

## Breves notas sobre os aproveitamentos de Derwent e Tryweryn, na Grã-Bretanha

A. ÁLVARES RIBEIRO

*Professor e Doutor Engenheiro*

Hidro-Eléctrica do Douro

### NOTA INICIAL

Os apontamentos que agora se publicam, têm como base uma palestra proferida (Lisboa no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, e Porto, na Faculdade de Engenharia) em Dezembro de 1964 a amável convite da Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens, sob o título «Visitas de estudo na Inglaterra e País de Gales integradas no VIII Congresso Internacional das Grandes Barragens realizado em Maio de 1964 em Edimburgo».

É evidente que uma palestra desta índole é de difícil tradução em letra de imprensa porque vive essencialmente de diapositivos, breves notas e apontamentos pessoais que focam os elementos e pormenores julgados de maior interesse.

Por sugestão da referida Comissão Nacional tratam-se neste trabalho, os aspectos mais salientes dos aproveitamentos de Derwent e Tryweryn, indicando-se que nessa visita e em parte na referida palestra, se tomou contacto também com os aproveitamentos seguintes:

*Haweswater* — Barragem de contrafortes de cabeça dupla maciça, espaçados 10,5 m, com 37 m de altura máxima e 470 m de desenvolvimento no coroamento, e jorramentos quer a montante quer a jusante de 1 para 0,5.

Na barragem, cuja construção terminou em 1941, gastaram-se 107 000 m<sup>3</sup> de betão.

*Wet Sleddale* — Barragem de gravidade maciça de perfil teórico triangular (jorramento do paramento de jusante 1 para 0,8) em construção, com 21 m de altura máxima e 590 m de desenvolvimento no coroamento e 57 000 m<sup>3</sup> de betão.

*Balder Head* — Barragem em terra, em construção, com uma altura máxima de 48 m e cerca de 900 m de desenvolvimento no coroamento.

Perfil do tipo clássico, com núcleo estanque vertical em argila compactada e jorramentos do paramento de jusante de 1 para 2,5 e a montante 1 para 3 próximo ao coroamento e 1 para 5 junto à fundação.

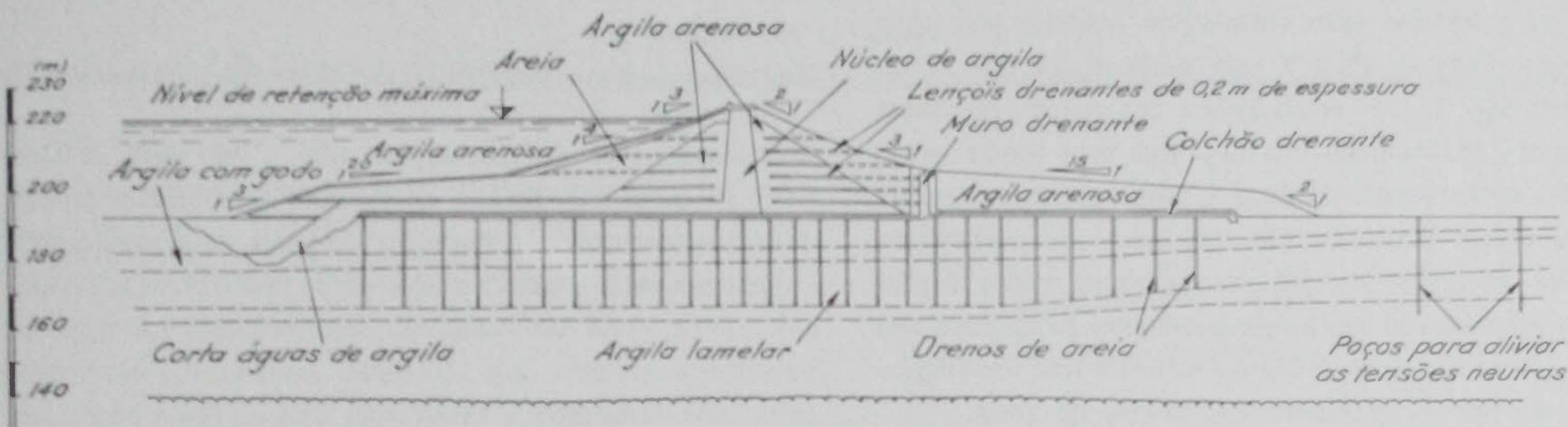
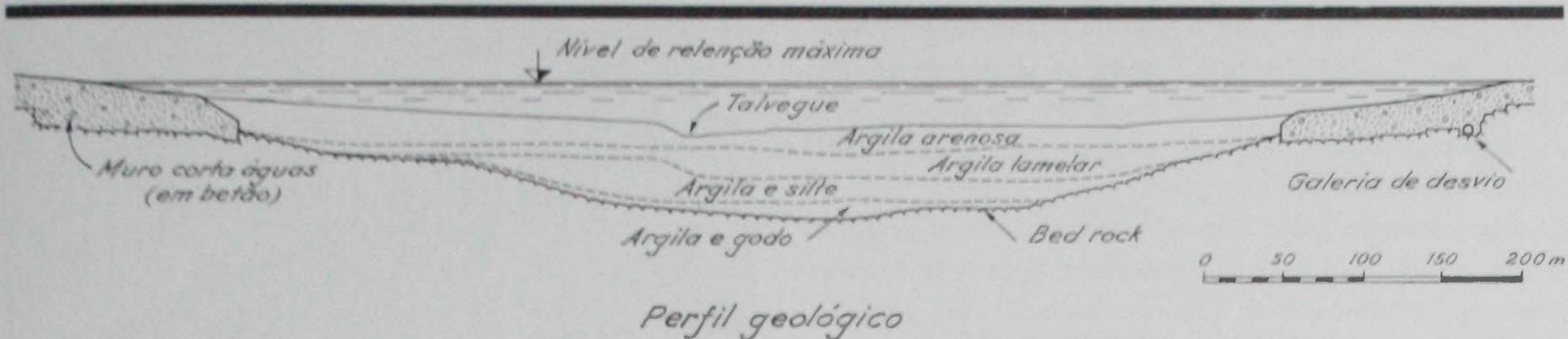
*Ffestiniog* — Aproveitamento hidroeléctrico, com bombagem (turbinas e bombas), de 360 MW, e duas pequenas barragens de gravidade, uma maciça e outra de contrafortes. Foi inaugurado em 1963; trata-se dum aproveitamento recente, com muito interesse sob todos os aspectos nomeadamente o arquitectónico, integrado na rede eléctrica da Grã-Bretanha de características especiais.

