

A REPARAÇÃO DA BARRAGEM DE PARADELA*

Paradela Dam Repair

por

ANTÓNIO CORREIA DE SOUSA**

MANUEL PINHO DE MIRANDA**

PIETRO DE PORCELLINIS***

JOÃO CATALÃO****

RESUMO – A barragem de Paradela, construída no Rio Cávado no período de 1956/58, é uma barragem de enrocamento com 110 m de altura. A estanqueidade do seu paramento era assegurada por lajes de betão armado, articuladas. Os importantes assentamentos observados durante a exploração dos primeiros anos estão na origem da fissuração da cortina de montante e do aumento das infiltrações.

O presente artigo mostra como, depois de várias intervenções infrutíferas, se efectuou a reparação geral em 1980. A impermeabilização do paramento de montante ficou assegurado graças à aplicação de uma membrana “in situ”, processo RODIMPERM.

Os diferentes aspectos e fases desta reparação encontram-se brevemente descritos, bem como os resultados obtidos.

SYNOPSIS – Paradela rockfill concrete face dam, 110 m high, has been built between 1956 and 1958.

Both a short description of the dam and the history of its main repairs since 1962 are made.

The last repair in 1980 with a waterproofing “in situ” membrane is justified and analysed.

The amount of leakage through concrete slabs before and after 1980 is also compared.

* Comunicação apresentada ao XV Congresso da ICOLD, Lausanne, 1985.

** Engenheiro Civil, Electricidade de Portugal.

*** Engenheiro Químico, Sondagens Rodio.

**** Engenheiro Civil, Sondagens Rodio.

DESCRIÇÃO GERAL DA OBRA

A barragem de Paradela situa-se no rio Cávado, no extremo norte de Portugal. Trata-se de uma barragem de enrocamento com 112 m de altura máxima, cuja construção decorreu entre 1956 e 1958 e onde se utilizaram técnicas semelhantes às que tinham sido empregues em diversas barragens norte-americanas, nomeadamente em Salt Springs. Na época, foi a barragem mais alta do seu tipo. Os blocos utilizados no enrocamento pesam 2 a 4 ton. e são em granito de boa qualidade. A impermeabilização era assegurada por uma cortina em betão armado constituindo o paramento de montante. Para permitir os assentamentos, a cortina é esquadrelada por juntas horizontais e verticais, definindo lajes rectangulares com $10\text{ m} \times 15\text{ m}$ ou $15\text{ m} \times 15\text{ m}$, cuja espessura varia linearmente desde 0,30 m no coroamento até 1,10 m na base.

O suporte da cortina é constituído por uma camada de enrocamento arrumado, cuja espessura, medida normalmente ao paramento, cresce linearmente desde 3 m no coroamento até 8,6 m no fundo do rio.

A barragem foi construída em três fases. Na primeira, situava-se à cota (700,00) a plataforma de lançamento dos enrocamentos que eram lavados e posicionados com a ajuda de potentes jactos de água à pressão de $0,7\text{ MN/m}^2$. A banquetta superior possuía aproximadamente 20 m de largura e os taludes (definitivo o de montante e intermédio o de jusante) eram de cerca de 1,3/1,0. Na segunda fase, com plataforma de lançamento à cota (735,00), manteve-se o talude de montante e realizou-se o prisma de enchimento limitado a jusante por um talude paralelo ao anterior. Na última fase sobreelevou-se a barragem até à cota definitiva (743,00), conservando-se os taludes e realizando-se uma largura no coroamento de cerca de 3,00 m.

As juntas, horizontais e verticais, são fechadas por lâminas de cobre concebidas de modo a permitirem os movimentos relativos de lajes adjacentes. Em pontos particularmente delicados, como os cantos das lajes, houve especial cuidado na concepção do dispositivo de interserção das lâminas.

Em todo o contacto da máscara de montante com o terreno, as lajes de betão armado são apoiadas num muro corta-águas bem encastrado na rocha, com dimensões variáveis e em cujo interior está localizada a galeria de visita. O apoio é feito por meio de uma junta perimetral provida de lâminas de cobre.

A rede de drenagem e as injeções de tratamento da fundação foram executadas a partir da galeria já referida.

INFILTRAÇÕES E DESLOCAMENTOS

A medida das infiltrações na barragem de Paradela é realizada através de um descarregador instalado à saída de uma galeria de acesso à galeria do corta-águas, no

fundo do rio; aí convergem as águas de infiltrações, as águas drenadas (cujo caudal total é possível conhecer ao longo de cada margem) e as águas das chuvas caídas sobre o talude de jusante e nas margens.

Entre 1962 e 1975 foram realizadas 7 reparações mais ou menos importantes na cortina de montante, visando reduzir as infiltrações que se verificavam. Apresentam-se seguidamente as datas em que se efectuaram, e as cotas mínimas atingidas pela albufera durante a realização dos trabalhos.

