

Estudos e projetos para o estrangeiro da engenharia portuguesa de barragens

Carlos Pina | Investigador do LNEC, Presidente do Conselho Diretivo
António Lopes Batista | Investigador do LNEC, Departamento de Barragens de Betão

A engenharia portuguesa de barragens tem estado envolvida no projeto de grandes obras no estrangeiro, designadamente em Espanha, África e Américas Central e do Sul. Esta intervenção tem sido concretizada por empresas de projeto, em alguns casos associadas a empresas de construção, e muitas vezes apoiadas, na realização de estudos de âmbito mais específico, pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). A partir de meados do século passado foi projetada e construída no país a grande maioria das barragens integradas em aproveitamentos hidroelétricos e em sistemas de regadio e de abastecimento público. Esta experiência permitiu a exportação do conhecimento e de serviços de engenharia nesta área, apresentando-se de seguida, no que respeita ao estrangeiro, os projetos mais significativos de obras construídas até ao final do século XX e alguns estudos e projetos relevantes realizados nos últimos anos.

Nas décadas iniciais do século XX, as primeiras barragens construídas em Portugal, com alvenaria de pedra argamassada, foram projetadas por portugueses, podendo referir-se como exemplos as barragens do Covão do Ferro e da Lagoa Comprida, na serra da Estrela, e a barragem da Póvoa, nas proximidades de Nisa. A seguir à segunda guerra mundial, para apoiar o desenvolvimento que a recuperação económica da Europa tornava urgente, Portugal definiu um programa de construção de infraestruturas hidráulicas, o que originou um desenvolvimento significativo da engenharia portuguesa de barragens.

Destacam-se, nas obras então construídas, as barragens de aterro de Pego do Altar e de Vale do Gaio, para rega na bacia do Sado, e as barragens de betão, construídas no norte e centro de Portugal, integradas em aproveitamentos hidroelétricos. A elaboração e execução do plano de obras foi estendido, posteriormente, às então províncias ultramarinas.

Para a elaboração dos estudos e dos projetos das primeiras barragens abóbada recorreu-se a empresas estrangeiras. Porém, rapidamente o meio técnico nacional ficou dotado do conhecimento necessário para ser autónomo nestas atividades, o que permitiu, numa fase seguinte, a colaboração da engenharia portuguesa de barragens em estudos, projetos e construção de obras espalhadas pelo mundo. De facto, não tiveram projeto português, embora tenham sido testados em Portugal os respetivos modelos físicos reduzidos, as barragens de betão de Santa Luzia (1942), Alto Ceira (1949), Venda Nova (1951), Castelo do Bode (1951), Pracana (1951) e Salamonde (1953). Contudo, as seguintes foram já concebidas em Portugal, de que são exemplo as barragens do Cabril

(1954, com 136 m de altura, continuando a ser a mais alta de Portugal) e da Caniçada (1955). Os primeiros projetos portugueses de barragens construídas no estrangeiro foram elaborados ainda na década de 50 do século passado, nomeadamente das barragens do Salto do Funil (85 m de altura, no Brasil) e Cachi (80 m de altura, na Costa Rica). As barragens de Cambambe, em Angola, e da Chicamba Real, em Moçambique, também foram projetadas pela engenharia portuguesa nessa década.

Nas fases de projeto e construção das primeiras obras, foram criadas competências específicas em Portugal, na administração pública, nomeadamente na Direcção-Geral dos Serviços Hidráulicos, na Junta Autónoma das Obras Públicas e Hidráulica Agrícola e no Laboratório Nacional de Engenharia

Civil (LNEC). Simultaneamente assistiu-se à criação de gabinetes de estudos e projetos nas próprias empresas hidroelétricas, de que são exemplo as Hidroelétricas do Cávado (HICA), Douro (HIDOURO) e Zêzere (HEZ), que mais tarde deram origem ao gabinete da EDP, e também de empresas autónomas, como a Hidrotécnica Portuguesa (já desaparecida) e a COBA.

