

# **Porquê não se constroem barragens de aterro para produção de energia eléctrica? Preconceito ou desconhecimento?**

**Emanuel Maranha das Neves**, *Professor Catedrático Jubilado do Instituto Superior Técnico, emn@civil.ist.utl.pt*

**Laura Caldeira**, *Investigadora Coordenadora, Directora do Departamento de Geotecnia do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, laurac@lnec.pt*

## **SUMÁRIO**

Em Portugal não se constroem barragens de aterro, nomeadamente de enrocamento, para produção de energia eléctrica. Trata-se de uma singularidade a nível internacional. O presente trabalho debruça-se sobre as prováveis explicações para este facto e chama a atenção para os consequentes prejuízos económicos.

## **1. INTRODUÇÃO**

O trabalho tece diversas considerações sobre o facto de em Portugal não se construírem barragens de aterro para produção de energia eléctrica. Trata-se, como se mostrará de seguida, de uma situação que não tem paralelo a nível mundial. Por tal motivo são procuradas possíveis explicações.

Referem-se as actuais capacidades de análise da segurança estrutural de barragens de aterro, com relevo para as de enrocamento. Faz-se referência à situação em alguns países no que diz respeito às soluções estruturais de barragens para produção de electricidade. Para uma análise comparativa recorre-se a dados de custos de duas barragens portuguesas (Odivelas e Alvito), os quais permitem estimar quanto custaria a barragem de Odivelas se tivesse sido adoptada uma solução estrutural em aterro.

Finalmente deixa-se uma interrogação: no anunciado do novo ciclo de construção de barragens dedicado à energia será seguido à risca o figurino anterior no que respeita às soluções estruturais a adoptar?

## **2. BARRAGENS DE ATERRO PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA EM PORTUGAL**

Até hoje, em Portugal, construíram-se apenas três barragens de aterro para produção de energia eléctrica: Paradela (1956), pela Hidro-Eléctrica do Cávado, Vilar (1965), pela Hidro-Eléctrica do Douro, e Lagoacho (1993), pela EDP.

A barragem de Paradela, no rio Homem, é a de maior altura do seu tipo no mundo (110 m). Trata-se de uma solução em enrocamento lançado, com cortina a montante de betão armado com juntas verticais e horizontais providas de "water stops". O maciço de enrocamento foi construído por lançamento de blocos de granito em camadas que atingiam cerca de 20 m de altura, sujeitos à acção de jactos de água durante o lançamento. Esta obra sofreu assentamentos devido a fluência que afectaram a estanquidade da cortina de betão. Com o aparecimento dos cilindros vibradores, estas soluções em enrocamento lançado caíram obviamente em desuso.

A barragem de Vilar, no rio Távora, é também de enrocamento lançado e com cortina de betão armado a montante. Tem-se comportado bem e sem os problemas referidos a propósito de Paradela, o que não admira sabendo-se que a fluência depende, entre outros factores, do estado de tensão. Ora Vilar tem apenas 58 m de altura.

A barragem de Lagoacho, no Covão do Urso, é uma barragem de altura relativamente reduzida (38 m, 1987) e constitui já uma solução moderna de enrocamento compactado com cortina de betão armado a montante, apenas com juntas verticais (Fig. 1). O seu desempenho tem sido normal.

## **3. COMPARAÇÃO COM AS BARRAGENS PARA REGA E ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

As entidade promotoras de barragens para estes fins e que podem fazer o contraponto com as concessionárias dos aproveitamentos hidroeléctricos foram sucessivamente a Junta Autónoma das Obras de Hidráulica Agrícola, a Direcção Geral dos Serviços Hidráulicos, a Direcção Geral dos Recursos Naturais e, actualmente, o Instituto Nacional da Água (INAG).

Estas entidades tanto optaram por soluções em aterro como por soluções em betão, ou até, nalguns casos, por soluções mistas. Começaram por executar internamente os projectos e mais tarde, com o desenvolvimento de apreciáveis capacidades nos gabinetes privados de projecto, foram estes que passaram a projectar as barragens. Tal significa que, no domínio das barragens de aterro, as capacidades

de projecto nunca deixaram de estar presentes no nosso país. De salientar a permanente colaboração com os Departamentos de Geotecnia, de Hidráulica e de Barragens de Betão (Fundações) do LNEC quando se tratava de barragens de aterro.

