5} \leftrightarrow H_1 = 0,59 \text{ m}$$

- Bacia 2

A alimentação da bacia 2, bacia a jusante do elevador, é realizada através de um descarregador frontal, tendo o mesmo uma largura de 0,90 m. Como tal, a carga de água sobre o mesmo é obtida através da equação (6):

$$Q_f = C_f \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_1^{1.5} \leftrightarrow 0,80 = 0,40 \cdot 0,90 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot H_1^{1.5} \leftrightarrow H_1 = 0,63 \text{ m}$$

- Bacia 3 – Bacia 6

A alimentação das restantes bacias é feita através de fendas verticais, pelo que a carga de água sobre as mesmas, segundo a aplicação da equação (9) é de:

$$Q_d = C_f \cdot b_f \cdot H_1 \cdot \sqrt{2g\Delta h} \leftrightarrow 0,80 = 0,65 \cdot 0,40 \cdot H_1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,30} \leftrightarrow H_1 = 1,27 \text{ m}$$

- Jusante

Por fim, a saída de caudal para jusante é feita através um descarregador frontal, possuindo este uma largura de 1,15 m. Por observações no local, a queda de água é afogada, pelo que:

$$Q_d = K \cdot C_d \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_1^{1.5} \leftrightarrow 0,80 = \left[1 - \left(\frac{H_1 - 0,30}{H_1} \right)^{1.5} \right]^{0.385} \cdot 0,40 \cdot 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot H_1^{1.5} \leftrightarrow H_1 = 0,54 \text{ m}$$

De referir que nestes cálculos os coeficientes de escoamento adotados para os descarregadores frontais e fendas, foram, respetivamente, de 0,40 e 0,65.

Através dos valores das cargas de água sobre as fendas e descarregadores foi possível calcular qual a altura média de água em cada uma das bacias através do uso da seguinte equação:

$$h_{\text{água}} = H1 + h_{\text{soleira}} - \Delta h + d_{\text{meio}} \cdot i \quad (12)$$

onde, de acordo com dados do projeto, o declive do troço das bacias sucessivas (*i*) é de aproximadamente 9,4 %, *h*_{soleira} corresponde à altura a que se encontra a soleira da forma do descarregador frontal / fenda vertical (m) e *d*_{meio} corresponde à distância entre a forma de comunicação entre bacias e o meio da bacia a jusante (m), sendo esta calculada através da soma entre a espessura da fenda vertical e metade do comprimento da bacia.

Tomando como exemplo de cálculo uma bacia intermédia alimentada através de fenda vertical, a altura média de água na bacia, ou seja, a altura de água a meio da bacia, na será de:

$$h_{\text{água}} = 1,27 + 0,60 - 0,30 + (1,50 + 0,20) \cdot 0,094 = 1,73 \text{ m}$$

De forma a auxiliar, bem como para permitir uma melhor compreensão do cálculo efetuado, apresenta-se a Figura 26.

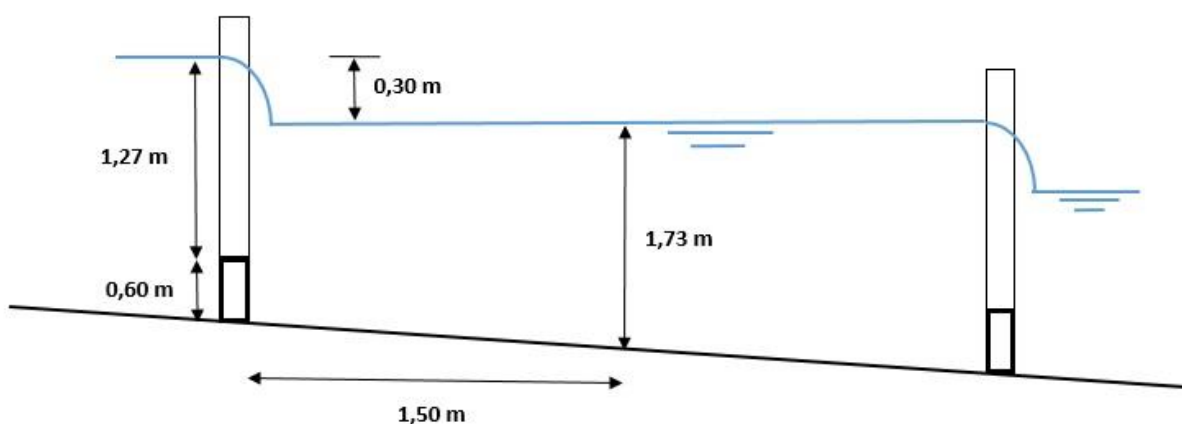


Fig. 26 - Cálculo da altura média de água (exemplo do dispositivo de Bouçoais-Sonim)

Calculadas as alturas de água sobre as bacias, a potência volúmica dissipada (P/V) em cada bacia foi determinada através da equação (11):

$$P_v = \frac{\rho g Q \Delta h}{L B h_m}$$

Tendo por base estes cálculos efetuados, o comportamento hidráulico das bacias sucessivas no A.H. Bouçoais-Sonim é o sumarizado na seguinte tabela.

Tabela 1 - Comportamento hidráulico das bacias sucessivas presentes no A.H. Bouçoais-Sonim

Bacia	Z_{bacia} (m)	$h_{\text{água}}$ (m)	$Z_{\text{água}}$ (m)	Δh (m)	H_1 (m)	Q (m ³ /s)	P/V (W/m ³)
1 (Elevador)	312,11	1,76	313,87	0,30	0,59	0,80	169,85
2	311,84	1,73	313,57	0,30	0,63	0,80	129,36
3	311,54	1,73	313,27	0,30	1,27	0,80	131,08
4	311,24	1,73	312,97	0,30	1,27	0,80	131,08
5	310,94	1,73	312,67	0,30	1,27	0,80	131,08
6	310,64	1,73	312,37	0,30	1,27	0,80	131,08

Na tabela, Z_{bacia} corresponde à cota média da soleira da bacia (m); $h_{\text{água}}$ à média de água na bacia (m); $Z_{\text{água}}$ à cota de água (m); Δh à queda de água entre bacias (m); H_1 à carga de água sobre o descarregador superficial / fenda (m); Q ao caudal total escoado (m³/s) e P/V à potência volúmica dissipada.

Além destes parâmetros, também se determinou a velocidade média de escoamento em cada uma das bacias, tendo este cálculo servido para averiguar se o valor da mesma em cada bacia põe ou não em causa o deslocamento das diferentes espécies suscetíveis de utilizar o dispositivo.

Como a largura de todas as bacias é igual (3,50 m), bem com a altura de água em todas as bacias é também similar (1,73 m), a velocidade média de escoamento, dividindo o caudal pela área de secção, em cada uma das bacias é de 0,13 m/s.

De referir que na bacia 1 não se procedeu ao cálculo da velocidade média de escoamento, uma vez que nesta os peixes já se encontram na cuba do elevador, não havendo desta maneira necessidade de deslocação por parte destes.

Por sua vez, aplicando o mesmo método de cálculo, a velocidade de escoamento através das fendas verticais é de 1,57 m/s.

5.2.2 A.H. REBORDELO

O A.H de Rebordelo (Figura 27) encontra-se localizado no rio Rabaçal, afluente do rio Tua, a cerca de 3,0 km a jusante da confluência com o rio Mente, sendo a área da bacia abrangida por este aproveitamento de 846 km² (COBA, 2007b).

O aproveitamento é constituído por uma barragem de betão, do tipo arco + gravidade, com uma altura máxima de 28,2 m entre a fundação e o NPA, estando o coroamento, com um desenvolvimento de 127 m, à cota 387,50 (COBA, 2007b).

A albufeira com um NPA de 380 m possui uma área inundada de 0,46 km², tendo a mesma um desenvolvimento de 4850 metros. No que se refere ao NMC, este encontra-se à cota 386, enquanto que o Nme encontra-se à cota 378.

O caudal modular nesta área é de 15,4 m³/s, sendo que o desnível entre montante e jusante, tendo em conta o NPA, é de 26,1 m. No que se refere a descargas estas são de 30 m³/s através da descarga de fundo e de 1480 m³/s através do descarregador de cheias (COBA, 2007b).



Fig. 27 - A.H. Rebordelo

5.2.2.1 Dispositivo de passagem de peixes

O dispositivo de passagem para peixes instalado (Figura 28) é similar ao presente no A.H. Bouçoais-Sonim, sendo também ele do tipo misto, estando instalado no corpo da barragem, na secção da galeria de derivação (COBA, 2007b).

Numa primeira fase, os peixes são obrigados a deslocar-se ao longo de seis bacias separadas por septos com fendas verticais e descarregadores frontais, cujo esquema das mesmas está presente na figura 29. Estas permitem vencer um desnível de 1,80 m, efetuando a ligação entre o pé de jusante e o interior do corpo da barragem (COBA, 2007b).

Por sua vez, o elevador apresenta volume de $1,10 \times 1,80 \times 1,20 \text{ m}^3$, possuindo uma cuba de $0,45 \text{ m}^3$, sendo usado para vencer um desnível de 24,3m. Este funciona de forma automática, sendo acionado de 2 em 2 horas (COBA, 2007b).

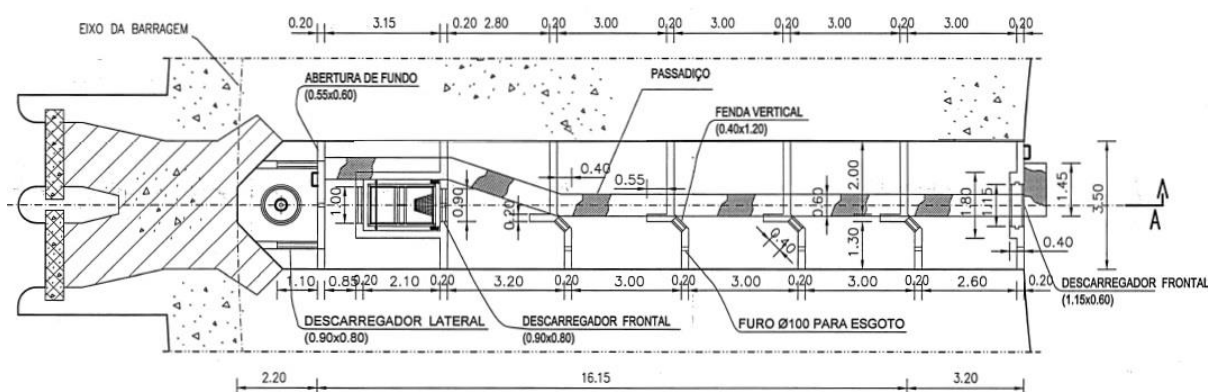


Fig. 29 - Esquema das bacias sucessivas presente no A.H. Rebordelo (adaptado do desenho do projeto)

5.2.2.2 Caracterização do dispositivo de passagem de peixes

Numa primeira fase, os peixes necessitam de transpor seis bacias, sendo a entrada para as mesmas realizada através de um descarregador frontal com uma largura de 1,15 m e uma carga máxima de água de 0,60 m. Esta entrada é considerada atrativa, uma vez que não existe a jusante caudais competidores com o proveniente do dispositivo de passagem de peixes.

Ao longo das bacias sucessivas, o escoamento entre estas é constante, sendo a queda de água de 0,30 m.

Transposta as bacias, os peixes têm possibilidade de alcançar a cuba do elevador através de um descarregador frontal com uma largura de 0,90 m e uma carga máxima de água de 0,80 m. Tendo em conta que esta configuração é igual à de Bouçoais-Sonim, e uma vez que o valor de caudal a escoar no dispositivo é o mesmo ($0,80 \text{ m}^3/\text{s}$), é de esperar que os peixes tenham problemas a aceder à cuba devido às altas velocidades de escoamento na entrada.

Caso consigam aceder à cuba do elevador, os peixes, após elevados, são descarregados para a albufeira através de uma rampa cujo a soleira da mesma se encontra aproximadamente à cota 382,00 (Figura 30). Uma vez que o NPA situa-se a 380,00 m, os peixes estão sujeitos a uma queda de cerca de 2 m, podendo ser superior para níveis de albufeira mais baixo, resultando nas mesmas consequências já mencionadas para Bouçoais-Sonim.



Fig. 30 - Rampa de lançamento dos peixes na albufeira - Dispositivo de Rebordelo

De referir que, apesar de se conhecer as características do dispositivo, não foi possível a observação das bacias sucessivas uma vez que não existe estrutura de acesso às mesmas (Figura 31). Contudo, esta nem

sempre foi uma situação corrente, uma vez que a estrutura de acesso anterior foi removida devido aos descarregamentos de cheias.



Fig. 31 - Inexistência de acesso às bacias sucessivas do dispositivo de Rebordelo

5.2.2.3 Análise do funcionamento hidráulico do dispositivo de passagem de peixes

A metodologia de análise do funcionamento hidráulico deste dispositivo foi igual à aplicada para o dispositivo de passagem de peixes presente em Bouçoais-Sonim, pelo que só serão apresentados os resultados correspondentes.

Tabela 2 - Análise do funcionamento hidráulico das bacias sucessivas presente dispositivo de passagem de peixes do A.H. Rebordelo

Bacia	Z_{bacia} (m)	$h_{\text{água}}$ (m)	$Z_{\text{água}}$ (m)	Δh (m)	H_1 (m)	Q (m ³ /s)	P/V (W/m ³)
1 (Elevador)	353,73	1,74	355,45	0,30	0,59	0,80	124,03
2	353,43	1,74	355,15	0,30	0,63	0,80	138,17
3	353,14	1,73	354,85	0,30	1,27	0,80	129,79
4	352,84	1,73	354,55	0,30	1,27	0,80	129,79
5	352,54	1,73	354,25	0,30	1,27	0,80	129,79
6	352,24	1,73	353,95	0,30	1,27	0,80	129,79

Nestas condições, a velocidade média de escoamento em cada bacia é de 0,13 m/s, sendo de 1,57 m/s nas fendas verticais.

5.3 DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES DO TIPO BACIAS SUCESSIVAS

5.3.1 A.H. NUNES

O açude do A.H. de Nunes (Figura 32) está localizado no rio Tuela, no concelho de Vinhais, freguesia de Vila Verde, a aproximadamente 17 km da nascente do rio Tuela e a 1,5 km a jusante da confluência deste rio com o rio Baceiro. No que se refere à sua área de implementação, esta ocupa 406 km² da área da bacia hidrográfica correspondente (CNPGB, s.d.; Santo, 2005).

O açude é composto por uma barragem de betão (gravidade com curvatura), com uma altura de 21,5 m acima da fundação e de 18,5 m acima do terreno natural, estando o coroamento, com um comprimento de 65,5 m, à cota 542,3 (CNPGB, s.d.).

A albufeira deste aproveitamento possui uma capacidade útil de 98×10^3 m³ e uma capacidade total de 138×10^3 m³, com os seguintes níveis: NPA à cota 535,5; NMC à cota 541,3 e Nme à cota 532,0.

As descargas máximas efetuadas neste A.H são de 52,36 m³/s através da descarga de fundo e de 1350 m³/s através do descarregador de cheias (CNPGB, s.d.).



Fig. 32 - A.H. Nunes

5.3.1.1 Dispositivo de passagem de peixes

Este aproveitamento encontra-se munido de um dispositivo de passagem de peixes do tipo bacias sucessivas (Figura 33), permitindo à comunidade piscícola vencer um desnível de 10,5 m.

Em relação às habituais construções deste tipo de dispositivo, o dispositivo de Nunes possui uma particularidade, uma vez que parte do dispositivo desenvolve-se ao longo do coroamento e o restante troço desenvolve-se a montante através de três inflexões, tal como se pode observar na Figura 34.

Aquando da sua conceção, a primeira inflexão presente nas bacias sucessivas a montante, representada na Figura 34 pelo corte C, foi concebida tendo por objetivo aumentar o NPA da albufeira. Contudo, este aumento não chegou a acontecer, o que faz com que essas seis bacias atualmente não se encontrem em funcionamento. Deste modo, a entrada de água é realizada através da primeira bacia do troço representado pelo corte B, sendo esta realizada através de duas aberturas situada a cotas diferentes (a situada a maior profundidade está à cota 534,30 e a mais à superfície está à cota 535,30). Assim, apesar de o dispositivo possuir 45 bacias, apenas 39 são utilizadas.

A separação das bacias é feita através de paredes divisórias munidas com descarregadores superficiais laterais e orifícios de fundo, sendo exceção os três primeiros septos a montante, uma vez que possuem apenas orifícios de fundo de maiores dimensões.

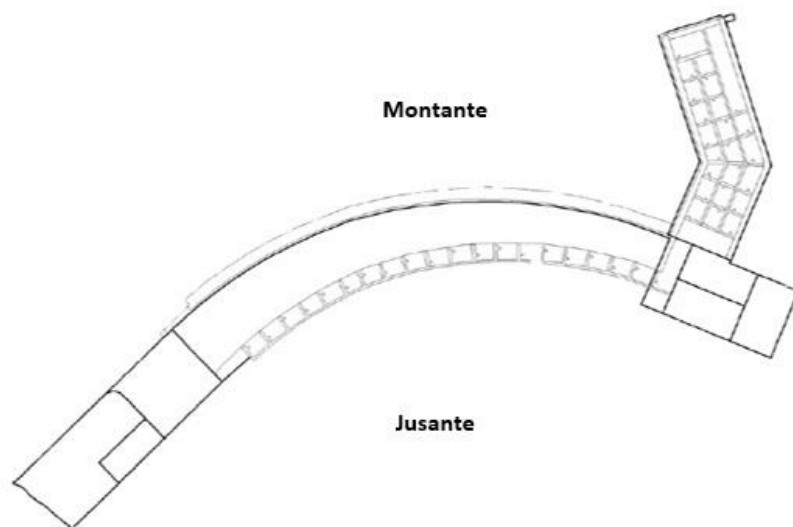


Fig. 33 - Desenho em planta da passagem para peixes no A.H. de Nunes (Santo, 2005)

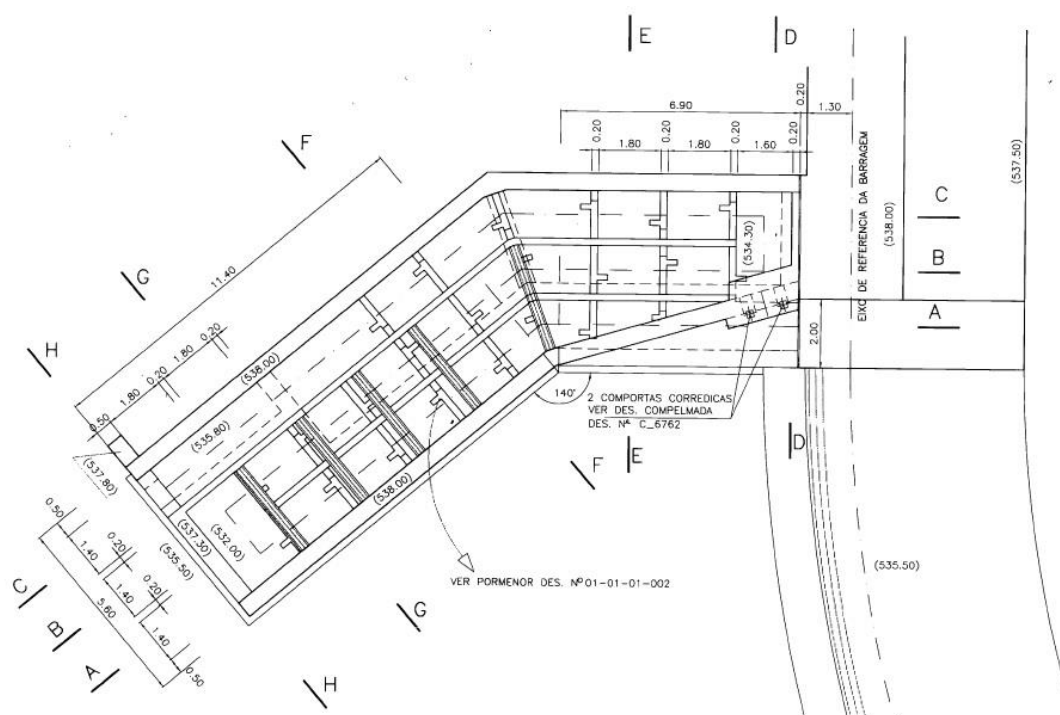


Fig. 34 - Troço a montante do dispositivo de passagem de peixes no A.H. Nunes (Adaptado do projeto)

5.3.1.2 Caracterização do dispositivo de passagem para peixes

A caracterização dos aspetos mais relevantes do respetivo dispositivo de passagem de peixes foi elaborada tendo por base as observações efetuadas no dia 30 de março de 2017.

A entrada de peixes para o dispositivo é feita através de um descarregador superficial, com uma largura de 37 cm, sendo esta localizada próximo da margem direita e junto à descarga de caudal ecológico conforme se verifica na Figura 35.

Uma vez que o caudal ecológico é superior ao caudal escoado através do dispositivo de passagem de peixes, o dispositivo de passagem de peixes poderia apresentar problemas em termos de atratividade. Neste sentido, a presença de uma parede divisória entre estes caudais surge como uma medida que permite, de certa forma, minimizar o efeito competidor do caudal ecológico, podendo permitir aos peixes que encontrem com maior facilidade a entrada das bacias sucessivas.



Fig. 35 - Localização da entrada do dispositivo de peixes (seta vermelha) e do caudal ecológico (seta verde)

A saída dos peixes do dispositivo para a albufeira é assegurada através de dois orifícios situados a cotas diferentes (Figura 36). Além de permitir a saída dos peixes para a albufeira, estes dois orifícios são os responsáveis pela alimentação de caudal no dispositivo, sendo a regulação deste caudal feita através de comportas mural de acionamento manual.

Atualmente, o dispositivo é explorado com posição fixa das comportas ao longo de todo o ano, fazendo com que o caudal no dispositivo dependa das variações do nível da albufeira. Como tal, esta situação poderá comprometer a eficácia do dispositivo.

Adicionalmente, aquando das visitas realizadas a este dispositivo, verificou-se a acumulação de lixo junto às comportas, sendo que tal situação pode potenciar a colmatagem ou obstrução parcial dos dois orifícios, afetando assim o caudal alimentado às bacias e impedindo os peixes de alcançarem a albufeira.



Fig. 36 - Orifícios de entrada de água (saída de peixes) no dispositivo munidos de comportas do tipo mural

Para além dos constrangimentos já apresentados, verificou-se que o escoamento ao longo das bacias é variável, levando à existência de quedas desafogadas e afogadas entre bacias, sendo a Figura 37 exemplo desta situação. A somar a este aspeto, algumas das bacias transbordavam para a seguinte (Figura 38), perturbando o funcionamento das bacias posteriores.



Fig. 37 - Diferentes tipos de jatos pelo descarregador superficial: jato desafogado (bacia superior) e jato afogado (bacia inferior)



Fig. 38 - Bacia a transbordar

Uma vez presenciadas tais situações, averiguou-se quais as causas para esta heterogeneidade de escoamento, tendo-se chegado à conclusão que tal se devia, em parte, ao estado de limpeza das bacias sucessivas, uma vez que algumas destas possuíam descarregadores e/ou orifícios obstruídos (Figuras 39 e 40). A somar a esta situação, algumas bacias, além de se encontrarem assoreadas, apresentavam deposição de detritos como folhas, ramos, troncos no seu fundo (Figura 41).

Como resultado destas situações existe a acumulação de água nas bacias, sendo que em alguns casos, este aumento de altura de água faz com que o nível de água seja superior à altura do septo, provocando assim um transbordo entre bacias.



Fig. 39 - Obstrução do descarregador lateral



Fig. 40 - Orifício de fundo obstruído



Fig. 41 - Acumulação de detritos no fundo das bacias

Além de provocarem problemas hidráulicos nas passagens, estas ocorrências constituem também um entrave à movimentação dos peixes nas bacias, podendo levar ao aprisionamento dos mesmos dentro das bacias sucessivas.

No que se refere ao acesso às bacias do dispositivo de passagem para peixes, o mesmo é assegurado através de um passadiço metálico colocado em cima dos septos, permitindo assim uma circulação em segurança ao longo das mesmas. Contudo, este só permite o acesso e o deslocamento nas bacias ao longo do coroamento e nas bacias de montante cobertas pelo corpo da barragem.

Apesar de ser uma boa solução, no que diz respeito à mobilidade entre bacias, o passadiço metálico, em alguns pontos, foi colocado sobre os descarregadores laterais (Figura 39), contribuindo assim para a existência de irregularidade de escoamento ao longo das bacias sucessivas, bem como para impedir a transposição de espécies que tentem usar os descarregadores.

5.3.1.3 Análise do funcionamento hidráulico do dispositivo de passagem de peixes

Uma vez que o dispositivo em análise possui troços com diferentes características, houve necessidade de se realizar uma análise hidráulica do mesmo, tendo por base a realização de medições no local. Além disto, uma vez que não existem documentos referentes à caracterização hidráulica do mesmo, tornou-se imperativo que a análise envolvesse a realização de medições no local, permitindo assim obter uma análise mais concisa e minuciosa do comportamento hidráulico.

Como tal, as mesmas foram realizadas a 4 de maio de 2017, pelo que, em primeiro lugar, efetuou-se o levantamento das características geométricas de cada bacia, no que respeita às suas dimensões, bem como às dimensões dos orifícios e descarregadores de cada uma delas, estando estes dados presentes em Anexo.

Tendo em conta que a alimentação do dispositivo é realizada por dois orifícios situados a diferentes cotas munidos com comportas, cuja posição é fixa ao longo de todo o ano, o caudal a escoar no dispositivo é variável em função do nível da albufeira. Desta forma, como ponto de partida para a análise hidráulica do dispositivo, procedeu-se à quantificação do caudal que escoava ao longo do mesmo na altura das medições.

Esta quantificação de caudal foi realizada através do levantamento das velocidades de escoamento em diferentes pontos de uma bacia, tendo-se para tal usado um micromolinete (Figura 42).

O micromolinete é um aparelho cujo princípio de funcionamento consiste na contagem do número de voltas completas que o mesmo realiza durante um determinado período de tempo (Figura 43), obtendo-

se a velocidade correspondente através da aplicação de uma curva característica que relaciona o número de voltas com a velocidade de escoamento.



Fig. 42 - Determinação de velocidades em diferentes pontos da bacia com recurso a um micromolinetete



Fig. 43 - Contagem do número de voltas do micromolinetete

Uma vez que o caudal escoado ao longo do dispositivo é o mesmo em todas as bacias, as medições de velocidade foram realizadas apenas numa bacia, tendo sido selecionada, para tal, a terceira bacia a montante. Esta escolha devendo-se ao facto da alimentação da mesma ser realizada apenas por um orifício de fundo, reduzindo assim variações no padrão de escoamento ao longo da mesma, quando comparada com as restantes.

Estas medições das velocidades de escoamento foram efetuadas a metade do comprimento da bacia e ao longo de toda a sua largura em pontos espaçados de 10 em 10 cm. Por sua vez, em termos de altura, optou-se pela medição a duas alturas, tendo sido elas a 0,25 m e a 0,50 m.