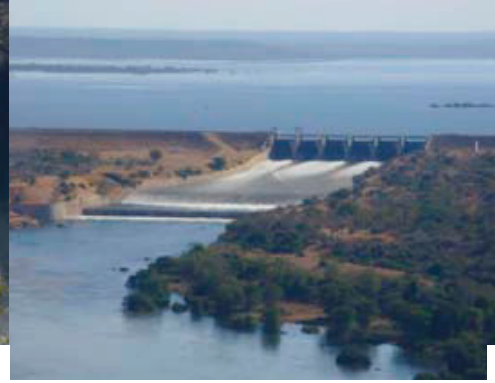
Neste período de grande desenvolvimento da engenharia de barragens de meados do século passado deve ser feita uma menção especial aos engenheiros António Trigo de Moraes, Manuel Rocha e Joaquim Laginha Serafim. O eng.º António Trigo de Moraes foi um grande impulsionador de obras de hidráulica agrícola, em Portugal e em África, que têm o seu expoente máximo no vale do rio Limpopo, em Moçambique, com a

irrigação de milhares de hectares a partir das barragens de Macarretane e de Massingir. No domínio dos maciços rochosos e das barragens de betão, o eng.º Manuel Rocha foi o precursor do desenvolvimento da mecânica das rochas no LNEC e no mundo. O eng.º Joaquim Laginha Serafim foi engenheiro projetista de barragens, em particular de barragens abóbada, de projeção mundial, de que são exemplo as barragens do Cabril e do Funcho, em Portugal, Salto do Funil, no Brasil, e Atazar, em Espanha.

Atualmente, a engenharia portuguesa de barragens, dada a sua qualidade reconhecida internacionalmente, continua muito envolvida na realização de estudos e projetos, nomeadamente nas obras do recente Programa Nacional de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico

QUADRO 1 | Barragens mais significativas construídas no estrangeiro no século XX, com projeto de empresas portuguesas.

PAÍS	BARRAGEM	GÉNERO ESTRUTURAL	ALTURA E DESENVOLVIMENTO DO COROAMENTO	VOLUME DA ALBUFEIRA	FINALIDADE	ANO DE CONCLUSÃO	PROJETISTA
Angola	Biópio	Descarregadora de betão	19 m / 180 m	2,2 hm ³	Produção de energia (15 MW)	1956	APAGEL
	Cambambe (1.ª fase)	Abóbada de betão	68 m / 300 m	80 hm ³	Produção de energia (260 MW)	1962	HEZ
	Lomaum	Descarregadora de betão	24 m / 230 m	1 hm ³	Produção de energia (65 MW)	1964	Hidrotécnica Portuguesa
	Gove	Terra	58 m / 1112 m	2 360 hm ³	Produção de energia (30 MW) e regularização de cheias	1974	Rui Sanches
	Mabubas	Gravidade de betão	30 m / 280 m	62 hm ³	Produção de energia (22 MW)	1957	APAGEL
	Matala	Descarregadora de betão	16 m / 1000 m	69 hm ³	Produção energia (31 MW)	1958	António Trigo de Moraes
	Quiminha	Terra	36 m / 275 m	1 560 hm ³	Rega	1975	A. Palma Carlos e Rui Sanches
Argélia	Herrezza	Terra	41 m / 1787 m	75 hm ³	Rega	1984	COBA
	Keddara	Enrocamento	106 m / 469 m	145 hm ³	Abastecimento água a Argel	1985	COBA
Brasil	Salto do Funil	Abóbada de betão	85 m / 385 m	890 hm ³	Produção de energia (MW)	1969	COBA
Costa Rica	Cachi	Abóbada de betão	80 m / 150 m		Produção de energia (MW)	1969	COBA
Espanha	Atazar	Abóbada de betão	141 m / 350 m	468 hm ³	Abastecimento de água a Madrid	1972	CONSULPRESA/COBA
	El Vellon	Abóbada de betão	50 m / 218 m	433 hm ³	Abastecimento de água	1967	CONSULPRESA/COBA
Marrocos	Al Wahda	Terra zonada	90 m / 2600 m	3 800 hm ³	Rega e produção de energia (240 MW)	1996	Hidrotécnica Portuguesa
Moçambique	Cahora Bassa	Abóbada de betão	170 m / 303 m	66 000 hm ³	Produção de energia (2 075 MW)	1974	Hidrotécnica Portuguesa
	Chicamba (1.ª e 2.ª fases)	2 abóbadas de betão independentes	75 m / 225 m e 45 m / 115 m	2 000 hm ³	Produção de energia (38 MW) e regularização de caudais	1959 (1.ª fase) e 1969 (2.ª fase)	HEZ
	Corumana	Terra zonada	45 m / 3050 m	1 230 hm ³	Rega	1989	Hidrotécnica Portuguesa
	Macarretane	Descarregadora de betão	25 m / 651 m		Rega	1951	António Trigo de Moraes e Joaquim Teixeira Duarte
	Massingir	Mista terra-betão	46 m / 4600 m		Rega	2000	COBA
	Mavuzi	Descarregadora de betão	19 m / 230 m	4 hm ³	Produção de energia (MW)	1959	HEZ
	Nampula	Gravidade de betão	25,5 m / 163 m	5 hm ³	Abastecimento de água	1959	Joaquim Teixeira Duarte
	Pequenos Libombos	Mista terra-betão	46 m / 1470 m	400 hm ³	Abastecimento de água, rega e produção de energia	1987	Hidroprojecto / Enarco