*Trawsfynydd* — Central térmica nuclear de 500 MW, em fim de montagens.

Está equipada com dois reactores do tipo moderador de grafite, arrefecimento por gás, usando como combustível urânio natural. Cada reactor fornece vapor a seis caldeiras que alimentam quatro turbinas de 145 MW cada.

*Vyrnwy* — Barragem de gravidade, em alvenaria com uma altura máxima de 49 m, cerca de 350 m de desenvolvimento no coroamento e 39 m de espessura máxima na base. A construção desta barragem, verdadeira obra de arte e arquitectura, que tem marcadas algumas das virtudes do País de Gales, data de 1892. É uma verdadeira jóia, numa paisagem de rara beleza.

*Blithfield* — Pequena barragem de terra, construída em 1953, e que há cerca de dois anos, devido a uma



Perfil tipo  
Fig. 1 — Barragem de Derwent

tempestade que produziu na albufeira ondas de grande altura, foi galgada, sofrendo graves danos.

**Diddington** — Barragem em terra em construção, com 24 m de altura máxima, cerca de 1700 m de desenvolvimento no coroamento. O perfil tipo, núcleo estanque em argila compactada, os filtros e os maciços laterais estabilizadores têm notável analogia, com os da barragem de Derwent que a seguir se descreve.

#### BARRAGEM DE DERWENT

Barragem de terra na ribeira de Derwent [2], [7] e [8], afluente do Tyne, no Norte da Inglaterra, cuja construção começou em 1960 e deve terminar em 1966. A altura máxima da barragem, medida a partir do talvegue, é de 36 metros, prevendo-se um volume das terras empregadas na obra de cerca de 2 000 000 m<sup>3</sup>.

O terreno de fundação é de qualidade inferior, conforme se esquematiza no perfil da fig. 1. No talvegue o terreno de fundação é «soft laminated clay» argila mole de estrutura lamelar, em estratos de 12 metros de possança. A argila de fundação tem uma resistência média ao corte de 0,70 kg/cm<sup>2</sup> (isto é, em ensaio de compressão simples a tensão normal de rotura é  $\sigma = 1,4 \text{ kg/cm}^2$ ). O valor do limite de liquidez é 59 %, limite plástico 22 %, portanto o índice de plasticidade é 59-22=37 %. Segundo a classificação adoptada pelo U. S. B. R. e U. S. CORPS OF ENGINEERS, trata-se dum solo C. H. (clay high). É, portanto, um solo que se pode moldar à mão.

