

# DIMENSIONAMENTO DA PASSAGEM DE PEIXES DO AÇUDE-PONTE DE COIMBRA

**Alexandra BARBOSA**

*Engª Civil, Rua Jorge de Castilho, 17, 2725-491, Mem Martins, +351.21.9211099,*

[alexandra\\_barbosa@yahoo.com](mailto:alexandra_barbosa@yahoo.com)

**Carlos M. RAMOS**

*Engª Civil, LNEC, Av.do Brasil, 101, 1700-066, Lisboa, +351.21.8443000,*

[cmramos@lnec.pt](mailto:cmramos@lnec.pt)

**Graça JORGE**

*Engª Civil, HIDROPROJECTO, Engenharia e Gestão S.A., Av. Marechal Craveiro Lopes, 6, 1749-010, Lisboa, +351.21.7513000,*

[gjorge@hidroprojecto.pt](mailto:gjorge@hidroprojecto.pt)

## **RESUMO**

Os açudes ou barragens alteram inevitavelmente as características ecológicas dos cursos de água, constituindo o impedimento mais comum à realização das diferentes fases do ciclo biológico dos peixes migradores.

O Açude-Ponte de Coimbra constitui a primeira barreira intransponível para os peixes migradores que sobem o rio Mondego. Apesar de dispor actualmente de uma passagem de peixes, a mesma tem-se mostrado ineficaz, não cumprindo com os seus objectivos.

Esta falta de eficácia aliada à necessidade de permitir a transposição das espécies migradoras levou à elaboração de um novo dispositivo de transposição para o local.

Com a presente comunicação pretende-se apresentar os estudos e ensaios que estiveram por base no dimensionamento da futura passagem de peixes do Açude-Ponte de Coimbra.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Ecohidráulica, peixes migradores, passagem de peixes, dimensionamento

## 1. INTRODUÇÃO

Aliada à gestão dos recursos hídricos, tem-se verificado a crescente construção de açudes ou barragens que alteram, por si só, as condições de escoamento natural dos cursos de água alterando inevitavelmente as características ecológicas dos mesmos, constituindo o impedimento mais comum à realização das diferentes fases do ciclo biológico dos peixes migradores.

As populações de peixes dependem estritamente das características do habitat aquático, sendo esta dependência mais evidente nos peixes migradores que exigem zonas próprias para o desenvolvimento das fases principais dos seus ciclos biológicos. A possibilidade de circular para as diferentes zonas é obrigatória para a sobrevivência das espécies.

A construção de passagens de peixes constitui a primeira medida para a manutenção dos “stocks” de peixes migradores sendo procedida de programas de manutenção e de gestão permanentes, por forma a assegurar a sua eficácia.

Em Portugal a construção de passagens para peixes é um fenómeno relativamente recente, tendo-se verificado que na sua generalidade ficam aquém das expectativas, impossibilitando a migração dos peixes. Os principais problemas dos dispositivos estão directamente ligados com:

- a obstrução, intencional ou não, frequente dos orifícios e dos descarregadores;
- o assoreamento das passagens de peixes;
- acessibilidades às passagens de peixes muito difíceis, condicionando as operações de limpeza e manutenção;
- condições de atractividade dos peixes, à entrada dos dispositivos, ineficientes ou mesmo nulas;
- o mau dimensionamento das passagens, englobando desníveis entre bacias desajustados e velocidades excessivas;
- a deficiente gestão do caudal, fazendo com que as bacias não assegurem a sua função, quer por excesso, quer por ausência de água;
- a pesca junto das passagens de peixes.

O Açude-Ponte de Coimbra dispõe actualmente de uma passagem de peixes cuja falta de eficácia tem vindo a ser notada em particular pelas entidades responsáveis pelo Açude de Coimbra (Instituto da Água) e pela gestão dos recursos piscícolas (Direcção Geral das Florestas).

Desta constatação, surgiu a necessidade de elaborar um novo dispositivo de transposição para o local, objecto do presente artigo.

## 2. CARACTERIZAÇÃO ICTIOFAUNÍSTICA

A inventariação da ictiofauna existente na área de influência do Açude-Ponte de Coimbra foi realizada recorrendo à informação compilada durante a realização de campanhas de amostragem efectuadas no âmbito de outros trabalhos de investigação que têm vindo a ser desenvolvidos na bacia hidrográfica do Mondego. Esta informação foi complementada com inquéritos à população local e consulta a bibliografia especializada, tendo-se concluído que as principais espécies ictiofaunísticas existentes na área de influência do Açude-Ponte de Coimbra são as que se apresentam no Quadro 1.

Taxa	Nome comum	Fenologia	Abundância		Estatuto de Conservação	Valor Comercial
			Mondego	Açude		
<b>Família Petromizonidae</b>						
<i>Petromyzon marinus</i>	Lampreia-marinha	MA	●	●	V-B/III-H/II	\$\$\$
<b>Família Clupeidae</b>						
<i>Alosa alosa</i>	Sável	MA	●	●	V-B/III-H/II+V	\$\$\$
<i>Alosa fallax</i>	Savelha	MA	●	●	V-B/III-H/II+V	\$\$