(PNBEPH), algumas delas em construção, mas sobretudo no estrangeiro, mobilizando as empresas de projeto e consultoria e, também, o LNEC, neste caso para estudar aspetos mais específicos das obras e suas fundações.

Atividade de projetistas e consultores

Século XX

No século passado devem ser destacados os seguintes projetos (quadro 1): em Angola, as barragens de Mabubas, Quiminha, Cambambe, Biópio, Lomaum, Gove e Matala e, ainda, as barragens de Jamba-ia-Mina e de Jamba-ia-Oma, no rio Cunene, que foram projetadas mas não chegaram a ser construídas, sendo que a barragem de Cambambe está agora a ser alteada; no Brasil, a barragem do Salto do Funil; na Costa Rica, a barragem de Cachi; em Espanha, as barragens de Atazar e El Vellon; no Magrebe, as barragens de Harrezza e Keddara, na Argélia, e a barragem de Al

Wahda, em Marrocos; em Moçambique, as barragens de terra da Corumana, Massingir e Pequenos Libombos, a ponte-açude do Mavuzi e as barragens de betão da Chicamba Real, Nampula, Macarretane e Cahora Bassa, merecendo particular destaque esta última (fig. 1), que tem 170 m de altura e uma albufeira com 66 000 hm³ que se estende por cerca de 270 km.

Desde o início do século XXI

Nos primeiros anos deste século tem vindo a verificar-se um incremento nos trabalhos realizados pelas empresas portuguesas de projeto no estrangeiro. Este aumento está, sobretudo, relacionado com a reabilitação e a retoma da construção de aproveitamentos hidroelétricos em Angola, com a continuação da atividade nos países do Magrebe, com a extensão deste tipo de trabalhos ao Brasil, com a construção de barragens para irrigação em Cabo Verde e com o reinício da construção de barragens em Moçambique (quadro 2).

1 | Vista de jusante da barragem de Cahora Bassa, em Moçambique.

2 | Barragem de Massingir em Moçambique. Vistas do protótipo e do modelo físico do descarregador de cheias.

Intervenção do LNEC

O LNEC está envolvido no domínio das barragens desde a sua fundação, em 1946. Este envolvimento, que foi um dos fatores da sua criação e afirmação, foi motivado pela necessidade sentida pelo Estado português de desenvolver, na administração pública, uma entidade que detivesse conhecimentos científicos avançados e capacidades e competências técnicas que permitissem garantir a segurança das grandes obras públicas a construir em Portugal. Estas valências têm vindo a ser colocadas ao serviço dos diferentes intervenientes no projeto, construção, observação e acompanhamento do

QUADRO 2 | Projetos e estudos de barragens e obras anexas no estrangeiro, realizados por empresas portuguesas desde o início do século XXI.