Os valores de velocidades obtidos através das medições são os apresentados na seguinte tabela, estando presente em Anexo o modo de obtenção dos mesmos.

Tabela 3 - Velocidades de escoamento em vários pontos da bacia 3

Vertical	Distância (m)	h de água (m)	v (m/s) para h = 0,25 m	v (m/s) para h = 0,50 m
1 (lado direito)	0,10	0,74	0,11	0,14
2	0,20	0,73	0,13	0,09
3	0,30	0,74	0,10	0,07
4	0,40	0,73	0,10	0,11
5	0,50	0,73	0,10	0,10
6	0,60	0,74	0,10	0,07
7	0,70	0,73	0,16	0,11
8	0,80	0,73	0,15	0,11
9	0,90	0,74	0,36	0,13
10	1,00	0,72	0,30	0,20
11	1,10	0,72	0,28	0,18
12 (lado esquerdo)	1,20	0,72	0,48	0,28

Com os valores de velocidades obtidos, o cálculo do caudal foi realizado com recurso ao Método da Secção Média, sendo este, descrito pela seguinte equação:

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{(d_i - d_{i-1})(h_i + h_{i-1})(v_i + v_{i-1})}{4} \quad (13)$$

Uma vez aplicado este método, chegou-se à conclusão que na altura das medições, o caudal a escoar ao longo do dispositivo era de 0,127 m³/s, estando o processo de cálculo presente em Anexo.

Conhecido o valor de caudal a escoar, tratou-se de averiguar o comportamento hidráulico esperado ao longo do dispositivo de passagem de peixe. Para tal, de forma a realizar uma análise representativa do funcionamento hidráulico, a mesma não foi específica a cada uma das bacias do dispositivo, mas sim à generalidade das bacias em cada um dos troços do dispositivo, uma vez que, quando situadas no mesmo troço, as condições de escoamento não variam muito de bacia para bacia.

Troço 1 (Bacias 1 a 10)

Neste troço existe um desnível entre bacias (h_{total}) de 2,30 m, pelo que, tendo em conta o comprimento total existente entre as bacias 1 e 10, o declive é de 13,6 %.

Das bacias integrantes deste troço, não se procedeu à caracterização da primeira bacia, uma vez que nesta, a alimentação de caudal depende da relação entre a cota da albufeira e a posição das comportas, situação que resulta em inúmeras configurações possíveis para um determinado caudal.

As três primeiras bacias a montante comunicam entre si apenas por um orifício de fundo com 0,32 x 0,32 m², pelo que, tendo em conta o caudal determinado, a queda de água nestas será de:

$$Q_o = C_o \cdot S \cdot \sqrt{2g\Delta h} \leftrightarrow 0,127 = 0,65 \cdot (0,32 \cdot 0,32) \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot \Delta h} \leftrightarrow \Delta h = 0,19 \text{ m}$$

Admitindo que a queda total de água neste troço de bacias é semelhante ao desnível entre as bacias 1 e 10, a queda de água entre bacias sucessivas de 4 a 10 é expressa pela seguinte equação:

$$\Delta h_{(4 \text{ a } 10)} = \frac{h_{total} - \Delta h_{(1-2)} - \Delta h_{(2-3)}}{n^{\circ} \text{ de quedas}_{(4 \text{ a } 10)}} \quad (14)$$

pelo que, através da aplicação desta equação, a queda de água nestas bacias para um caudal de 0,127 m³/s é de:

$$\Delta h_{(4 \text{ a } 10)} = \frac{2,30 - 0,19 - 0,19}{7} = 0,27 \text{ m}$$

Para este valor de queda de água, o caudal escoado através dos orifícios, com 0,04 m² de área seccional, é de:

$$Q_o = C_o \cdot S \cdot \sqrt{2g\Delta h} = 0,65 \cdot 0,04 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,27} = 0,060 \text{ m}^3/\text{s}$$

De forma a escoar-se a totalidade do caudal, o descarregador superficial escoar um caudal de 0,067 m³/s, pelo que a carga de água sobre o mesmo é de:

$$Q_d = C_d \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_1^{1.5} \leftrightarrow 0,067 = 0,40 \cdot 0,30 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot H_1^{1.5} \leftrightarrow H_1 = 0,25 \text{ m}$$

Uma vez conhecida a carga de água sobre os descarregadores, a altura de água nas bacias de 4 a 10 é determinada através da equação 12. Nesta determinação, assumiu-se que as bacias (sem contar com a bacia 10, uma vez que se trata de uma bacia de descanso) possuem na generalidade um comprimento igual à media dos comprimentos correspondentes de cada uma delas, considerando-se como tal um valor

de 1,95 m. Desta forma, tendo em conta que a soleira do descarregador se situa a uma altura de 0,60 m, a altura média de água nestas bacias será de:

$$h_{\text{água}}(4-10) = 0,25 + 0,60 - 0,27 + ((1,95/2) + 0,20) * 0,136 = 0,74 \text{ m}$$

Por sua vez, tendo em conta a altura média de água nas bacias de 4 a 10 e uma vez que as três primeiras bacias a montante possuem um comprimento médio de 1,80 m, a altura média de água nestas últimas é expressa através da seguinte equação:

$$h_{\text{água}}(i) = h_{\text{água}}(i+1) - \text{desnível entre bacias} + \Delta h_{(i \text{ e } i+1)} \quad (15)$$

Assim, tomando a bacia 3 como exemplo, a altura média de água nas bacias 2 e 3 será aproximadamente de:

$$h_{\text{água}}(3) = 0,74 - ((1,95/2) + 0,2 + (1,80/2)) * 0,136 + 0,27 = 0,73 \text{ m}$$

Com base nestas características, a potência dissipada por unidade de volume é de:

$$P/V_{(2-3)} = \frac{\rho g Q \Delta h}{L B h_{\text{água}}} = \frac{1000 * 9,81 * 0,127 * 0,19}{1,80 * 1,37 * 0,73} = 131,49 \text{ W/m}^3$$

$$P/V_{(4-10)} = \frac{\rho g Q \Delta h}{L B h_{\text{água}}} = \frac{1000 * 9,81 * 0,127 * 0,27}{1,95 * 1,37 * 0,74} = 170,17 \text{ W/m}^3$$

Troço 2 (Bacias 10 a 20)

O desnível entre bacias deste troço é de 2,67 metros, levando a que o declive seja de 15,3 %. Este desnível entre bacias é distribuído ao longo 10 bacias, pelo que a queda de água esperada é de:

$$\Delta h_{(10 \text{ a } 20)} = \frac{2,67}{10} = 0,267 \cong 0,27 \text{ m}$$

Uma vez que os orifícios deste troço possuem uma área seccional de 0,023 m², o caudal escoado através dos mesmos é de:

$$Q_o = C_o \cdot S \cdot \sqrt{2g\Delta h} = 0,65 * 0,023 * \sqrt{2 * 9,81 * 0,27} = 0,034 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nestas condições, o caudal a escoar através do descarregador superficial será de 0,093 m³/s, resultando assim numa carga de água sobre o mesmo de:

$$Q_d = C_d \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_1^{1.5} \leftrightarrow 0,093 = 0,40 * 0,3 * \sqrt{2 * 9,81} * H_1^{1.5} \leftrightarrow H_1 = 0,31 \text{ m}$$

As bacias que compõem este troço, sem contar com a bacia 20 (bacia de descanso), possuem a mesma largura e um comprimento de 1,80 m, sendo exceção duas delas que possuem um comprimento de 1,50 m. Assim, para efeitos de cálculo, considerou-se um comprimento igual à media dos comprimentos totais, tendo sido este de 1,73 m.

Tendo em conta que a soleira do descarregador neste troço se situa a uma altura de 0,80 m, a altura média de água nas bacias é de (equação 12):

$$h_{\text{água}} = 0,31 + 0,80 - 0,27 + ((1,73/2) + 0,20) * 0,153 = 1,00 \text{ m}$$

Para esta altura de água, a potência volúmica dissipada nas bacias deste troço, é na generalidade igual a:

$$P/V = \frac{\rho g Q \Delta h}{LBh_{\text{água}}} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,127 \cdot 0,27}{1,73 \cdot 1,40 \cdot 1,00} = 138,89 \text{ W/m}^3$$

Troço 3 (Bacias 20 a 39)

Por fim, o troço 3 apresenta um desnível de 6,33 m entre a bacias 20 e o nível de jusante, resultando num declive de 16,8 %. Neste, existem 20 quedas de água até se atingir o curso de água a jusante, pelo que, a queda de água entre bacias é de:

$$\Delta h_{(20 \text{ a jusante})} = \frac{6,33}{20} = 0,317 \cong 0,32 \text{ m}$$

Tal como nas bacias do troço 2, os orifícios de fundo possuem uma área de 0,023 m², fazendo com que o caudal escoado através dos mesmos seja de:

$$Q_o = C_o \cdot S \cdot \sqrt{2g\Delta h} = 0,65 \cdot 0,023 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,32} = 0,037 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como tal, o caudal a escoar pelo descarregador superficial será de 0,090 m³/s, sendo que para este caudal, a carga de água sobre o mesmo é de:

$$Q = C_d \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_1^{1.5} \leftrightarrow 0,090 = 0,40 \cdot 0,3 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot H_1^{1.5} \leftrightarrow H_1 = 0,31 \text{ m}$$

Como realizado nos outros troços, considerou-se um comprimento de bacia igual à media dos comprimentos totais das mesmas, pelo que tendo em conta que a soleira do descarregador lateral nas bacias deste troço se situa a uma altura de 0,80 m, a altura média de água nas bacias é de:

$$h_{\text{água}} = 0,31 + 0,80 - 0,32 + ((1,80/2) + 0,20) \cdot 0,162 = 0,97 \text{ m}$$

Para um caudal de 0,127 m³/s, este conjunto de bacias terá a capacidade de dissipar uma potência por unidade de volume de:

$$P/V = \frac{\rho g Q \Delta h}{LBh_{\text{água}}} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,127 \cdot 0,32}{1,81 \cdot 1,68 \cdot 0,97} = 135,82 \text{ W/m}^3$$

Uma vez realizada a determinação das alturas médias de água, assim como dos valores de queda de água entre bacias, determinou-se as velocidades do escoamento em diferentes pontos das bacias, estando as mesmas presente na seguinte tabela.

Tabela 4 - Padrão de velocidades no dispositivo de passagem de peixes do A.H. Nunes, para um caudal de 0,127 m³/s,

Bacia	Q (m ³ /s)	U _{média} (m/s)	U _{orifício} (m/s)	U _{descarregador} (m/s)
2 a 3	0,127	0,13	1,24	
4 a 10		0,12	1,50	2,30
11 a 20		0,09	1,48	2,30
21 a 29		0,08	1,61	2,51

Após determinado o comportamento esperado ao longo das bacias de cada troço, para um caudal de $0,127 \text{ m}^3/\text{s}$, efetuou-se um conjunto de medições de forma a verificar se tal comportamento era de facto representativo do funcionamento real do dispositivo para o caudal respetivo.

Para a realização desta análise, a metodologia a seguir foi a seguinte:

- Medição de alturas médias de água em cada uma das bacias;
- Com a medição da altura de água no centro de cada bacia, tendo-se conhecimento prévio da cota média da soleira de cada bacia, determinou-se a cota de água na bacia;
- A queda de água entre bacias (Δh) foi determinada pela subtração entre a cota de água na bacia a montante e a cota de água na bacia correspondente;
- Em algumas bacias, as cargas de água sobre os descarregadores (H_1) foram medidas (Figura 44), sendo que noutras foram obtidos através da diferença entre a cota de água e cota a que a soleira do descarregador se situa;
- Nos casos em que H_1 foi superior a Δh , o escoamento entre bacias é afogado, tendo sido necessário calcular o coeficiente de redução de caudal (K) através da equação (8);
- O caudal escoado através do descarregador foi obtido através da equação (6) ou (7), tendo sido esta última usada nos casos em que a queda entre bacias é afogada;
- O caudal escoado através dos orifícios foi obtido através da equação (5);
- O caudal total corresponde à soma dos caudais escoados pelos descarregadores e orifícios
- A potência volúmica dissipada (P/V) foi calculada com recurso à equação (11);

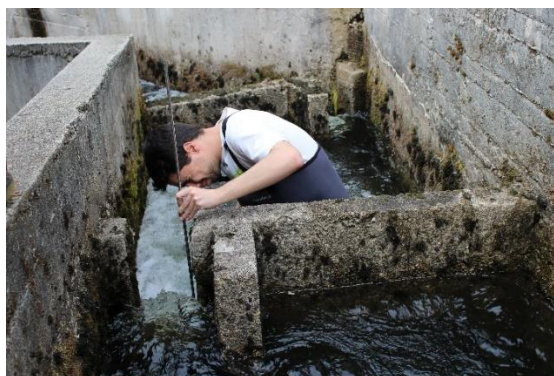


Fig. 44 - Medição de carga de água sobre os descarregadores superficiais

Os resultados obtidos através da aplicação desta metodologia são os presentes na Tabela 5.

Tabela 5 - Caracterização hidráulica com base nas medições realizadas no dispositivo de passagem de peixes no A.H. Nunes

Bacia	Z _{bacia} (m)	h _{água} (m)	Z _{água} (m)	Δh (m)	H ₁ (m)	K	Q _d (m³/s)	Q _o (m³/s)	Q (m³/s)	P/V (W/m³)
2	534,07	0,65	534,72	0,19				0,127	0,127	141,03
3	533,80	0,74	534,54	0,19				0,127	0,127	128,84
4	533,51	0,75	534,26	0,28	0,25		0,044	0,061	0,105	133,96
5	533,18	0,75	533,93	0,33	0,29	1,00	0,057	0,066	0,123	162,25
6	532,86	0,77	533,63	0,30	0,31	0,97	0,062	0,063	0,125	183,70
7	532,59	0,80	533,39	0,24	0,30	0,93	0,056	0,057	0,112	141,28
8	532,32	0,85	533,17	0,22	0,32	0,81	0,059	0,054	0,113	113,10
9	532,04	0,96	533,00	0,16	0,37	0,50	0,066	0,047	0,112	76,21
10 ⁽¹⁾	532,00	0,95	532,95	0,05	0,48	0,74	0,059	0,027	0,086	8,80
11	531,83	1,00	532,83	0,12	0,35	0,97	0,055	0,023	0,077	35,66
12 ⁽¹⁾	531,52	1,03	532,55	0,28	0,34	0,99	0,068	0,035	0,103	106,22
13 ⁽¹⁾	531,22	1,00	532,22	0,33	0,37		0,078	0,038	0,116	157,60
14 ⁽¹⁾	530,91	0,95	531,86	0,36	0,34	0,99	0,070	0,040	0,109	152,57
15	530,62	0,98	531,60	0,26	0,29	0,97	0,055	0,034	0,088	109,33
16	530,36	0,98	531,34	0,26	0,31	1,00	0,060	0,034	0,094	116,50
17 ⁽¹⁾	530,08	0,95	531,03	0,31	0,32	0,99	0,065	0,037	0,102	131,34
18	529,77	1,02	530,79	0,24	0,26	0,92	0,048	0,032	0,080	72,02
19 ⁽¹⁾	529,47	1,10	530,57	0,23	0,33	0,53	0,063	0,032	0,095	76,10
20 ⁽¹⁾	529,33	1,18	530,51	0,06	0,44		0,054	0,016	0,070	5,99
21	528,99	0,98	529,97	0,54	0,33		0,067	0,049	0,116	248,95
22	528,67	0,98	529,65	0,32	0,33	1,00	0,066	0,038	0,104	112,48
23	528,35	1,03	529,38	0,27	0,32	0,97	0,064	0,034	0,098	85,38
24	528,03	1,03	529,06	0,32	0,37	0,98	0,079	0,037	0,116	117,75
25	527,70	1,02	528,72	0,33	0,38	0,98	0,080	0,038	0,119	127,66
26	527,38	1,00	528,38	0,34	0,36	0,99	0,077	0,039	0,116	129,49
27	527,06	1,03	528,09	0,29	0,35	0,98	0,070	0,036	0,106	99,58
28 ⁽¹⁾	526,74	1,08	527,82	0,27	0,37	0,94	0,076	0,034	0,111	91,54
29 ⁽¹⁾	526,42	1,20	527,62	0,20	0,42	0,83	0,081	0,030	0,111	61,17

Tabela 5 - Caracterização hidráulica com base nas medições realizadas no dispositivo de passagem de peixes no A.H. Nunes (continuação)

Bacia	Z _{bacia} (m)	h _{água} (m)	Z _{água} (m)	Δh (m)	H1 (m)	K	Qd (m³/d)	Qo (m³/s)	Q (m³/s)	P/V (W/m³)
30 ^{(1) (2)}	526,10	1,20	527,30	0,32	0,54	0,89	0,127	0,038	0,164	143,68
31	525,77	1,13	526,90	0,40	0,55	0,94	0,135	0,042	0,176	198,76
32 ⁽²⁾	525,44	1,25	526,69	0,21	0,48	0,81	0,094	0,030	0,125	67,02
33	525,12	1,04	526,16	0,53	0,60	0,99	0,161	0,048	0,209	356,83
34	524,80	1,02	525,82	0,34	0,38	0,99	0,083	0,039	0,121	131,61
35 ⁽³⁾	524,48	0,85	525,48	0,34	0,37	0,99	0,078	0,039	0,117	131,11
36 ^{(2) (3)}	524,15	0,90	525,28	0,19	0,35	0,88	0,063	0,029	0,092	51,81
37 ^{(2) (3)}	523,83	1,08	524,91	0,37	0,48	0,96	0,112	0,041	0,152	171,98
38 ⁽³⁾	523,50	1,18	524,68	0,22	0,43	0,86	0,085	0,031	0,116	71,90
39	523,16	0,90	524,06	0,62	0,53		0,135		0,135	273,14

(1) – Acumulação de folhas/ramos/troncos no fundo na bacia; (2) – Transbordo para a bacia seguinte; (3) – Orifício de fundo (parcialmente) obstruído

Tal como referido na caracterização do dispositivo, algumas bacias, na altura das medições, possuíam os orifícios de fundo colmatados, sendo que, adicionalmente, algumas encontravam-se assoreadas e com presença de detritos no fundo das bacias, não tendo sido possível a sua remoção completa nas circunstâncias da visita. Além destas situações, Santo (2005) refere que as construções de algumas bacias deste dispositivo apresentam 1 m de diferença entre a cota altimétrica medida e o respetivo valor de projeto, resultando assim em irregularidades de escoamento ao longo do dispositivo.

Como tal, este conjunto de condicionantes levou a que as medições efetuadas originassem valores de caudal diferentes em algumas bacias do dispositivo, em especial nas do troço 2 e 3, conforme se verifica na tabela 5.

Desta forma, não se conseguiu verificar na totalidade se o comportamento hidráulico determinado anteriormente é de facto representativo do real funcionamento do dispositivo, reforçando, contudo, a ideia que os dispositivos do tipo bacias sucessivas necessitam de um maior cuidado no que se refere à limpeza dos mesmos, sob pena de a obstrução de descarregadores e orifícios promoverem uma redução da eficácia do dispositivo.

Uma vez que o comportamento do dispositivo é dependente do valor de caudal a escoar ao longo do mesmo, efetuou-se uma análise do comportamento esperado para diferentes cenários, ou seja, para diferentes valores de caudal. Assim, aplicando o mesmo método de cálculo usado anteriormente na determinação do comportamento esperado para um caudal de 0,127 m³/s, obteve-se os seguintes resultados para os diferentes troços.

Tabela 6 - Comportamento hidráulico do dispositivo de peixes de A.H. Nunes para diferentes cenários

Bacia	Δh (m)	H_1 (m)	$h_{\text{água}}$ (m)	Q_o (m³/s)	Q_d (m³/s)	Q (m³/s)	P/V (W/m³)
2 a 3	0,46		1,17	0,200		0,200	313,31
	0,37		1,01	0,180		0,180	264,12
	0,29		0,86	0,160		0,160	217,34
	0,23		0,72	0,140		0,140	173,55
	0,17		0,59	0,120		0,120	133,45
	0,12		0,47	0,100		0,100	97,97
	0,07		0,34	0,080		0,080	68,75
4 a 10	0,20	0,43	0,99	0,051	0,149	0,200	146,12
	0,22	0,38	0,92	0,054	0,126	0,180	141,59
	0,24	0,34	0,85	0,057	0,103	0,160	136,20
	0,26	0,28	0,78	0,059	0,081	0,140	129,84
	0,28	0,23	0,71	0,061	0,059	0,120	122,47
	0,30	0,17	0,63	0,063	0,037	0,100	114,10
	0,31	0,11	0,55	0,064	0,016	0,080	105,38
11 a 20	0,27	0,46	1,16	0,034	0,166	0,200	187,09
		0,42	1,12		0,146	0,180	174,07
		0,38	1,08		0,126	0,160	160,40
		0,34	1,04		0,106	0,140	146,00
		0,30	0,99		0,086	0,120	130,75
		0,25	0,94		0,066	0,100	114,50
		0,20	0,89		0,046	0,080	97,08
21 a 39	0,32	0,45	1,12	0,037	0,163	0,200	220,74
		0,42	1,08		0,143	0,180	205,67
		0,38	1,04		0,123	0,160	189,84
		0,33	1,00		0,103	0,140	173,12
		0,29	0,95		0,083	0,120	155,40
		0,24	0,90		0,063	0,100	136,49
		0,19	0,85		0,043	0,080	116,19

Com base nos valores da tabela anterior foram estimadas as velocidades médias nas bacias, bem como nos descarregadores e orifícios.

Tabela 7 - Padrões de velocidades, para diferentes caudais a escoar, no dispositivo de passagem de peixes do A.H. Nunes

Bacia	Q (m³/s)	U _{média} (m/s)	U _{orifício} (m/s)	U _{descarregador} (m/s)
2 a 3	0,20	0,14	1,95	
	0,18	0,14	1,76	
	0,16	0,14	1,56	
	0,14	0,15	1,37	
	0,12	0,15	1,17	
	0,10	0,16	0,98	
	0,08	0,16	0,78	
4 a 10	0,20	0,16	0,86	1,97
	0,18	0,15		2,09
	0,16	0,15		2,19
	0,14	0,14		2,28
	0,12	0,13		2,35
	0,10	0,11		2,41
	0,08	0,10		2,47
11 a 20	0,20	0,13	1,49	2,29
	0,18	0,12		
	0,16	0,11		
	0,14	0,10		
	0,12	0,09		
	0,10	0,08		
	0,08	0,07		
21 a 39	0,20	0,11	1,62	2,49
	0,18	0,10		
	0,16	0,09		
	0,14	0,08		
	0,12	0,08		
	0,10	0,07		
	0,08	0,06		

5.3.2 A.H. TORGA

O A.H. de Torga (Figura 45) situa-se no rio Tuela, no concelho de Vinhais, freguesia de Ervedosa, a 28 km da confluência com o rio Rabaçal e a 23 km a jusante do A.H. de Nunes (Santo, 2005).



Fig. 45 - A.H Torga

Este é um A.H. a fio de água, possuindo uma albufeira com uma capacidade de armazenamento pequena. Neste, a principal alteração do regime hidrológico deve-se à derivação de caudal entre o açude e a central hidroelétrica localizada a jusante, afetando 2,4 km de extensão do rio (Alves & Henriques, 1994).

A bacia hidrográfica drenada por este aproveitamento possui uma área de 651 km², sendo que o caudal modular é de 13,94 m³/s. Por sua vez a albufeira possui um NPA à cota 333,90 e um Nme à cota 331,90 (ENERSIS, s.d.; TECNOPOR, s.d).

5.3.2.1 Dispositivo de passagem de peixes

O dispositivo de passagem de peixes do A.H. Torga (Figura 46) encontra-se inserido na margem esquerda, sendo este do tipo bacias sucessivas.

As bacias sucessivas possuem uma área de 1,80 x 1,30 m² em planta, com exceção da primeira bacia a montante que possui uma área de 3,70 x 1,30 m² e da segunda bacia que possui uma área de 2,00 x 1,30 m². A comunicação entre as bacias é realizada através de descarregadores superficiais laterais com 0,25 x 0,30 m² e orifícios de fundo com 0,20 x 0,25 m², sendo exceção as três primeiras bacias a montante que apenas comunicam entre si através orifícios de fundo, com 0,45 x 0,45 m². Por sua vez, a queda de água entre bacias é constante ao longo de todo o dispositivo, sendo de 0,30 m (Hidro4, 1992).

Devido ao espaço disponível para a construção do dispositivo, este apresenta uma particularidade na sua conceção, uma vez que a sua configuração é do tipo “chicane”, permitindo assim que, apesar do canal do dispositivo de passagem de peixes se desenvolver a jusante do açude e do elevado número de bacias, a entrada para o dispositivo não se encontre muito afastado do obstáculo.

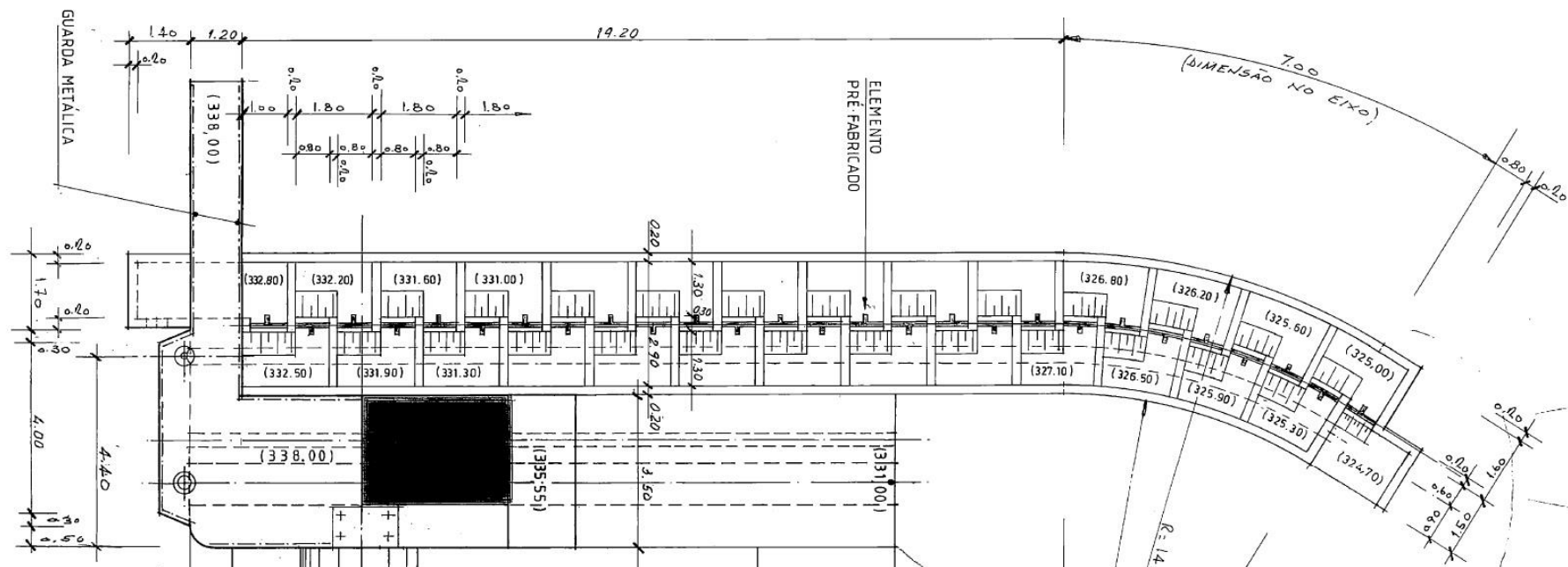


Fig. 46 – Vista em planta do dispositivo de passagem de peixes do A.H. Torga (adaptado do projeto)

5.3.2.2 Caracterização do dispositivo de passagem de peixes

A entrada de água no dispositivo, e correspondente saída dos peixes para a albufeira, é realizada através de dois orifícios, um superior de 0,25 x 0,30 m² e um inferior com uma área de 0,25 x 0,25 m², com soleiras às cotas 333,65 e 332,80, respetivamente, estando ambos munidos com uma comporta mural de acionamento manual. Tal como em Nunes, o posicionamento destas comportas é fixo, o que faz com que o caudal escoado através do dispositivo sofra variações consoante o nível da albufeira, podendo resultar em condições hidráulicas que não permitam a deslocação de peixes através das bacias.