No que respeita à EDP, excepto num caso (barragem do Lagoacho), nunca se estabeleceu qualquer colaboração com o Departamento de Geotecnia do LNEC, o mesmo tendo sucedido com as anteriores concessionárias. Na barragem de Lagoacho, a Direcção de Produção do Centro da EDP, solicitou aos Departamentos de Geotecnia e de Hidráulica do LNEC, em 1984, elementos sobre uma solução de enrocamento com cortina de betão a montante para os estudos prévios para tomada de decisão sobre o tipo de solução estrutural a adoptar (LNEC,1984). A solução veio a ser em enrocamento com cortina de betão a montante, tendo a obra sido completada em 1987, com projecto de execução, assistência técnica e elaboração do plano de observação da Hidrotécnica Portuguesa.

#### **4. A SITUAÇÃO ACTUAL EM PORTUGAL**

De acordo com a informação disponível no sítio do INAG, existem actualmente em Portugal 167 grandes barragens (de acordo com a definição do Regulamento de Segurança de Barragens). Nos últimos 40 anos construíram-se 32 barragens de altura igual ou superior a 40 m, com a seguinte distribuição: 17 de betão para produção de energia e 2 de betão e 13 de aterro para outros fins. Confirma-se assim o caso específico português – não se constroem barragens de aterro para produção de energia eléctrica.

#### **5. UM BREVE OLHAR SOBRE A EXPERIÊNCIA INTERNACIONAL**

Pareceu desnecessário efectuar uma comparação exaustiva com o que se passa internacionalmente relativamente à frequência com que são adoptadas estruturas em aterro em barragens ligadas à produção de energia eléctrica. Na realidade basta consultar registos disponíveis para verificar que, sendo a solução largamente dominante para as grandes barragens em geral, não se pode detectar qualquer razão que as exclua de uso para produção de energia. Portugal surge de facto como uma singularidade notável.

Pareceu apropriado analisar a situação apenas em cinco países com vista a melhor detalhar a situação. Na Europa, optou-se pela Espanha (por razões de proximidade), pela Noruega (pelo seu longo e proveitoso historial no aproveitamento dos recursos hídricos) e pela Áustria (pelo lugar importante que sempre teve em matéria de inovação em barragens). Na América do Norte, os EUA e em particular a Califórnia, pela hidrologia e sismicidade.

O desenvolvimento da produção de energia eléctrica, a partir de 1880, constituiu o principal impulso com vista à industrialização da Noruega. Não é assim de estranhar que 65% das barragens em serviço tenham a ver com a produção de electricidade (Nyñas, 2009). O período de maior desenvolvimento da hidroelectricidade na Noruega decorreu entre 1955 e 1985. Hoje, as barragens de enrocamento, de vários tipos, são a solução dominante. No entanto, em épocas anteriores, foram mais frequentes as barragens de alvenaria e de betão. De todas as grandes barragens executadas depois de 1970, 85% são de aterro. Da totalidade de grandes barragens construídas para produção de electricidade, a partir daquela data, 55% são de aterro.

Segundo Boffil (2006), as barragens em construção ou muito recentemente construídas em Espanha são em número de 40 – 20 de aterro e 20 de betão. Hoje já não se constroem barragens de contrafortes e de abóbadas múltiplas. Seguindo um critério semelhante ao usado para Portugal (barragens de altura superior a 40 m construídas nos últimos 40 anos), verifica-se que em Espanha se construíram 19 barragens de aterro para produção de energia.

Até aos anos sessenta, na Áustria, dominavam as barragens de betão. Foi a fase de aproveitamento dos melhores locais, da influência de uma poderosa indústria de betão e também do chamado "estado de infância" da mecânica dos solos. A situação inverteu-se a partir dessa data, sendo que todas as barragens construídas para a produção de energia eléctrica são de aterro. Entre os anos 1970 e 1990 construíram-se 15 barragens de altura superior a 40 m. Destas, 10 são de aterro. Estão obviamente fora desta análise os aproveitamentos a fio de água (rios Danúbio, Traun, etc.).