Taxa	Nome comum	Fenologia	Abundância		Estatuto de Conservação	Valor Comercial
			Mondego	Açude		
<b>Família Anguillidae</b>						
<i>Anguilla anguilla</i>	Enguia	MC	●	●●●	CT	\$\$\$
<b>Família Cyprinidae</b>						
<i>Barbus bocagei</i>	Barbo-do-Norte	D	●●●	●●	NT-B/III-H/V	\$
<i>Carassius auratus</i>	Pimpão	D(i)	●	●●	-	\$
<i>Chondrostoma polylepis</i>	Boga	D(ib)	●●●	●●●	NT-B/III-H/II	\$
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa	D(i)	●●	●	-	\$
<i>Gobio gobio</i>	Góbio	D(i)	●●	●●●	-	\$
<i>Leuciscus carolitertii</i>	Escalo-do-Norte	D(ib)	●●	●	NT	\$
<i>Rutilus macrolepidotus</i>	Ruivaco	D(ib)	●●●	●●	I-B/III-H/II	\$
<b>Família Centrarchidae</b>						
<i>Lepomis gibbosus</i>	Perca-sol	D(i)	●	●	-	\$
<i>Micropterus salmoides</i>	Achigã	D(i)	●	●	-	\$\$\$
<b>Família Poeciliidae</b>						
<i>Gambusia holbrooki</i>	Gambúsia	D(i)	●	●	-	\$
<b>Família Mugilidae</b>						
<i>Liza ramada</i>	Muge	MC	●●	●	-	\$\$
<b>Família Salmonidae</b>						
<i>Salmo trutta</i>	Truta	D	●	●	NT	\$\$\$

Fenologia: D - dulciaquícola em que (i) - introduzido e (ib) - endemismo ibérico; MA - migrador anádromo; MC - migrador catádromo e ME - marinho eurihalino.

Níveis de abundância: Muito comum - (●●●), Comum - (●●) e Pouco comum - (●). Estatuto de Conservação: V - *taxon* vulnerável, R - raro, I - estatuto indeterminado, K - estatuto insuficientemente conhecido, CT - espécie comercialmente ameaçada, NT - *taxon* não ameaçada; B - Convenção de Berna, Anexo III; H - Directiva Habitats, Anexos II e V. Valor Comercial: \$\$\$ - elevado, \$\$ - médio, \$ - reduzido ou nenhum.

Quadro 1 - Comunidades ictiofaunísticas existentes na área envolvente do Açude-Ponte de Coimbra

O Açude-Ponte constitui a primeira barreira com significado (a jusante existe apenas um pequeno açude, o açude da Formoselha, facilmente transponível) à passagem dos peixes anádromos que sobem o Mondego, em especial a lampreia, o sável e a savelha. Também os juvenis de enguia encontram nesta infra-estrutura um obstáculo que condiciona a sua migração para as zonas superiores da bacia hidrográfica, sendo frequente a acumulação destes exemplares no troço a jusante, em determinadas épocas do ano, em particular durante o mês de Junho. As observações efectuadas no local permitiram igualmente confirmar que, também alguns ciprinídeos, que efectuam migrações de reprodução, encontram neste açude uma barreira intransponível que os impede de alcançarem zonas de postura mais propícias às suas necessidades ecológicas, nos troços de montante.

Tendo em consideração as particularidades ecológicas das espécies que compõem a comunidade ictiofaunística da zona inferior da bacia hidrográfica do Mondego, podemos destacar sete espécies que potencialmente poderão utilizar com mais frequência o futuro dispositivo de transposição.

No Quadro 2 indicam-se as sete espécies referidas, as respectivas épocas de migração e os comprimentos médio e máximo das espécies.

Espécie	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul-Set	Comprimento (cm)	
											Médio	Máx.
<i>P. marinus</i> (Lampreia-marinha)											50-60	100
<i>A. alosa</i> (Sável)											22-38	85
<i>A. fallax</i> (Savelha)											20-40	60
<i>A. anguilla</i> (Enguia) <sup>1</sup>												70
<i>B. bocagei</i> (Barbo-do-Norte)												60
<i>C. polylepis</i> (Boga)												30
<i>L. ramada</i> (Muge) <sup>2</sup>												40

<sup>1</sup> exemplares juvenis

<sup>2</sup> migração de alimentação

Quadro 2 - Épocas de migração e comprimentos das espécies que potencialmente utilizarão o futuro dispositivo de transposição

A análise das épocas de migração permite verificar que o período de Dezembro a Junho corresponderá à fracção do ano em que se exige que o dispositivo se encontre em condições ideais de funcionamento, pelo que qualquer trabalho de manutenção terá de ser executado fora deste período. Os meses de Outubro e Novembro foram excluídos porque, apesar de corresponderem ao início da época de entrada de meixão na zona estuarina, o pico de migração e a acumulação de juvenis de enguia a jusante do açude regista-se mais tarde, sensivelmente a partir de Dezembro.

No entanto, considerando as espécies mais marcantes na região (Sável e Lampreia), decidiu-se considerar o período de Janeiro a Junho como o período de maior incidência da migração, para o qual foram analisadas em maior detalhe as condicionantes hidrológicas e hidráulicas.

Por outro lado, sendo conhecido o grau de exigência que as espécies do género *Alosa* apresentam relativamente às características hidráulicas das passagens de peixes, foi eleita esta espécie como referência para definir as características da futura passagem de peixes.

### 3. CONDICIONANTES HIDROLÓGICAS E HIDRÁULICAS

#### 3.1 Características gerais do Açude-Ponte

O Açude-Ponte de Coimbra integra-se no Aproveitamento Hidráulico do Mondego (AHM) e tem como objectivo:

- garantir níveis de água que permitam regar os campos do Baixo Mondego e a derivação dos caudais necessários para o abastecimento doméstico e industrial;
- armazenar um volume ( $\cong 0,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ ) que garanta um abastecimento autónomo para rega durante cerca de 7 horas (na situação de máximo consumo ( $25 \text{ m}^3/\text{s}$ ));
- garantir um caudal ecológico mínimo de  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  no Leito Central a jusante de Coimbra;
- melhorar as condições climáticas, paisagísticas e de fruição hídrica e desportiva de Coimbra ao garantir um espelho de água com variações de nível relativamente pequenas.