A entrada dos peixes no dispositivo não é sempre feita na mesma bacia, uma vez que as bacias inferiores, dependendo do nível do rio a jusante, são inundáveis (Figura 47).



Fig. 47 - Bacias inferiores do dispositivo do A.H. Torga inundadas

No que respeita à capacidade de atração dos peixes, o dispositivo possui uma boa atratividade, uma vez que não existem caudais concorrenciais restituídos a jusante. Para que tal aconteça, o caudal ecológico descarregado a jusante é transportado por uma conduta enterrada, sendo descarregado na última bacia do dispositivo.

Todavia, apesar de ser atrativo para os peixes, o dispositivo apresenta alguns problemas que potenciam a redução do número de peixes que se deslocam para montante através do dispositivo. Numa das bacias a meio do dispositivo, a deslocação de peixes é impossibilitada devido ao facto da queda de água nesta bacia ser muito elevada e da velocidade de escoamento através do orifício de fundo também ser elevada (Figura 48). Como resultado destas debilidades, a coluna de água na bacia é muito baixa, não permitindo assim uma dissipação de turbulência adequada, o que leva a que a deslocação dos peixes seja impedida.

Além deste aspeto, a separação entre as bacias 8 e 9, a contar de jusante, não possui septo, o que faz com que o escamento entre essas bacias seja diferente do verificado no restante do dispositivo, causando assim implicações hidráulicas nas bacias a jusante.

Nas restantes bacias, alguns dos septos também se encontram algo degradados, o que leva a que haja diferentes comportamentos hidráulicos nas bacias, juntos aos septos. De realçar também que os descarregadores laterais possuem ranhuras para colocação de ensecadeiras, o que provoca perturbações de escoamento nessas zonas, conforme se visualiza na Figura 49.

Ao longo do dispositivo constatou-se que algumas das quedas de água entre bacias não se encontravam afogadas, como seria desejável (Figura 50), o que resulta num aumento de turbulência de escoamento. A somar a este aspeto, apesar da configuração do dispositivo resultar da disponibilidade existente a nível de espaço, a dimensão das bacias, bem como o modo como as mesmas estão dispostas, tendo em conta o atual estado de funcionamento, não são as mais adequadas à transposição das espécies piscícolas, uma vez que existe uma grande concentração de água no extradorso das bacias, não havendo lugar a uma dissipação de turbulência adequada (Figura 51).



Fig. 48 - Existência de condições hidráulicas que impossibilitam a passagem de peixes



Fig. 49 - Perturbação do escoamento no descarregador lateral devido à existência de ranhuras



Fig. 50 - Queda de água desafoçada



Fig. 51 - Fraca dissipação de turbulência nas bacias

Além destas condicionantes, no decorrer da visita, verificou-se que algumas bacias encontravam-se assoreadas e com deposição de detritos no fundo, sendo que alguns dos orifícios de fundo encontravam-se também obstruídos.

5.3.2.3 Análise do funcionamento hidráulico do dispositivo de passagem de peixes

Tal como referido ao longo da caracterização do dispositivo de passagem de peixes, este encontra-se num estado de degradação considerável, pelo que um estudo hidráulico com recurso a medições *in situ* não iria produzir resultados suficientemente precisos acerca da viabilidade do mesmo.

Desta forma, a análise do funcionamento hidráulico foi feita com base nos documentos do projeto, avaliando-se deste modo o comportamento hidráulico do dispositivo caso o mesmo estivesse em pleno estado de conservação e construído de acordo com o projeto.

Numa primeira análise do funcionamento hidráulico considerou-se a situação em que é escoado o máximo de caudal, sem que haja, contudo, trasbordo de água entre bacias.

Como tal, tendo em conta a configuração do dispositivo, a carga máxima de água sobre um descarregador superficial, sem que haja transbordo para a bacia seguinte, é de 0,30 m, pelo que neste caso o caudal a escoar no mesmo é de:

$$Q_d = C_d \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_1^{1.5} = 0,385 \cdot 0,25 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot 0,30^{1.5} = 0,070 \text{ m}^3/\text{s}$$

Na nota técnica do projeto é referido que o dispositivo proporciona uma queda de água entre bacias igual ao desnível entre bacias, ou seja, de 0,30 m, pelo que o caudal máximo escoado através do orifício (0,20 x 0,25 m²) é de:

$$Q_o = C_o \cdot S \cdot \sqrt{2g\Delta h} = 0,60 \cdot (0,20 \cdot 0,25) \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,30} = 0,073 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como tal, o caudal máximo a escoar no dispositivo de passagem de peixes presente no A.H. Torga é de 0,143 m³/s, sendo que, para este valor de caudal, a nota técnica do dispositivo refere que a altura média de água nas bacias é de 1,05 m.

Por sua vez, a alimentação das bacias 2 e 3 é realizada apenas por um orifício de fundo de maiores dimensões (0,45 x 0,45 m²), o que faz com que a queda de água nestas bacias seja diferente da presenciada ao longo das restantes bacias a jusante. Como tal, para o caudal máximo, a queda de água nestas bacias será de:

$$Q_o = C_o \cdot S \cdot \sqrt{2g\Delta h} \leftrightarrow 0,143 = 0,6 \cdot (0,45 \cdot 0,45) \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot \Delta h} \leftrightarrow \Delta h = 0,07 \text{ m}$$

Desta forma, a altura média de água nas duas primeiras bacias pode ser obtida através da equação (15):

$$h_{\text{água (2)}} = 1,05 - 0,30 + 0,07 = 0,82 \text{ m}$$

$$h_{\text{água (1)}} = 0,82 - 0,30 + 0,07 = 0,59 \text{ m}$$

Para que se dê a alimentação deste caudal ao dispositivo e considerando que ambas as comportas de alimentação estejam abertas, a albufeira necessita de estar à cota 333,85 (5 cm inferior ao nível do NPA). Nesta situação, a abertura inferior atua como um orifício de fundo (0,25 x 0,20 m²), enquanto que a abertura superior atua como um descarregador superficial, com uma carga de água sobre o mesmo de 0,25 m. Nestas condições, o caudal escoado pela abertura superior é de:

$$Q_d = C_d \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_1^{1,5} = 0,385 \cdot 0,25 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot 0,25^{1,5} = 0,053 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por sua vez, o caudal alimentado pela abertura inferior será de 0,090 m³/s, levando a que o desnível entre o nível da albufeira e o nível de água na bacia 1 seja de:

$$Q_o = C_o \cdot S_o \cdot \sqrt{2g\Delta h} \leftrightarrow 0,090 = 0,60 \cdot (0,25 \cdot 0,20) \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot \Delta h} \leftrightarrow \Delta h = 0,46 \text{ m}$$

Para esta valor de caudal, tendo em conta as dimensões de cada bacia, a potência volúmica dissipada ao longo das bacias será de:

$$P/V_{(1)} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,143 \cdot 0,46}{3,70 \cdot 1,30 \cdot 0,59} = 228,05 \text{ W/m}^3$$

$$P/V_{(2)} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,143 \cdot 0,07}{2,00 \cdot 1,40 \cdot 0,82} = 46,46 \text{ W/m}^3$$

$$P/V_{(3)} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,143 \cdot 0,07}{1,80 \cdot 1,40 \cdot 1,05} = 40,31 \text{ W/m}^3$$

$$P/V_{(4-28)} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,143 \cdot 0,30}{1,80 \cdot 1,40 \cdot 1,05} = 171,09 \text{ W/m}^3$$

Com base nestes resultados, o comportamento para as diferentes bacias é o representado nas seguintes tabelas.

Tabela 8 - Funcionamento hidráulico do dispositivo de Torga quando se escoar o caudal máximo possível

Bacia	Z _{bacia} (m)	h _{água} (m)	Z _{água} (m)	Δh (m)	H ₁ (m)	Q _d (m³/d)	Q _o (m³/s)	Q (m³/s)	P/V (W/m³)
1	332,80	0,59	333,39	0,46			0,090	0,143	228,05
					0,25	0,053			
2	332,50	0,82	333,32	0,07			0,143	0,143	46,46
3	332,20	1,05	333,25	0,07			0,143	0,143	40,31
4	331,90	1,05	332,95	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
5	331,60	1,05	332,65	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
6	331,30	1,05	332,35	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
7	331,00	1,05	332,05	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
8	330,70	1,05	331,75	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
9	330,40	1,05	331,45	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
10	330,10	1,05	331,15	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
11	329,80	1,05	330,85	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
12	329,50	1,05	330,55	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
13	329,20	1,05	330,25	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
14	328,90	1,05	329,95	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
15	328,60	1,05	329,65	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
16	328,30	1,05	329,35	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
17	328,00	1,05	329,05	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
18	327,70	1,05	328,75	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
19	327,40	1,05	328,45	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
20	327,10	1,05	328,15	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
21	326,80	1,05	327,85	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
22	326,50	1,05	327,55	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
23	326,20	1,05	327,25	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
24	325,90	1,05	326,95	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
25	325,60	1,05	326,65	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
26	325,30	1,05	326,35	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
27	325,00	1,05	326,05	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09
28	324,70	1,05	325,75	0,30	0,30	0,070	0,073	0,143	171,09

Tabela 9 - Velocidades ao longo do dispositivo de passagem de peixes de Torga para um caudal de 0,143 m³/s

Bacia	U _{média} (m/s)	U _{orifício} (m/s)	U _{descarregador} (m/s)
1	0,13	1,46	
			3,00
2	0,11	0,71	
3	0,09	0,71	
4 a 28	0,09	1,46	2,43

Tal como realizado para o dispositivo de Nunes, efetuou-se uma análise hidráulica do dispositivo para diferentes valores de caudais.

Tabela 10 - Comportamento hidráulico, para diferentes cenários, do dispositivo de passagem de peixes do A.H. Torga

Bacia	Q (m³/s)	Δh (m)	H ₁ (m)	h _{água} (m)	Q _o (m³/s)	Q _d (m³/s)	P/V (W/m³)
2	0,140	0,07		0,81	0,180		44,16
	0,130	0,06		0,77	0,160		37,15
	0,120	0,05		0,73	0,140		30,82
	0,110	0,04		0,69	0,120		25,18
	0,100	0,03		0,64	0,100		20,22
	0,080	0,02		0,54	0,080		12,40
3	0,140	0,07		1,04	0,140		38,12
	0,130	0,06		1,01	0,130		31,42
	0,120	0,05		0,98	0,120		25,51
	0,110	0,04		0,95	0,110		20,35
	0,100	0,03		0,91	0,100		15,91
	0,080	0,02		0,82	0,080		9,08
4 a 28	0,140	0,30	0,29	1,04	0,073	0,067	169,00
	0,130		0,26	1,01		0,057	161,54
	0,120		0,23	0,98		0,047	153,91
	0,110		0,20	0,95		0,037	146,12
	0,100		0,16	0,91		0,027	138,25
	0,080		0,07	0,82		0,007	123,31

Tabela 11 - Padrão de velocidades no dispositivo de Torga para diferentes cenários

Bacia	Q (m ³ /s)	U _{média} (m/s)	U _{orifício} (m/s)	U _{descarregador} (m/s)
2	0,14	0,13	0,69	
	0,13	0,13	0,64	
	0,12	0,13	0,59	
	0,11	0,13	0,54	
	0,10	0,12	0,49	
	0,08	0,11	0,40	
3	0,14	0,10	0,69	
	0,13	0,10	0,64	
	0,12	0,09	0,59	
	0,11	0,09	0,54	
	0,10	0,08	0,49	
	0,08	0,07	0,40	
4 a 28	0,14	0,10	1,46	2,43
	0,13	0,10		
	0,12	0,09		
	0,11	0,09		
	0,10	0,08		
	0,08	0,07		

6

ADEQUAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES ÀS ESPÉCIES PISCÍCOLAS

6.1 INTRODUÇÃO

Uma vez efetuada uma análise aos dispositivos de passagem de peixes, torna-se possível retirar ilações acerca da adequação às espécies piscícolas suscetíveis da sua utilização.

Desta forma, começa-se por efetuar um inventário da ictiofauna presente nas imediações dos A.H. em estudo, sendo que, para cada uma delas, é apresentado qual o período de migração assim como as capacidades natatórias.

Por fim, estabelece-se uma relação entre as capacidades natatórias dos peixes e as características hidráulicas dos dispositivos, de forma a avaliar se os dispositivos são adequados à transposição dos diferentes peixes considerados.

6.2 INVENTÁRIO DA ICTIOFAUNA

O inventário das espécies piscícolas foi realizado recorrendo a informação referente a campanhas de amostragem presente em estudos já realizados.

Este inventário das espécies teve como suporte uma dissertação realizada por Ronchesel (2016), cujo objetivo consistiu na avaliação dos efeitos ecológicos de vários obstáculos físicos de pequenas dimensões, como açudes, assim como em pequenas e grandes barragens, nas comunidades de peixes e invertebrados da região norte de Portugal. Entre os obstáculos analisados neste estudo encontram-se o A.H. de Nunes, Rebordelo e Torga, sendo que nestes foram realizadas campanhas de amostragem das espécies piscícolas a montante e a jusante durante a primavera/verão de 2016.

Por sua vez, o inventário da ictiofauna nas proximidades do A.H. Bouçoais-Sonim foi realizado através da consulta do Estudo de Impacte Ambiental (EIA) correspondente, no qual é mencionado as espécies presentes no rio Rabaçal na altura do ano 2000, assumindo-se que todas essas espécies se encontrariam nas imediações do A.H. (COBA, 1992).

Por fim, além destes dois documentos, este inventário teve como base as informações presentes na Carta Piscícola Nacional (Ribeiro, et al., 2007).

Deste modo, com base nestes três documentos, as espécies presentes nas imediações dos A.H em análise são as seguintes (COBA, 1992; Ribeiro, et al., 2007; Ronchesel, 2016):

Cobitidae

- *Cobitis calderoni* (Bacescu, 1962) – Verdemã do Norte

Centrarchidae

- *Lepomis gibbosus* (Linnaeus, 1758) – Perca Sol

Cyprinidae

- *Achondrostoma arcasii* (Steindachner, 1866) – Panjorca
- *Luciobarbus bocagei* (Steindachner, 1864) – Barbo do Norte
- *Pseudochondrostoma duriensis* (Coelho, 1985) – Boga do Douro
- *Squalius alburnoides* (Steindachner, 1866) – Bordalo
- *Squalius carolitertii* (Doadrio, 1988) – Escalo do Norte

Salmonidae

- *Salmo trutta* (Linnaeus, 1758) – Truta-de-rio

Segundo o Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal, estas oito espécies possuem diferentes classificações consoante a sua probabilidade de extinção, tal como ilustra a Tabela 12.

Tabela 12 - Classificação das espécies consoante a probabilidade de extinção

Sem estatuto	Pouco preocupante	Vulnerável	Em perigo	Criticamente em perigo
<i>L. gibbosus</i>	<i>L. bocagei</i> <i>P. duriensis</i> <i>Sq. carolitertii</i>	<i>Sq. alburnoides</i>	<i>A. arcasii</i> <i>C. calderoni</i>	<i>Salmo trutta</i>

Destas 8 espécies, cujas características biológicas encontram-se presentes em Anexo, apenas as seis espécies autóctones (Ciprinídeos e *Salmo trutta*) foram consideradas na análise dos dispositivos de passagem de peixes, uma vez que as espécies *Lepomis gibbosus*, pelo seu carácter invasor, e *Cobitis calderoni*, pelo seu reduzido tamanho, não foram consideradas no âmbito da avaliação da adequação dos dispositivos.

A espécie *Lepomis gibbosus* ocorre em zonas lânticas, nomeadamente em lagoas e troços de rio com baixa profundidade, correntes lentas e densa vegetação, sendo uma espécie que suporta a falta de oxigénio e altas temperaturas (Ribeiro, et al., 2007). Deste modo, as suas preferências ecológicas subentendem que a mesma terá pouca apetência para usar os dispositivos de passagem de peixes, pelo que não faz sentido considerar os indivíduos desta espécie na conceção dos mesmos. Adicionalmente trata-se de uma espécie exótica com efeitos nocivos comprovados para as espécies autóctones, fator que leva a que a sua reprodução deva ser evitada.

Por sua vez, *Cobitis calderoni* é uma espécie com um comprimento máximo de 8 cm, que vive nos troços médios e superiores dos rios com gravilha, rocha e em águas límpidas com baixa profundidade. Por seu lado, a reprodução desta espécie ocorre em troços de rio com elevador teor de oxigénio dissolvido, corrente rápida e com fundo de gravilha (Ribeiro, et al., 2007). Como tal, o seu carácter bentónico e tamanho reduzido fazem com que a mesma não tenha grandes possibilidades de sucesso no uso de qualquer dispositivo de passagem de peixes, pelo que não faz sentido considerar os peixes desta espécie aquando da conceção dos mesmos.

Das espécies consideradas, a sua distribuição pelos A.H em análise encontra-se discriminada na Tabela 13.

Tabela 13 - Distribuição das espécies piscícolas pelos diferentes A.H. em estudo

Espécie	Bouçoais-Sonim	Rebordelo	Nunes	Torga
<i>L. bocagei</i>	✓	✓	✓	✓
<i>P. duriensis</i>	✓	✓	✓	✓
<i>Sq. alburnoides</i>	✓	✓	✓	✓
<i>Sq. carolitertii</i>	✓	✓	✓	✓
<i>A. arcasii</i>	✓	✗	✗	✗
<i>Salmo trutta</i>	✓	✓	✓	✗

Conhecidas as espécies presentes nos locais em estudo é necessário ter conhecimento de qual o período de migração correspondente a cada uma, uma vez que é nesse espaço temporal que as mesmas tendem a usar os dispositivos de passagem de peixes, na procura de locais para efetuarem a reprodução. Assim, os períodos de migração das espécies consideradas são os apresentados na tabela 14 (Ribeiro, et al., 2007).

Tabela 14 - Período de migração das diferentes espécies

Espécie	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
<i>L. bocagei</i>												
<i>P. duriensis</i>												
<i>Sq. alburnoides</i>												
<i>Sq. carolitertii</i>												
<i>A. arcasii</i>												
<i>Salmo trutta</i>												

De realçar que à data dos documentos usados no inventário da ictiofauna, os mesmos não mencionam a presença da enguia-europeia (*Anguilla anguilla*) nas proximidades dos A.H. em estudo, pelo que desta forma, não se estudou a avaliação da viabilidade técnica de instalação de passagens para enguias nos respetivos A.H., tal como mencionado nas prioridades de intervenção definidas no PGE (Regulamento CE 1100/2007) para afluentes do rio Tua (3º Nível).

6.3 CAPACIDADES NATATÓRIAS DAS ESPÉCIES PISCÍCOLAS

De modo a estudar a adequação dos dispositivos às diferentes espécies é necessário um conhecimento das características natatórias das mesmas. Como tal, para efeitos deste trabalho, as capacidades natatórias dos peixes foram expressas em função da velocidade crítica (U_{crit}) e da velocidade máxima

($U_{\max}$). A primeira permite avaliar se o perfil hidráulico de velocidades de escoamento no interior dos dispositivos é adequado ao deslocamento do peixe, enquanto que a velocidade máxima permite verificar se os peixes conseguem transpor de uma bacia para a outra através dos descarregadores superficiais e/ou orifícios e/ou fendas verticais.

Além destes parâmetros, as espécies também são sensíveis à turbulência do escoamento, uma vez que a mesma pode causar desorientação nos peixes. Como tal, existem valores máximos recomendáveis para as diferentes espécies referentes à potência volúmica dissipada nas bacias.

Uma vez que todas as espécies consideradas neste estudo são potamódromas, a reprodução e respetiva migração não ocorre apenas no final do ciclo de vida, mas sim desde mais cedo e em múltiplas épocas, tendo como consequência a utilização dos dispositivos por parte de peixes da mesma espécie com dimensões variadas. Por outro lado, as migrações deste tipo de peixes não se realizam apenas para fins reprodutivos, mas também à procura de alimento e refúgio, contribuindo assim para uma maior variabilidade em relação ao comprimento dos indivíduos quando tentam usar os dispositivos (Santo, 2005). Nesta ótica e tendo em consideração que as capacidades natatórias das espécies são dependentes dos tamanhos das mesmas, considerou-se que as espécies suscetíveis de usar o dispositivo apresentam um comprimento médio igual a metade do comprimento máximo (Santo, 2005).

Com base nestas características, as capacidades natatórias das diferentes espécies são as presentes na Tabela 15.

Tabela 15 - Capacidades natatórias das diferentes espécies

Espécie	$L_{\max}$ (cm) ⁽¹⁾	$L_{\text{médio}}$ (cm) ⁽²⁾	U_{crit} (m/s)	$U_{\max}$ ⁽³⁾ (m/s)	P/V (W/m ³) ⁽⁴⁾
<i>L. bocagei</i>	100,0	29,0 ^(a)	0,81 ^(a)	2,55	150
<i>P. duriensis</i>	40,0	20,0	0,67 ± 0,11 ^(c)	1,88	150
<i>Sq. alburnoides</i>	14,0	7,00	0,54 ^(e)	0,92	150
<i>Sq. carolitertii</i>	33,0	16,5	0,54 ^(e)	1,62	150
<i>A. arcasii</i>	20,0	10,0	0,39 ^(b)	1,14	150
<i>Salmo trutta</i>	50,0	25,0	2,10 ± 1,73 ^(d)	4,03 ± 1,86 ^(d)	200

(1) Dados retirados de (Ribeiro, et al., 2007); **(2)** Metade do valor do tamanho máximo; **(3)** $U_{\max} = 0,4 + 7,4 L$, sendo L o comprimento médio do peixe (Santo, 2005); **(4)** adaptado de (Larinier, 2002c)

(a) adaptado (Mateus, et al., 2008); **(b)** $U_{\text{cruz}} = 0,15 + 2,4 L$, sendo L o comprimento médio do peixe (Santo, 2005); **(c)** adaptado de (Branca, 2015); **(d)** adaptado de (Tudorache, et al., 2008); **(e)** adaptado de (Romão, et al., 2011)

6.4 ADEQUAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES ÀS ESPÉCIES PISCÍCOLAS

O estudo da adequação dos dispositivos de passagem de peixes às espécies piscícolas foi realizado através da correlação entre as capacidades natatórias e as características hidráulicas dos dispositivos, considerando que os mesmos se encontram condições de pleno de funcionamento e com um bom estado de limpeza.

6.4.1 A.H. BOUÇOAIS-SONIM

Tal como mencionado, em condições normais, o caudal escoado no dispositivo de Bouçoais-Sonim é sempre constante, ou seja, $0,80 \text{ m}^3/\text{s}$. A este valor de caudal está associado um valor de velocidade média de escoamento nas bacias de $0,13 \text{ m/s}$, sendo esta inferior à velocidade crítica de natação das espécies consideradas, nomeadamente: *Achondrostoma arcasii*; *Luciobarbus bocagei*; *Pseudochondrostoma duriensis*; *Squalius alburnoides*; *Squalius carolitertii* e *Salmo trutta*.

No que respeita à turbulência do escoamento nas bacias sucessivas, a mesma atinge o valor máximo de $131,08 \text{ W/m}^3$, valor este inferior a 150 W/m^3 (caso dos ciprinídeos) e 200 W/m^3 (caso da *Salmo trutta*), indicando assim que os peixes não terão tendência a ficar desorientados durante a deslocação entre bacias. Além de assegurar uma boa dissipação de turbulência, o tamanho das bacias ($3,00 \times 3,50 \text{ m}^2$) também potencia a existência de zonas de descanso para os peixes, permitindo assim aos peixes recuperar forças antes de iniciar a passagem à bacia seguinte.

Contudo, apesar destas condições favoráveis, nem todas as espécies conseguirão deslocar-se de bacia em bacia, uma vez que a velocidade de escoamento nas fendas ($1,57 \text{ m/s}$) é superior à velocidade máxima de natação do *Squalius alburnoides* ($0,92 \text{ m/s}$) e da *Achondrostoma arcasii* ($1,14 \text{ m/s}$).

No que se refere aos peixes da espécie *Squalius carolitertii*, estes possuem uma velocidade de natação ($1,62 \text{ m/s}$) ligeiramente superior à velocidade de escoamento através das fendas, pelo que terão maiores dificuldades que os peixes de outras espécies, nomeadamente *Luciobarbus bocagei*, *Pseudochondrostoma duriensis* e *Salmo trutta*, em transpor as bacias. Contudo, uma vez que apenas necessitam de transpor 5 bacias, e tendo em conta que as bacias potenciam a existência de zonas de descanso, esta espécie deverá conseguir alcançar a entrada do elevador, sendo, porém, esta deslocação mais lenta do que para as outras três espécies.

Transpostas as bacias, as espécies atingem a entrada do elevador. Tendo em conta a configuração da mesma, os peixes terão dificuldades em aceder à cuba do elevador, uma vez que a velocidade de escoamento no descarregador frontal é elevada, obrigando os peixes a um enorme gasto energético de forma a contrariar a força do escoamento. Contudo, uma vez que existe escoamento contínuo através do elevador, mesmo que alguns indivíduos de maiores capacidades natatórias consigam aceder à cuba do elevador, a potência volúmica dissipada na bacia onde se situa o elevador é de $164,48 \text{ W/m}^3$, o que faz com que espécies como *Luciobarbus bocagei* e *Pseudochondrostoma duriensis* possam ficar desorientadas e abandonar a cuba.

Deste modo, aglomerando todas estas questões, o dispositivo de passagem de peixes de Bouçoais-Sonim, nas condições atuais, apenas permite que as espécies *Luciobarbus bocagei*, *Pseudochondrostoma duriensis*, *Squalius carolitertii* e *Salmo trutta* se desloquem ao longo das bacias sucessivas, dificultando, contudo, a entrada das mesmas no elevador. Como tal, este dispositivo é considerado como sendo ineficaz na transposição dos peixes para montante.

6.4.2 A.H. REBORDELO

Em termos de comportamento hidráulico, o dispositivo presente no aproveitamento hidroelétrico de Rebordelo comporta-se de maneira muito semelhante ao de Bouçoais-Sonim, uma vez que as suas configurações, bem como o caudal a escoar são iguais.