O perfil tipo representa-se também na fig. 1, é semi-trapezoidal com cerca de 8 m no coroamento, tendo taludes característicos na zona próxima do coroamento e taludes muito suaves na base por causa das más características de fundação, e eventual possibilidade de deslizamento pela base.

A consolidação da argila mole de estrutura lamelar da fundação foi feita à custa de drenos verticais de areia, para o que se furaram 4475 drenos verticais de  $\phi 0,275 \text{ m}$  com cerca de 26 m de comprimento, espaçados 4,2 a 7,3 m.

Os furos dos drenos eram abertos com sonda rotativa «rock bits» e com auxílio de lamas mantinha-se a parede dos furos e evitava-se o desmoronamento e entupimento. Seguidamente lavava-se o furo e enchia-se com areia e areão de  $\phi 0,9$  e 0,5 cm, em partes iguais. Os drenos de areia ligavam superiormente a um lençol drenante de 0,60 m de espessura, constituído por brita de  $\phi 1,5 \text{ cm}$  a 1,8 cm. Em cima deste lençol drenante existe um filtro horizontal de areão com 0,45 m de espessura.

Dispuseram-se a jusante do perfil da barragem e atravessando o estrato de argila de fundação, sete «relief wells», isto é, sete poços para dissipação das tensões neutras.

O efeito dos drenos de areia pode explicar-se facilmente através da noção de tensão neutra [4] (devida a Terzaghi) e da equação fundamental de resistência dos maciços terrosos (Coulomb):

$$\tau < c + \sigma_{ef} \text{tg } \varphi$$

$$\sigma_{ef} = \sigma_{total} - \sigma_{neutro}$$

$$\tau < c + (\sigma_{total} - \sigma_{neutro}) \text{tg } \varphi$$

Consegue-se portanto uma rápida consolidação por dissipação das tensões neutras  $\sigma$  neutro, e consequentemente um aumento de possibilidades resistentes do maciço (pela maior contribuição do atrito), conforme se deduz da expressão de Coulomb.

Sem os drenos de areia, as tensões neutras no fim da construção seriam o dobro das que contam com o referido processo. O assentamento total da fundação está avaliado em 3' a 4', isto é, 0,9 a 1,2 m.

O elemento estanque consiste num núcleo de argila compactada, que reveste toda a zona de montante (ver perfil tipo, fig. 1) e termina num corta-águas também em argila compactada. Para se abrir a vala onde se fez este corta-águas (ver fig. 2) foi estabelecido um sistema drenante «well point», exactamente do tipo que está sendo usado em Leixões no cais norte da doca 2, também em construção. Os maciços estabilizadores são realizados em «sandwich» de estratos de argila arenosa «sandy clay» com camadas drenantes «horizontal drainage blankets». Estas camadas drenantes fazem diminuir a tensão neutra e tem um funcionamento do tipo já explicado dos drenos de areia.

As camadas de «sandy clay» eram colocadas em estratos de 0,30 m e compactadas. O espaçamento dos «drainage blankets» é da ordem dos 4 m a 5 m; estes estratos drenantes são constituídos por brita de  $\phi$  10 cm a 2 mm em estratos de 0,15 a 0,225 m.

Tem interesse chamar a atenção para os critérios de fiscalização que estão sendo usados nesta obra. Assim no núcleo e elementos estanques exige-se uma resistência ao corte de  $0,9 \pm 0,2 \text{ kg/cm}^2$  e no corta-águas  $0,7 \pm 0,2 \text{ kg/cm}^2$ . Os vazios de ar devem ser em ambos os casos inferiores a 5%. Nos maciços laterais de argila arenosa a compactação deve ser pelo menos 95% do Proctor teórico.