Na margem direita fica situada a tomada de água principal para abastecimento municipal, industrial e para rega através do Canal Conductor Geral (CCG), dimensionado para um caudal de  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ . Na margem esquerda fica instalada uma outra tomada de água dimensionada para o caudal de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , que se designa por Adutor de Rega da Margem Esquerda.

Os órgãos de exploração do Açude-Ponte foram concebidos de forma a poderem ser comandados à distância e englobados posteriormente num sistema automatizado e integrado de gestão dos recursos hídricos da bacia do Mondego. O sistema dispõe de 9 vãos, munidos de comportas, que permitem a criação de uma albufeira cujos níveis de exploração oscilam entre 17,50 m e 18,00 m (NPA).

### 3.2 Regime de caudais

O regime de caudais e, por dependência, os níveis de água a montante e a jusante de uma passagem de peixes são factores determinantes para o seu dimensionamento e, conseqüentemente, para o seu bom funcionamento.

Os caudais afluentes ao Açude-Ponte de Coimbra estão condicionados pelo regime de exploração dos aproveitamentos hidroeléctricos localizados na Barragem da Aguieira e no Açude da Raiva e pela satisfação das necessidades de água da região do Baixo Mondego (rega, indústria e abastecimento ao concelho da Figueira da Foz).

Deixando em aberto os caudais naturais e não controlados, as situações mais usuais de exploração destes aproveitamentos, a montante do Açude-Ponte, são as seguintes:

- a barragem de Fronhas lança em contínuo no rio Alva um caudal de 2 m<sup>3</sup>/s (caudal ecológico), sendo o caudal excedente desviado para a Barragem da Aguieira;
- considerando uma situação de produção de energia mínima, o Açude da Raiva turbinava um caudal máximo de 70 m<sup>3</sup>/s ao longo do dia. Nesta situação temos caudais máximos afluentes em Coimbra inferiores a 20 m<sup>3</sup>/s e caudais mínimos na ordem de 2 m<sup>3</sup>/s, sendo os caudais lançados no Leito Central da ordem de 10 m<sup>3</sup>/s, mas que poderão ser da ordem de 4 m<sup>3</sup>/s (caudal ecológico);
- em situação intermédia de produção de energia, o Açude da Raiva pode utilizar as duas turbinas (~140 m<sup>3</sup>/s). Nesta situação, os caudais máximos afluentes a Coimbra são da mesma ordem de grandeza dos caudais da Raiva, assim como os caudais lançados para o Leito Central. Para caudais diferentes dos turbinamentos mínimos, ocorrem grandes variações ao longo do dia dos caudais afluentes e efluentes do Açude-Ponte de Coimbra, podendo estes últimos variar entre 130 m<sup>3</sup>/s e 10 m<sup>3</sup>/s;
- a situação de máxima produção de energia e de caudais mais elevados no rio Mondego, ocorre quando o Açude da Raiva turbinava de modo contínuo, com duas turbinas (140 m<sup>3</sup>/s). Em situação extrema, o açude da Raiva pode ainda efectuar descargas de cheia. Numa situação destas os caudais ao longo do dia variam em Coimbra (jusante e montante do açude) entre os 15 m<sup>3</sup>/s e os 150 m<sup>3</sup>/s.

Face ao exposto, o dimensionamento da passagem de peixes foi efectuado por forma a funcionar para caudais a jusante do Açude-Ponte variáveis entre 5 m<sup>3</sup>/s e 150 m<sup>3</sup>/s.

### 3.3 Níveis de água a montante e jusante do açude

O conhecimento dos níveis de água a montante e jusante do Açude-Ponte é indispensável para que se possa proceder à correcta implantação da passagem de peixes.

Embora as comportas permitam a criação de uma albufeira cujos níveis de exploração oscilam entre 17,30 m (NmE) e 18,00 m (NPA), verifica-se que, face à existência de consumos menores que os previstos, os níveis de montante têm variado entre 17,50 m e 18,00 m.

A jusante ocorrem variações de nível de água mais acentuadas sendo necessário ter cuidados acrescidos na determinação do melhor local para implantação da futura passagem de peixes.

Na Figura 1 apresenta-se a curva de vazão dos caudais a jusante com base nos dados obtidos junto do INAG, para caudais inferiores a 150 m<sup>3</sup>/s.