PAÍS	TIPO DE ESTUDO	PROJETISTA	BARRAGEM	TIPO DE BARRAGEM	ALTURA	VOLUME DA ALBUFEIRA	FINALIDADE
Angola	Projeto de reparação	CENOR	Calueque	Mista terra-betão	19 m	458 hm ³	Rega
	Estudo de viabilidade		Luapasso	Mista terra-betão	25,8 m	25,9 hm ³	Produção de energia
	Estudo de viabilidade		Camanenga	Mista terra-betão	23,5 m	2,9 hm ³	Produção de energia
	Projeto de reabilitação e da central	COBA	Gove	Terra	86 m	2 547 hm ³	Produção de energia (60 MW) e regularização de cheias
	Projeto		Jamba-ia-Mina	Mista terra-betão	23,5 m	500 hm ³	Produção de energia (205 MW)
	Projeto		Jamba-ia-Oma	Mista terra-betão	47 m	1 098 hm ³	Produção de energia (79 MW)
	Aprovação de projeto e supervisão da construção		Laúca	Gravidade de BCC	132 m	5 482 hm ³	Produção de energia (2070 MW)
	Projeto		Caculo Cabaça	Gravidade de BCC	105 m	436 hm ³	Produção de energia (2120 MW)
	Projeto de reabilitação da barragem e de reforço de potência		Luachimo	Betão	6,5 m		Produção de energia (32,8 MW)
	Projeto de reabilitação para concurso		EDP	Matala	Descarregadora de betão	16 m	69 hm ³
	Projeto de reabilitação para concurso	EDP / COBA	Lomaum	Descarregadora de betão	24 m	1 hm ³	Produção de energia (65 MW)
	Projeto de reabilitação para concurso	EDP / SG Consult	Biópio	Descarregadora de betão	19 m	2,2 hm ³	Produção de energia (15 MW)