Quanto à observação e «controle» da barragem, incluindo fundação refere-se que foram construídas duas grandes centrais de leitura, consistindo num poço com piezómetros do tipo clássico e tipo eléctrico (pedra porosa e corda vibrante tipo Coyne), ligados respectivamente a manómetros e a caixa de medida Mahiak. Na fig. 3 representam-se as bobines de tubo de nylon destinado a colectar as sub-

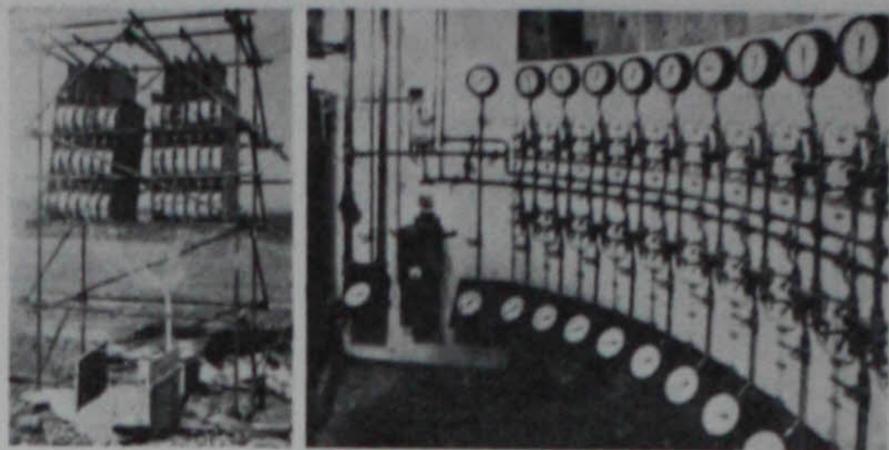


Fig. 3 — Tubos de nylon e central para observação das tensões neutras na barragem de Derwent

pressões até aos manómetros e central de leitura também aí figurados.

Finalizando estas considerações sobre a barragem de Derwent indica-se que devido ao turismo na região, a autoridade arquitectural não permitiu betões à vista, sendo consequentemente necessário revesti-los de pedra artificial. Aliás, em grande parte do canal do descarregador foi disposta superiormente uma laje de betão armado e, sobre esta, terra onde semearam a típica erva inglesa, de molde a ser reconstituída a paisagem anterior à obra. A propósito refere-se que parte da severíssima legislação da Grã-Bretanha relativa a estes problemas, se encontra na separata da revista «Engineering» no artigo «Landscaping to conserve the countryside» distribuída quando do VIII Congresso das Grandes Barragens em 1964, em Edinburgo.

#### BARRAGEM DE TRYWERYN

Trata-se duma barragem em terra, em construção no ribeiro de Afon Tryweryn, afluente do rio Dee, próximo do Mar da Irlanda, no País de Gales [1] e [3]; destina-se a criar uma albufeira para abastecimento de água à «Liverpool Corporation Water Works».

O perfil da barragem de terra é do tipo clássico, trapezoidal, com 8 m de espessura no coroamento e taludes a montante e jusante, com jorramento de 1 para 3. A altura máxima é de 45 m. O núcleo estanque em argila compactada, é quase vertical e tem 18 m de espessura máxima na base. O núcleo estanque é realizado em camadas espalhadas por «bulldozers» Caterpillar D8 e compactadas por cilindros lisos vibradores da fábrica alemã Allgemeine Baumaschinen Gesellschaft. Aliás estes cilindros lisos vibradores estão a ser usados noutras obras de terra importantes tais como as barragens de «Mangla» no Paquistão, «Volta» no Gana, «Roseires» no Sudão, «Mont-Cenis» na França e «Santa Clara» no rio Mira, no Alentejo.