- 1.^a reparação — Setembro a Dezembro de 1962 (vazia)
- 2.^a reparação — Setembro a Dezembro de 1964 (675,00)
- 3.^a reparação — Julho a Novembro de 1965 (vazia)
- 4.^a reparação — Outubro a Dezembro de 1971 (vazia)
- 5.^a reparação — Agosto a Outubro de 1972 (720,00)
- 6.^a reparação — Outubro a Dezembro de 1973 (700,00)
- 7.^a reparação — Outubro a Dezembro de 1975 (695,00)

Fundamentalmente, as diferentes reparações consistiram em:

- Soldar ou substituir lâminas de cobre deterioradas;
- Alargar juntas que se encontravam fechadas e que apresentavam tendência para provocar esmagamento do betão;
- Substituir, parcial ou totalmente, lajes que se encontravam fracturadas;
- Encher as juntas com produtos betuminosos.

De uma forma sistemática, nos períodos decorrentes entre reparações consecutivas, as perdas de água aumentavam. No entanto o grau de eficácia alcançado foi muito variável, tendo-se obtido após as 2.^a e 3.^a reparações (esta foi a continuação da anterior, interrompida pela época das chuvas) perdas de água com valores sempre inferiores a 0,800 m³/s até 1969.

Entre 1971 e 1973 foram feitas as três reparações seguintes e em Julho de 1974, com a albufera cheia, o caudal perdido alcançava, 0,710 m³/s (inferior ao valor de 0,950 m³/s atingindo em Fevereiro de 1970).

Após a 7.^a reparação e com a albufera à cota (739,00) mediram-se infiltrações de 0,775 m³/s, 1,035 m³/s e 1,135 m³/s em Julho de 1977, Julho de 1978 e Janeiro de 1979, respectivamente. Ao longo do ano de 1979 a deterioração foi-se agravando rapidamente e em Julho alcançaram-se 1,380 m³/s com a albufera à cota (733,00). Este valor já se avizinha dos 1,760 m³/s medidos em Julho de 1964 e que constituem o máximo absoluto já alcançado.

Estas considerações evidenciam a necessidade da reparação de 1980 o que ainda se torna mais evidente através da comparação dos valores obtidos com cota constante (735,00) em diferentes épocas, e que seguidamente se apresentam:

Data	Perdas (m×/s)	Data	Perdas (m×/s)	Data	Perdas (m×/s)	Data	Perdas (m×/s)
11.09.60	1,015	09.07.64	1,760	21.01.70	0,857	30.01.74	0,586
20.10.60	0,969	2. ^a Reparação		19.03.70	0,902	23.08.74	0,705
01.08.61	1,260	3. ^a Reparação		4. ^a Reparação		7. ^a Reparação	
18.12.61	1,157	28.01.66	0,395	5. ^a Reparação		18.01.77	0,528
08.06.62	1,171	14.08.66	0,590	10.01.73	0,441	10.08.77	0,770
1. ^a Reparação		22.01.67	0,621	01.03.73	0,520	17.02.78	0,795
25.02.63	0,691	27.06.67	0,714	16.05.73	0,564	10.09.78	1,075
09.07.63	1,328	30.01.69	0,634	10.07.73	0,620	28.12.78	1,070
24.11.63	1,220	23.07.69	0,800	6. ^a Reparação		17.07.79	1,380

O estudo estatístico das infiltrações permitiu prever que o seu valor ultrapassaria 1,700 m×/s no início de 1980, para o nível máximo da albufera.

O carácter mais ou menos efêmero destas 7 reparações atribui-se a duas causas principais: em primeiro lugar, ao facto de o processo de consolidação do enrocamento não estar estabilizado, e, em segundo lugar, ao comportamento viscoso dos produtos betuminosos colocados nas juntas, o que permite a sua penetração, embora lenta, através de fendas existentes.

A procura de outras técnicas, mais duradouras e eficazes, levou a reter como promissora, uma solução que consiste no revestimento de todo o paramento de montante com uma membrana suficientemente elástica e resistente para acompanhar os assentamentos futuros sem perda de resistência e impermeabilidade.

A quantificação dos assentamentos previsíveis — aspecto essencial nesta solução — foi feita através da análise dos registos de deslocamentos medidos desde 1960 nas cinco fiadas superiores de lajes situadas na zona central do vale, onde os assentamentos são mais importantes, atingindo valores próximos de 2,00 m. Nesse estudo, concluiu-se que os primeiros cinco anos de vida da obra foram responsáveis por mais de 2/3 do assentamento de cada laje e que nos últimos cinco anos a taxa média de evolução de qualquer das componentes de deslocamento das lajes é sempre inferior a 10 mm/ano. Concluiu-se também que os movimentos relativos entre lajes possuem taxas anuais não superiores a 3 mm/ano.

Estes resultados demonstram que o enrocamento se encontrava numa fase adiantada de consolidação o que possibilitou adoptar a solução indicada.