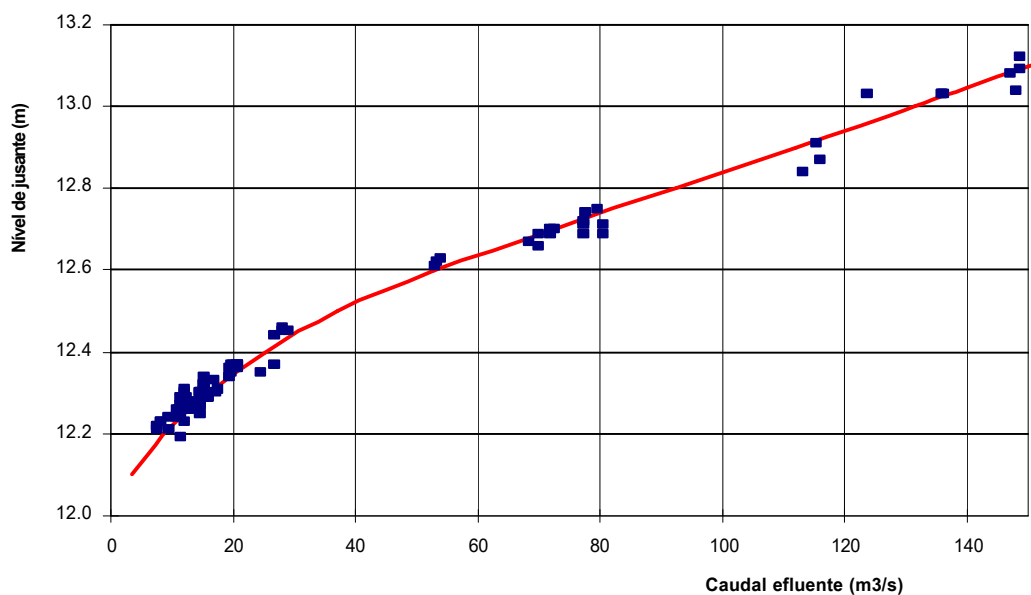


Figura 1 – Curva de vazão a jusante do Açude-Ponte de Coimbra ( $Q < 150\text{m}^3/\text{s}$ )

Os valores de níveis e caudais para estabelecimento desta curva de vazão foram baseados em leituras, entre Janeiro e Março de 2000, de uma escala hidrométrica localizada na margem direita do Leito Central, a cerca de 160 m a jusante da bacia de dissipação do Açude-Ponte, e nos registos dos caudais do Açude-Ponte. Com base na curva de vazão e na variação dos caudais existentes considerou-se que a futura passagem de peixes do Açude-Ponte deverá funcionar para níveis a jusante que poderão oscilar entre 12,10 m ( $5\text{ m}^3/\text{s}$ ) e 13,10 m ( $150\text{ m}^3/\text{s}$ ), acrescidos de uma pequena folga.

## 4. DIMENSIONAMENTO DA PASSAGEM DE PEIXES

### 4.1 Características gerais

O dimensionamento da passagem de peixes do Açude-Ponte de Coimbra foi feito no pressuposto de que a “espécie alvo” é o sável (*Alosa alosa*), espécie mais sensível entre as espécies migradoras da comunidade ictiofaunística existentes na bacia hidrográfica do rio Mondego.

Neste sentido, por se adaptar melhor às características desta espécie e face à experiência actual, optou-se por uma passagem de peixes constituída por bacias sucessivas e fendas verticais.

Este tipo de passagem de peixes apresenta a vantagem de se adaptar, sem secção de regulação, a importantes variações do nível de água a montante e a jusante. Por outro lado, as condições de velocidade e de turbulência do escoamento permanecem muito estáveis quaisquer que sejam os níveis de água no interior da passagem de peixes, permitindo aos peixes subir na profundidade pretendida.

A planta e o perfil longitudinal da futura passagem de peixes apresenta-se na Figura 2.



O dimensionamento das bacias sucessivas foi efectuado considerando os seguintes critérios:

- Bacias com uma fenda vertical;
- A largura da fenda igual a 0,50 m;
- A potência dissipada em cada bacia por unidade de volume, inferior a 150 W/m<sup>3</sup>;
- Queda entre duas bacias sucessivas de 0,25 m;
- Profundidade mínima da água nas bacias de 1,50 m, correspondendo à cota do nível de água na albufeira mais baixa (N<sub>2</sub> = 17,50 m);
- Comprimento das bacias de 4,50 m;
- Largura das bacias de 3,00 m.

A configuração em planta das bacias está representada na Figura 3.

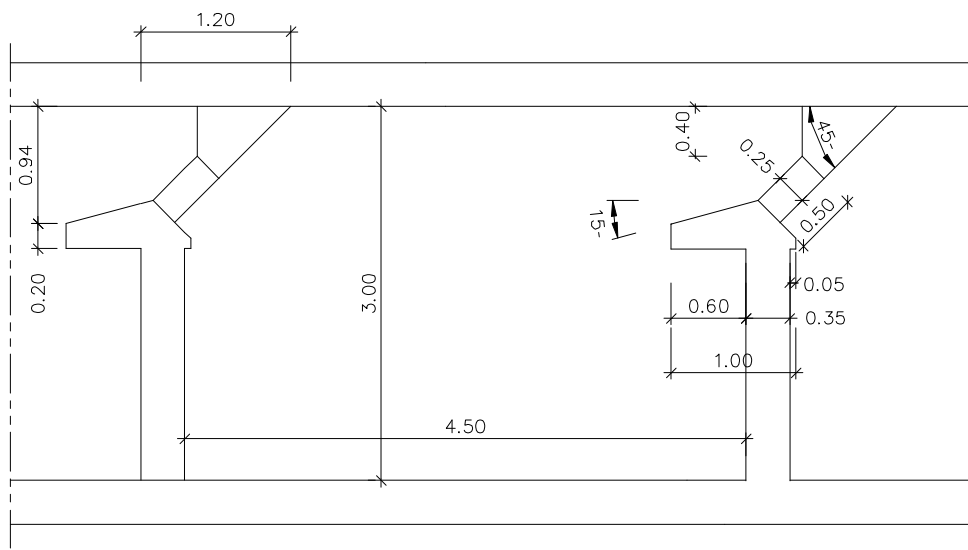


Figura 3 – Características geométricas das bacias da passagem de peixes

## 4.2 Caudal de dimensionamento das bacias

O caudal de dimensionamento das bacias é obtido através da seguinte equação:

$$Q = \mu b h' \sqrt{2g \Delta h} \quad (1)$$

em que:

$\mu$  – coeficiente de vazão; (-)

$b$  – largura da fenda; (m)

$h'$  – altura de água na fenda; (m)

$g$  – aceleração da gravidade; (m/s<sup>2</sup>)

$\Delta h$  – desnível de água entre bacias. (m)

Os principais factores afectando o coeficiente de vazão são a forma do perfil da fenda. Face à configuração com arestas vivas, o coeficiente de vazão considerado foi de 0,65.