Em termos da turbulência de escoamento, este dispositivo possui um valor máximo de 138,17 W/m³, pelo que as espécies consideradas, nomeadamente *Luciobarbus bocagei*; *Pseudochondrostoma duriensis*; *Squalius alburnoides*; *Squalius carolitertii* e *Salmo trutta* conseguirão orientar-se ao longo da deslocação entre bacias. Contudo, uma vez que o caudal escoado é também de 0,80 m³/s, a velocidade de escoamento nas fendas será igual à verificada em Bouçoais-Sonim (1,57 m/s), pelo que desta forma, os espécimes de *Squalius alburnoides* não conseguirão atingir a entrada do elevador.

A configuração da entrada para o elevador é igual à presente em Bouçoais-Sonim, pelo que também neste dispositivo, devido às condições hidráulicas no local, os peixes dificilmente conseguirão aceder à cuba. Contudo, caso alguns indivíduos, nomeadamente *Luciobarbus bocagei* e *Pseudochondrostoma duriensis*, consigam aceder à cuba, estes já não terão tendência a abandonar a mesma, uma vez que a potência volúmica dissipada na bacia onde se situa o elevador é 122,65 W/m³.

Deste modo, tal como em Bouçoais-Sonim, o comportamento hidráulico verificado na entrada do elevador dificilmente permitirá a sua utilização pelos peixes, pelo que o dispositivo pode ser considerado ineficaz na transposição das espécies piscícolas.

6.4.3 A.H. NUNES

O desnível imposto pelo açude de Nunes faz com que este dispositivo apresente um percurso longo (39 bacias), resultando assim numa maior debilidade da condição fisiológica dos peixes em migração. Como tal, a deslocação dos peixes pode ser retardada, podendo em alguns casos impedir a sua migração.

Neste sentido, a existência de duas bacias de descanso (bacia 10 e 20) desempenha um papel importante no sucesso da deslocação das espécies, na medida em que estas permitem aos peixes recuperar a sua condição fisiológica.

No que se refere ao comportamento hidráulico do dispositivo, tendo em conta os resultados presentes nas tabelas 6 e 7, os peixes terão maior dificuldade em transpor as bacias do troço 3 (21 a 39), uma vez que nestas a queda de água (0,32 m) é superior ao máximo recomendável para os ciprinídeos e para a *Salmo trutta* (0,30 m). Como consequência desta queda, as velocidades de escoamento através dos orifícios e descarregadores destas bacias são de 1,62 m/s e de 2,49 m/s, respetivamente.

Sendo assim, a adequação do dispositivo foi avaliada para cinco potenciais espécies utilizadoras, sendo elas: *Luciobarbus bocagei*; *Pseudochondrostoma duriensis*; *Squalius alburnoides*; *Squalius carolitertii* e *Salmo trutta*. Destas cinco espécies, as quatro primeiras pertencem à família dos ciprinídeos, sendo a última uma espécie salmonídea, com um período de migração diferente das restantes. Como tal, a adequabilidade do dispositivo pode ser analisada tendo em conta estas duas classes de peixes.

As quatro espécies de ciprinídeos consideradas apresentam velocidade críticas superiores à velocidade média de escoamento nas bacias, pelo que numa primeira fase, todas conseguirão movimentar-se dentro das bacias. Contudo, devido ao facto de os ciprinídeos possuírem capacidades baixo-moderadas na transposição de obstáculos, estes utilizam preferencialmente os orifícios de fundo em vez dos descarregadores superficiais. Deste modo, uma vez que os indivíduos de *Squalius alburnoides* apresentam uma velocidade máxima de natação (0,90 m/s) inferior à velocidade de escoamento através dos orifícios, o dispositivo não é considerado adequado para esta espécie.

Além desta espécie, *Squalius carolitertii* possui uma velocidade máxima de natação igual à velocidade de água através dos orifícios (1,62 m/s), pelo que, tendo em conta que até alcançar a primeira bacia de descanso tem de ultrapassar 19 bacias, os elementos desta espécie dificilmente conseguirão deslocar-se ao longo do dispositivo devido ao desgaste energético a que seriam submetidos.

Por sua vez, a espécie *Salmo trutta* que possui elevadas capacidades natatórias, podendo atingir velocidades máximas de natação de cerca de 5 m/s, pelo que tendo em conta as características hidráulicas do dispositivo, a mesma conseguirá deslocar-se ao longo do dispositivo, quer usando os orifícios de fundo, quer através dos descarregadores superficiais.

Em suma, as únicas espécies, que em teoria, com maior ou menor dificuldade, têm possibilidade de utilizar dispositivo de passagem de peixes de Nunes são *Luciobarbus bocagei*, *Pseudochondrostoma duriensis* e *Salmo trutta*.

6.4.4 A.H. TORGA

O dispositivo de passagem de peixes de Torga apresenta um elevado estado de degradação, pelo que, nas condições atuais, dificilmente algum peixe consegue deslocar-se ao longo do mesmo. Como tal, a adequação deste dispositivo às espécies piscícolas foi realizada considerando os dados do projeto de execução, possibilitando assim aferir a adequação do dispositivo, caso este esteja em ótimo estado de conservação.

Tal como o dispositivo de Nunes, o dispositivo presente no aproveitamento hidroelétrico de Torga apresenta um percurso longo, sendo constituído por 28 bacias. Contudo, neste não existem bacias de descanso, e uma vez que a própria disposição das bacias dificilmente propicia a criação de zonas de descanso, os peixes estarão sujeitos a um desgaste considerável ao longo da sua deslocação dentro do mesmo.

Tendo por base a nota técnica referente ao dispositivo de passagem de peixes em questão, a queda de água entre bacias é, na generalidade das mesmas, de 0,30 m, valor apenas recomendável para ciprinídeos com maiores capacidades de natação. Como tal, a este valor de queda de água está associado uma velocidade máxima de escoamento através dos orifícios de 1,46 m/s e de 2,43 m/s no caso dos descarregadores superficiais laterais.

Com base nos documentos usados para inventariação da ictiofauna, os peixes suscetíveis de usar este dispositivo de passagem de peixes são os pertencentes às espécies *Luciobarbus bocagei*, *Pseudochondrostoma duriensis*, *Squalius alburnoides* e *Squalius carolitertii*, todos eles ciprinídeos. Estas espécies, ao deslocarem-se entre bacias, utilizam preferencialmente os orifícios de fundo, pelo que devido à velocidade de escoamento através dos orifícios (1,46 m/s), o dispositivo não permite a passagem da espécie *Squalius alburnoides* ($U_{\max}$ de 0,92 m/s).

Deste modo, tendo em consideração o projeto de execução, o dispositivo apresenta-se como sendo adequado apenas para *Luciobarbus bocagei*, *Pseudochondrostoma duriensis* e *Squalius carolitertii*, uma vez que são espécies com maiores capacidades natatórias e cujas velocidades máximas de natação são superiores às previstas nos orifícios de fundo. De realçar que no caso da espécie *Squalius carolitertii*, esta sentirá maiores dificuldades do que as outras espécies, pelo que o tempo de deslocação ao longo das bacias será superior.

A suportar em parte estas conclusões está também o facto de em 2002, altura em que o dispositivo apresentava um bom estado de conservação, ter-se verificado a presença de indivíduos de *Barbus sp.* nas bacias a montante do dispositivo (Santo, 2005).

6.4.5 SÍNTESE DE RESULTADOS

Analisada a adequação dos quatro dispositivos de passagem de peixes abordados, verifica-se que as espécies com capacidades natatórias mais fracas, nomeadamente *Achondrostoma arcasii*, *Squalius alburnoides* e *Squalius carolitertii* (dispositivo de Nunes) não conseguem utilizar os dispositivos de passagem de peixes analisados como forma de atingir troços de rios situados a montante dos empreendimentos.

Assim, tendo por base as conclusões apresentadas ao longo desta análise, a adequação dos dispositivos alvos de estudo é a sintetizada na Tabela 16.

Tabela 16 - Adequação dos dispositivos às espécies migratórias

Espécie	Bouçoais-Sonim	Rebordelo	Nunes	Torga
<i>L. bocagei</i>	Não	Não	Sim	Sim
<i>P. duriensis</i>	Não	Não	Sim	Sim
<i>Sq. alburnoides</i>	Não	Não	Não	Não
<i>Sq. carolitertii</i>	Não	Não	Não	Sim
<i>A. arcasii</i>	Não	n.a	n.a	n.a
<i>Salmo trutta</i>	Não	Não	Sim	n.a

De realçar mais uma vez que esta análise foi efetuada tendo por base a estimativa dos comportamentos hidráulicos e das capacidades natatórias dos peixes, devendo como tal ser apenas encarada como uma representação teórica da realidade.

7

PROPOSTA DE MEDIDAS DE MELHORIA A APLICAR NOS DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES

7.1 INTRODUÇÃO

Tendo sido efetuada a caracterização dos dispositivos, bem como analisada a adequação dos mesmos às espécies piscícolas, chegou-se à conclusão que existem condicionantes que potenciam uma redução na eficácia dos dispositivos de passagem de peixes analisados.

Como tal, neste capítulo são apresentadas propostas de melhorias a aplicar nos quatro dispositivos estudados, de forma a tornar os mesmos adequados a um maior número de espécies.

7.2 DISPOSITIVOS MISTOS DE PASSAGEM DE PEIXES

As medidas de melhoria propostas para aumentar a eficácia dos dispositivos de Bouçoais-Sonim e Rebordelo são as seguintes:

- **Proposta Mis_1:** Redução do caudal na entrada do elevador
- **Proposta Mis_2:** Quantificação do caudal proveniente do interior do corpo da barragem
- **Proposta Mis_3:** Prolongamento da rampa de descarga dos peixes na albufeira

Proposta Mis_1: Redução de caudal na entrada do elevador

Da análise realizada aos dispositivos de Bouçoais-Sonim e Rebordelo, verificou-se que, tendo em consideração o funcionamento atual, dificilmente os peixes conseguem aceder à cuba do elevador devido à elevada velocidade de escoamento no descarregador frontal que serve de entrada para a cuba.

Deste modo, de forma a possibilitar a entrada de peixes para o elevador torna-se necessário proceder à redução do caudal que escoar através da entrada, propondo-se para tal as seguintes hipóteses:

- **Proposta Mis_1a:** Derivação de parte do caudal ecológico para a bacia imediatamente jusante do elevador
- **Proposta Mis_1b:** Derivação de parte do caudal ecológico para fora do troço das bacias sucessivas.

Proposta Mis_1a

Analisando com maior detalhe o enquadramento dos elevadores nos dispositivos de Bouçoais-Sonim (Figura 54) e de Rebordelo (Figura 55) constata-se que o caudal ecológico, na primeira bacia, escoava unicamente através do elevador, razão esta que faz com que haja uma grande velocidade de escoamento no descarregador frontal que serve de entrada de peixes para a cuba.

De forma a solucionar tal condicionante, sugere-se que haja uma redução do caudal a escoar através do elevador. Para tal, tendo em conta a configuração da conduta de descarga de caudal ecológico (Figura 52) propõem-se que a redução de caudal afluente à bacia onde se encontra o elevador seja efetuada através de uma derivação de caudal com recurso à implementação de uma nova conduta munida com uma válvula reguladora de caudal, no cone convergente da conduta atual, conforme representado na Figura 53.

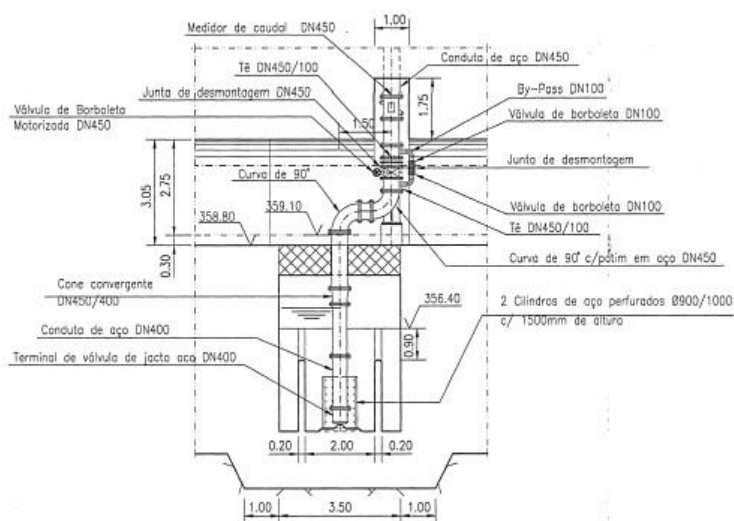


Fig. 52 - Conduta de descarga de caudal ecológico nos A.H. Bouçoais-Sonim e Rebordelo (adaptado do projeto)

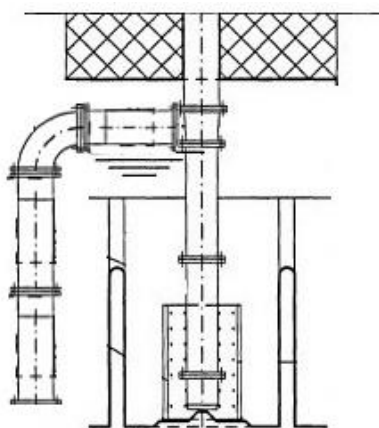


Fig. 53 - Configuração da conduta de derivação do caudal

Com a implementação desta nova conduta, a descarga do caudal desviado deverá ser realizada através do septo a jusante da bacia onde se situa o elevador, estando a conduta implementada junto ao solo da bacia.

Idealmente, esta descarga deverá ser efetuada no lado contrário à posição da fenda vertical que permite o acesso à bacia, reduzindo assim a competição com o caudal de atração no elevador. Contudo, devido ao enquadramento dos elevadores, esta localização de descarga, por questões espaciais, apenas é recomendável no dispositivo de Rebordelo, conforme apresentado nas Figuras 54 e 55.

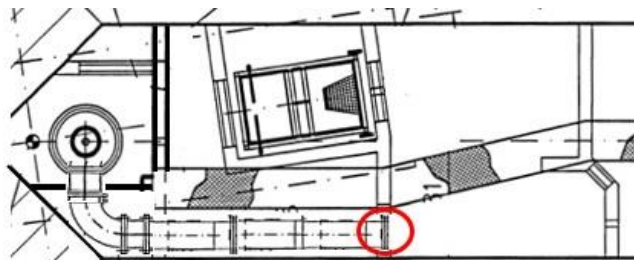


Fig. 54 - Localização da conduta de derivação de caudal ecológico no dispositivo de Bouçuais-Sonim

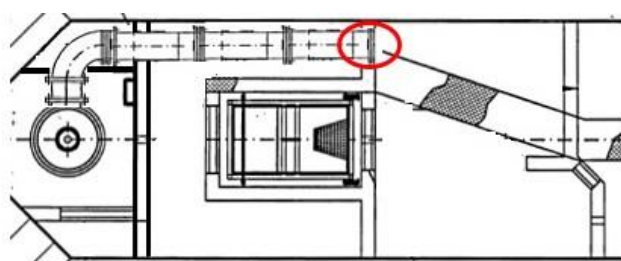


Fig. 55 - Localização da conduta de derivação de caudal ecológico no dispositivo de Rebordelo

De forma a evitar a entrada de peixes na conduta de derivação, esta deverá ser equipada com uma grelha, cujo tamanho permita o escoamento contínuo de água, mas impeça a passagem de peixes para montante através da mesma.

Por sua vez, numa perspetiva de evitar a competição entre caudais, visto que tal situação poderia levar a retardamentos no acesso dos peixes à cuba, recomenda-se que o caudal desviado não seja superior a metade do total, ou seja, deverá ser no máximo de $0,40 \text{ m}^3/\text{s}$.

Assim, com a implementação desta medida, haveria lugar a uma suavização das condições hidráulicas na entrada para o elevador, sendo que nas restantes bacias a jusante o caudal escoado manter-se-ia nos $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Proposta Mis_1b

Esta alternativa foi elaborada com o propósito de se afigurar como uma medida de salvaguarda, caso se verifique que na prática, o escoamento de $0,80 \text{ m}^3/\text{s}$ ao longo das seis bacias não seja o mais adequado para a deslocação dos peixes.

Deste modo, esta proposta apresenta-se como uma reformulação da proposta Mis_1a, sendo que a diferença entre elas consiste na localização da restituição do caudal derivado, uma vez que com esta proposta propõem-se que a descarga seja realizada junto à entrada para o dispositivo, conforme exemplificado na Figura 56 para o caso de Bouçuais-Sonim.

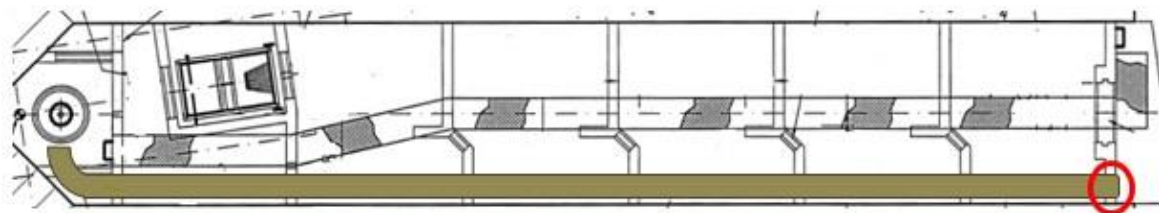


Fig. 56- Localização da descarga de caudal ecológico derivado no A.H. Bouçoais-Sonim (Propostas Mis_2b)

No que se refere à conduta de derivação do caudal ecológico, a configuração da mesma seria semelhante a aplicar na proposta Mis_1a (Figura 53), porém, em vez de estar posicionada junto ao chão, esta seria apoiada nos septos das bacias, prolongando-se em toda a sua extensão até ao local de descarga.

Todavia, a descarga do caudal desviado não deverá ser efetuada diretamente sobre o curso de água a jusante, pois tal situação pode resultar num aumento de turbulência de escoamento junto à entrada do dispositivo. Como tal, sugere-se que a descarga seja efetuada num canal inserido à saída do dispositivo, propondo-se que o mesmo tenha um comprimento total de 4 m e uma altura de 2 m, tal como ilustrado na Figura 57.

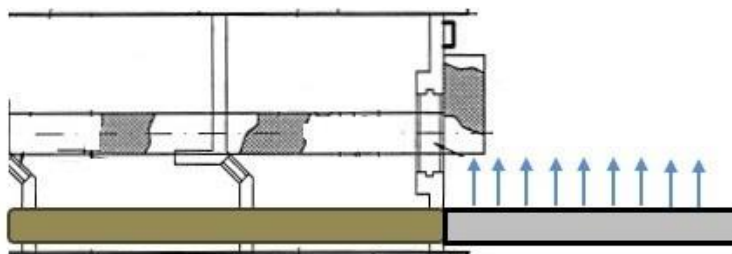


Fig. 57 - Inserção de um canal de ao longo do qual se efetua a descarga do caudal desviado

Este canal deverá possuir uma abertura do mesmo lado da entrada do dispositivo de passagem de peixes, de forma a que o caudal libertado aumente a atratividade da mesma, devendo a configuração desta abertura permitir uma descarga suavizada de caudal no curso de água. Como tal, sugere-se que abertura presente no canal possua um comprimento total de 3 m e uma largura de 0,20 m. De igual modo, sugere-se que a mesma seja situada a uma altura que possibilite que a descarga de caudal, na maioria das vezes, seja realizada aproximadamente ao mesmo nível a que se situa o rio. Assim, evitar-se-ia a presença de turbulência junto à entrada do dispositivo, diminuindo assim o risco de peixes serem atraídos para junto da abertura em vez de se deslocarem para a entrada do dispositivo.

Tal como na proposta anterior, de modo a que o caudal proveniente do dispositivo não seja mascarado, o caudal desviado deverá ser no máximo de $0,40 \text{ m}^3/\text{s}$, resultando assim numa velocidade máxima de escoamento através da abertura de $0,67 \text{ m/s}$.

De forma a impedir o deslocamento de peixes através da abertura do canal, esta deverá ser equipada com uma grelha com espaços de tamanho suficiente para impedir a entrada de peixes, mas que permita o escoamento contínuo do caudal ecológico derivado.

Tendo todos estes aspetos em consideração, para além de dar solução ao problema associado à entrada dos peixes no elevador, a implementação desta proposta fará com que os peixes sintam a uma maior distância o efeito atrativo da corrente, potenciando desta forma o encaminhamento para a entrada do dispositivo.

Proposta Mis_2: Quantificação do caudal adicional proveniente do interior do corpo da barragem

Além da descarga de caudal ecológico nas bacias sucessivas, a realização das visitas permitiu constatar que existe a descarga de um caudal adicional proveniente do interior do corpo da barragem.

Uma vez que esta descarga adicional localiza-se sobre a bacia onde se situa o elevador, existe uma aumento de caudal a escoar nas bacias a jusante, aumento este que pode fazer com sejam criadas condições hidráulicas ao longo das bacias sucessivas prejudiciais ao deslocamento dos peixes.

Deste modo, antes de se proceder à elaboração de qualquer hipótese de resolução, existe a necessidade de quantificar qual o acréscimo de caudal no dispositivo devido a esta descarga adicional. Como tal, uma vez que se conhece o valor do caudal ecológico escoado ao longo do dispositivo, a quantificação poderá ser efetuada através da medição de caudal numa das bacias a jusante, sendo que estas medições deverão ser realizadas ao longo de um certo período de tempo, como forma de averiguar se o valor de caudal adicional é constante ou variável.

Caso se verifique que o caudal adicional é constante, dever-se-á averiguar se a transposição dos peixes nas bacias é posta em causa. Por sua vez, caso se verifique que este caudal adicional não é constante ou que o mesmo coloca em causa a deslocação dos peixes ao longo das bacias sucessivas, uma solução possível a implementar passará por derivar a sua descarga, recorrendo-se para tal a uma solução idêntica à apresentada na Proposta Mis_1b.

Proposta Mis_3: Prolongamento da rampa de descarga dos peixes na albufeira

Tal como apresentado na caracterização geral dos dispositivos de Bouçoais-Sonim e Rebordelo, os peixes são descarregados na albufeira através de um canal cuja soleira se situa, nos dois dispositivos, a uma altura de cerca 2 m da albufeira tendo em conta o NPA, e a uma altura de cerca 4 m, caso a albufeira se situe à cota do Nme. Como tal, para esta diferença de alturas, a queda de peixes pode ser prejudicial para os mesmos, uma vez que pode levar a que fiquem desorientados, assim como provocar ferimentos, sobretudo nos peixes de menores dimensões.

De forma a minimizar este problema, uma proposta de melhoria passará por um prolongamento da rampa de descarga de peixes, de modo a que a soleira da mesma esteja sempre à cota da albufeira.

Em termos estruturais, manter-se-ia a rampa de descarga de peixes situada dentro do corpo da barragem, efetuando-se um prolongamento da mesma até se atingir a cota da albufeira. Para tal, a rampa de prolongamento seria implementada sobre um apoio articulado móvel, com a parte final assente sobre um material flutuante. Desta forma garante-se que a rampa possua diferentes inclinações, assegurando que a descarga de peixes seja sempre efetuada ao nível da água.

Todavia, uma vez que a rampa de prolongamento pode possuir diferentes inclinações consoante a cota da albufeira, existe o risco de os peixes serem projetados em queda livre na transição entre a rampa fixa (que liga o elevador ao segmento de rampa sobre o apoio articulado móvel) e a rampa de prolongamento. Como tal, propõem-se que esta transição entre a componente fixa e a componente móvel seja tapada, permitindo assim encaminhar os peixes ao longo da restante rampa.

Ao serem descarregados através de uma rampa de inclinação constante, a descarga dos peixes na albufeira, poderá em alguns ser realizada a uma grande velocidade, podendo tal situação ser nefasta para os indivíduos. Deste modo, a parte final da rampa de prolongamento deverá terminar em troço horizontal, cujo comprimento deverá ser o suficiente para permitir reduzir a velocidade de entrada dos peixes na albufeira e garantir que os mesmos não fiquem retidos na rampa.

7.3 DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES DO TIPO BACIAS SUCESSIVAS

Alguns problemas existentes nos dispositivos de Nunes e Torga são comuns aos dois, pelo que é possível elaborar propostas de melhorias comuns aos dois dispositivos:

- **Proposta BS_1:** Automatização das comportas reguladoras de alimentação de caudal
- **Proposta BS_2:** Definição do regime de caudal ótimo de funcionamento do dispositivo
- **Proposta BS_3:** Definição de um período de verificação dos dispositivos
- **Proposta BS_4:** Implementação de estrutura de proteção da entrada do dispositivo
- **Proposta BS_5:** Colocação de substrato rugoso no fundo das bacias

Contudo, estes dispositivos também apresentam problemas próprios que colocam em causa a eficácia da transposição da ictiofauna, levando a que, para além das propostas gerais apresentadas, haja necessidade de apresentar propostas individuais para cada um dos dispositivos:

- **Proposta Nunes_1:** Implementação de uma nova entrada de alimentação de caudal.
- **Proposta Nunes_2:** Complementaridade entre caudal ecológico e caudal de atração do dispositivo.
- **Proposta Nunes_3:** Alteração da disposição do passadiço de acesso às bacias sucessivas.
- **Proposta Torga_1:** Reconstrução do dispositivo.

Proposta BS_1 – Automatização das comportas reguladoras de caudal

Atualmente, os dois orifícios responsáveis pela entrada de caudal no dispositivo estão munidos, cada um, com uma comporta mural de acionamento manual. A posição destas comportas, segundo informações recolhidas, é fixa, o que faz com que o caudal a entrar para o dispositivo esteja dependente do nível a que a se encontra a albufeira. Como tal, existe variação de caudal admitido ao dispositivo, sendo que, em alguns casos, estas variações fazem com que a transposição da ictiofauna seja impossibilitada.

Tendo como objetivo dar solução a este problema, em especial durante a época de migração das diferentes espécies, sugere-se que seja efetuada uma automatização das comportas que regulam a entrada de caudal para o dispositivo, permitindo que a posição das mesmas seja regulada em função da cota da albufeira através de uma sala de comando, sem necessidade de deslocações permanentes ao local.

Desta forma, seriam mantidas, de forma automática, as condições hidráulicas ótimas nas bacias sucessivas, situação esta muito importante principalmente na época de migração, não interferindo assim na eficácia do dispositivo de passagem de peixes.

Proposta BS_2: Definição do regime de caudal ótimo de funcionamento do dispositivo

Os dispositivos de passagem de peixes de Nunes e Torga são alimentados por um caudal libertado através de duas aberturas munidas com comportas, que permitem a regulação do caudal a circular no dispositivo. Contudo, nem todos os caudais possíveis de escoar permitem uma deslocação eficaz dos peixes, uma vez que resultam em condições hidráulicas diferentes que poderão ser incompatíveis com as capacidades natatórias das espécies.

Deste modo, complementarmente à regulação das comportas propostas em BS_1, é aconselhável definir uma gama adequada de caudal a circular nestes dispositivos, de forma a potenciar a utilização dos dispositivos pela comunidade piscícola existente.

