Introdução

JOSÉ FILIPE REBELO PINTO

Presidente Honorário da CIGB

1 — A COMISSÃO NACIONAL PORTUGUESA DAS GRANDES BARRAGENS e a revista *ELECTRICIDADE* resolveram dedicar um número desta publicação ao XI CONGRESSO INTERNACIONAL DAS GRANDES BARRAGENS, que se realizará em Madrid no mês de Junho de 1973.

Em duas das viagens de estudo pós-congresso estão incluídas visitas a barragens portuguesas, pelo que se julgou terem particular interesse, neste número da *ELECTRICIDADE*, um resumo histórico do desenvolvimento da técnica portuguesa de estudo, projecto e construção de grandes barragens, e referências mais pormenorizadas às obras visitadas e aos aproveitamentos hidráulicos em que elas se integram. É aquele resumo o objecto desta introdução.

2 — A grande irregularidade de caudais, quer ao longo do ano quer de um ano para outro, cedo levaram os portugueses a criar reservas de água mediante a construção de pequenas barragens: de alvenaria onde abundava a boa pedra para construção e, onde ela faltava, de outros materiais, designadamente de terra.

Com o decorrer dos tempos, o aumento das populações e o seu desenvolvimento económico e social, tornaram-se necessárias mais e maiores reservas de água. Multiplicou-se, então, o número das pequenas barragens e deu-se início à construção de outras de proporções crescentes. Embora o primeiro aproveitamento hidroeléctrico de serviço público em território português date de 1899, só em 1920 se concluiu a primeira grande barragem (Lindoso), que era do tipo gravidade, de alvenaria, com 26 m de altura; a esta seguiram-se outras do mesmo tipo, das quais se citam duas (Póvoa

e Guilhofrei) com alturas respectivamente de 32 m e 49 m.

Na década de 1930-1940 tomaram grande desenvolvimento os estudos sistemáticos de base — hidrológicos, topográficos, geológicos, económicos e sociais — para a elaboração dos planos gerais de aproveitamento dos rios portugueses, designadamente para a produção de energia e a rega, mas sem esquecer outros possíveis fins: abastecimento de água de aglomerados populacionais e de indústrias, redução de pontas de cheias e de carrejos sólidos, navegação, piscicultura e recreio. Estabelecidos os planos gerais seguiu-se a elaboração dos projectos das grandes barragens neles previstas, obras que haveriam de ser de variadas dimensões e de diferentes tipos, consoante as condições locais e as de integração em grandes sistemas produtores de energia e ou de rega.

Dos pequenos aproveitamentos hidráulicos destinados a um único fim ia-se gradualmente passando para aproveitamentos de maiores dimensões e previstos para fins múltiplos. E quando as condições locais o permitiam e as económicas de integração o justificavam, projectavam-se barragens para criar grandes albufeiras de elevado índice de regularização específica, destinadas a inversão anual ou plurianual. Como exemplos mais típicos de grandes albufeiras de regularização plurianual apontam-se as do Alto Rabagão (em exploração) e de Alqueva (em projecto):

	Alto Rabagão	Alqueva
afluência média anual	$280 \times 10^6 \text{ m}^3$	$3645 \times 10^6 \text{ m}^3$
capacidade	$560 \times 10^6 \text{ m}^3$	$3300 \times 10^6 \text{ m}^3$
índice de regularização específica	2	0,9
cota do pleno armazenamento	880 m	148 m

A albufeira do Alto Rabagão é alimentada pelas afluições das bacias superiores dos rios Cávado e Rabagão e por bombagem da albufeira de jusante, estando, para esse efeito, a sua central hidroeléctrica equipada com dois grupos ternários (turbina, bomba e alternador-motor) com a potência de 36 MW em funcionamento como turbina. A albufeira de Alqueva é alimentada pelas afluições do rio Guadiana e a sua central hidroeléctrica será equipada com três grupos binários constituídos por turbinas reversíveis e alternador-motor, com a potência de 90 MW em funcionamento como turbina.