PAÍS	TIPO DE ESTUDO	PROJETISTA	BARRAGEM	TIPO DE BARRAGEM	ALTURA	VOLUME DA ALBUFEIRA	FINALIDADE
Argélia	Projeto	COBA	Ben Aida	Aterro	20 m	44 hm ³	Abastecimento de água e rega
			Bounachi	Enrocamento com cortina de betão a montante	41,5 m	23 hm ³	Abastecimento de água e rega
			Seklafa	Betão	47 m	11 hm ³	Abastecimento de água e rega
			Dermoun	Enrocamento	40 m	23,6 hm ³	Abastecimento de água e rega
			Béni Slimane	Terra	66 m	28,7 hm ³	Abastecimento de água e rega
			Zaouia	Terra	61 m	100 hm ³	Abastecimento de água e rega
	Inspeção e projeto de reabilitação		Charchar	Terra	39 m	7 hm ³	Abastecimento de água e rega
			Bakkada	Enrocamento	45 m	17 hm ³	Abastecimento de água e rega
			Boughzoul	Gravidade de betão	13,6 m	41,3 hm ³	Abastecimento de água e rega
			Oued Fodda	Gravidade de betão	100 m	144 hm ³	Abastecimento de água e rega
Brasil	Projetos base e de execução	Aqualogus	Paredão de Minas	Terra	36 m	6,3 hm ³	Produção de energia (30 MW)
	Projeto de reabilitação		Areia Branca	Mista terra-betão	30 m	23 hm ³	Produção de energia (20 MW)
	Projeto	COBA	Figueiredo	Enrocamento	38 m	520 hm ³	Abastecimento de água e rega
	Projeto de recuperação		Jaburú	Aterro zonado	56 m	210 hm ³	Abastecimento de água e rega
	Supervisão		Mamoeiro	BCC	29 m	21 hm ³	Abastecimento de água
	Supervisão		Umari	Aterro	22 m	35 hm ³	Abastecimento de água
	Supervisão final do projeto e apoio ao projeto de execução	EDP	Lajeado	Gravidade de betão e aterro	43 m	5,2 hm ³	Produção de energia (902,5 MW)
Cabo Verde	Estudo preliminar e projeto de execução	CENOR / NORVIA	Banca Furada	Gravidade de alvenaria	41,5 m	0,3 hm ³	Rega
	Estudo preliminar e projeto de execução		Figueira Gorda	Gravidade de alvenaria	30,5 m	1,3 hm ³	Rega
	Estudo preliminar e projeto de execução		Salineiro	Gravidade de alvenaria	30,1 m	0,7 hm ³	Rega
	Estudo preliminar e projeto de execução		Faveta	Gravidade de alvenaria	38,7 m	0,7 hm ³	Rega
	Estudo preliminar e projeto de execução		Saquinho	Arco-gravidade de betão	33,9 m	0,4 hm ³	Rega
	Estudo preliminar e projeto de execução		Canto Cagarra	Gravidade de alvenaria	37,5 m	0,4 hm ³	Rega
Malawi	Estudos de viabilidade prévio	CENOR	Kayelekera	Gravidade de betão	35 m	1,5 hm ³	Produção de energia
Marrocos	Projeto para concurso	COBA	Tanafnit	Mista terra-betão	25 m	2,1 hm ³	Produção de energia (21,3 MW)
Moçambique	Estudo prévio	Aqualogus	Mepulo	Betão	39 m	19 hm ³	Abastecimento de água e produção de energia (2 MW)
	Estudo prévio		Berua I	Mista terra-betão	19 m	5 hm ³	Produção de energia (25 MW)
	Estudo prévio	Berua II	Mista terra-betão	16 m	3 hm ³	Produção de energia (42 MW)	
	Revisão de projeto e fiscalização	CENOR	Gorongosa	Betão	15 m	0,1 hm ³	Abastecimento de água
	Projeto	COBA	Moamba Major	Mista terra-betão	40 m	880 hm ³	Abastecimento de água e produção de energia (15 MW)
Revisão de projeto	Aqualogus						
Perú	Projeto base	Aqualogus	Ocoña	Enrocamento (CFRD)	90 m	115 hm ³	Produção de energia (400 MW)

comportamento e reabilitação das obras, bem como na elaboração e revisão de regulamentos e documentos normativos. Deve ainda referir-se como relevante a intervenção em organizações nacionais e internacionais no domínio das barragens,

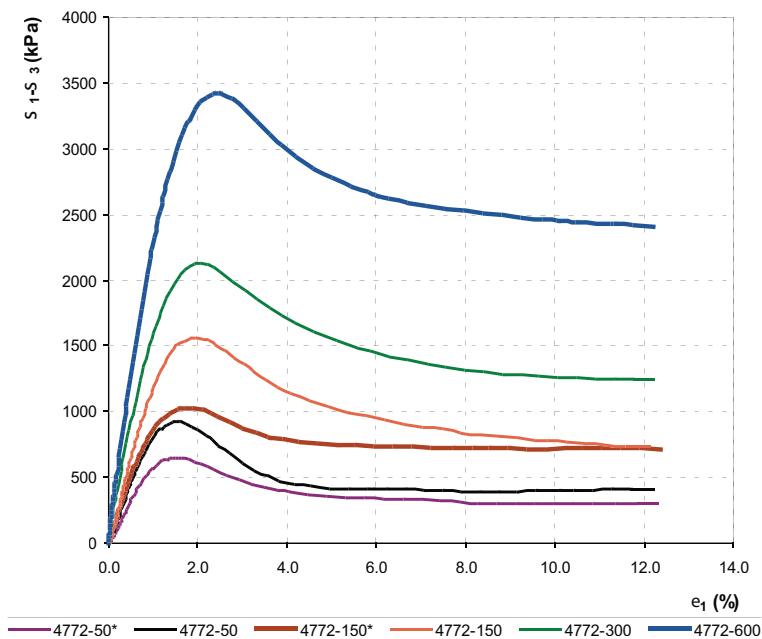
bem como na promoção regular de cursos e eventos técnico-científicos neste âmbito.