Sendo dispositivos de passagem de peixes do tipo bacias sucessivas, as velocidades de escoamento através dos orifícios e dos descarregadores dependem da queda de água entre bacias e das dimensões do orifício, pelo que, o parâmetro crítico usado na definição da gama de caudais adequada para as espécies foi a turbulência de escoamento (parâmetro este caracterizado ao longo do presente trabalho através da potência volúmica dissipada).

- **Nunes**

Tendo por base a análise presente no subcapítulo 6.4, o dispositivo é considerado adequado para *Luciobarbus bocagei*, *Pseudochondrostoma duriensis* e *Salmo trutta*.

Para as espécies *Luciobarbus bocagei* e *Pseudochondrostoma duriensis*, uma vez que são ciprinídeos, o valor máximo recomendável de potência volúmica dissipada é de 150 W/m³, pelo que de forma a não ultrapassar este valor, o caudal a circular no dispositivo, tendo por base os resultados presente na Tabela 6, deve situar-se entre 0,08 – 0,10 m³/s.

No caso da *Salmo trutta*, uma vez que o seu período de migração difere das outras espécies, o caudal a escoar no dispositivo deve ser no máximo de 0,14 m³/s, permitindo assim que a potência volúmica dissipada não ultrapasse o valor máximo recomendável para esta espécie, nomeadamente de 200 W/m³.

- **Torga**

Este dispositivo, caso se encontre em pleno estado de conservação, é apenas adequado para *Luciobarbus bocagei*, *Pseudochondrostoma duriensis* e *Squalius carolitertii*, ambos ciprinídeos. Como tal, de acordo com a Tabela 10, a gama de caudais adequada para potenciar a deslocação de um maior número de indivíduos é de 0,08 – 0,11 m³/s, uma vez que para estes caudais, a potência volúmica dissipada é inferior a 150 W/m³.

Na Tabela 17 são apresentadas as gamas de caudais ótimos, por época de migração, a implementar nos dispositivos de Nunes e Torga, de modo a garantir uma maior eficácia na transposição de peixes para montante.

Tabela 17 - Gama de caudal adequada para os dispositivos de passagem de peixes de Nunes e Torga consoante as diferentes épocas de migração

Dispositivo	Gama de caudal entre março e julho (m ³ /s)	Gama de caudal entre novembro e fevereiro (m ³ /s)
Nunes	0,08 – 0,10	0,08 – 0,14
Torga	0,08 – 0,11	n.a

De referir que nas outras alturas do ano, uma vez que não é provável que haja migração de peixes, o caudal a escoar nos dispositivos não necessita de se encontrar dentro das gamas definidas na tabela anterior. Como tal, o caudal a escoar entre os meses de agosto a outubro, em Nunes, e entre agosto a fevereiro, em Torga, pode situar-se abaixo dos 0,08 m³/s. Contudo, nunca dever-se-á interromper totalmente o caudal, pois poderá sempre haver algum peixe dentro do dispositivo.

Proposta BS_3 – Definição de um período de verificação do dispositivo

Na realização das visitas aos dispositivos de passagem de peixes de Nunes e Torga verificou-se que, em algumas bacias, os orifícios de fundo e/ou descarregadores superficiais encontravam-se colmatados,

causando assim constrangimentos ao funcionamento hidráulico das bacias e na deslocação dos peixes. Além disto, também foi possível encontrar detritos, tais como areia, folhas ou ramos, depositados no fundo das bacias, o que levou a concluir que os dispositivos de bacias sucessivas necessitam de um maior cuidado em termos de limpeza do que os outros tipos de dispositivos.

Tendo isto em consideração, sugere-se a realização de verificações periódicas dos dispositivos, de acordo com a seguinte periodicidade:

- Antes do início da época de migração das trutas e dos ciprinídeos proceder à verificação do estado do dispositivo e limpeza do mesmo caso necessário.
- Verificação e limpeza mensal das bacias sucessivas durante os meses de novembro a fevereiro, período de migração da truta,
- Durante o período de migração dos ciprinídeos, a verificação do dispositivo deve ser mensal, podendo tornar-se bimensal caso se justifique.

Porém, caso se verifique a ocorrência de situações extremas, tais como precipitação forte, cheias ou ventos fortes, a verificação do dispositivo deve ser efetuada após o término destas ocorrências.

Nesta ótica, caso os períodos de cheias não sejam muito prolongados, a interrupção de caudal a circular pelas bacias sucessivas através do fecho das comportas de alimentação de caudal poderá ser vista também como uma boa solução a implementar, diminuindo assim o risco de detritos serem arrastados com o escoamento para dentro do dispositivo, tornando mais fácil a limpeza do mesmo e diminuindo o risco de haver obstrução dos orifícios de fundo e dos descarregadores superficiais.

Proposta BS_4 – Implementação de estrutura de proteção da entrada do dispositivo

A alimentação de caudal nos dispositivos de Nunes e Torga é realizada através de dois orifícios munidos com comportas. Como tal, existe a possibilidade destes serem obstruídos com detritos arrastados pelo escoamento, resultando assim numa diminuição do caudal a escoar no dispositivo e num impedimento de acesso à albufeira por parte dos peixes.

Este arrastamento poderá igualmente resultar numa grande acumulação de detritos nas imediações das comportas, situação esta verificada na visita do dia 4 de maio de 2017 ao dispositivo de Nunes (Figura 58). Como tal, poder-se-á dar o caso dos peixes saírem do dispositivo e terem dificuldades em orientar-se de acordo com a corrente, ou até mesmo, serem feridos pela presença de detritos.



Fig. 58 - Presença de detritos junto às aberturas de admissão de caudal

De forma a evitar este cenário sugere-se a implementação de uma grelha que permita a retenção dos detritos de dimensões consideráveis, tal exemplificado na Figura 59.



Fig. 59 - Grelha de retenção de detritos no elevador de Touvedo

A grelha deverá ser sustentada por materiais flutuantes, não devendo possuir uma profundidade muito elevada, sugerindo-se no máximo 1 metro de profundidade, permitindo assim aos peixes passarem por baixo dela, de forma a seguirem a sua deslocação para montante. De modo a que os peixes ao sair do dispositivo possam sentir o efeito da corrente, assim como recuperar as suas condições fisiológicas, sugere-se também que esta estrutura seja localizada a uma distância adequada da saída de peixes.

Por sua vez, dever-se-á proceder a uma inspeção visual da acumulação de detritos confinados na rede, sugerindo-se que a mesma seja efetuada de 2 e 2 meses, na qual, se necessário, dever-se-á proceder à remoção dos mesmos.

Proposta BS_5: Colocação de substrato rugoso no fundo das bacias

Uma das maneiras de potenciar um maior número de passagens por parte dos peixes, sobretudo nos que possuem menores capacidades natatórias, passa por aplicar uma superfície rugosa no fundo das bacias, a fim de reduzir a velocidade da corrente de água junto ao fundo (FAO/DVWK, 2002).

Como tal, a implementação de uma superfície rugosa poderá ser alcançada através colocação de pedras no fundo da bacia, devendo estas ser incorporadas no betão, de modo a que não sejam arrastadas com o escoamento.

Desta forma, seria interessante estudar a aplicação desta proposta, em pelo menos uma das bacias de cada dispositivo, de modo a averiguar se realmente existe uma redução significativa das velocidades de escoamento no fundo das bacias.

Além de beneficiar os peixes de menores dimensões, esta proposta também poderia ter benefícios nos peixes que já conseguem transpor o dispositivo, podendo diminuir o esforço físico da deslocação.

Proposta Nunes_1: Construção de uma nova abertura de entrada de caudal

Após uma análise dos níveis da albufeira do A.H. Nunes constatou-se que os mesmos apresentam grandes variações ao longo do ano. Em alguns casos, estas variações fazem com o nível da albufeira se situe abaixo da cota do orifício de entrada de caudal situado a maior profundidade, resultando na ausência de escoamento ao longo das bacias sucessivas.

Face a esta situação, efetuou-se um estudo dos níveis da albufeira nas épocas de migração dos peixes entre 1 de janeiro de 2010 e 11 de maio de 2017, com recurso a valores de hora em hora, tendo como base três cenários:

- **Cenário 1:** Cota de albufeira superior a 535,30 m, o que permite que haja entrada de caudal pelos dois orifícios de entrada de água;

- **Cenário 2:** Cota de albufeira superior a 534,30 m e inferior a 535,30 m. o que faz com que apenas haja entrada de caudal para o dispositivo através da abertura situada a maior profundidade;
- **Cenário 3:** Cota da albufeira situado abaixo de 534,30 m, sendo que neste caso não existe entrada de caudal para as bacias sucessivas.

Tendo em conta estes três diferentes cenários, a percentagem de ocorrência dos mesmos foi a presente nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18 - Análise das variações do nível de albufeira durante o período de migração dos ciprinídeos

Migração de Ciprinídeos			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
03/2010 - 08/2010	59,6%	19,5%	21,0%
03/2011 - 08/2011	42,7%	43,7%	13,5%
03/2012 - 08/2012	35,7%	48,6%	15,7%
03/2013 - 08/2013	54,0%	33,8%	12,1%
03/2014 - 08/2014	51,5%	27,5%	21,0%
03/2015 - 08/2015	19,4%	42,4%	38,1%
03/2016 - 08/2016	58,7%	20,0%	21,3%
03/2017 - 05/2017	13,7%	38,9%	47,4%
Média	41,9%	34,3%	23,8%

Tabela 19 - Análise das variações do nível de albufeira durante o período de migração da *Salmo trutta*

Migração da Truta			
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
11/2009 - 02/2010	90,2%	9,4%	0,5%
11/2010 - 02/2011	79,3%	14,1%	6,6%
11/2011 - 02/2012	42,4%	48,7%	9,0%
11/2012 - 02/2013	66,6%	21,4%	12,0%
11/2013 - 02/2014	76,7%	20,0%	3,3%
11/2014 - 02/2015	56,8%	27,9%	15,3%
11/2015 - 02/2016	67,7%	20,0%	12,3%
11/2016 - 02/2017	21,9%	30,3%	47,8%
Média	62,7%	24,0%	13,3%

Na altura de migração dos ciprinídeos, verificou-se que, durante o período analisado, não existiu caudal a escoar ao longo das bacias sucessivas em média 23,8% do tempo, tendo-se atingindo um valor máximo de 47,4 % entre março e maio deste ano. No que diz respeito à época de migração da *Salmo trutta* (novembro a final de fevereiro), não existiu caudal a escoar nas bacias sucessivas em média 13,3 % do período de migração, tendo-se constatado que entre novembro de 2016 e fevereiro de 2017, em quase metade do período de migração (47,8 %) não existiu caudal a escoar pelo dispositivo de passagem de peixes.

Deste modo, de forma a elaborar uma solução para este problema, houve necessidade de averiguar qual o valor mais baixo a que a albufeira se encontrou durante a totalidade deste período, tendo-se registado o valor de cota 532,21, cota esta verificada apenas por quatro vezes ao longo dos períodos de migração das espécies entre 2010 e 2017.

Assim, de modo a assegurar que exista sempre escoamento de caudal ao longo das bacias sucessivas, sugere-se a instalação de uma terceira abertura de alimentação de caudal no troço das bacias sucessivas a montante.

Tendo em consideração as características da construção atual, a melhor solução passaria pela construção da abertura na parede divisória entre a bacia 10 e a albufeira, conforme localizado na Figura 60. Esta escolha deve-se ao facto da bacia possuir uma grande largura, evitando assim que o jato de água embata com elevada velocidade na parede oposta, situação que poderia criar um aumento de turbulência excessivo para os peixes.

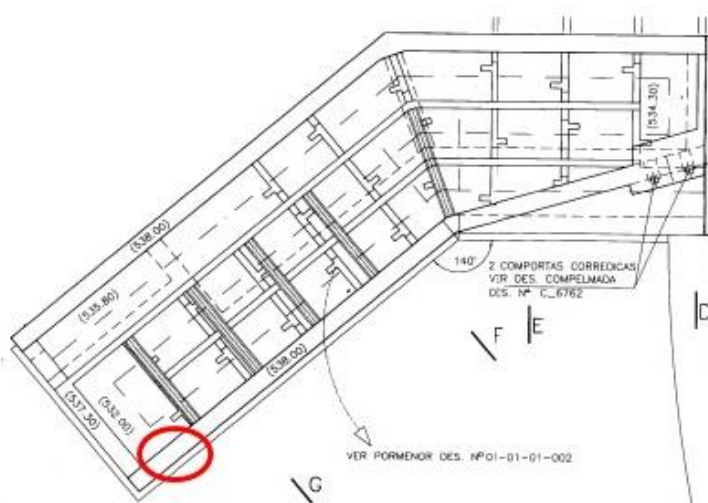


Fig. 60 - Local de implementação da nova comporta

Em termos estruturais, a parede sobre qual se localizaria a nova comporta possui uma espessura de 50 cm, possuindo uma distância de 0,75 m entre a soleira da bacia e a fundação da construção. Deste modo, sugerem-se as seguintes especificidades para a nova abertura:

- Área seccional de 0,35 x 0,35 m²
- Abertura situada entre as cotas 532,00 e 532,35
- Abertura munida de uma comporta mural de acionamento automático.

Com a aplicação desta solução, nos casos em que o nível da albufeira não permita a entrada de caudal na 1ª bacia, o escoamento no troço de montante passaria a ser realizado através do troço 2 (Bacias 10 a 20).

Para além de dar solução ao problema da falta de escoamento no dispositivo, a construção desta nova abertura também permitirá, nos casos em que só haja entrada de água pelo orifício a maior profundidade na bacia 1, um aumento de caudal a escoar ao longo do dispositivo, assegurando assim uma continuidade das condições hidráulicas nas bacias sucessivas.

De referir que caso esta solução já se encontrasse implementada, nos períodos de migração das duas espécies, entre 2010 e 2017, haveria sempre escoamento de caudal ao longo do dispositivo para os três cenários adotados.

Proposta Nunes_2: Complementaridade entre caudal ecológico e caudal de atração do dispositivo

A entrada dos peixes no dispositivo é situada junto à descarga de caudal ecológico, o que poderá levar à existência de problemas de atratividade sobre as espécies piscícolas. Nesta perspetiva, de forma a mascarar o efeito do caudal ecológico, existe uma divisória entre estas duas descargas. Contudo, a mesma pode não ser totalmente eficaz, servindo apenas para que os peixes não sejam atraídos para o dispositivo de caudal ecológico quando já se encontram nas proximidades da entrada das bacias sucessivas.

Deste modo, uma vez que segundo o título de utilização do A.H. Nunes, o caudal ecológico libertado é de 0,40 m³/s, uma solução passaria por assegurar a restituição deste valor de caudal a jusante, mas com a totalidade do mesmo a ser repartido pela descarga de caudal ecológico e pelo dispositivo de passagem de peixes.

De realçar que esta proposta deve ser vista como uma solução de recurso, uma vez que antes de se considerar a implementação da mesma seria aconselhável estudar se a barreira separatória já construída resolve com sucesso o problema da competição entre caudais.

Proposta Nunes_3: Alteração da disposição do passadiço de acesso às bacias sucessivas

O acesso às bacias sucessivas dispostas ao longo do dispositivo é conseguido através de um passadiço metálico colocado sobre as mesmas. Contudo, em algumas bacias, este situa-se sobre o descarregador lateral, levando a que as espécies que usam essa forma de comunicação para transpor para a bacia seguinte sejam privadas da sua utilização, ou em caso de utilização, que sejam provocados danos nos peixes. Além disto, esta disposição faz também com que haja maior probabilidade de obstrução do descarregador.

Como tal, sugere-se uma reorganização da disposição do passadiço metálico, de forma a que o mesmo não seja colocado sobre os descarregadores laterais, ou que o mesmo seja elevado face às bacias, ou seja, que não fique pousado sobre a estrutura.

Proposta Torga_1: Reconstrução do dispositivo

Tendo em consideração o atual estado de degradação em que o dispositivo se encontra, este dificilmente permite a passagem de peixes. Como tal, uma primeira proposta para aumentar a eficácia do mesmo passará pela reconstrução do dispositivo de acordo com o estipulado no projeto, sendo esta opinião suportada pela análise hidráulica realizada e pelo estudo de adequação às espécies apresentado anteriormente neste documento.

Após a reconstrução, dever-se-á efetuar uma monitorização do mesmo de forma a averiguar se o dispositivo realmente é eficaz na transposição das espécies. Todavia, caso se verifique que o dispositivo, mesmo após a reconstrução, não permita a deslocação dos peixes, dever-se-á considerar a projeção de um novo dispositivo de passagem de peixes de um tipo diferente.

8

MONITORIZAÇÃO DA PASSAGEM DE PEIXES NOS DISPOSITIVOS EM ESTUDO

8.1 INTRODUÇÃO

A construção de um dispositivo de passagem de peixes adequado às espécies piscícolas não é sinónimo de um dispositivo eficaz, uma vez que existem vários fatores externos, tais como, possível competição entre caudais de atração, má limpeza dos dispositivos, entre outros, que podem influenciar a sua eficácia. Estes aspetos podem fazer com que os peixes não consigam deslocar-se ao longo dos dispositivos, pelo que haverá necessidade de monitorizar a sua eficácia, no que respeita ao sucesso da utilização dos dispositivos por parte dos peixes.

Entre os métodos existentes, apresentados no ponto 3.5 deste documento, o método de monitorização mais adequado para a quantificação do número de peixes que utilizam os dispositivos consiste na contagem visual com recurso a gravação de imagens, uma vez que não envolve a captura nem o manuseamento dos peixes.

Dado que não existem dados referentes à realização de monitorizações nos quatro dispositivos em estudo, uma primeira monitorização através da gravação de imagens deverá ser realizada tendo por base o estado atual dos mesmos, de forma a ter-se conhecimento da situação de referência.

Após a monitorização da situação de referência, caso os resultados indiquem que os dispositivos não são eficazes, condição esta *a priori* esperada e suportada pela análise realizada nos capítulos 5 e 6, deverá-se aplicar as medidas de melhoria propostas no capítulo 7 e voltar a monitorizar os dispositivos através do método de contagem visual, de forma a comparar se a implementação de melhorias potenciou o número de peixes que usaram os dispositivos, quando comparados com os resultados da situação de referência.

Após a implementação das medidas de melhoria, caso o dispositivo continue a ser considerado como ineficaz, a contagem visual poderá ser posteriormente complementada através da monitorização por um método comportamental, conforme apresentado e descrito no capítulo 9. Desta forma, poderão ser compreendidas as razões que levam à ineficácia do dispositivo, uma vez que se consegue obter uma perspetiva do comportamento real dos peixes na abordagem aos dispositivos.

Sendo assim, no presente capítulo apenas são apresentadas as especificidades do método que permite aferir acerca da eficácia dos dispositivos de passagem de peixes em estudo, nomeadamente, a contagem visual de indivíduos.

8.2 DISPOSITIVO DE PASSAGEM DE PEIXES DE BOUÇOAIS-SONIM E REBORDELO

Para a monitorização da eficácia dos dispositivos de Bouçoais-Sonim e Rebordelo através do método de contagem visual, sugere-se a gravação de imagens nos períodos em que os peixes se deslocam nos dispositivos, recorrendo-se para tal à colocação de duas câmaras de filmar, sendo uma delas instalada à entrada do dispositivo e outra situada no topo do poço do elevador.

De modo a facilitar o visionamento das imagens, bem como reduzir a quantidade de dados a armazenar, é aconselhável que as câmaras apenas registem os períodos em que efetivamente se verifique a presença de peixes ao longo do dispositivo.

Nesta ótica, de forma a que a câmara localizada à entrada do dispositivo apenas grave quando existe a entrada de peixes no dispositivo, sugerem-se algumas ideias a aplicar:

- Instalação de um *scanner*, semelhante ao usado na tecnologia *Riverwatcher*, no descarregador frontal que serve de entrada às bacias sucessivas, que permita detetar a entrada de peixes para o dispositivo. Ao detetar o peixe, este sensor deverá enviar um sinal elétrico à câmara para que a mesma inicie a gravação de imagens (máximo de 1 minuto).
- Instalação de duas placas nos bordos do descarregador frontal, no qual, os peixes ao passarem por esta secção interrompem um feixe de IV, enviando um sinal elétrico à câmara, fazendo com que a mesma registre as imagens durante um certo período de tempo (máximo de 1 minuto).
- Instalação de elétrodos, semelhantes aos contadores de resistividade usados na contagem automática de peixes. Estes efetuam a contagem de peixes, registando as passagens baseando-se na diferença de condutividade entre a água e o corpo dos peixes. Assim, os peixes ao passarem em frente aos elétrodos, é enviado um sinal elétrico à câmara, permitindo que a mesma filme, durante um certo intervalo de tempo, os peixes que entraram no dispositivo.

Contudo, a aplicação de sensores de deteção de movimento poderá não ser algo viável, pelo que nesta situação deverá ser utilizado apenas a câmara. Neste caso, sugerem-se as seguintes hipóteses:

- Câmara com sensor de movimento, gravando só na altura em que deteta a passagem de peixes.
- Gravação em contínuo das imagens.

Preferencialmente, caso se decida pela utilização de um equipamento de deteção da passagem de peixes (scanners, elétrodos, feixe de IV), este deverá ser colocado nos bordos do descarregador frontal que se serve de entrada ao dispositivo, cobrindo uma altura entre a nível de água e a soleira do descarregador (Figura 61). Porém, caso esta localização não seja a mais adequada, a implementação desses constituintes deverá ser efetuada imediatamente a montante do descarregador, cobrindo a mesma altura entre o nível de água e a soleira do descarregador frontal (Figura 62).

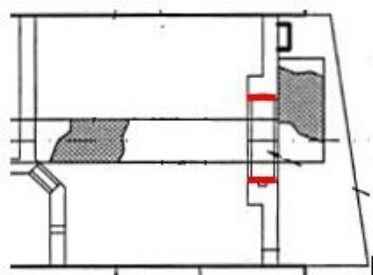


Fig. 61 - Sistema de detecção de passagem de peixes (a vermelho) no descarregador frontal e acesso às bacias sucessivas

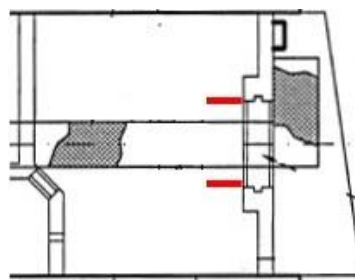


Fig. 62 - Sistema de detecção de passagem de peixes (a vermelho) a montante do descarregador frontal e acesso às bacias sucessivas

Por sua vez, sugere-se que a câmara seja apoiada na extremidade da estrutura do passadiço existente no dispositivo, permitindo assim filmar a uma altura reduzida da água, devendo esta ser apontada para o descarregador frontal de modo a facilitar a visualização dos peixes.

Uma vez que os elevadores funcionam em modo automático, a câmara localizada no topo do elevador pode realizar o registo de imagens tendo em conta o período de funcionamento do mesmo. Para que tal seja possível, o acionamento da câmara deverá ser feito através de um sinal elétrico enviado à mesma aquando da subida da cuba.

De modo a facilitar a visualização das imagens, o fundo do elevador deverá ser quadriculado e de cor clara, de modo a facilitar o registo de imagens na fase final da subida e permitir a diferenciação das espécies e determinação da sua dimensão. Como exemplo, apresentam-se nas Figura 63 e 64 o contraste entre uma cuba sem fundo claro (A.H. Rebordelo) e com fundo claro e quadriculado (A.H. de Touvedo), respetivamente.



Fig. 63 - Cuba do elevador do A.H. Rebordelo de cor escura



Fig. 64 - Tipo de material a colocar no fundo da cuba dos elevadores (Santos, et al., 2008)

Todavia, o elevador está situado dentro do corpo da barragem, o que faz com que devido à falta de luminosidade, não seja possível obter imagens de qualidade. Desta forma, aconselha-se a colocação de lâmpadas de vapor de mercúrio no topo do poço, devendo estas acionadas da mesma forma que a câmara presente no mesmo local. De igual modo, de forma a facilitar a visualização dos peixes que entram nas bacias sucessivas, nomeadamente em situações que se registe fracas condições de visibilidade, deverá

ser colocado também um sistema de iluminação a apontar para o descarregador frontal, devendo este ser constituído igualmente por lâmpadas de vapor de mercúrio.

8.3 DISPOSITIVO DE PASSAGEM DE PEIXES DE NUNES

No caso de Nunes, a monitorização da eficácia do dispositivo por contagem visual, deverá ser realizada através da colocação de câmaras numa das bacias de entrada dos peixes (não deve ser logo na bacia de entrada dos peixes), na bacia que faz a ligação entre as bacias do coroamento e os troços a montante (Bacia 20) e por fim na bacia de acesso à albufeira.

Esta escolha deve-se ao facto do dispositivo ser longo, pelo que a primeira localização permitirá verificar quais as espécies que entram no dispositivo. Por sua vez, um sistema visual sobre a bacia 20 permitirá comparar as imagens desta bacia com as obtidas pelo primeiro sistema localizado junto à entrada, aferindo-se qual o tempo que os peixes levam a subir o troço de bacias correspondente e se todos os peixes conseguem subir as bacias correspondentes. Por sua vez, a visualização dos peixes que chegam à última bacia permitirá determinar qual o tempo total que os peixes demoram a ultrapassar o dispositivo e se todos os peixes conseguem completar a subida no dispositivo.

Para a implementação deste sistema sugere-se a instalação de uma câmara de filmar nas bacias mencionadas e a colocação de lâmpadas de vapor de mercúrio, sendo estes componentes colocados num suporte metálico, tal como exemplificado na Figura 65. Esta estrutura deverá ser situada a uma distância o mais próximo possível do nível de água, mas sem pôr em causa a segurança destes equipamentos.

De referir que no caso da bacia 20, uma vez que esta é situada dentro do corpo da barragem, não há necessidade de se utilizar tal suporte.



Fig. 65 - Sugestão de um sistema de contagem visual nos dispositivos do tipo bacias sucessivas (Pinheiro, et al., 2005)

Tal como mencionado para os dispositivos mistos, de modo a facilitar a visualização das imagens, a câmara só deverá filmar os períodos em que existe passagem efetiva de peixes, sugerindo-se para tal a implementação de um dos métodos de deteção sugeridos nos dispositivos de passagem de peixes de Rebordelo e Bouçoais-Sonim. Nesta ótica, caso seja possível a aplicação de sensores de movimentos, estes devem ser aplicados a meio de cada bacia.

De modo a permitir uma identificação e quantificação mais fácil das espécies, o fundo das bacias, onde se instalar o sistema visual, deverá ser revestido por uma base clara quadriculada com dimensões de 15

por 15 cm, facilitando assim a contagem do número de indivíduos, assim como estimar o comprimento dos mesmos.

De referir também que na bacia próxima da entrada e na bacia 20, de modo a permitir a visualização dos peixes, o passadiço colocado sobre as mesmas deve ser formado por grades espaçadas, de forma assegurar uma melhor visualização dos peixes.

8.4 DISPOSITIVO DE PASSAGEM DE PEIXES DE TORGA

No caso do dispositivo de Torga, sugere-se a implementação de um sistema visual igual ao de Nunes, mas neste caso apenas seriam necessárias duas câmaras de filmar, sendo uma situada numa das primeiras bacias após a entrada dos peixes no dispositivo e outra na última bacia antes da saída dos peixes para a albufeira.