3 — Na década de 1930-1940 construíram-se algumas grandes barragens, mas, só após o termo da paralizante guerra mundial (1939-1945), foi possível intensificar a construção destas obras, que, como atrás se disse, haveriam de ser dos tipos mais adequados aos fins em vista e às condições locais. Assim, construíram-se grandes barragens de betão, de enrocamento, de terra e mistas.

3.1 — No que respeita a grandes barragens de betão, vários tipos foram estudados e realizados, desde o de gravidade e de contrafortes aos de arco de diferentes traçados, de abóbadas múltiplas de grande vão e compostos.

3.1.1 — A primeira grande barragem do tipo arco delgado — Santa Luzia — com 76 m de altura ficou concluída em 1942. E o primeiro ensaio estrutural em modelo reduzido de uma barragem de betão foi feito em 1944, no antigo Centro de Estudos de Engenharia Civil, precursor do actual Laboratório Nacional de Engenharia Civil, mundialmente conhecido.

Em 1946 começou a construção de duas grandes barragens do tipo arco, Castelo do Bode e Venda Nova, com alturas respectivamente de 115 m e 97 m, que ficaram concluídas em 1951; ambas foram ensaiadas em modelo reduzido. E antes da conclusão destas deu-se início à construção de outras. Foi então que tomou grande incremento a técnica portuguesa de estudo, projecto e construção de grandes barragens de betão; progrediram consideravelmente os métodos de estudo e de ensaio, quer do terreno de fundação quer da estrutura das barragens e das obras anexas. Assim, das barragens em arco circular de um só centro passou-se às de arcos circulares de diferentes centros, de arcos parabólicos e de abóbadas de dupla curvatura; com conhecimentos mais seguros do comportamento estrutural do conjunto terreno de fundação-barragem, foram-se adoptando soluções mais ousadas, quer no respeitante à resistência e à heterogeneidade do terreno de fundação quer no referente à relação corda altura das barragens. Para ilustrar este breve apontamento citam-se alguns exemplos:

— O da barragem do Alto Rabagão, com um comprimento total no coroamento de 1897 m e uma altura máxima de 94 m, constituída por uma abóbada central, descarregando em grandes encontros artificiais de gravidade, prolongada por alas de gravidade, para um e outro lado, com a altura máxima de 54 m; a abóbada central e os seus encontros assentam em terreno granítico com módulos de elasticidade variando, da margem direita para a esquerda, de 160 000 kg cm⁻² até cerca de 10 000 kg cm⁻², e as alas laterais assentam

sobre xistos e granito e o contacto destes dois tipos de rocha, sendo, como era de esperar, de grande heterogeneidade o terreno de fundação; nos estudos desta invulgar obra fez-se uma muito cuidadosa prospecção do terreno de fundação e estudaram-se 17 soluções para a cúpula e seus encontros; durante a construção houve que tomar especiais medidas para consolidação, impermeabilização e drenagem do terreno de fundação; esta obra, na qual, no dizer do mestre André Coyne, «se tinha extrapolado a natureza», embora cara, justificava-se por criar uma reserva de água correspondente a cerca de 1000 GWh; entrou em serviço no ano de 1964 e o seu comportamento tem sido inteiramente satisfatório, registando-se deformações elásticas com valores um pouco inferiores aos previstos.

— O das barragens de abóbadas múltiplas de grande vão da Aguieira, em construção, e de Alqueva, em projecto. São obras semelhantes, com alturas da ordem dos 80 m, constituídas por três abóbadas e dois contrafortes espessos sobre os quais se faz a descarga das cheias; na primeira o vão da abóbada central é de 90 m, maior do que a altura, e na segunda de 80 m, ou seja igual à altura; estes tipos de barragem foram especialmente estudados para vales largos, como acontece nos rios Mondego e Guadiana, onde se implantam estas obras.