Desde 1970 foram construídas na Califórnia, nos USA, 139 barragens com altura superior a 40 m. Destas, 97 são de aterro e 42 de betão. Relativamente às barragens de aterro, 56 são de enrocamento. No que respeita às de betão, 21 são do tipo gravidade.

É reduzido o número de países analisados. Mas pode sem margem de dúvida afirmar-se que o panorama seria semelhante caso se analisasse a situação em qualquer continente e em qualquer país construtor de barragens para produção de energia eléctrica.

## **6. RAZÕES PODEM LEVAR A UMA REJEIÇÃO SISTEMÁTICA DA SOLUÇÃO EM ATERRO DURANTE OS ÚLTIMOS 40 ANOS?**

Podem descortinar-se duas razões principais para uma escolha praticamente exclusiva de soluções em betão para barragens para a produção de energia: os projectistas e donos de obra tendem a optar pelas soluções que melhor dominam e as barragens de betão seriam “mais seguras” que as de aterro.

Na realidade a primeira pode ser uma razão muito importante. Segundo Boffil (2006), a escolha do tipo de barragem não é uma ciência exacta. Há muitos factores a considerar e a avaliar e ocorrerão sempre algumas áreas de incerteza. A decisão final recai, geralmente, no engenheiro que executa o projecto ou que aceita um dado projecto, e baseia-se nos seus próprios critérios e experiência. Esta parece ser uma explicação que se adapta ao caso português.

Ora nunca será demais salientar que os procedimentos para determinar o projecto mais económico que satisfaça os requisitos técnicos são iterativos ou, no mínimo, implica a definição de algumas soluções típicas e do respectivo custo aproximado.

Relativamente, à segunda razão enunciada, realça-se que é hoje possível avaliar a segurança em qualquer tipo de barragem de: aterro, alvenaria, betão e betão compactado. Mas a história para se atingir este objectivo foi muito diferente, principalmente entre as barragens de aterro e as barragens de betão.

É muito importante salientar aqui o crescente uso de *barragens de aterro de enrocamento com cortina de betão a montante (BECB – Fig. 2)*, precisamente porque, com igual segurança, podem ser bastante mais económicas do que as soluções em betão (Cruz *et al.*, 2009).

As *BECBs* revelam grande segurança, especialmente contra sismos intensos, como, em Maio de 2008, na barragem de Zipingpu, de 156 m de altura, situada na província chinesa de Sichuan, onde foi registado um sismo de magnitude 8 na escala de Richter, com epicentro a cerca de 20 km, com uma duração superior a um minuto e uma aceleração de pico na fundação rochosa superior a 0,5g. No topo do talude de jusante, na zona central da barragem, verificaram-se acelerações de 2,06g (na vertical) e 1,65g (na horizontal). Não obstante, a estrutura permaneceu segura e estável.

A viabilidade económica em relação às demais alternativas deve-se à maior flexibilidade construtiva e ao zonamento interno do maciço de modo a promover a utilização dos vários tipos de enrocamento provenientes de escavações obrigatórias. Os custos do tratamento da fundação revelam-se muito atractivos pelo facto de serem executados na região de montante - área do plinto - independentemente da construção do maciço principal. As estruturas de enrocamento permitem ainda a optimização nos comprimentos dos túneis de desvio e de adução. Complementarmente, o uso de enrocamento armado permite que, em cheias durante a construção, haja passagem de caudais pelo maciço na zona central do vale, optimizando assim as estruturas de desvio.

Nas últimas duas décadas, o desenvolvimento tecnológico dos equipamentos de escavação em rocha, transporte e espalhamento, bem como dos cilindros vibradores, somados a um bom planeamento dos acessos às frentes de construção, permite que a produção do maciço de enrocamento atinja picos mensais superiores a  $10^6$  m<sup>3</sup>.

O domínio da análise estrutural das barragens de aterro atingiu um nível que não permite distingui-las quanto à fiabilidade das outras soluções estruturais. Deste modo, a possibilidade de construir barragens de aterro que, com a mesma segurança, podem usar materiais com vantagens ambientais e económicas, deveria acentuar a expansão deste tipo de estrutura. Não faz pois nenhum sentido nos dias de hoje cogitar que as barragens de betão são mais seguras que as de aterro.