9

PLANO ESTRATÉGICO DE AVALIAÇÃO DO FUNCIONAMENTO E DA EFICÁCIA DE DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES

9.1 INTRODUÇÃO

Tendo por base toda experiência e conhecimento adquirido ao longo da realização da dissertação, neste capítulo é apresentado um plano estratégico de avaliação do funcionamento e da eficácia e a aplicar na generalidade dos dispositivos de passagem de peixes.

Neste plano estratégico são apresentados os aspetos que se consideram essenciais na avaliação destas duas vertentes num dispositivo de passagem de peixes, sendo eles nomeadamente:

- Avaliação das condições de funcionamento dos dispositivos;
- Determinação das espécies piscícolas localizadas a jusante;
- Monitorização da passagem de peixes ao longo do dispositivo;
- Recolha de elementos externos.

9.2 AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS

A avaliação do funcionamento dos dispositivos de passagem de peixes deve ser dividida em duas componentes, sendo elas: a componente hidráulica e a componente mecânica. Os parâmetros hidráulicos devem ser analisados para diferentes cenários, ou seja, para diferentes valores de caudal, permitindo assim averiguar os diferentes comportamentos e quais os caudais mais adequados às espécies piscícolas.

Além de permitir avaliar o funcionamento dos dispositivos, o estudo destes parâmetros permitirá verificar se o comportamento real corresponde ao estabelecido no projeto. Caso não se verifique tal correspondência, dever-se-á corrigir as informações presentes no projeto. Por sua vez, nos dispositivos que não possuem documentação técnica, este levantamento deverá resultar na elaboração da mesma.

Na sua maioria, os dispositivos de passagem de peixes presentes em Portugal são na sua totalidade de três tipos: Bacias Sucessivas, Eclusas e Elevadores. Como tal, de seguida são apresentados os parâmetros que deverão ser considerados na avaliação do funcionamento hidráulico e mecânico dos dispositivos de passagem de peixes, tendo em consideração o tipo de dispositivo.

9.2.1.1 Bacias Sucessivas

Funcionamento mecânico

A maior parte dos componentes mecânicos associados aos dispositivos de bacias sucessivas são os órgãos reguladores de caudal, pelo que uma avaliação do funcionamento mecânico destes deve passar por:

- Verificação do estado dos órgãos de acionamento das comportas e se os mesmos funcionam sem quaisquer restrições, devendo esta análise ser realizada em intervalos de tempo regulares.

Funcionamento hidráulico

A primeira abordagem à análise do funcionamento hidráulico deve consistir no levantamento das características das bacias existentes no dispositivo:

- Dimensões das bacias;
- Dimensões dos orifícios de fundo / descarregadores / fendas verticais;
- Levantamento topográfico das bacias.

Após este levantamento deve proceder-se à análise hidráulica, do dispositivo propriamente dita, análise esta que deve abranger os seguintes parâmetros:

- Nível de água em cada bacia;
- Queda de água entre bacias;
- Carga de água sobre descarregadores / fendas verticais;
- Caudal escoado pelos orifícios de fundo / descarregadores superficiais / fendas verticais;
- Padrão de velocidades de escoamento nas bacias;
- Velocidades de escoamento através de cada forma de comunicação;
- Turbulência de escoamento em cada bacia;
- Níveis de água a montante e a jusante do dispositivo;
- Quantificação de caudais competidores.

9.2.1.2 Eclusas

Apesar de não ter sido alvo de estudo prático nesta dissertação, para os dispositivos de passagem de peixes do tipo eclusa efetuou-se uma análise teórica do seu funcionamento, tendo por base estudos já existentes, tais como o estudo das condições de funcionamento e de eficácia das eclusas de peixes de Crestuma-Lever e Belver, apresentados em maior detalhe no ponto 3.6 desta dissertação (Bochechas, 1995).

Como tal, foi possível determinar quais os parâmetros a ter em conta na avaliação do funcionamento mecânico e hidráulico dos mesmos.

Funcionamento mecânico

Uma vez que uma eclusa promove a passagem de peixes, sem que os mesmos sejam sujeitos a um grande esforço energético, o funcionamento mecânico da mesma é um aspeto importante, pelo que irá influenciar o sucesso da deslocação. Assim, nesta vertente, os parâmetros mecânicos a analisar devem ser:

- Duração dos ciclos de funcionamento e respetivos períodos;
- Avaliação do funcionamento das comportas de montante e jusante;
- Avaliação da operação dos jatos de atração, caso estes existam;
- Avaliação da operação do sistema de esvaziamento da eclusa;
- Avaliação estrutural da eclusa.

Funcionamento Hidráulico

Por sua vez, nas eclusas, os parâmetros hidráulicos a analisar correspondem a:

- Caudal de atração no período de pescagem;
- Caudal que circula no interior das eclusas durante o período de passagem de peixes;
- Velocidade de água durante os períodos do ciclo de funcionamento;
- Velocidade da água à entrada da eclusa durante o período de pescagem;
- Velocidade de água na câmara superior da eclusa durante o período de passagem;

9.2.1.3 Elevadores

Os elevadores alvo de estudo nesta dissertação encontravam-se inseridos em dispositivos mistos, ou seja, eram antecidos de bacias sucessivas, pelo que não apresentavam grande componente hidráulica associada. Contudo, nem todos os dispositivos de passagem de peixes do tipo elevador encontram-se inseridos em dispositivos mistos, como o caso do elevador presente no A.H. Touvedo.

Como tal, a avaliação do funcionamento mecânico e hidráulico deste tipo de dispositivo deverá incluir os seguintes parâmetros

Funcionamento mecânico

Tais como numa eclusa, os elevadores são dispositivos cujo funcionamento mecânico é vital para a deslocação dos peixes para montante, uma vez que é através da subida do elevador que os peixes são deslocados. Como tal, um bom funcionamento mecânico do elevador é algo imperativo para o sucesso da migração piscícola. Desta forma, uma avaliação do funcionamento mecânico de um elevador deverá incidir os seguintes aspetos:

- Duração do período de passagem de peixes;
- Abertura das comportas de entrada;
- Intervalo de tempo entre passagens de peixes;
- Avaliação do funcionamento dos diferentes constituintes do elevador.

Funcionamento Hidráulico

Já no que diz respeito ao funcionamento hidráulicos nos dispositivos de passagem de peixes do tipo elevador, os parâmetros a estudar deverão ser:

- Caudal de atração na entrada;
- Velocidade de água na entrada dos peixes para o ascensor;
- Características do escoamento nas entradas dos peixes.

Caso o elevador possua um canal coletor, tal como presente no elevador do A.H. Touvedo, dever-se-á analisar também os seguintes parâmetros.

- Caudal que transita no canal coletor;
- Profundidade de água no canal coletor dos peixes para o ascensor;
- Velocidade da água no canal coletor dos peixes para o ascensor.

9.3 DETERMINAÇÃO DAS ESPÉCIES SITUADAS A JUSANTE DOS DISPOSITIVOS

A amostragem da fauna piscícola nos troços a jusante dos A.H. é de extrema importância, uma vez que permite determinar as espécies suscetíveis de usar o dispositivo de passagem de peixes. Desta forma, torna-se possível ajustar, previamente, alguns aspetos relacionados com o modo de funcionamento dos dispositivos, de forma a que estes se adequem melhor às espécies.

A determinação das espécies a jusante deve ser efetuada de acordo com o protocolo “Manual Para a Avaliação Biológica da Qualidade da Água em Sistemas Fluviais segundo a Diretiva Quadro da Água – Protocolo de amostragem e análise para a fauna piscícola” (INAG, 2008).

Através da aplicação deste protocolo, as amostragens devem obedecer vários parâmetros, referindo-se de seguida os considerados essenciais:

- O troço a amostrar deverá ser representativo do sector do curso abarcando a máxima diversidade física existente e conter pelo menos um *riffle*, se existir no sector;
- As amostragens devem ser efetuadas com pesca elétrica, sendo o tipo de aparelho e as características da corrente elétrica definidas em função de cada situação concreta no sentido de elevar a eficácia de captura. Para tal, a voltagem a usar no aparelho deverá começar por testar valores baixos e, caso a eficácia de pesca seja reduzida, aumentá-los;
- Realização da amostragem na primavera em:
 - março – abril para os cursos de água a Sul do Rio Tejo; nos cursos de água ou em anos que em abril o caudal se mantém ainda demasiado elevado, a amostragem deverá ser executada em maio;
 - abril - julho para os cursos de água a Norte do Tejo, dependendo das condições de caudal.

Por sua vez, a amostragem das características dos peixes deve compreender:

- Identificação das espécies (os exemplares de pequenas dimensões em que não se diferenciam ainda os caracteres externos específicos deverão ser identificados apenas ao nível do género);
- Medição dos peixes (deverão ser medidos apenas os exemplares cujo comprimento seja superior a 40mm; para os indivíduos de comprimento inferior a 40 mm será unicamente registado o número de exemplares).

De realçar que durante a amostragem dos peixes, estes devem ser mantidos em condições favoráveis e ser cuidadosamente manipulados, devendo posteriormente ser libertados outra vez no curso de água.

9.4 MONITORIZAÇÃO DA PASSAGEM DE PEIXES

Na linha do que se mencionou no capítulo anterior, de forma a quantificar o número de peixes que utilizam os dispositivos, bem como identificar as espécies respetivas, sugere-se que a primeira fase de monitorização nos dispositivos seja realizada com recurso a registo visual. Esta escolha deve-se ao facto deste tipo de monitorização permitir só por si a quantificação dos peixes que se deslocam nos dispositivos, mas também a identificação dos mesmos no que se refere às espécies, assim como,

mediante a configuração do sistema visual, determinar os tempos que os peixes necessitam de transpor os dispositivos.

Contudo, existe o risco de o dispositivo se revelar ineficaz, ou seja, que não ocorra deslocação de peixes, pelo que, nestes casos, a monitorização através de contagem visual não permite identificar quais as causas da ausência de deslocações. Assim, quando o dispositivo for considerado ineficaz, sugere-se que o tipo de monitorização a aplicar seja através de um método comportamental, recorrendo-se para tal à marcação dos peixes.

Dos diferentes marcadores de peixes existentes, sugere-se o uso de PIT-Tags, uma vez que estes, quando comparados com os restantes, apresentam uma maior longevidade e são aplicáveis a peixes de menores dimensões, permitindo desta maneira determinar a adequação dos dispositivos em função do tamanho dos peixes. De igual modo, alguns peixes, caso possível, deverão ser analisados com recurso a telemetria de eletromiogramas (EMG).

Desta forma, através da marcação dos peixes, será possível avaliar alguns parâmetros ligados à eficácia de um dispositivo de passagem de peixes, tais como: analisar se os peixes encontram a entrada do dispositivo com facilidade; se a deslocação ao longo das bacias é constante ou se existem pontos de maior dificuldade, quais as velocidades de natação dos peixes ao longo da deslocação no dispositivo (utilização de EMG), entre outros aspetos, permitindo assim resolver os problemas do dispositivo a tempo da próxima migração.

Contudo, a monitorização dos dispositivos pode ser realizada recorrendo à utilização dos dois métodos (contagem visual e método comportamental) em simultâneo, conseguindo assim obter conclusões à cerca da eficácia ou falta desta, em apenas uma época de migração, podendo-se corrigir os problemas a tempo da próxima época.

Paralelamente à etapa de monitorização dos dispositivos de passagem de peixes, a recolha de elementos externos pode ser interessante na avaliação da eficácia de um DPP, na medida em que poderá determinar quais os fatores que desencadeiam os picos de migração, possibilitando posteriormente uma melhor gestão dos dispositivos de passagem de peixes.

Como recolhas de elementos externos sugere-se a medição de parâmetros abióticos, tais como temperatura da água, qualidade da água, oxigénio dissolvido, condutividade, turbidez e luminosidade. Na recolha da maior parte destes parâmetros, a instalação de sondas paramétricas a jusante do dispositivo pode ser encarada como uma solução adequada.

Além da recolha de parâmetros abióticos, dever-se-á proceder à recolha de dados referentes ao regime de caudais a jusante do dispositivo, uma vez que este é também um dos parâmetros que pode desencadear a migração nos peixes.

Todavia, uma vez que esta recolha só permite determinar quais os fatores que influenciam a migração de peixes, a sua aplicação não é obrigatória, uma vez que não condiciona a eficácia de um dispositivo.

9.5 PLANO ESTRATÉGICO DE AVALIAÇÃO DO FUNCIONAMENTO E DA EFICÁCIA DOS DISPOSITIVOS DE PASSAGEM DE PEIXES

Com base no referido nos pontos anteriores é possível propor um plano geral de avaliação da eficácia e funcionamento a aplicar nos dispositivos de passagem de peixes existentes, podendo ser o mesmo dividido em quatro fases diferentes.

Numa primeira fase do plano estratégico sugere-se que seja realizada a avaliação do funcionamento hidráulico e mecânico dos dispositivos, bem como o reconhecimento das espécies a jusante dos dispositivos.

Face aos resultados obtidos com a avaliação do funcionamento, quer a nível mecânico, quer a nível hidráulico, poderão ser delineadas medidas que *a priori* potenciem um aumento do número de peixes que usam os dispositivos, sendo que o próximo passo deverá ser a aplicação dessas medidas de melhoria (2ª fase).

Uma terceira fase do programa deverá englobar a monitorização da passagem de peixes nos dispositivos através da contagem visual das mesmas com recurso a gravações de imagens. Em paralelo, caso se ache adequado, poderá ser efetuada a recolha de elementos externos, entres os quais a recolha de dados abióticos e dos regimes de caudal a jusante, sendo que esta recolha pode ajudar a perceber quais as condições no meio ambiente que potenciam a migração de peixes, e respetivo uso dos dispositivos, podendo como tal ser opcional.

A monitorização dos dispositivos pode resultar em duas conclusões, ou seja, ou indica que existe um número elevado de peixes a usar o dispositivo (DPP eficaz) ou então, que não há peixes a atravessar o dispositivo, ou que o número dos mesmos que atravessam o dispositivo é reduzido (DPP não eficaz). Caso o dispositivo seja considerado não eficaz, dever-se-á aplicar a 4ª fase do plano estratégico, ou seja, realizar uma monitorização do número de peixes que utilizam o dispositivo através de um método comportamental com recurso à marcação de peixes com PIT Tags e eventualmente EMG. Deste modo, com a aplicação desta fase saber-se-á quais as causas que fazem com os peixes não utilizem os dispositivos.

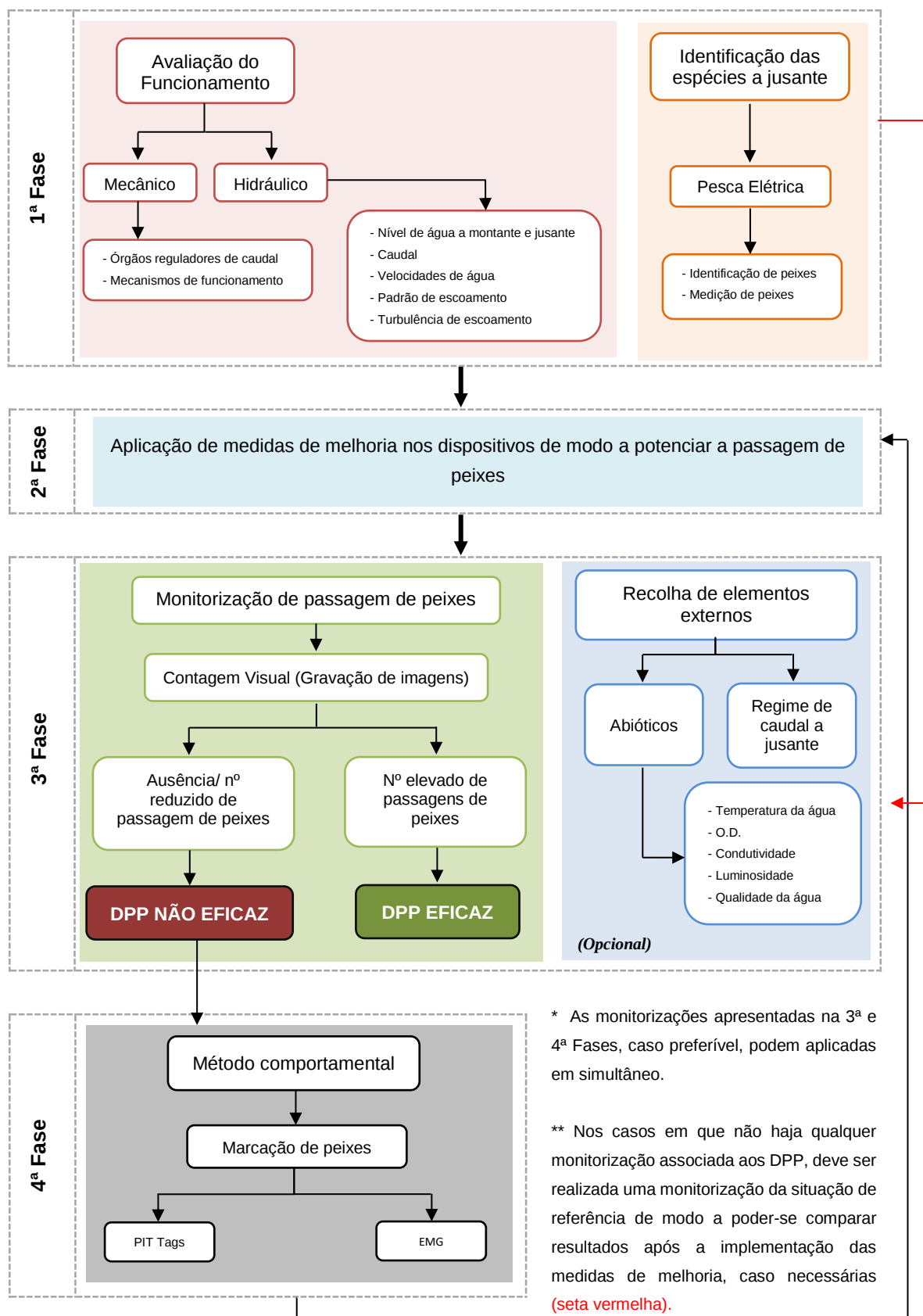
Por fim, detetadas as causas que levam à ausência de peixes nos dispositivos, o próximo passo será voltar à 2ª fase do plano, procedendo-se à implementação de medidas que solucionem as causas da ineficácia.

De realçar que a sequência destas fases deverá ser efetuada apenas nos dispositivos em que já existam resultados de uma situação referência, no que respeita ao número de peixes que usam os dispositivos.

Contudo, em muitos dispositivos, nunca houve lugar a monitorizações, não se sabendo assim qual a situação de referência. Nestes casos, após o estudo da avaliação do funcionamento hidráulico e identificação das espécies, o próximo passo deverá consistir na aplicação da 3ª fase, podendo assim, casos sejam necessárias aplicar medidas de melhoria, saber qual o acréscimo referente ao número de peixes que utilizam os dispositivos que resulta da aplicação das medidas em comparação com a situação de referência.

Em suma, o plano geral de avaliação da eficácia e funcionamento dos dispositivos de passagem de peixes pode ser sumariado no Organograma 1.

De referir que este plano apenas deverá ser aplicado nas situações em que se registem espécies piscícolas a jusante dos aproveitamentos.



Organograma 1: Plano Estratégico de Avaliação do Funcionamento e Eficácia dos Dispositivos de Passagem de Peixes

10

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Atualmente, as questões ligadas à quebra de conectividade fluvial têm ganho um maior destaque, não apenas pelo declínio de algumas espécies com elevado valor comercial, caso da enguia-europeia (*Anguilla anguilla*), mas também devido à crescente sensibilidade ambiental da sociedade no que refere à melhoria da qualidade ecológica dos ecossistemas em geral, em especial dos ecossistemas aquáticos.

Este aumento de sensibilidade referente aos ecossistemas aquáticos, encontra-se em grande parte ligado à elaboração da Diretiva Quadro da Água, que veio servir como meio de proteção das águas de superfície interiores, das águas de transição, das águas costeiras e das águas subterrâneas.

A implementação da DQA em Portugal apenas surgiu em 2005 através da sua transposição para a lei da Água (Lei n.º 58/2005, de 29 de dezembro, alterada e republicada pelo Decreto-Lei n.º 130/2012, de 22 de junho), o que levou que as exigências ambientais desde essa altura tenham aumentado, no que se refere ao combate à deterioração do estado (ecológico e químico) de todos os meios hídricos.

Como tal, houve necessidade de se adotar uma visão mais ecológica nos A.H., uma vez que os mesmos podem levar à deterioração de parte das águas superficiais (rios). Parte dessa visão ecológica assenta em assegurar uma mobilidade livre da fauna piscícola, uma vez que a fauna piscícola é um dos elementos indicadores de qualidade biológica das águas superficiais utilizado na classificação do estado/potencial ecológico dos rios, pelo que desta forma têm sido realizados esforços no sentido de restaurar a conectividade fluvial.

Contudo, apesar de todos os esforços realizados, verifica-se que em Portugal a maior parte dos dispositivos existentes nos A.H. possui problemas que os tornam inadequados para a transposição dos peixes, levando a que seja difícil atingir-se o bom estado ecológico das águas superficiais.

Nesta vertente, a presente dissertação pretendeu dar um contributo inovador importante na restauração da conectividade fluvial, achando-se que tal objetivo foi cumprido com sucesso, uma vez que a mesma apresenta quais os passos a serem dados de forma a aumentar a eficácia dos dispositivos de passagem de peixes.

Num olhar mais concreto sobre o estudo realizado, um primeiro objetivo desta dissertação passou por avaliar a adequação de quatro dispositivos de passagem de peixes, nomeadamente Bouçoais-Sonim, Rebordelo, Nunes, Torga, aos locais onde os mesmos estão inseridos e às espécies correspondentes.

Através da relação entre as capacidades natatórias dos peixes e as propriedades hidráulicas dos dispositivos de passagem de peixes de Bouçoais-Sonim e de Rebordelo constatou-se que dificilmente os peixes conseguirão utilizar os mesmos. Tal deve-se ao facto de a velocidade de escoamento, através do descarregador frontal que serve de entrada à cuba do elevador, ser elevada, o que faz com que haja uma grande turbulência na entrada, dificultando assim o acesso dos peixes ao elevador.

No que se refere ao dispositivo de Nunes, este é apenas adequado para o Barbo do Norte (*Luciobarbus bocagei*), Boga do Douro (*Pseudochondrostoma duriensis*) e para a Truta-de-rio (*Salmo trutta*). Apenas estas três espécies possuem possibilidades de transpor o dispositivo de passagem de peixes respetivo, uma vez que as velocidades máximas de escoamento através dos orifícios (1,62 m/s) e dos descarregadores de fundo (2,49) são superiores à velocidade máxima de natação do Bordalo (*Squalius alburnoides*), bem como pelo facto de o dispositivo de passagem de peixes ser longo, o que faz com o Escalo do Norte (*Squalius carolitertii*), devido ao desgaste físico a que seria submetido, dificilmente apresente possibilidades de transpor na totalidade as 39 bacias sucessivas.

Relativamente ao dispositivo de passagem de peixes de Torga, este atualmente apresenta um elevado estado de degradação, o que faz com que dificilmente algum peixe consiga utilizá-lo. Porém, caso o dispositivo seja restaurado de acordo com o projeto de execução, este deverá permitir a passagem das seguintes espécies: *Luciobarbus bocagei*, *Pseudochondrostoma duriensis* e *Squalius carolitertii*. De referir que a única espécie a jusante do mesmo que não conseguirá deslocar-se nas bacias será a espécie *Squalius alburnoides*, uma vez que possui uma velocidade máxima de natação inferior à velocidade de escoamento através dos orifícios de fundo.

Em suma, a avaliação da adequação dos dispositivos às espécies potencialmente utilizadores, permitiu averiguar que nos dispositivos em estudo, as únicas que possuem possibilidades de utilizar os dispositivos correspondentes são:

- Bouçoais-Sonim: não haverá deslocação de nenhuma espécie
- Rebordelo: não haverá deslocação de nenhuma espécie
- Nunes: *Luciobarbus bocagei*, *Pseudochondrostoma duriensis* e *Salmo trutta*
- Torga: *Luciobarbus bocagei*, *Pseudochondrostoma duriensis* e *Squalius carolitertii*

Uma vez analisada a adequação dos dispositivos de passagem de peixes estudados, e verificando-se que os dispositivos apresentam algumas debilidades a nível mecânico e hidráulico que condicionam o sucesso da passagem de peixes, elaborou-se um conjunto de propostas de melhoria a aplicar nos dispositivos de passagem de peixes estudados, de forma a aumentar a eficiência dos mesmos.

Para os dispositivos de passagem de peixes de Bouçoais-Sonim e Rebordelo as propostas de medidas de melhoria foram as seguintes:

- Proposta Mis_1: Redução do caudal na entrada do elevador;
- Proposta Mis_2: Quantificação do caudal proveniente do interior do corpo da barragem;
- Proposta Mis_3: Prolongamento da rampa de descarga dos peixes na albufeira.

No que se refere à redução de caudal na entrada do elevador (Mis_1), esta permitirá reduzir a turbulência na entrada do elevador, levando a que os peixes consigam aceder à cuba, aumentando assim a eficácia dos dois dispositivos. Tendo em conta a configuração do dispositivo, foi possível perspetivar a aplicação de duas hipóteses: uma delas passa por efetuar a derivação de parte do caudal para a bacia a jusante da entrada do elevador, enquanto que uma segunda hipótese consiste na descarga de parte do caudal para fora do dispositivo de passagem de peixes.

A proposta Mis_2 tem por objetivo verificar se o caudal, proveniente do corpo da barragem e adicionado nas bacias sucessivas, coloca em causa a eficácia da deslocação dos peixes nos dispositivos até atingir a cuba do elevador.

Por sua vez, o prolongamento da rampa de descarga dos peixes na albufeira é encarado como uma medida de tornar o dispositivo mais direcionado para as características das próprias espécies, uma vez que permite uma descarga mais suavizada das mesmas na albufeira, diminuindo assim o risco de causar danos nos indivíduos.

No caso dos dispositivos de passagem de peixes do tipo bacias sucessivas (Nunes e Torga), estes possuem algumas condicionantes que colocam em causa a passagem de peixes através dos mesmos, tendo-se para tal sugerindo as seguintes medidas:

- Proposta BS_1: Automatização das comportas reguladoras de alimentação de caudal;
- Proposta BS_2: Definição do regime de caudal ótimo de funcionamento do dispositivo;
- Proposta BS_3: Definição de um período de verificação do dispositivo;
- Proposta BS_4: Implementação de estruturas de proteção da entrada de caudal do dispositivo;
- Proposta BS_5. Colocação de substrato rugoso no fundo das bacias.

Uma vez que a posição das comportas que regulam a entrada de caudal para o dispositivo é fixa, uma automatização das mesmas (BS_1) ajudaria a assegurar que o caudal escoado ao longo das bacias sucessivas não variasse de acordo com a cota da albufeira. Como tal, poder-se-ia manter constante o caudal a escoar ao longo dos dispositivos e que o mesmo fosse, sobretudo, adequado com as capacidades natatórias das espécies, potenciando assim a sua passagem. Neste sentido, os caudais a escoar (BS_2) no dispositivo de Nunes devem ser entre 0,08 – 0,10 m³/s durante os meses de março a julho e entre 0,08 – 0,14 m³/s durante os meses de novembro a fevereiro. Por sua vez, no dispositivo de Torga, o caudal adequado para potenciar a passagem de peixes deve ser escolhido entre 0,08 m³/s e 0,11 m³/s.