— Outros exemplos de grandes barragens de betão são ainda de apontar: a de Cambambe, no rio Quanza, concluída em 1.ª fase em 1963, e que, depois de sobre-elevada, terá 88 m de altura e 300 m de comprimento, é do tipo abóbada de dupla curvatura; a barragem Oliveira Salazar, no rio Revuè, concluída em 1969, com 75 m de altura e 370 m de comprimento, constituída por uma abóbada central, de dupla curvatura, flanqueada, na margem direita, por uma pequena abóbada do mesmo tipo; e, finalmente, a grandiosa barragem de Cabora Bassa, do plano de aproveitamento do rio Zambeze, do tipo abóbada de dupla curvatura, com 171 m de altura e 321 m de comprimento, dotada de evacuadores de cheia de meio fundo para descarregar 13 600 m³ s⁻¹ e que cria uma albufeira com a enorme capacidade de 63 000 milhões de metros cúbicos.

3.1.2 — A primeira grande barragem do tipo de contrafortes — Pracana, com 65 m de altura — ficou concluída em 1951; além desta cita-se, pela particularidade de ter planta curva, a barragem de Miranda, com 80 m de altura e concluída em 1961.

3.1.3 — Também merecem referência especial as barragens de aproveitamentos hidroeléctricos de baixa queda, implantadas em rios — Tejo e Douro — com grandes caudais de cheia, o que obrigou a adaptar soluções que permitissem a sua passagem em boas condições. A primeira barragem deste tipo — Biver, no rio Tejo, com 21 m de altura e 440 m de comprimento, concluída em 1952 — foi estudada para dar passagem a uma ponta de cheia de 18 000 m³ s⁻¹. Além desta cita-se ainda, pelas suas particularidades, a de Carrapelo, no rio Douro, com 57 m de altura e 400 m de comprimento, estudada para dar passagem a uma ponta de cheia de 22 000 m³ s⁻¹, que ficou concluída em 1971; junto da margem esquerda está a central hidroeléctrica e da margem direita uma eclusa de navegação com 85 m × 12 m, vencendo um desnível de

36,5 m; é ainda dotada de uma eclusa para a passagem de peixes, situada entre a central e o troço de descarga das cheias; a barragem tem um vazamento, junto da fundação, destinado a reduzir o volume de betão e, conseqüentemente, o calor de hidratação do cimento, a diminuir a área sujeita a subpressão e a facilitar a inspecção do terreno de fundação e o seu tratamento, técnica esta usada em outras barragens e que teve início, com pleno êxito, na de Bemposta, do tipo arco espesso, com 87 m de altura, concluída em 1964.

Ainda, no que respeita a barragens de betão de pequena altura e grande comprimento, apontam-se, pela particularidade de os seus coroamentos terem sido projectados para sobre eles se estabelecerem estrada e linha de caminho de ferro, as duas seguintes: a da Matala, do plano de aproveitamento do Cunene, concluída em 1954, com 16 m de altura e 1035 m de comprimento, e a do Limpopo, concluída em 1956, com 15 m de altura e 651 m de comprimento.

3.1.4 — No ano de 1949 ficou concluída a primeira grande barragem de enrocamento — Salazar — com 63 m de altura e 192 m de comprimento; foi construída com enrocamento arrumado e tem a particularidade de ser dotada de uma cortina estanque, no paramento de montante, de chapa de aço inoxidável, com ligações elásticas, toda soldada, com um peso total de 620 t; é de assinalar o bom comportamento desta obra e da respectiva cortina e a economia da sua conservação. Outro exemplo deste tipo de obra é o da barragem de Paradela, concluída em 1958; foi construída com enrocamento lançado a granel e sujeito a fortes jactos de água; tem 110 m de altura, 540 m de comprimento e um volume de 2,7 milhões de metros cúbicos; é dotada de uma cortina estanque no paramento de montante, de betão armado com juntas de cobre; nos primeiros anos de serviço houve que fazer reparações de certo vulto nesta cortina, designadamente na sua parte inferior.