## **7. COMPARAÇÃO DE CUSTOS. UM EXEMPLO.**

A enorme difusão das barragens de aterro radica nas vantagens económicas. Um caso de uma barragem de betão em abóbadas múltiplas (de Odivelas, 1972 – Fig. 3) e outra de aterro zonada (de Alvito, 1977 – Fig. 4), sensivelmente da mesma altura, executadas no mesmo curso de água (Ribeira de Odivelas), a distância reduzida e de que se conhecem os custos (informação do *INAG*), proporcionaram a possibilidade de uma comparação de custos com significado (Quadro 1). A barragem de Alvito, de muito maiores dimensões, ficou nesta comparação directa, mais barata  $175 \times 10^3$  €.

Mas para uma comparação com significado, há que calcular o custo da barragem de Odivelas (a preços de 1977) se fosse construída em aterro e tendo em conta os custos e geometria da barragem de Alvito. O volume do corpo da barragem de Odivelas seria 43% do correspondente da de Alvito, o seu desenvolvimento é menos de metade e o custo dos órgãos hidráulicos representa normalmente 21% do custo do corpo da barragem de aterro (ICOLD, 1992). Assim, o custo da barragem de Odivelas em aterro seria:

$$(0,43 \times 1420 + 0,5 \times 85 + 50) \times 1,21 \times 10^3 \text{€} \approx 887 \times 10^3 \text{€}$$

Deste modo verifica-se que se para a barragem de Odivelas se tivesse optado por uma solução em aterro do tipo da usada na barragem de Alvito, o seu custo teria sido de  $887 \times 10^3 \text{€}$  e não  $1730 \times 10^3 \text{€}$ , isto é, teria custado aproximadamente metade do que realmente custou!

## 8. A TOMADA DE DECISÃO

Faz-se aqui uma pergunta e uma proposta. A pergunta é: na escolha da solução para as barragens para produção de energia, a tomada de decisão quanto ao tipo de barragem baseou-se numa comparação de vários tipos de solução, nomeadamente de aterro? A proposta é a seguinte: sugere-se que, para o novo ciclo de construção de barragens, seja necessário um estudo prévio em que obrigatoriamente sejam comparadas as vantagens e inconvenientes de soluções em betão, aterro e *BCC*, à luz dos conhecimentos actuais e sem apelar, de forma enviesada, para argumentos de natureza ambiental (por exemplo o problema de exploração de uma pedreira, esquecendo o problema do fabrico do cimento). Naturalmente que poderá haver um caso em que a solução se impõe de tal forma que se pode dispensar o estudo comparativo para qualquer tipo de solução estrutural (aterro, betão ou *BCC*).