A fenda dispõe de uma soleira com uma altura de 0,25 m, donde o valor da altura de água na fenda ( $h'$ ) será igual à profundidade de água na bacia imediatamente a montante ( $h$ ), deduzido de 0,25 m. Esta soleira tem por objectivo melhorar a orientação do jacto em diagonal na bacia, evitando o fenómeno de curto circuito e simultaneamente reduzir o valor do caudal na fenda.



Para um nível na albufeira de 18,00 m o caudal de dimensionamento da passagem de peixes adoptado foi de 1,50 m<sup>3</sup>/s e de 1,00 m<sup>3</sup>/s para 17,50 m, que tiveram em conta os desvios verificados em modelo reduzido conforme se refere no ponto 5.

### 4.3 Potência dissipada

A potência dissipada em cada bacia por unidade de volume é definida pela expressão:

$$P_v = \frac{9810Q\Delta h}{LBh} \quad (2)$$

em que:

$P_v$  – Potência dissipada por unidade de volume; (W/m<sup>3</sup>)

$Q$  – Caudal de dimensionamento; (m<sup>3</sup>/s)

$\Delta h$  – Queda entre duas bacias; (m)

$L$  – Comprimento da bacia; (m)

$B$  – Largura da bacia; (m)

$h$  – Profundidade média da água na bacia. (m)

Considerando uma profundidade média de água na bacia, obtiveram-se os seguintes valores de potência por unidade de volume:

Q (m <sup>3</sup> /s)	P <sub>v</sub> (W/m <sup>3</sup> )
1,50	136
1,00	121

Quadro 3 – Potência dissipada nas bacias

Da análise destes valores verifica-se que, para as situações correspondentes aos níveis de água na albufeira de 18,00 m e 17,50 m, as potências dissipadas são inferiores ao valor máximo recomendado na bibliografia para a espécie alvo-sável, isto é, inferiores a 150 W/m<sup>3</sup>.

### 4.4 Entrada do dispositivo (jusante)

#### 4.4.1 Caudal de atracção

A configuração da entrada da passagem de peixes constitui um factor fundamental com vista a garantir um bom funcionamento global. Efectivamente, há que criar condições para a atracção dos peixes, o que pressupõe a definição de uma entrada com geometria e equipamento adequados, para, em função dos níveis de água a jusante, garantir uma queda de água de 0,25 m.

Nesta conformidade, o valor de caudal de atracção da ordem de 2,00 m<sup>3</sup>/s foi considerado como satisfazendo os objectivos. Como o caudal escoado pelas bacias varia entre 1,00 m<sup>3</sup>/s e 1,50 m<sup>3</sup>/s, tornou-se necessário proceder à criação de um sistema para alimentação de caudal adicional, devendo variar, respectivamente, entre 1,00 m<sup>3</sup>/s e 0,50 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.4.2 Descarregador variável

Dada a variação das cotas dos níveis de água a jusante, a garantia de uma queda constante de 0,25m é bem conseguida pela utilização de um descarregador variável.

Face ao caudal escoado através da passagem de peixes, que varia em função da cota do nível de água a montante (albufeira), o descarregador deslocar-se-á automaticamente em função da cota do nível de água a jusante, de forma a garantir uma cota da crista que crie a queda pretendida.

Como se definiu o caudal de atracção da ordem de 2,00 m<sup>3</sup>/s, as exigências dos valores a adoptar para as quedas e as variações das cotas dos níveis de água, conduziram, em termos de dimensões da entrada da passagem de peixes, à adopção de uma abertura em que a crista tem de variar em função dessas cotas. Nesta conformidade, dado que na entrada o escoamento se deve processar em superfície livre, o caudal escoado na abertura é definida por:

$$Q = \mu \Delta H C_{afog} \sqrt{2g} H^{1.5} \quad (3)$$

em que:

$\mu$  - coeficiente de vazão dado por Rehbock; (-)

$\Delta H$  - perda de carga de Francis associada ao estrangulamento na entrada do dispositivo de transposição (=  $b - 0,20H$ ); (m)

$b$  - largura da abertura; (m)

$H$  - carga a montante em relação à crista do descarregador variável; (m)

$C_{afog}$  - coeficiente de redução do caudal devido à submersão da crista =  $[1 - (H - \Delta h)/H]^{1.5}]^{0,385}$ ; (-)

$\Delta h$  - diferença de níveis; (m)

$g$  - aceleração da gravidade. (m/s<sup>2</sup>)

Tendo em consideração, por um lado a largura de 1,50 m do vão do descarregador, e por outro lado a garantia de uma queda de 0,25 m entre os níveis de montante e jusante, chegou-se ao valor de carga sobre o descarregador de cerca de 0,90 m. Este valor deverá ser calibrado e ajustado no protótipo, por forma a que o automatismo do descarregador garanta a queda constante de 0,25 m.