3.1.5 — Em vales largos, com terrenos de fundação pouco resistentes e onde faltava a pedra mas abundava a terra, foi este material utilizado para a construção de grandes barragens. A primeira obra deste tipo a ser executada foi a de Magos, concluída em 1938, com 17 m de altura e 400 m de comprimento. Várias outras se construíram depois, tendo especial interesse mencionar a barragem Marcelo Caetano, concluída em 1968, que tem 86 m de altura, 428 m de comprimento e um volume de terra de 3,9 milhões de metros cúbicos; o seu perfil é constituído por um núcleo central argiloso e maciços estabilizadores em que se utilizaram produtos de escavação de xistos; a compactação foi feita com cilindros vibradores de 8 t, por camadas de 0,40 m de espessura no núcleo e de 0,60 m nos maciços estabilizadores. Entre as várias barragens de terra citam-se ainda mais duas, ambas em construção: a do Gove, do plano de aproveitamento do

Cunene, com 58 m de altura, 1111 m de comprimento e um volume de terra de 4,5 milhões de metros cúbicos; e a de Massingir, do plano de aproveitamento do Limpopo, em parte assente sobre aluviões, com 48 m de altura, 4630 m de comprimento e um volume de terra de 11 milhões de metros cúbicos.

3.1.6 — Em alguns casos as condições topográficas, geológicas, hidrológicas (evacuação das cheias) davam lugar a que a solução mais económica fosse a de barragens mistas, com um troço em betão (em que se instalavam os descarregadores de cheias, as descargas de fundo e as tomadas de água) prolongado por um troço em terra. Deste tipo de obra citam-se dois exemplos: a barragem Arantes e Oliveira, do plano de rega do Alentejo, concluída em 1968, com 49 m de altura e 847 m de comprimento total, tendo o troço em betão, do tipo de contrafortes, 232 m e o de terra 615 m; e a barragem de Odivelas, também do plano de rega do Alentejo, concluída em 1972, com 55 m de altura e 545 m de comprimento total, tendo o troço em betão, do tipo de abóbadas múltiplas, 382 m e o de terra 163 m.

3.2 — Os projectos das barragens são mais ou menos condicionados pela implantação dos outros órgãos dos aproveitamentos hidráulicos e das obras acessórias: desvios provisórios dos caudais dos rios, evacuadores de cheias, tomadas de água, galerias de derivação e de restituição, centrais hidroeléctricas, estações de bombagem, eclusas de navegação e eclusas para a passagem de peixes. Estes condicionamentos têm sido sempre considerados pela técnica portuguesa de aproveitamentos hidráulicos, procurando as soluções mais favoráveis de conjunto, sob os aspectos funcionais, de segurança e económicos. Assim, são muitas e variadas as soluções adoptadas, estudadas sempre com o maior cuidado e mediante ensaios experimentais *in situ* e em modelo reduzido. E também não descursa a observação do comportamento das barragens e outras obras, para o que, durante a sua construção, nelas são incorporados os necessários aparelhos.

3.3 — A técnica portuguesa tem dado apreciável contribuição para o desenvolvimento do estudo, projecto e construção de grandes barragens, conforme o atestam os trabalhos da especialidade por ela publicados e apresentados nos congressos da CIGB e os numerosos estudos relativos a grandes barragens situadas fora do território nacional. O Laboratório Nacional de Engenharia Civil já fez ensaios estruturais, em modelos de 32 barragens para 11 países estrangeiros, além de outros estudos. Engenheiros consultores portugueses têm-se ocupado do estudo, projecto e realização de grandes barragens, obras anexas e acessórias de outros países. E a indústria portuguesa tem projectado, construído e montado bastante equipamento para barragens e centrais hidroeléctricas estrangeiras, sobretudo comportas e pontes rolantes ■