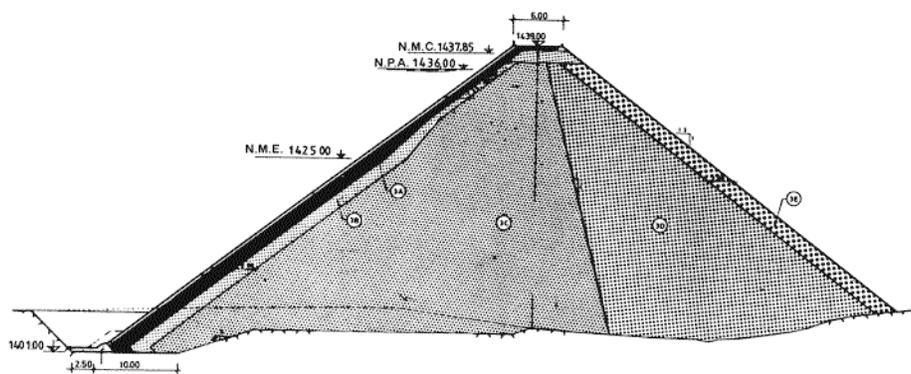
## 9. CONCLUSÕES

Pretende-se chamar a atenção para o facto de, ao contrário do que ocorre nos outros países, não se construírem em Portugal barragens de aterro para produção de energia eléctrica. Esta situação leva-nos a admitir que nem sempre as soluções estruturais adoptadas foram as mais económicas. As únicas razões plausíveis para explicar esta realidade têm a ver com a falta de contacto com os problemas de segurança, de análise estrutural e de técnicas construtivas relativas à enorme variedade de soluções em aterro para barragens por parte daqueles a quem é confiada a decisão final sobre o tipo de barragem a construir, dado que há conhecimento em todos os domínios das barragens de aterro que permitem uma análise de qualquer projecto em fase de estudo prévio (na fase de optar por uma dada solução), o seu dimensionamento para todos os tipos de acção relevantes e a respectiva construção com respeito por todos os requisitos de qualidade.

## REFERÊNCIAS

- Boffil, J. H. (2006) – “Technical, economic and environmental factors for selecting dam typology”, em “Dams in Spain”, Cap. 7, Colégio de Ingenieros de Camiños, Canales y Puertos, Madrid, pp. 123-149.
- Cooke, J. B. & Sherard, J. L. (1987), “Concrete Face Rockfill Dams: I. Assesment; II. Design”, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol. 113, nº 10.
- Cruz, P., Materón, B. & Freitas, M. (2009), “Concrete face rockfill dams”, Oficina de Textos, São Paulo-SP - Brasil, pp. 1-447.
- ICOLD (1992), “Cost Impact on Future Dam Design. Analysis and Proposals”, Bulletin 83.
- Laboratório Nacional de Engenharia Civil (1984) - “Barragem de Lagoacho. Considerações preliminares sobre uma solução em enrocamento”, Relatório 287, Lisboa, 17 p.
- Nyñas, H. (2009), “Are dams cultural assets?”, Water Power & Dams Construction, Vol. 61, nº 4.





a)



b)

Fig. 1: Barragem de enrocamento do Lagoacho. a) perfil transversal da barragem; b) aspecto da construção da cortina de betão armado apoiada no paramento de montante

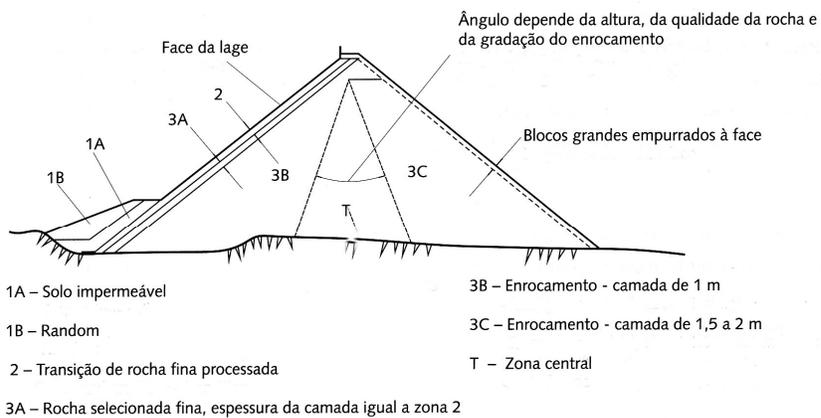


Fig. 2: Designação das zonas do corpo de uma barragem de enrocamento são com cortina de betão (Cooke & Sherard, 1987)



Fig. 3: Barragem de Odivelas



Fig. 4: Barragem de Alvito

Quadro 1: Características principais e custos das Barragens de Odivelas e de Alvito

<b>Características principais</b>	<b>Barragem de Odivelas</b>	<b>Barragem de Alvito</b>
Altura (a partir do terreno natural) (m)	48	44,5 m
Desenvolvimento (m)	544	1105 m
Área da albufeira (ha)	973	1480
Volume do reservatório (hm <sup>3</sup> )	95	132,5
Capacidade do descarregador (m <sup>3</sup> /s)	650	56
<b>Custo (preços de 1977)</b>	<b>Barragem de Odivelas</b>	<b>Barragem de Alvito</b>
Corpo da barragem (×10 <sup>3</sup> €)	1530	1420
Equipamento hidromecânico (×10 <sup>3</sup> €)	115	50
Tratamento da fundação (×10 <sup>3</sup> €)	85	85
Total (×10 <sup>3</sup> €)	1730	1555