Dh (m)	H <sub>comporta</sub> (m)	N <sub>jusante</sub> (m)	N <sub>bacia</sub> (m)	N <sub>descarregador</sub> (m)
0,25	0,90	12,10	12,35	11,45
0,25	0,90	13,10	13,35	12,45

Quadro 4 – Níveis de água e níveis de posição do descarregador variável

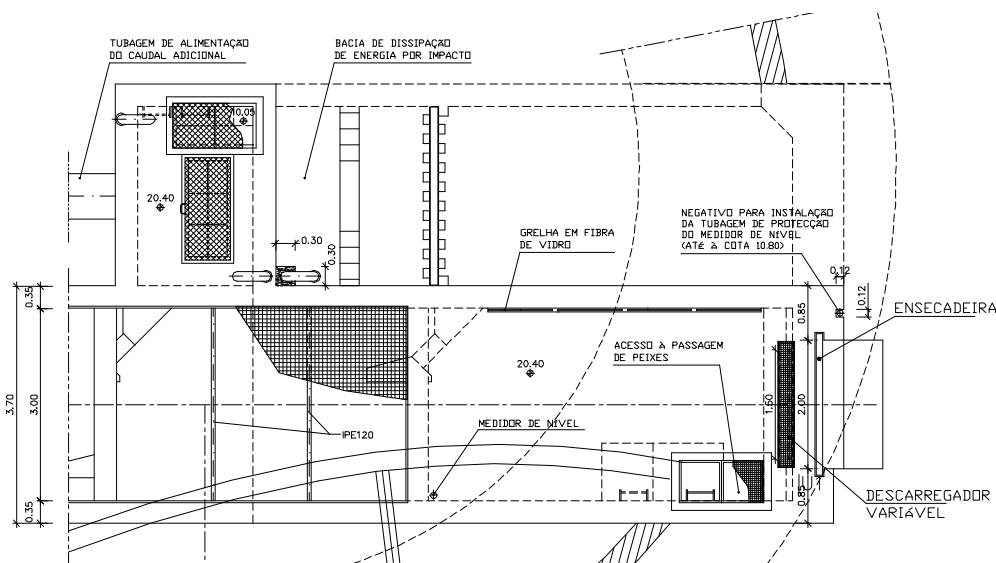


Figura 4 – Planta de cobertura da estrutura de entrada da passagem de peixes (jusante)

#### 4.4.3 Canal de acesso

Para o bom funcionamento da passagem de peixes é fundamental manter um canal de acesso à entrada da passagem de peixes à cota 10,80 m, o que corresponde a uma altura mínima de água de 1,20 m.

Após uma análise muito cuidada das características deste canal e dos procedimentos para a sua manutenção, decidiu-se que este canal deverá ser implantado em planta segundo as cotas mais baixas do leito do rio, procurando que a hidrodinâmica dos caudais favoreça a manutenção do canal às cotas desejadas. Quando tal não acontecer, o canal deverá ser desassoreado através de meios mecânicos, propondo-se a utilização de uma retroescavadora que entrará no rio, através de um acesso na margem esquerda, que será criado com esse objectivo.

#### 4.5 Saída do dispositivo (montante)

Havia que criar condições que possibilitem, por um lado, a saída dos peixes e, por outro lado, que impeçam a entrada de objectos que se encontrem a flutuar na albufeira para a escada.

Tendo em consideração estes factores, foi prevista a estrutura de saída da passagem de peixes que se apresenta na Figura seguinte. Esta estrutura apresenta uma geometria, em planta, em curva interceptando perpendicularmente o leito do rio.

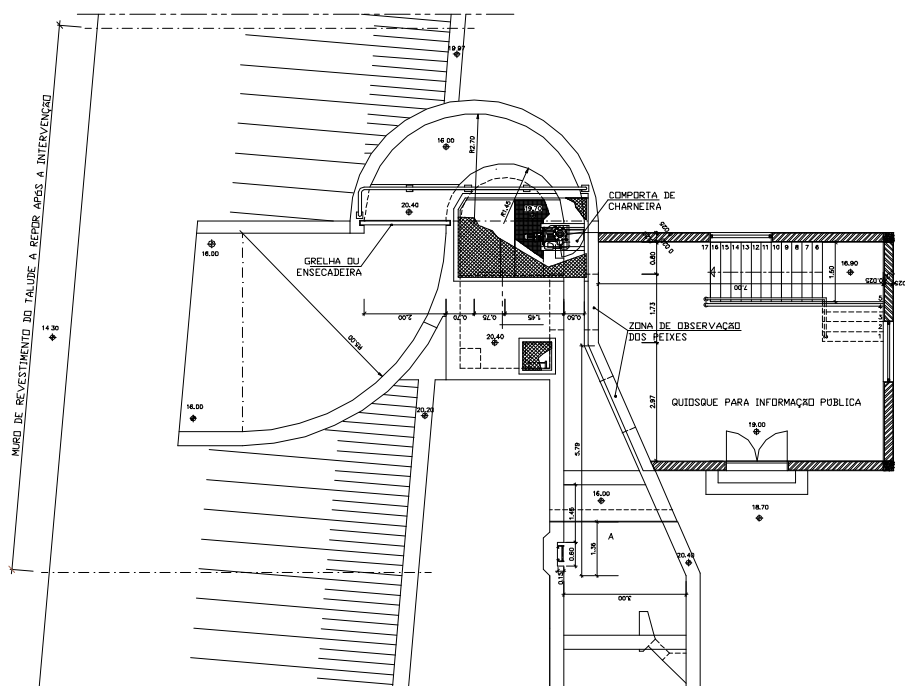


Figura 5 – Planta da estrutura de saída da passagem de peixes (montante)

Por outro lado, foi também prevista a instalação de uma grelha de malha suficientemente larga que permita a saída dos peixes mas que simultaneamente impeça a entrada na escada de peixes de objectos flutuantes de dimensões razoáveis.



A este orifício segue-se um canal de secção rectangular com 1,00 m de largura e soleira à cota 16,20 m. O canal da tomada de água para rega, próximo da sua extremidade de jusante, atravessa interiormente a actual escada de peixes. Após este atravessamento existe uma transição para uma tubagem em betão com 1,00 m de diâmetro.