Através das visitas aos dois dispositivos (Nunes e Torga) verificou-se que alguns dos orifícios de fundo, bem como descarregadores encontravam-se obstruídos, pelo que de forma a evitar retardamentos na deslocação dos peixes ou até mesmo impossibilitar a mesma, os dispositivos de Nunes e Torga devem ser alvo de verificações periódicas relacionadas com o estado de limpeza dos mesmos (BS_3). Nesta vertente, a implementação de estruturas de proteção da entrada de caudal do dispositivo, concretamente a colocação de uma rede à saída dos peixes do dispositivo é vista como uma solução interessante, visto que a aplicação da mesma diminuiria o arrastamento de detritos para dentro do dispositivo.

Por fim, a colocação de um fundo rugoso nas bacias destes dois dispositivos (BS_5) poderia permitir a deslocação de um maior número de peixes devido ao facto reduzir a velocidade de escoamento junto ao fundo da bacia.

Contudo, apesar da implementação destas medidas, seria vantajoso para o dispositivo de Nunes a implementação de mais uma entrada de caudal no dispositivo (Nunes_1), visto que, devido à variação de cotas da albufeira, em parte do tempo de migração não existe alimentação de caudal através das duas aberturas atualmente presentes no dispositivo.

Para além disto, uma vez que a entrada dos peixes no dispositivo se situa próximo da descarga de caudal ecológico, é necessário estudar se a parede divisória entre ambos beneficia a atratividade do dispositivo. Caso tal não aconteça sugere-se que durante a época de migração dos peixes haja uma complementaridade entre caudal ecológico e caudal de atração do dispositivo (Nunes_2).

Também neste dispositivo deve-se alterar a disposição do passadiço de acesso às bacias localizadas ao longo do coroamento (Nunes_3), uma vez que em algumas bacias este encontra-se sobre os descarregadores superficiais, impedindo assim os peixes de se deslocarem através destes.

No que diz respeito ao dispositivo de passagem de peixes de Torga, o mesmo encontra-se em grande estado de degradação, pelo que, tendo em conta os resultados obtidos ao longo desta dissertação, dever-se-á proceder à reconstrução do mesmo de acordo com o projeto de execução (Torga_1).

Com a aplicação destas melhorias nos quatro dispositivos alvo de estudo, acredita-se que os dispositivos tornar-se-iam adequados para um maior número de espécies, do que para aquelas que são na atualidade:

- Bouçoais-Sonim: *Luciobarbus bocagei*; *Pseudochondrostoma duriensis*; *Squalius alburnoides* e *Salmo Trutta*;
- Rebordelo: *Luciobarbus bocagei*; *Pseudochondrostoma duriensis*; *Squalius alburnoides* e *Salmo Trutta*;
- Nunes: *Luciobarbus bocagei*; *Pseudochondrostoma duriensis*; *Squalius alburnoides* e *Salmo Trutta*
- Torga: *Luciobarbus bocagei*; *Pseudochondrostoma duriensis* e *Squalius alburnoides*

Apesar da aplicação das medidas de melhoria nos dispositivos em estudo, verifica-se que os mesmos continuariam a não permitir o deslocamento de peixes das espécies *Squalius alburnoides* e *Achondrostoma arcasii*. Sendo que estas duas espécies possuem fracas capacidades natatórias, uma das conclusões a tirar deste estudo é que dificilmente as espécies com fracas capacidades natatórias conseguirão utilizar os dispositivos de passagem de peixes.

De forma a verificar a eficácia destes quatro dispositivos, quer na situação atual (situação de referência), quer após a inclusão das melhorias, conclui-se que o método de monitorização a aplicar deverá ser o de contagem visual, permitindo assim quantificar e identificar os peixes que utilizam os dispositivos. Por sua vez, caso os dispositivos se mostrem ineficazes após a implementação das melhorias, este método de monitorização poderá ser complementado através da aplicação de uma monitorização com recurso a um método comportamental, através a marcação dos peixes com PIT tags e EMG, permitindo assim conhecer com maior exatidão as causas dos dispositivos não serem eficazes.

Através dos diferentes estudos realizados, bem como da experiência acumulada ao longo desta dissertação, tornou-se possível a elaboração de um plano estratégico a aplicar na avaliação do funcionamento e eficácia da generalidade dos dispositivos de passagem de peixes, tendo sido o mesmo designado por “Plano Estratégico de Avaliação do Funcionamento e da Eficácia de Dispositivos de Passagem de Peixes” e dividido em quatro fases diferentes:

- 1ª Fase: Avaliação do funcionamento hidráulico e mecânicos dos dispositivos e identificação das espécies a jusante do mesmo.
- 2ª Fase: Implementação de medidas de melhoria
- 3ª Fase: Monitorização da passagem de peixes através da contagem visual e recolha de elementos externos ao dispositivo.
- 4ª Fase: Monitorização através da aplicação de um método comportamental.

Deste modo, o plano estratégico desenvolvido pode ser representativo da grande conclusão a tirar deste trabalho, uma vez que indica que é necessário ter em consideração diferentes processos de forma a tornar um dispositivo de passagem de peixes eficaz, indicando qual deverá ser a envolvimento entre os diferentes passos.

De referir que o trabalho realizado apenas incidiu na migração de peixes de jusante para montante. Contudo, os obstáculos físicos também impossibilitam a passagem de peixes no sentido contrário, ou seja, de montante para jusante. Como tal, sugere-se como trabalho futuro a realização de um estudo que incida também sobre a problemática da migração para jusante, devendo-se assim avaliar medidas que possibilitam a restauração da conectividade fluvial em ambos os sentidos.

Em Portugal, nem todos os A.H. possuem dispositivos de passagem de peixes, sendo um dos exemplos a barragem do Alto Lindoso. Contudo, nesses A.H. existe também a problemática quebra da conectividade fluvial, pelo que no futuro dever-se-á estudar a implementação de medidas que permitam a restauração da conectividade fluvial nesses locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, T. (2008). *Caracterização da turbulência em passagens para peixes por bacias sucessivas com escoamento através de orifícios de fundo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- Alves, M., & Henriques, A. (1994). *O Caudal Ecológico como medida de minimização. Métodos para a sua determinação*. Atas do 6.º SILUSB/1.º SILUSBA, Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, (pp. 177-190).
- Anderson, D., Moggridge, H., Warren, P., & Shucksmith, J. (Junho de 2015). *The impacts of 'run-of-river' hydropower on the physical and ecological condition of rivers*. Water and Environment Jornal, 29, 268-27
- APA, Agência Portuguesa do Ambiente. (2017a). *Planos de Gestão de Região Hidrográfica – 2.º Ciclo*. Disponível em <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=9&sub3ref=848>. Acedido a 3 de abril de 2017.
- APA, Agência Portuguesa do Ambiente. (2017b). Parte 6 – Programa de Medidas – Anexos. In Plano de Gestão de Região Hidrográfica – Região Hidrográfica do Douro (RH3).
- Binder, T., Cooke, S., & Hinch, S. (2011). Physiological Specializations of Different Fish Groups. In *The Biology of Fish Migration* (pp. 1921-1927). San Diego: Academic Press.
- Bochechas, J. (1995). *Condições de Funcionamento e de Eficácia de Eclusas para Peixes: Casos das Barragens de Crestuma-Lever e de Belver*. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- Branca, R. (2015). *Capacidade natatória e ecomorfologia de três espécies de bogas (Pseudochondrostoma polylepis, Pseudochondrostoma duriense, Pseudochondrostoma willkommii) em rios portugueses*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Évora, Instituto de Ciências e Tecnologias, Évora.
- Branco, P., Santos, J. M., Segurado, P., & Ferreira, M. T. (2016). *Measuring Longitudinal River Network Connectivity*. 11th ISE. Melbourne, Austrália.
- Branco, P., Segurado, P., Santos, J., & Pinheiro, P. F. (2012). *Does longitudinal connectivity loss affect the distribution of freshwater fish?* Ecological Engineering, 48, 70-78.
- Brett, J. (1964). *The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon*. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 21, 1183-1226.
- Cardoso, G. (2014). *Monitorização da Passagem para Peixes do Açude-Ponte em Coimbra: Otimização da metodologia de contagem*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia, Évora.
- Caudill, C. C., Keefer, M. L., Clabough, T. S., Naughton, G. P., Burke, B. J., & Peery, C. A. (Dezembro de 2013). *Indirect Effects of Impoundment on Migrating Fish: Temperature Gradients in Fish Ladders Slow Dam Passage by Adult Chinook Salmon and Steelhead*. PLOS One, 8.
- Clay, C. H. (1995). *Design of fishways and Other Facilities*. Boca Raton, Florida, Estados Unidos da América: CRC Press.

- CNPGB, Comissão Nacional Portuguesa de Grandes Barragens (s.d.). *Barragem de Nunes*. Obtido em 2 de Abril de 2017, de http://cnpgb.apambiente.pt/gr_barragens/gbportugal/Nunes.htm
- COBA, Consultores de Engenharia e Ambiente, SA. (1992). *Aproveitamento Hidroelétrico de Bouçoais-Sonim - Estudo de Impacte Ambiental*. Relatório Técnico.
- COBA, Consultores de Engenharia e Ambiente, SA. (2007a). *Aproveitamento Hidroelétrico do rio Rabaçal, Junto de Bouçoais-Sonim - Memória Descritiva*.
- COBA, Consultores de Engenharia e Ambiente, SA. (2007b). *Aproveitamento Hidroelétrico do rio Rabaçal, Junto de Rebordelo - Memória Descritiva*.
- Cooke, S., Thorstad, E. B., & Hinch, S. G. (2004). *Activity and energetics of free-swimming fish: insights from electromyogram telemetry*. FISH and FISHERIES, 5, 21-52.
- Division, N. (s.d.). *Anadromous Fish Evaluation Program*. Obtido em 2 de Junho de 2017, de <http://www.nwd.usace.army.mil/Media/Fact-Sheets/Fact-Sheet-Article-View/Article/475828/anadromous-fish-evaluation-program/>
- ENERSIS, E. e. (s.d.). *Aproveitamento Hidroelétrico de Torga*.
- FAO/DVWK. (2002). *Fish passes - Design, dimensions and monitoring*. Roma.
- Ferreira, A. P., Ferreira, M. T., & Bochechas, J. (2000). *Avaliação Global dos Efeitos Ecológicos de Pequenos Aproveitamentos Hidroelétricos sobre a Ictiofauna*. Em A. P. Hídricos (Ed.), Congresso da Água.
- Garcia, A., Jorde, K., Habit, E., Caamaño, D., & Parra, O. (2011). *Downstream Environmental Effects of Dam Operations: Changes in habitat Quality for native Fish Species*. River Research and Applications, 27, 312-327.
- Hasler, C. T., Pon, L. B., Roscoe, D. W., Mossop, B., Patterson, D. A., Hinch, S. G., & Cooke, S. J. (2009). *Expanding the "toolbox" for studying the biological responses of individual fish to hydropower infrastructure and operating strategies*. Environmental Review, 17, 179-197.
- Hidro4, Consultores de hidráulica, recursos hídricos e ambiente (1992). *Aproveitamento Hidroelétrico de Torga - Escada de peixes*. Nota Técnica, Lisboa.
- ICNF, Instituto de Conservação da Natureza e da Floresta. (30 de Julho de 2014). *Avaliação da Continuidade Fluvial em Portugal: Criação de bases para a inventariação e caracterização de obstáculos em linhas de água*. (J. Bochechas, Ed.)
- INAG, I.P. (2008). *Manual para a avaliação biológica da qualidade da água em sistemas fluviais segundo a Directiva Quadro da Água Protocolo de amostragem e análise para a fauna piscícola*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto da Água, I.P.
- Kamula, R., & Bärthel, J. (28 de Março de 2000). *Effects of modifications on the hydraulics of Denil Fishways*. Boreal Environment Research, 67-79.
- Katopodis, C., & Williamns, J. G. (9 de Agosto de 2012). *The development of fish passage research in a historical context*. Ecological Engineering, 8-18.
- Kroes, M. J., Gough, P., Schollemma, P., & Wanningem, H. (2006). *From Sea to Source: Guidance for the Restoration of Fish Migration in European Rivers*. Veendam, Holanda.

- Larinier, M. (2002a). Biological Factors To Be taken Into Account in the Design of Fishways: The Concept of Obstructions to Upstream Migration. In *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture* (pp. 28-38).
- Larinier, M. (2002b). Fishways - General Considerations. In *Bulletin français de La Pêche et de La Pisciculture* (pp. 21-27).
- Larinier, M. (2002c). Pool Fishways, Pre-Barrages and Natural Bypass Channels. In *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture* (pp. 54-82).
- Larinier, M. (2002d). Location of Fishways. In *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, 39-53.
- Lucas, M. C., & Baras, E. (2001). *Migration of Freshwater Fishes*. Oxford: Blackwell Science.
- Mateus, C., Quintella, B., & Almeida, P. (Novembro de 2008). *The critical swimming speed of Iberian barbel Barbus in relation to size and sex*. *Journal of Fish Biology*, 73, 1783-1789.
- Northcote, T. (1978). *Migratory Strategies and Production in Freshwater Fishes*. Em *Ecology of Freshwater Production* (pp. 326-359). Oxford: Blackwell Science.
- Odeh, M., Noreika, J., Haro, A., Maynard, A., Castro-Santos, T., & Cada, G. (2002). *Evaluation of the Effects of Turbulence on the Behaviour of Migratory Fish*.
- OTT. (2012). *OTT MF Pro – Operating instructions*
- Petts, G. (1998). *Impounded Rivers*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Pinheiro, A. (2006). *Folhas da Disciplina de Eco-Hidráulica*. Universidade Nova de Lisboa, Instituto Superior Técnico.
- Pinheiro, P. (s.d.). *Monitorização da funcionalidade de passagens para peixes: Aplicação de novas tecnologias em Portugal*. Obtido em 28 de março de 2017, de <http://natura.link.pt/article.aspx?menuid=15&cid=89877&bl=1&viewall=true>
- Pinheiro, P., Santos, J., & Ferreira, M. (2005). *Utilização de diferentes metodologias na avaliação da funcionalidade de passagens para peixes em Portugal*.
- Porcher, J. (2002). Fishways for eels. In *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, 147-155.
- Porcher, J., & Larinier, M. (2002). Designing Fishways, Supervision of Construction, Cost, Hydraulic Model Studies. In *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture* (pp. 156-165).
- Porcher, J., & Travade, F. (2002). Fishways: Biological Basis, Limits and Legal Considerations. In *Bulletin Français de La Pêche et de la Pisciculture* (pp. 9-20).
- Ribeiro, F., Beldade, R., Dix, M., & Bochechas. (2007). *Carta Piscícola Nacional*. Direção Geral dos Recursos Florestais. Fluviatilis, Lda. Obtido de <http://www.cartapiscicola.org/#app=cfd0&24af-selectedIndex=0&15bf-selectedIndex=1>
- Romão, F., Quintella, B., Pereira, T., & Almeida, P. (2011). *Swimming performance of two Iberian cyprinids: the Tagus nase Pseudochondrostoma polylepis (Steindachner, 1864) and the bordallo Squalius carolitertii (Doadrio, 1988)*. *Journal of Applied Ichthyology*.
- Ronchesel, M. (2016). *Avaliação dos Efeitos Ecológicos de Aproveitamentos Hidroelétricos sobre as Comunidades de Macroinvertebrados e Peixes no Norte de Portugal (Bacia do Douro)*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Bragança, Escola Superior Agrária.

- Santo, M. (2005). *Dispositivos de passagens para peixes em Portugal*. Lisboa. Direção Geral dos recursos Florestais (DGRF).
- Santos, J. M., Pádua, J., Oliveira, J. M., Rivaes, R., Arenas, R., Cabral, U., Marinho, A. L. (2014). *Ascensor para peixes de Touvedo: Padrões de utilização piscícola e eficácia*. 12.º Congresso da Água, 16.º Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental, XVI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Lisboa.
- Santos, J. M., Silva, A., Katopodis, C., Pinheiro, P., Pinheiros, A., Bochechas, J., & Ferreira, M. T. (Novembro de 2012). *Ecohydraulics of pool-type fishways: Getting past the barriers*. Ecological Engineering, 48, 38-50.
- Santos, J., Pádua, J., Oliveira, J., Rivaes, R., Arenas, R., Cabral, U., Marinho, M. (2008). *Ascensor para peixes de Touvedo: Padrões de utilização piscícola e eficácia*. 12.º Congresso da Água / 16.º ENASB / XVI SILUBESA. Lisboa.
- Silva, A. (2009). *Ecohydraulics of pool-type fishways for the Iberian Barbel (Luciobarbus bocagei Steindachner, 1864)*. Dissertação de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Silva, A. T., Franco, A. C., Santos, J. M., Ferreira, M., Pinheiro, A., & Bochechas, J. (2006). *Padrões Comportamentais do Barbo Ibérico Barbus bocagei num Protótipo Experimental de uma Passagem para Peixes por Bacias Sucessivas*. 8º Congresso da Água.
- Svendsen, J. C., Aarestrup, K., Deacon, M. G., & Christensen, R. H. (2010). *Effects of a Surface Oriented Travelling Screen and Water Abstraction Practices on a Downstream Migrating Salmonidae Smolts in a Lowland Stream*. River Research and Applications.
- TECNOPOR, C. T. (s.d.). *Aproveitamento Hidroelétrico de Torga - Análise Hidrológica*.
- Teixeira, A., & Cortes, R. (2007). *PIT Telemetry as a Method to Study the Habitat Requirements of Fish Populations: Application to Native and Stocked Trout Movements*. Hydrobiology, 582, 171-185.
- Travade, F., & Larinier, M. (2002a). Fish Locks and Fish Lifts. In *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, 102-116.
- Travade, F., & Larinier, M. (2002b). Monitoring Techniques for Fishways. In *Bulletin Français de La Pêche et de la Pisciculture*, 166-180.
- Tudorache, C., Viaene, P., Blust, R., Verreken, H., & De Boeck, G. (2008). *A comparison of swimming capacity and energy use in seven European freshwater fish species*. Ecology of Freshwater Fish, 17, 284-291.
- Videler, J. (1993). *Fish swimming*. Chapman & Hall, Fish and fisheries series.
- Wang, Lizhu, Infante, D., Lyons, J., Stewart, J., & Cooper, A. (Maio de 2011). *Effects of dams in river networks on fish assemblages in non-impoundment sections of rivers in Michigan and Wisconsin, USA*. River Research and Applications, 27, 473-487.
- Williams, J., Armstrong, G., Katopodis, C., Larinier, M., & Travade, F. (Maio de 2012). *Thinking like a fish: A key ingredient for development of effective fish passage facilities at river obstructions*. River Research and Applications, 28, 407-417.

DOCUMENTAÇÃO LEGAL

Diretiva Quadro da Água (Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2000)

PLANO DE GESTÃO DA ENGUIA (2009-2012) - Resposta do Estado Português ao Regulamento (CE) nº 1100/2007, de 18 de setembro.

ANEXOS

ANEXO A – Características geométricas dos dispositivos de passagem de peixes

ANEXO B – Determinação do caudal escoado no dispositivo de Nunes aquando das medições

ANEXO C – Comportamento hidráulico dos dispositivos de Bouçoais-Sonim e de Rebordelo com a implementação da Proposta Mis_1b

ANEXO D – Características biológicas das espécies piscícolas alvo de estudo

ANEXO A - Características geométricas dos dispositivos de passagem de peixes

A.1. DISPOSITIVO DE BOUÇOAIS-SONIM

Quadro A.1 - Características geométricas das bacias sucessivas do dispositivo de Bouçoais-Sonim

Bacia	C (m)	L (m)	L _{fenda} (m)	h _{fenda} (m)	L _{descarregador} (m)	h _{descarregador} (m)
1 (Elevador)	2,29	3,50			1,00	1,00
2	3,04	3,50			0,90	1,00
3	3,00	3,50	0,40	0,60		
4	3,00	3,50	0,40	0,60		
5	3,00	3,50	0,40	0,60		
6	3,00	3,50	0,40	0,60		
Jusante					1,20	0,90

A.2. DISPOSITIVO DE REBORDELO

Quadro A.2 - Características geométricas das bacias sucessivas do dispositivo de Rebordelo

Bacia	C (m)	L (m)	L _{fenda} (m)	h _{fenda} (m)	L _{descarregador} (m)	h _{descarregador} (m)
1 (Elevador)	3,15	3,50			1,00	1,00
2	2,80	3,50			0,90	1,00
3	3,00	3,50	0,40	0,60		
4	3,00	3,50	0,40	0,60		
5	3,00	3,50	0,40	0,60		
6	3,00	3,50	0,40	0,60		
Jusante					1,15	0,90

Note-se que nas tabelas anteriores, **C** corresponde ao comprimento da bacia, **L** à largura da bacia. **L_{fenda}** à largura da fenda, **h_{fenda}** à altura da soleira de fenda, **L_{descarregador}** à largura do descarregador frontal e **h_{descarregador}** à altura da soleira da fenda.

A.3. DISPOSITIVO DE NUNES

Quadro A.3 - Características geométricas das bacias sucessivas do dispositivo de Nunes

Bacia	C (m)	L (m)	h septo (m)	h descarregador (m)	h descarregador (m)	A orifícios (m ²)
1	1,55	3,50				0,123 ⁽¹⁾
						0,090 ⁽²⁾
2	1,83	1,37	1,10	0,20	0,60	0,102
3	1,77	1,37	1,10	0,20	0,60	0,102
4	2,40	1,37	1,10	0,20	0,60	0,010
5	2,10	1,37	1,10	0,20	0,60	0,040
6	1,88	1,37	1,05	0,20	0,60	0,040
7	1,72	1,37	1,10	0,20	0,60	0,040
8	1,83	1,37	1,10	0,20	0,60	0,040
9	1,80	1,37	1,10	0,20	0,60	0,040
10	1,80	3,00	1,10	0,20	0,60	0,040
11	1,80	1,37	1,20	0,20	0,60	0,023
12	1,80	1,37	1,20	0,20	0,60	0,023
13	1,80	1,37	1,20	0,20	0,60	0,023
14	1,80	1,37	1,20	0,20	0,60	0,023
15	1,50	1,37	1,20	0,20	0,60	0,023
16	1,50	1,37	1,20	0,20	0,60	0,023
17	1,80	1,37	1,20	0,20	0,60	0,023
18	1,80	1,37	1,20	0,20	0,60	0,023
19	1,80	1,37	1,20	0,20	0,60	0,023
20	4,12	1,37	1,20	0,20	0,60	0,023
21	1,80	1,40	1,20	0,20	0,80	0,023
22	1,78	1,68	1,20	0,20	0,80	0,023
23	1,75	1,68	1,20	0,20	0,80	0,023
24	1,80	1,68	1,20	0,20	0,80	0,023
25	1,78	1,68	1,20	0,20	0,80	0,023
26	1,80	1,68	1,20	0,20	0,80	0,023
27	1,78	1,68	1,20	0,20	0,80	0,023
28	1,78	1,68	1,20	0,20	0,80	0,023
29	1,78	1,68	1,20	0,20	0,80	0,023

Quadro A.3 - Características geométricas das bacias sucessivas do dispositivo de Nunes (continuação)

Bacia	C (m)	L (m)	h septo (m)	L descarregador (m)	h descarregador (m)	A _{orifícios} (m ²)
30	1,80	1,68	1,20	0,20	0.80	0,023
31	1,83	1,68	1,20	0,20	0.80	0,023
32	1,80	1,68	1,20	0,20	0.80	0,023
33	1,75	1,68	1,20	0,20	0.80	0,023
34	1,80	1,68	1,20	0,20	0.80	0,023
35	1,80	1,68	1,20	0,20	0.80	0,023
36	1,80	1,68	1,20	0,20	0.80	0,023
37	1,80	1,68	1,20	0,20	0.80	0,023
38	1,80	1,68	1,20	0,20	0.80	0,023
39	1,90	1,68	1,20	0,20	0.80	0,023
Jusante	1,86	1,60	1,20	0,20	0.80	0,023

(1) – Orifício a maior profundidade; (2) – Orifício mais á superfície

A.4. DISPOSITIVO DE TORGA

Quadro A.4 - Características geométricas das bacias sucessivas do dispositivo de Torga

Bacia	C (m)	L (m)	h septo (m)	L descarregador (m)	h descarregador (m)	Aorifícios (m ²)
1	3,70	1,30				0,05 ⁽¹⁾
						0,08 ⁽²⁾
2	2,00	1,30	1,20			0,20
3	1,80	1,30	1,20			0,20
4	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
5	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
6	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
7	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
8	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
9	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
10	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
11	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
12	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
13	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
14	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
15	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
16	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
17	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
18	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
19	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
20	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
21	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
22	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
23	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
24	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
25	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
26	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
27	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05
28	1,80	1,30	1,20	0,25	0,90	0,05

(1) – Orifício a maior profundidade; (2) – Orifício mais à superfície

Anexo B - Determinação do caudal escoado no dispositivo de Nunes aquando das medições

Tal como referido no documento principal, uma vez que a alimentação de caudal no dispositivo de passagem de peixes de Nunes é realizada através de duas aberturas munidas com comportas murais, o caudal a escoar no dispositivo vai depender do nível da albufeira e da posição das mesmas.

Como tal, houve necessidade de se determinar o caudal a escoar no dispositivo aquando das medições realizada, sendo que esta determinação de caudal foi determinada de forma indireta, uma vez que foi obtido a partir dos valores de velocidade de escoamento medidos em vários pontos da bacia 3.

A medição das velocidades foi conseguida através do uso de um micromolinete (Figura B.1). Este é um aparelho cujo funcionamento consiste em medir o número de rotações completas que a turbina realiza durante um certo período de tempo devido à velocidade de escoamento. Depois de medido do número de rotações, a velocidade de escoamento é obtida através da aplicação de uma curva de calibração do aparelho que relaciona estes dois componentes.

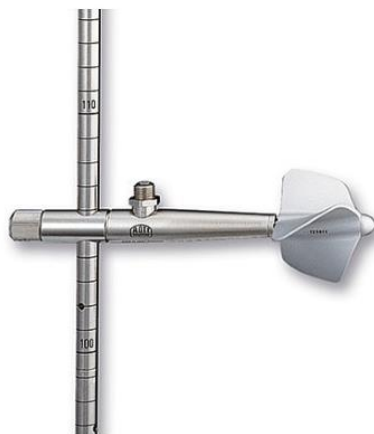


Figura B.1 – Micromolinete usado na medição de velocidades (Fonte: ott.com)

Nas medições efetuadas, o tempo de medição do número de rotações foi de 50 s, sendo que a conversão do valor do número de rotações em velocidade de escoamento foi obtida através da aplicação das seguintes retas de calibração:

$$v = 1,23 + 24,73 * n \quad \text{para } n < 1,74$$

$$v = -0,42 + 25,68 * n \quad \text{para } 1,74 < n < 10,00$$

onde, **n** corresponde ao número de rotações por segundo e **v** corresponde à velocidade em cm/s.