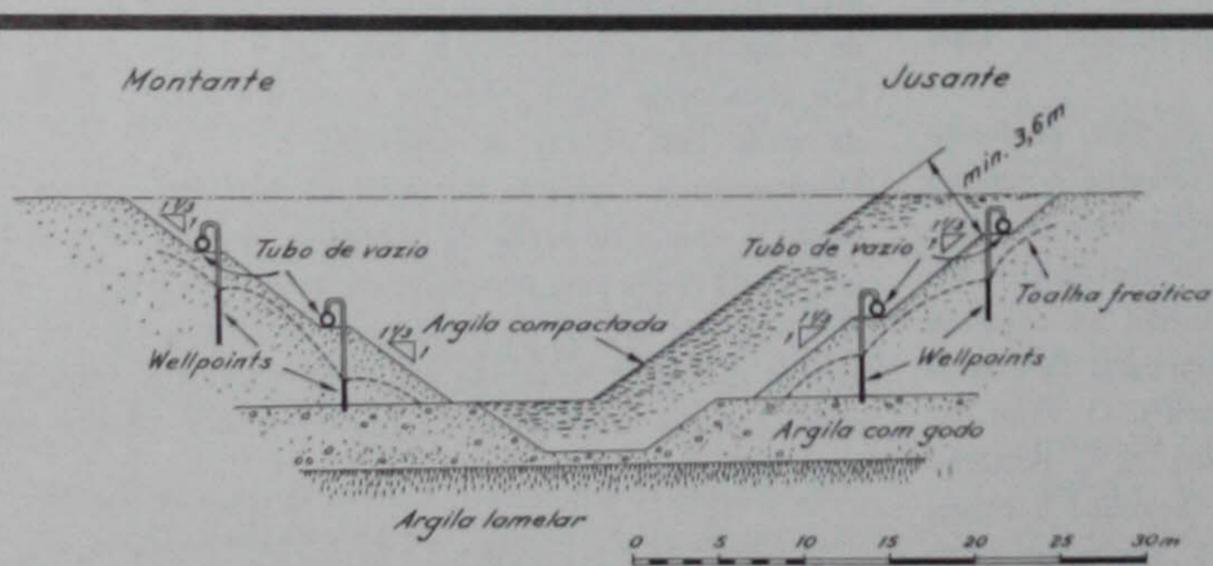


Fig. 2 — Pormenor do corta-águas da barragem de Derwent

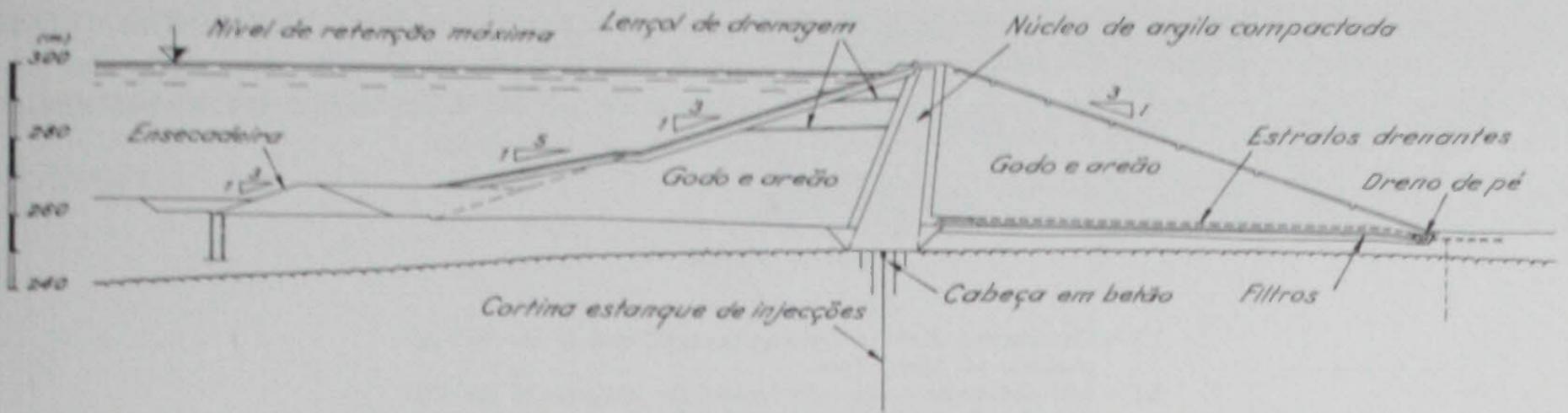


Fig. 4 — Perfil tipo da barragem de Tryweryn

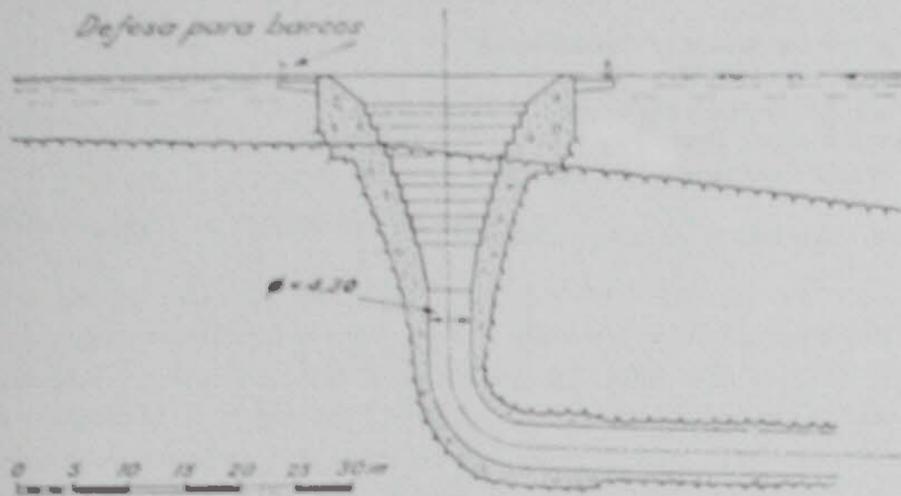


Fig. 5 — Descarregador em poço de Tryweryn

A ligação estanque em profundidade faz-se à custa dum murete de betão (veja-se, na fig. 4, a cabeça em betão), elemento que estabelece a estanquidade entre a superestrutura, isto é o núcleo de argila e a cortina profunda de injeções de impermeabilização aberta no «bed rock» de riolito. A espessura dos filtros de transição entre o núcleo estanque e as espaldas laterais é constante e vale 3 m. Os maciços laterais estabilizadores são constituídos por gado e areão. Junto à fundação e imediatamente a jusante da base do filtro de jusante estabeleceram estratos drenantes em lençol, convenientemente protegidos por filtros horizontais, terminando num dreno corrido, no pé de jusante. A barragem, cujo desenvolvimento é de 660 m é curva em planta, de acordo com o critério da autoridade arquitectural que entendeu ser essa a disposição que melhor se integra no ambiente e paisagem.

O descarregador é em poço (fig. 5) com 24 m de diâmetro de entrada e 4,2 m de diâmetro característico no troço corrente em galeria, evacuando cerca de 320 m<sup>3</sup>/s com 1,2 m de carga. A construção da respectiva boca é feita por anéis cilíndricos descontínuos, como se poderá verificar na referida figura, sem qualquer preocupação de continuidade hidráulica, talvez devido ao pequeno valor da carga, e certamente a preocupações de economia nas cofragens.

A torre de tomada de água é de tipo muito especial, e consiste esquematicamente num cilindro de eixo vertical de 45 m de altura e 10 m de diâmetro munido de cinco sifões