Devido à implantação da futura escada de peixes, quer em planimetria, quer em altimetria, será necessário manter o seu atravessamento pela tomada de água para rega.

No futuro prevê-se que o adutor para rega, que actualmente se desenvolve num primeiro troço em tubagem de betão e posteriormente em vala, passe a ser constituído, em toda a sua extensão, por uma tubagem em PEAD do tipo “Weholite” com 1400 mm de diâmetro.

Assim, e de modo a evitar entupimentos, será necessário equipar a tomada de água com uma grelha de limpeza automática.

Visto que seria necessário dotar também a estrutura de alimentação do caudal adicional da futura escada de peixes de uma grelha de limpeza automática, optou-se por conceber um sistema de limpeza automático que fosse comum aos dois circuitos hidráulicos aproveitando todas as estruturas já actualmente existentes.

Na extremidade de jusante do canal da tomada de água concebeu-se uma estrutura divergente em planta e convergente em perfil que permitirá a transição para uma conduta em aço com 1400 mm de diâmetro, a qual atravessa a futura escada de peixes, e que permitirá, no futuro, a ligação ao adutor de rega.

Após o atravessamento da futura escada de peixes, deverá, provisoriamente prever-se uma transição da tubagem em aço com 1400 mm para a actual tubagem de betão com 1,00 m de diâmetro.

## 5. ESTUDOS COMPLEMENTARES

Depois da primeira fase de estudos foi ensaiada em modelo físico no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) a solução global. A modelação teve por finalidade principal a análise das condições de escoamento na zona de jusante do Açude e, em particular, no canal de acesso à escada de peixes e, desta forma, avaliar a atractividade e os condicionamentos impostos pelo escoamento nas diversas situações de descarga dos caudais pelo Açude. Como principais resultados da modelação chegou-se à conclusão que:

- os caudais que passam no Açude-Ponte são superiores aos estimados inicialmente no projecto: para um nível de 17,50 m o caudal é de 1,10 m<sup>3</sup>/s e não de 0,90 m<sup>3</sup>/s, para um nível de água de 18,00 m, de 1,51 m<sup>3</sup>/s em vez de 1,26 m<sup>3</sup>/s, apresentando desvios de -17% e 20%, respectivamente;
- relativamente à dimensão da entrada da passagem de peixes (jusante), considerada inicialmente de 1,80 m concluiu-se que poderia ter uma menor largura, passando para 1,50 m. A escolha passaria pela manutenção de uma boa atractividade e pela consideração económica da operação automática da conduta alimentadora do caudal adicional;
- relativamente às condições de atractividade foram sugeridas pequenas correcções que foram incorporadas no dimensionamento final descrito no ponto anterior.

Para além destas modificações foram tomadas em consideração algumas sugestões do Eng. Larinier<sup>1</sup>, especialista nesta matéria, das quais se destacam:

- Adopção de um descarregador variável, de movimento vertical, na entrada da passagem de peixes (jusante);
- Aspectos particulares a adoptar nas instalações de monitorização: Redução da extensão do estrangulamento existente na zona de montante para monitorização e contagem dos peixes, para

<sup>1</sup> Engenheiro do Institut de Mécanique des Fluides (Toulouse, França), com vasta experiência em dispositivos de transposição.

2,70 m de desenvolvimento; instalação, a montante da secção de monitorização, de uma comporta de charneira; alteração da localização das fendas verticais que, em planta, passaram a localizar-se na margem esquerda da passagem de peixes, por forma a melhorar a visibilidade dos peixes na zona de observação ao público.

## 6. MONITORIZAÇÃO BIOLÓGICA E HIDRÁULICA DA PASSAGEM DE PEIXES

Uma passagem de peixes nunca é totalmente eficaz. Mesmo com um elevado rigor na sua concepção, as características específicas do curso de água e do regime hidrológico, do obstáculo a transpor e das espécies a servir, apresentam aspectos particulares, que podem afectar o bom desempenho do dispositivo de transposição. Neste sentido, após a construção da passagem, importa proceder ao acompanhamento da sua exploração e operação, através da monitorização biológica e hidráulica. Para efectuar essa monitorização foi prevista a construção de um pequeno edifício, onde será instalado o equipamento com esse objectivo, cujo corte se apresenta na Figura 7.