Através da aplicação destas retas, para uma medição do número de rotações durante 50 segundos, os valores de velocidades obtidos foram os seguintes:

Quadro B.1 – Determinação da velocidade de escoamento através do uso do micromolinetete

Vertical	Distância (m)	h de água (m)	h = 0,25 m			h = 0,50 m		
			n (50 s)	n (sec ⁻¹)	v (m/s)	n (50 s)	n (sec ⁻¹)	v (m/s)
1	0,10	0,74	20	0,40	0,11	26	0,52	0,14
2	0,20	0,73	23	0,46	0,13	16	0,32	0,09
3	0,30	0,74	18	0,36	0,10	11	0,22	0,07
4	0,40	0,73	17	0,34	0,10	19	0,38	0,11
5	0,50	0,73	18	0,36	0,10	18	0,36	0,10
6	0,60	0,74	17	0,34	0,10	11	0,22	0,07
7	0,70	0,73	30	0,60	0,16	20	0,4	0,11
8	0,80	0,73	28	0,56	0,15	19	0,38	0,11
9	0,90	0,74	70	1,40	0,36	23	0,46	0,13
10	1,00	0,72	58	1,16	0,30	37	0,74	0,20
11	1,10	0,72	55	1,10	0,28	34	0,68	0,18
12	1,20	0,72	94	1,88	0,48	55	1,1	0,28

Por sua vez, o cálculo do caudal total que escoava na bacia foi obtido através da aplicação do Método da Secção Média.

No Método da Secção Média, tal como representado na figura B.2, a secção transversal é dividida em subsecções (painéis), tornando possível o cálculo do caudal parcial para cada painel através da aplicação da seguinte expressão:

$$Q_{[i \text{ e } i+1]} = \frac{(v_i + v_{i+1})}{2} * \frac{(h_i + h_{i+1})}{2} * (b_{i+1} - b_i)$$

onde **v** corresponde à velocidade média em cada vertical (m/s), **h** à altura da vertical (m) e **b** à distância entre a vertical e a margem (m). Por sua vez, o caudal total corresponde à soma dos caudais parciais.

De realçar que para painéis adjacentes às margens, a velocidade na margem é considerada como sendo zero. Também nesta ótica, uma vez que em cada secção a velocidade de escoamento foi medida a duas alturas, o valor médio no painel trata-se da média entre as velocidades medidas nas duas alturas.

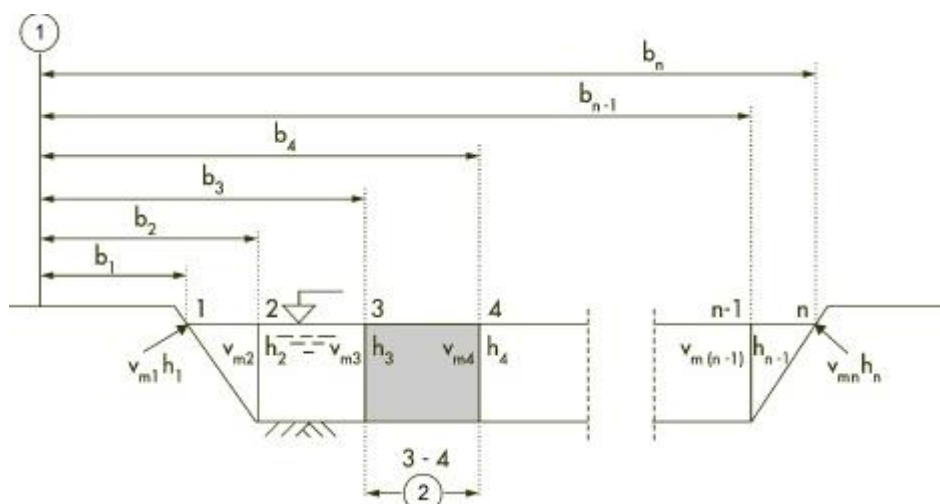


Figura B.2- Representação esquemática do Método da Secção Média (OTT, 2012)

Deste modo, tomando como exemplo o cálculo do caudal entre a vertical 1 e 2, o caudal parcial da mesma foi de:

$$Q_{[1-2]} = \frac{(v_1 + v_2)}{2} * \frac{(h_1 + h_2)}{2} * (b_2 - b_1)$$

$$Q_{[1-2]} = \frac{(0,13 + 0,11)}{2} * \frac{(0,74 + 0,73)}{2} * (0,20 - 0,10) = 0,002 \text{ m}^3/\text{s}$$

Assim, aplicando este método de cálculo, determinou-se que na altura das medições o caudal a escoar ao longo do dispositivo era de 0,127 m/s, tal como representado na seguinte tabela.

Quadro B.2 – Cálculo de caudal escoado aquando no dispositivo de Nunes aquando das medições através da aplicação do método da secção média

Vertical	Distância (m)	h de água (m)	velocidade (m/s)		velocidade média (m/s)	Q [i e i+1] (m³/s)
			h = 0,25 m	h = 0,50 m		
1	0,10	0,74	0,11	0,14	0,13	0,002
2	0,20	0,73	0,13	0,09	0,11	0,009
3	0,30	0,74	0,10	0,07	0,08	0,007
4	0,40	0,73	0,10	0,11	0,10	0,007
5	0,50	0,73	0,10	0,10	0,10	0,007
6	0,60	0,74	0,10	0,07	0,08	0,007
7	0,70	0,73	0,16	0,11	0,14	0,008
8	0,80	0,73	0,15	0,11	0,13	0,010
9	0,90	0,74	0,36	0,13	0,24	0,014
10	1,00	0,72	0,30	0,20	0,25	0,018
11	1,10	0,72	0,28	0,18	0,23	0,017
12	1,20	0,72	0,48	0,28	0,38	0,022
					ΣQ	0,127

Anexo C – Comportamento hidráulico dos dispositivos de Bouçoais-Sonim e de Rebordelo com a implementação da Proposta Mis_1b

DISPOSITIVO DE PASSAGEM DE PEIXES DE BOUÇOAIS-SONIM

Quadro C.1 - Comportamento hidráulico do dispositivo de Bouçoais-Sonim quando se desvia 0,40 m³/s do caudal total

Bacia	Z _{bacia} (m)	h _{água} (m)	Z _{água} (m)	Δh (m)	H1 (m)	Q (m ³ /s)	P/V (W/m ³)
1 (Elevador)	312,11	1,12	313,23	0,30	0,37	0,40	131,28
2	311,84	1,09	312,93	0,30	0,40	0,40	101,35
3	311,54	1,09	312,63	0,30	0,63	0,40	102,53
4	311,24	1,09	312,33	0,30	0,63	0,40	102,53
5	310,94	1,09	312,03	0,30	0,63	0,40	102,53
6	310,64	1,09	311,73	0,30	0,63	0,40	102,53

Quadro C.2 - Comportamento hidráulico do dispositivo de Bouçoais-Sonim quando se desvia 0,30 m³/s do caudal total

Bacia	Z _{bacia} (m)	h _{água} (m)	Z _{água} (m)	Δh (m)	H1 (m)	Q (m ³ /s)	P/V (W/m ³)
1 (Elevador)	312,11	1,28	313,39	0,30	0,43	0,50	140,72
2	311,84	1,25	313,09	0,30	0,46	0,50	110,63
3	311,54	1,25	312,79	0,30	0,79	0,50	111,93
4	311,24	1,25	312,49	0,30	0,79	0,50	111,93
5	310,94	1,25	312,19	0,30	0,79	0,50	111,93
6	310,64	1,25	311,89	0,30	0,79	0,50	111,93

Quadro C.3 - Comportamento hidráulico do dispositivo de Bouçoais-Sonim quando se desvia 0,20 m³/s do caudal total

Bacia	Z _{bacia} (m)	h _{água} (m)	Z _{água} (m)	Δh (m)	H1 (m)	Q (m³/s)	P/V (W/m3)
1 (Elevador)	312,11	1,44	313,55	0,30	0,49	0,60	150,28
2	311,84	1,41	313,25	0,30	0,52	0,60	117,81
3	311,54	1,41	312,95	0,30	0,95	0,60	119,22
4	311,24	1,41	312,65	0,30	0,95	0,60	119,22
5	310,94	1,41	312,35	0,30	0,95	0,60	119,22
6	310,64	1,41	312,05	0,30	0,95	0,60	119,22

DISPOSITIVO DE PASSAGEM DE PEIXES DE REBORDELO

Quadro C.4 - Comportamento hidráulico do dispositivo de Rebordelo quando se desvia 0,40 m³/s do caudal total

Bacia	Z _{bacia} (m)	h _{água} (m)	Z _{água} (m)	Δh (m)	H1 (m)	Q (m³/s)	P/V (W/m3)
1 (Elevador)	353,73	1,11	354,83	0,30	0,37	0,40	96,61
2	353,43	1,10	354,53	0,30	0,40	0,40	108,92
3	353,14	1,09	354,23	0,30	0,63	0,40	129,79
4	352,84	1,09	353,93	0,30	0,63	0,40	129,79
5	352,54	1,09	353,63	0,30	0,63	0,40	129,79
6	352,24	1,09	353,33	0,30	0,63	0,40	129,79

Quadro C.5 - Comportamento hidráulico do dispositivo de Rebordelo quando se desvia 0,30 m³/s do caudal total

Bacia	Z _{bacia} (m)	h _{água} (m)	Z _{água} (m)	Δh (m)	H1 (m)	Q (m³/s)	P/V (W/m³)
1 (Elevador)	353,73	1,26	354,99	0,30	0,43	0,50	105,89
2	353,43	1,26	354,69	0,30	0,46	0,50	119,35
3	353,14	1,25	354,39	0,30	0,79	0,50	129,79
4	352,84	1,25	354,09	0,30	0,79	0,50	129,79
5	352,54	1,25	353,79	0,30	0,79	0,50	129,79
6	352,24	1,25	353,49	0,30	0,79	0,50	129,79

Quadro C.6 - Comportamento hidráulico do dispositivo de Rebordelo quando se desvia 0,20 m³/s do caudal total

Bacia	Z _{bacia} (m)	h _{água} (m)	Z _{água} (m)	Δh (m)	H1 (m)	Q (m³/s)	P/V (W/m³)
1 (Elevador)	353,73	1,42	355,15	0,30	0,49	0,60	112,75
2	353,43	1,42	354,85	0,30	0,52	0,60	127,06
3	353,14	1,41	354,55	0,30	0,95	0,60	129,79
4	352,84	1,41	354,25	0,30	0,95	0,60	129,79
5	352,54	1,41	353,95	0,30	0,95	0,60	129,79
6	352,24	1,41	353,65	0,30	0,95	0,60	129,79

ANEXO D – Características biológicas das espécies piscícolas alvo de estudo ¹

BARBO DO NORTE

- NOME CIENTÍFICO

Luciobarbus bocagei (Steindachner, 1864)

- MORFOLOGIA

Espécie de tamanho médio (<50 cm) com um perfil da cabeça ligeiramente convexo e com boca inferior com dois pares de barbilhos que 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.

- HABITAT GERAL

Nos troços médios e inferiores dos rios ocupando o fundo (bentónico) e preferindo zonas com pouca ou moderada velocidade de corrente (exceto na época de reprodução). Como habitat preferido surge áreas de cursos de água permanentes com elevada cobertura ripária, com marcadas características lóticas (com correntezas) e reduzida instabilidade hídrica, no qual prefere troços mais profundos, com mais oxigénio e substrato fino. Quando na presença de barragens, este ocorre nas zonas mais profundas das mesmas.

- MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO

Entre abril e junho, sendo uma espécie potamódroma que realiza migrações para montante surgindo em zonas de corrente rápida, e boa oxigenação, sobre fundos de areia ou cascalho, assumindo assim um comportamento reófilo.

- AMEAÇAS

Poluição; barragens; regularizações; extração de água e inertes; dispositivos de passagem para peixes inadequados; introdução de exóticas.

- MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO

Redução da poluição através do controlo das descargas efluentes e tratamento dos mesmos; construção de passagem para peixes adequadas às espécies; controlo das espécies exóticas.

- ESTATUTO

Livro Vermelho: Pouco preocupante

CITES: Sem estatuto

Berna: III



Figura D.1 - Barbo do Norte (Cardoso, 2014)

¹ Informação retirada de (Ribeiro, et al., 2007)

BOGA DO DOURO

- NOME CIENTÍFICO

Pseudochondrostoma duriensis (Coelho, 1985)

- MORFOLOGIA

Espécie de tamanho médio (<50 cm), com corpo alongado e esguio. A boca é inferior sendo a sua abertura retilínea e com o lábio inferior grosso com lâmina córnea desenvolvida. Possui uma barbatana dorsal pequena com perfil concavo, uma barbatana anal 8 raios ramificados e perfil concavo e uma barbatana caudal pronunciadamente forcada. No que se refere às branquiospinhas, estas variam entre 18 e 24, sendo em média 22.

- HABITAT GERAL

A boga vive nos troços médios dos rios em zonas com corrente elevada e densa cobertura ripária, mas também prolifera nas águas das barragens. Esta espécie ocorre em habitats de maiores profundidades, maiores velocidades de corrente exceto no Verão, onde ocorre em zonas de menores profundidade e com pouca corrente. Os juvenis preferem zonas com substrato fino (areia e vasa) e baixas velocidades de corrente enquanto que os adultos ocorrem em zonas mais profundas e sem abrigo.

- MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO

Espécie potamódroma cuja época de reprodução vai de abril a junho. Peixe gregário especialmente na migração pré-reprodutora para montante.

- AMEAÇAS

Perda de habitat devido à construção de infraestruturas hidráulicas; aumento da poluição industrial, urbana e agrícola; introdução de espécies exóticas e piscívoras; destruição de habitat devido à extração de inertes e de água; inexistência de passagens adequadas para peixes nas barragens.

- MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO

Controlo e tratamento de efluentes; corrigir os impactos derivados das obras hidráulicas, nomeadamente pela construção de dispositivos de passagem para peixes; não dar concessões de rega quando o nível da água nos rios é muito baixo; aumentar o controlo sobre as espécies exóticas.

- ESTATUTO

Livro Vermelho: Pouco preocupante

CITES: Sem estatuto

Berna: III



Figura D.2 – Boga do Douro (Fonte: rio-uima.pt)

BORDALO

- NOME CIENTÍFICO

Squalius alburnoides (Steindachner, 1866)

- MORFOLOGIA

Espécie de pequenas dimensões (<20 cm) com corpo comprimido e estreito. Apresenta um perfil de cabeça retilíneo e um perfil ventral convexo e ascendente. A sua boca é terminal sem barbilhos, com maxilar inferior bem desenvolvido. A comissura bucal é grande e oblíqua, possuindo olhos grandes. A sua linha lateral é completa com inclinação na parte inicial com 38 a 44 escamas. A sua barbatana dorsal tem origem posterior à linha vertical da inserção posterior das barbatanas pélvicas.

- HABITAT GERAL

O bordalo vive em rios com corrente e maior granulometria do substrato, de reduzida largura e profundidade (0.3-0.7 m) e com abundância de macrófitas emergentes. Habita em zonas de correnteza, associados a rios com solos ácidos e a zonas não poluídas. Consoante as diferentes formas, existe segregação espacial, uma vez os machos diplóides são mais abundantes em zonas de pequena profundidade, temperaturas mais elevadas sobre substrato de vasa ou areia e as fêmeas triploides ocorrem em zonas de maior velocidade, elevado coberto vegetal.

- MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO

Espécie potamódroma cuja época de reprodução vai de março a julho. A postura é realizada em zonas de cascalho com corrente.

- AMEAÇAS

Introdução de exóticas piscívoras; construção de infraestruturas hidráulicas sem dispositivos de passagem para peixes; aumento da poluição industrial, urbana e agrícola.; extração de água; extração de inertes, uma vez que provocam a destruição das zonas de postura.

- MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO

Controlo e tratamento de efluentes; corrigir os impactos derivados das obras hidráulicas; não dar concessões de rega quando o nível das águas for muito baixo; corrigir o impacto das extrações de inertes; controlo das espécies exóticas.

- ESTATUTO

Livro Vermelho: Vulnerável

CITES: Sem estatuto

Berna: III

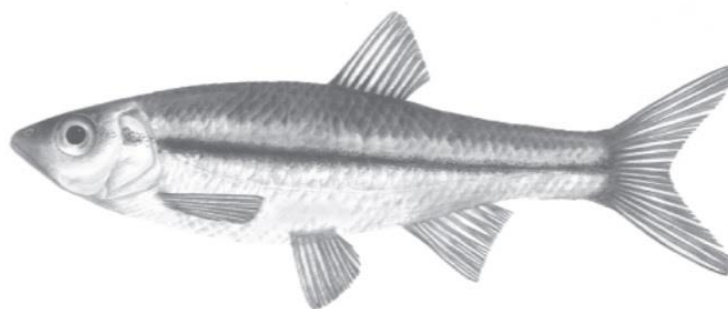


Figura D.3 – Bordalo (Fonte: ICNF.pt)

ESCALO DO NORTE

- NOME CIENTÍFICO

Squalius carolitertii (Doadrio, 1988)

- MORFOLOGIA

Espécie de tamanho médio (<50 cm), com corpo alongado, cabeça grande de perfil redondo e com boca subterminal. O seu corpo é coberto com grandes escamas, possuindo os bordos das barbatanas dorsal e anal claramente convexos, com 8 raios ramificados e a maxila e pré-maxila largas. O número de escamas da linha lateral situa-se entre 39-45, enquanto que o número de filas de escamas acima da linha lateral é entre 8-9 e de 6-9 abaixo da linha lateral. A sua barbatana dorsal situa-se à frente das barbatanas pélvicas.

- HABITAT GERAL

O Escalo do Norte vive em diversos meios, sendo encontrados em zonas de montanha e troços baixos. Prefere os habitats de maiores profundidades, maiores velocidades de corrente exceto no Verão e Outono. Por seu lado, os juvenis escolhem zonas com mais abrigo e com pouca profundidade e baixas velocidades de corrente.

- MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO

Espécie potamódroma cuja época de reprodução se situa entre abril e junho. O habitat de reprodução consiste em fundos de gravilha, de modo a poder construir ninhos para a postura.

- AMEAÇAS

Construção de infraestruturas hidráulicas, sem dispositivos de passagem para peixes adequados; aumento da poluição industrial, urbana e agrícola; introdução de exóticas; destruição das zonas de postura causada pela extração de inertes.

- MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO

Corrigir os impactos derivados das obras hidráulicas, nomeadamente a construção de dispositivos de passagens para peixes; não dar concessões de rega quando o nível das águas for muito baixo; reduzir a poluição através do tratamento dos efluentes urbanos e agrícolas; corrigir o impacto das extrações de inertes; controlo das espécies exóticas; controlar a evolução das populações das espécies exóticas.

- ESTATUTO

Livro Vermelho: Pouco Preocupante

CITES: Sem estatuto

Berna: Sem estatuto



Figura D.4 – Escalo do Norte (Fonte: rios-galegos.com)

PANJORCA

- NOME CIENTÍFICO

Achondrostoma arcasii (Steindachner, 1866)

- MORFOLOGIA

Espécie de pequeno tamanho (<20 cm), com corpo levemente comprimido, perfil da cabeça curvo sobretudo anteriormente e com o focinho nitidamente arredondado. A boca é inferior e subterminal, sem barbilhos e a comissura labial ultrapassa a linha vertical da abertura nasal. As escamas são de pequenas dimensões, possuindo uma linha lateral muito marcada geralmente com 40 a 46 escamas. A barbatana dorsal é maior do que a barbatana anal, apresentando um perfil convexo com a sua origem na mesma vertical da inserção posterior das barbatanas pélvicas ou anterior a esta linha vertical.

- HABITAT GERAL

A Panjorca ocorre em lagos e rios de montanha, preferindo colunas de água próxima da zona de corrente. Os juvenis surgem em zonas de pouca corrente e profundidade próximas das margens, mudando para zonas com mais corrente e de maior profundidade ao longo do seu desenvolvimento.

- MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO

Espécie potamódroma cuja época de reprodução se situa entre abril e junho. Os seus ovos são depositados no substrato.

- AMEAÇAS

A destruição do leito dos rios causado pela extração de inertes que causa também o aumento da turbidez dos rios, levando à colmatção das zonas de postura; introdução de espécies exóticas e repovoamentos de *Salmo trutta*; aumento da poluição sobretudo nas zonas inferiores das bacias; inexistência de dispositivos de passagem para peixes adequados.

- MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO

Minimização de impactos de obras hidráulicas sobre o habitat e consequente proteção do habitat; redução da poluição através do tratamento de efluentes industriais e urbanos; controlo dos repovoamentos de espécies exóticas.

- ESTATUTO

Livro Vermelho: Em perigo

CITES: Sem estatuto

Berna: III

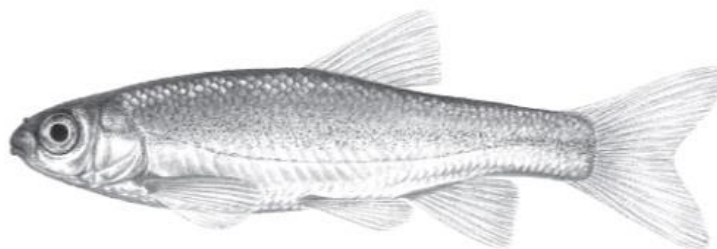


Figura D.5 – Panjorca (Fonte: ICNF.pt)

PERCA-SOL

- NOME CIENTÍFICO

Lepomis gibbosus (Linnaeus, 1758)

- MORFOLOGIA

Peixe de pequeno tamanho (<20 cm) de corpo alto com cor muito vistosa. A barbatana dorsal tem uma ligeira depressão, sendo constituída por uma primeira parte de raios ossificados e uma segunda com raios ramificados. O maxilar não alcança o bordo posterior do olho.

- HABITAT GERAL

A Perca-Sol ocorre nas zonas lânticas nomeadamente lagoas e troços de rios com escassa profundidade de corrente lenta e densa vegetação, sendo uma espécie capaz de suportar a falta de oxigénio e altas temperaturas.

- MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO

A época de reprodução é entre abril e julho/agosto. Efetua a desova em ninhos criados em fundos de areia e gravilha. Nos rios os machos nidificam junto a vegetação de macrófitas aquáticas submersas, enquanto nas barragens são em zonas descobertas menos profundas com declive suave, com areia e cascalho fino e médio.

- AMEAÇAS

- MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO

Esta espécie constitui um dos mais sérios problemas para a conservação dos peixes nativos, pelo que é necessário o seu controlo efetivo nas albufeiras

- ESTATUTO

Livro Vermelho: Sem estatuto

CITES: Sem estatuto

Berna: Sem estatuto

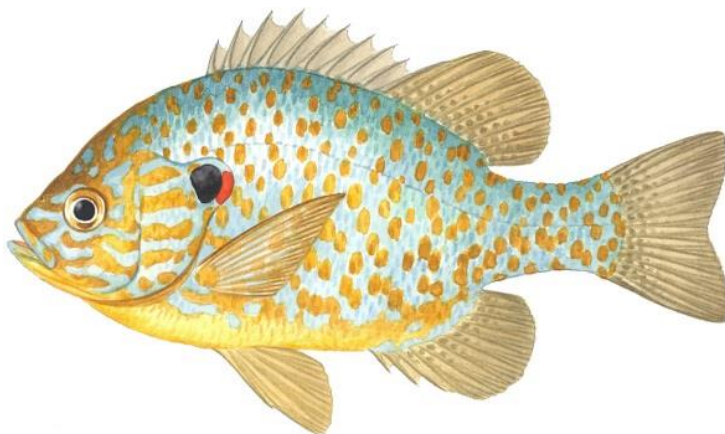


Figura D.6 – Perca-Sol (Fonte <http://lifesaramugo.lpn.pt>)

TRUTA-DE-RIO

- NOME CIENTÍFICO

Salmo trutta fario (Linnaeus, 1758)

- MORFOLOGIA

Espécie de tamanho médio (<50 cm) com duas barbatanas dorsais, sendo a primeira espinhosa e a segunda adiposa. As suas escamas são relativamente pequenas, sendo caracterizado por possuir uma boca maior do que a do Salmão, com esta a entender-se para lá do bordo posterior da orbita.

- HABITAT GERAL

A truta surge em rios com águas frias e oxigenadas, preferindo locais com elevadas velocidades de corrente, evitando normalmente locais pouco profundos. Ocorre em locais com substrato com granulometria superior a 7,5 cm, selecionando zonas com vegetação ripícola saliente e raízes.

- MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO

Espécie potamódroma cuja época de reprodução ocorre entre novembro e janeiro. A reprodução ocorre em locais com vegetação, abrigos, macroinvertebrados e boa qualidade da água com um índice biótico superior a 8, iniciando-se quando a temperatura varia entre 9 e 13°C e o caudal é superior a 1,10 m³/s, sendo que os locais de desova são pequenas áreas isoladas com pequenas porções de substrato adequado que formam um mosaico com outros tipos de substrato.

- AMEAÇAS

Sobrepesca; desrespeito pela época de defeso; repovoamentos realizados, uma vez que provocam introgressão genética nas populações selvagens; introdução do Lúcio; extração de inertes; poluição; alteração dos caudais.

- MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO

Assegurar a proteção de áreas de postura e manutenção da sua qualidade; não realizar repovoamentos indiscriminados; efetuar o tratamento de afluentes. construção de dispositivos de passagem para peixes adequados; gestão dos caudais nas bacias regularizadas; criação de zonas de pesca profissional; determinação de um período de defeso de acordo com a época de postura; maior fiscalização sobre a pesca; realização de campanhas de esclarecimento dos pescadores.

- ESTATUTO

Livro Vermelho: Criticamente em perigo

CITES: Sem estatuto

Berna: Sem estatuto



Figura D.7 – Truta-de-rio (Fonte: peixes.info)

VERDEMÃ DO NORTE

- NOME CIENTÍFICO

Cobitis calderoni (Bacescu, 1962)

- MORFOLOGIA

Espécie de pequenas dimensões (<20 cm), corpo lateralmente comprimido, cilíndrico e alongado com escamas redondas indistintas a olho nu e olhos pequenos. Apresenta um pedúnculo caudal longo e estreito, uma barbatana dorsal pequena e uma boca inferior com 3 pares de barbilhos.

- HABITAT GERAL

A Verdemã do Norte vive nos troços médios e superiores dos rios, em águas límpidas com gravilha e rochas de baixa profundidade.

- MIGRAÇÃO E REPRODUÇÃO

A época de reprodução ocorre entre março e maio, deslocando-se para troços com elevado teor de oxigénio dissolvido e corrente rápida, efetuando a reprodução em leitos com fundo de gravilha.

- AMEAÇAS

Extração de inertes; extração de água; regularização dos rios; introdução de espécies exótica; aumento da poluição.

- MEDIDAS DE CONSERVAÇÃO

Criação de zonas de proteção; redução da extração de inertes; controlo das espécies exóticas.

- ESTATUTO

Livro Vermelho: Em perigo

CITES: Sem estatuto

Berna: III



Figura D.8 – Verdemã do Norte (Fonte: eportal.mapama.gob.es)