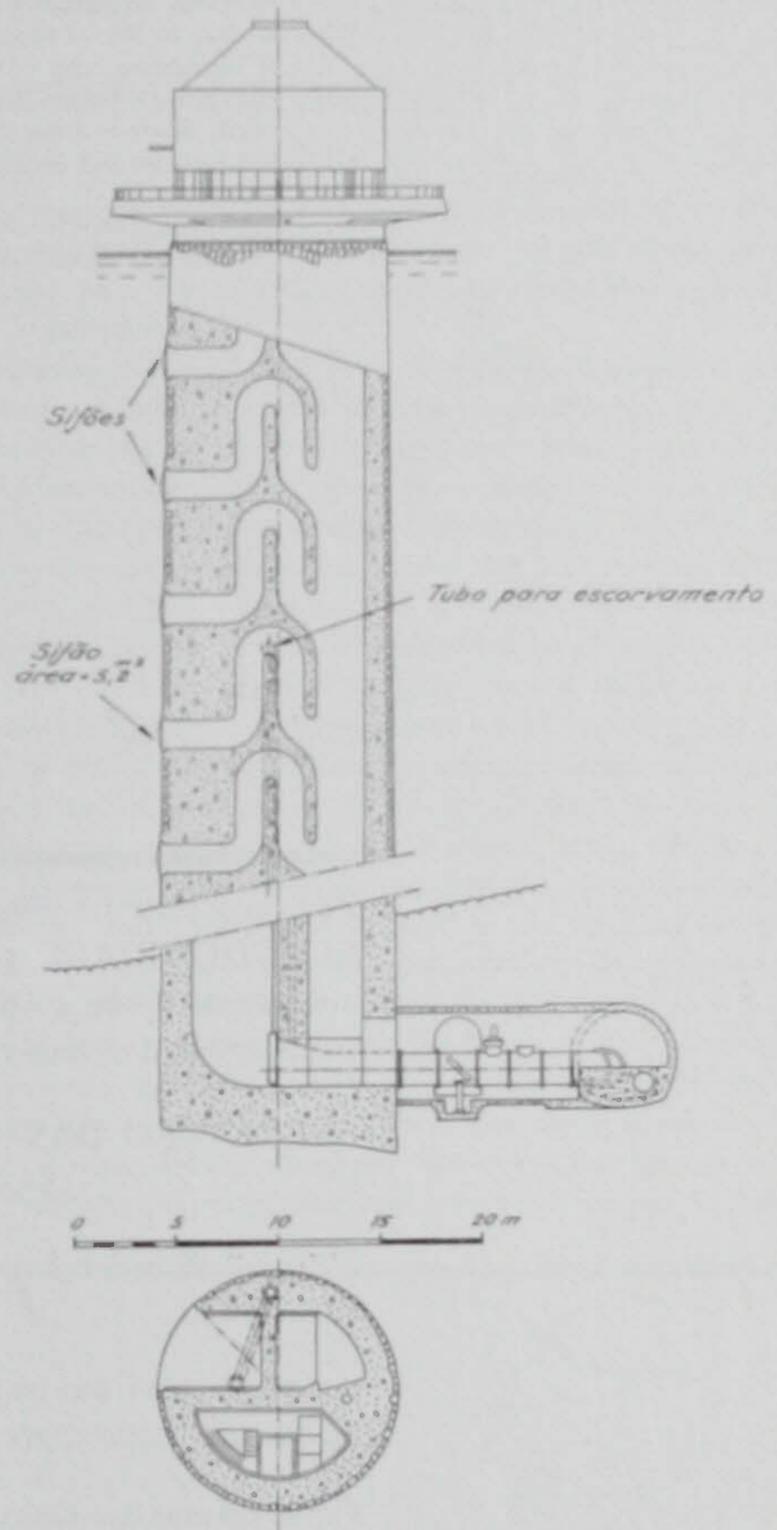


Fig. 6 — Torre de tomada de água com sifões de Tryweryn

situados num plano axial vertical. Cada sifão tem uma área na crossa de 5,2 m<sup>2</sup> e pode descarregar 19 m<sup>3</sup>/s. A razão de ser deste dispositivo pouco usual de tomada de água reside na necessidade da água ser tomada sempre próximo à superfície livre por aí ser mais oxigenada, o

que é altamente desejável para a variedade piscícola existente a jusante da barragem (é evidente que a água é convenientemente tratada antes de circular na rede de distribuição da Liverpool Corporation Water Works). Além disso, este dispositivo em sifão, permite sem necessi-

dade de meios mecânicos, regular o caudal por simples injeção de ar comprimido de molde a desescorvar os sifões. Um dispositivo electrónico permite, com um programa pré-estabelecido regular os caudais a jusante, por simples acção de ar comprimido.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] — Construction News — *Tryweryn earthfill dam is nearing completion* — 14 Maio, 1964.
- [2] — JOHN MOWLEM — *Souvenir booklet for delegates to the VIII Congress on Large Dams* — Maio, 1964.
- [3] — Liverpool Corporation Water Works — *River Dee scheme. Works in the Tryweryn Valley* — Abril, 1963.
- [4] — RIBEIRO, ÁLVARES — *A acção de drenos verticais na consolidação*. «Revista Engenharia», Porto, Fev., 1960.
- [5] — ROWE, P. W. — *Measurement of the coefficient of Consolidation of lacustrine clay* — Geotechnique, Set., 1959.
- [6] — SHERARD, WOODWARD, GIZIENSKI, CLEVINGER — *Earth and earth-rock dams* — John Wiley, Nova Iorque, 1963, Pág. 104.
- [7] — Sunderland and South Shields Water Company — *Derwent Reservoir*.
- [8] — «The Engineer» — *Derwent dam. Supplement on Large Dams*. Edimburgo. Maio, 1964.

---

Para nos permitir uma mais longa expansão da revista ELECTRICIDADE pedimos aos nossos leitores para nos darem a sua colaboração, fazendo uma assinatura para alguns dos seus amigos.

#### PREÇO DAS ASSINATURAS ANUAIS (SEIS NÚMEROS)

Portugal, Brasil e Espanha.....	Esc. 100\$00
Estrangeiro .....	Esc. 150\$00

As assinaturas são pagáveis com base no preço acima, na moeda do país, ao câmbio em vigor.

O pagamento das assinaturas pode ser feito directamente por cheque bancário ou por vale, emitidos em nome da Empresa Editorial Electrotécnica Edel, L.<sup>da</sup>.

---