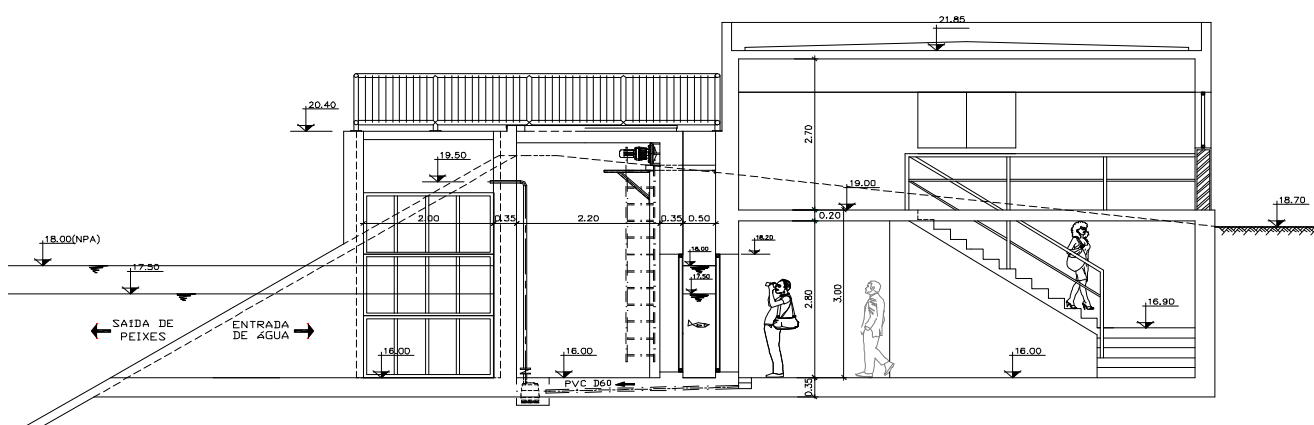


Figura 7 – Edifício de monitorização biológica e hidráulica

Para o controle e monitorização biológica da passagem de peixes, foi prevista a instalação de um sistema de contagem de peixes, junto à sua saída (montante do açude). Este sistema pressupõe um estrangulamento do canal da passagem de peixes para uma largura de 0,50 m de modo a aumentar a visibilidade dos peixes e garantir uma elevada velocidade da água, para que os peixes mantenham uma subida constante e não retornem para jusante. O canal nesta secção terá paredes de vidro e será equipado com iluminação adequada para a filmagem em vídeo, tanto para uma situação normal de iluminação, como em contraluz.

Previu-se, ainda, a instalação de um sistema para filmagem em contínuo, composto por uma câmara de filmar, com instalação fixa em frente à janela do canal e dois gravadores de vídeo. Existirá um monitor de 21" para visualização de cassetes.

A monitorização hidráulica terá por objectivo a determinação no protótipo dos valores reais dos principais parâmetros hidráulicos, como sejam:

- caudais na passagem de peixes para os vários níveis de água na albufeira (o somatório do caudal adicional com o caudal na passagem deverá ser constante e igual a 2,00 m<sup>3</sup>/s);
- alturas de água ao longo do canal da passagem de peixes, que permita verificar a potência dissipada nas bacias;
- alturas de água na entrada da passagem de peixes (jusante), para calibrar o automatismo de operação do descarregador variável, para a gama de variação de níveis a jusante;
- velocidades no canal de acesso, no sentido de verificar as condições de atractividade.

Como é usual para este tipo de infra-estruturas e tendo em vista a adequada gestão do trânsito de espécies no Açude-Ponte de Coimbra, após a construção da passagem de peixes, terá de ser criada uma equipa técnica pluridisciplinar, que nos primeiros dois anos de exploração da passagem, calibre e adegue os procedimentos e regras de funcionamento inicialmente previstas. Da experiência destes dois anos, deverão ser propostas novas regras e procedimentos, que possam aumentar a eficácia de transposição das espécies, e deverá ser assegurada a exploração da passagem de peixes.

## AGRADECIMENTOS

Cumpra aos autores agradecer a toda a equipa da Hidroprojecto,S.A. a colaboração e empenho desenvolvidos, bem como a toda a equipa do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) o apoio técnico prestado, através do estudo e análise da passagem de peixes em modelo reduzido. Os autores agradecem ainda a disponibilidade do Eng. Larinier que, através da transmissão da sua experiência e conhecimentos, permitiram a realização desta obra, certamente mais eficiente.

## BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, P.R. et al - *Estudo das migrações de lampreia-marinha (Petromyzon marinus, L.) no rio Mondego e principais afluentes*, II Relatório de Progresso, Protocolo de colaboração entre o INAG e o IO-FCUL, Lisboa, 1999.
- BELLARIVA, J.L. e BELAUD, A. – “*Environmental factors influencing the passages of allice shad Alosa at the Golfech fish lift on the Garonne river*”, *Fish migration and fish bypasses*, M. Jungwirth, S. Schmutz and S. Weiss (eds), Fishing New Books, Oxford, 1998, pp. 171-179.
- HIDROPROJECTO - *Regularização do Baixo Mondego. Açude - Ponte de Coimbra. Projecto Base*, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa,1975.
- HIDROPROJECTO - *Açude - Ponte de Coimbra. Escada de Peixes. Projecto de Execução*, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa, 1978.
- HIDROPROJECTO - *Açude - Ponte de Coimbra. Tapetes de Protecção do Leito do Rio a Montante e a Jusante do Açude. Nota Técnica*, Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa, 1979.
- HIDROPROJECTO - *Açude - Ponte de Coimbra, Correção das Condições de Funcionamento do Descarregador e Revisão das Normas de Exploração das Comportas. Nota Técnica*, Agosto,1989.
- LARINIER, M. – “*Le Franchissement des Barrages par les Poissons Migrateurs*”. *Houille Blanche*, **2-3**, 1992a, pp. 213-220.
- LARINIER, M. e TRAVADE F. – “*La Conception des Dispositifs de Franchissement Pour les Aloses*”, *Bulletin Français de la Peche et de la Pisciculture*, Conseil Supérieur de la Pêche, Boves, 1992b, **326-327**, pp. 125-133.
- LARINIER, M. et al – *Gestion des Ressources Aquatiques*, *Bulletin Français de la Peche et de la Pisciculture*, Conseil Supérieur de la Pêche, Boves, **326-327**, 1992.
- LENCASTRE, A. - *Hidráulica Geral*, 1996.
- REIS F.C. e SANTOS S., - *Passagens de Peixes em Aproveitamentos Mini-Hídricos: Caracterização e Diagnóstico Eco-Hidráulico*, Trabalho Final de Curso, Engenharia do Ambiente, IST, 1999
- TRAVADE, F. et al – “*Performance of four fish pass installations recently built on two rivers in South-west France*”, *Fish migration and fish bypasses*, M. Jungwirth, S. Schmutz and S. Weiss (eds), Fishing New Books, Oxford, 1998, pp. 146-170.