A intervenção do LNEC na engenharia de barragens mobiliza as áreas científicas que estão atribuídas às seguintes unidades

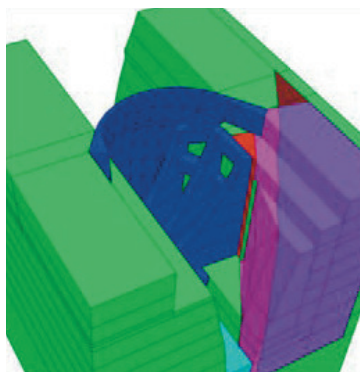
orgânicas: Departamento de Hidráulica e Ambiente (nos aspetos relacionados com hidrologia, hidráulica de estruturas, riscos a jusante e planeamento de emergência); Departamento de Geotecnia (para as barragens de aterro) e o Departamento de



3



4



3 | Provete e resultados dos ensaios triaxiais do material do núcleo da barragem de Göschenalp (Suíça).

4 | Barragem de El Frayle nos Andes peruanos. Vista de jusante e perspetiva do modelo matemático usado nos estudos sísmicos da obra.

Barragens de Betão (para as barragens de betão e de alvenaria e as obras subterrâneas em maciços rochosos).

A colaboração do LNEC nas grandes barragens inicia-se, em regra, através de estudos de apoio ao projeto para: i) caracterização hidrológica; ii) escolha de sítios e caracterização das propriedades dos maciços de fundação; iii) escolha e otimização de formas, caracterização do comportamento dos materiais, verificação da segurança para condições de serviço e para condições extremas de utilização, nomeadamente para a ocorrência de grandes cheias e sismos, utilizando, essencialmente, métodos numéricos nas análises estruturais e modelos físicos reduzidos para os órgãos hidráulicos (fig. 2); e iv) elaboração de planos de observação e de emergência.

Durante a construção das obras, o LNEC participa na caracterização e controlo dos materiais utilizados (fig. 3) e apoia

ou controla a instalação dos sistemas de observação. Durante a exploração, supervisiona o controlo da segurança através do arquivo e gestão de dados e resultados da observação, realização de inspeções de segurança e elaboração de relatórios sobre o comportamento das obras (fig. 4).

Considerações finais

Devido à vantagem da língua comum, são naturalmente os PALOP e o Brasil os principais destinatários da procura da atividade dos agentes portugueses, privados e públicos, ligados à engenharia de barragens, a par dos países do Magrebe, devido à proximidade geográfica. Os restantes países da América Latina voltam, também, a ser mercados privilegiados para a engenharia de barragens portuguesa.

A associação do LNEC a empresas privadas, quer através da criação de consórcios, quer como subcontratada, poderá trazer a estas

uma vantagem competitiva acrescida, dado o prestígio do LNEC nestes países, bem como o seu estatuto de instituto público.

Deve também referir-se o apoio do LNEC e de empresas portuguesas na elaboração da legislação de segurança de barragens de países lusófonos, de que são já exemplo a colaboração na organização das atividades de classificação e de controlo da segurança das barragens no Brasil e na elaboração do regulamento de segurança de barragens de Moçambique ■

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à EDP e às empresas de projeto Aqualogus, CENOR e COBA o fornecimento de muitos dos elementos apresentados.

BIBLIOGRAFIA

Oliveira Pedro, J., Maranha das Neves, E., Matias Ramos, C. – Activity of the Laboratório Nacional de Engenharia Civil in the field of large dams. Memória nº 788. Lisboa, LNEC, 1992.

LNEC – 60 anos de actividade 1946-2006. Lisboa, LNEC, 2006.

Ordem dos Engenheiros – 100 obras da engenharia portuguesa no mundo no século XX. Lisboa, OE, 2003.