REPARAÇÃO DE 1980

A reparação de 1980 consistiu fundamentalmente no revestimento do paramento de montante com uma membrana RODIMPERM, que é genericamente constituída por uma fibra sintética impregnada por uma resina impermeabilizante. O primeiro componente assegura a resistência mecânica e o segundo destina-se a garantir a estanqueidade e a aderência ao suporte.

Além das propriedades gerais características de um geotextil (estabilidade térmica e química, resistência à tracção, “rasgamento” e punçoamento e isotropia), o “não-tecido” utilizado apresenta ainda uma uniformidade de espessura e de distribuição das fibras e grande facilidade em ser impregnado por um líquido. É constituído por fibras contínuas de polyester sem mistura pesando cerca de 2 N/m— e apresentando, como características principais, resistência à tracção igual a 10 KN/m, alongamento na rotura igual a 80% e resistência ao “rasgamento” (início) igual a 0,3 KN.

Quanto ao produto de impregnação, trata-se fundamentalmente de uma solução aquosa, polimerizável em tempo regulável, com comportamento semelhante ao de um hidrogel, podendo salientar-se o facto de, uma vez submerso, aumentar de volume, o que lhe confere as características ideais para a execução deste tipo de membrana. Apresenta fraca viscosidade, endurece sem perda de volume permanente e mantém a flexibilidade e a elasticidade após endurecimento, sendo possível o seu armazenamento em grandes quantidades sem perda das suas propriedades ao longo do tempo.

A aplicação da membrana exigiu a prévia preparação do suporte através da eliminação de parte dos passeios existentes que dificultavam a colocação, e do enchimento das juntas com argamassa à base de cimento, areia e cauchú sintético.

O produto de impregnação foi preparado em estaleiro numa central automática onde, numa misturadora, o produto base recebia o iniciador de reacção, o qual determina o tempo de polimerização e a viscosidade em função da temperatura ambiente, humidade, condições de trabalho, etc.

A mistura assim obtida era enviada às unidades móveis, já equipadas com rolos de geotêxtil e que se deslocavam sobre o paramento, no sentido ascendente. O movimento destas unidades estava sincronizado com o desenrolar do geotêxtil de modo que este sofria a embebição no produto de impregnação antes de ser colocado sobre o paramento.

Inicialmente foram colocadas faixas com 1,50 m de largura sobre as juntas verticais e seguidamente foi feito o recobrimento de todo o paramento com faixas de 3,00 de largura e com sobreposição de 0,20 m.

Abaixo da cota (696,50) foi colocada uma camada dupla para se atender ao valor de carga hidrostática, e sobre o corta-águas dispôs-se uma camada ligada à membrana

do paramento através de uma junta deslizante. Na zona do paramento situada ao longo do coroamento foi aplicada uma faixa horizontal de 3,00 de largura que constituiu o remate superior final.

A velocidade de colocação da membrana permite que a polimerização, que é controlável no tempo, se efectue conjuntamente, não havendo, por conseguinte, qualquer operação especial de colagem. Aliás, uma camada fresca tem a faculdade de polimerizar sobre uma outra já antiga, o que proporciona, igualmente, a possibilidade de eventuais reposições ou reparações.

“PERFORMANCE” DA MEMBRANA. CONTROLO EFECTUADO EM 1982

Como o enchimento gradual da albufeira, foi desde logo possível verificar, por comparação com os resultados de que se dispunha antes da reparação de 1980, que as infiltrações diminuíram acentuadamente, situando-se os valores médios em cerca de 5% do valor mínimo verificado durante cerca de 20 anos de vida da barragem.

Contudo, o brusco aumento para valores máximos da ordem dos $0,180 \text{ m}^3/\text{s}$ verificado no 1.º trimestre de 1982, deixou no ar uma certa interrogação, tendo no entanto sido possível inspecionar todo o paramento, uma vez que pela necessidade de executar trabalhos de reparação em órgãos mecânicos da barragem, fora decidido esvaziar a albufeira. Detectada a existência de uma perfuração na membrana, situada sobre uma junta vertical à cota 652,00 onde se constatou a cedência de argamassa e a existência de uma rotura na lâmina de cobre, foi decidido efectuar a reparação desta anomalia, reconstituindo-se a camada de suporte e recolocando-se novos troços de membrana com as dimensões convenientes. A capacidade que apresenta o produto fresco, de polimerizar sobre uma camada já antiga, constitui, como se referiu, uma das propriedades mais importantes da formulação adoptada.

Para além da rotura mencionada, a inspecção levada a efeito permitiu detectar ainda pequenas perfurações provocadas pela queda de pedras, embora sem influência no aumento das infiltrações, bem como cerca de dez troços igualmente situados sobre juntas, onde se verificou a cedência do suporte, tendo contudo a membrana acompanhado a deformação, sem rotura.

Reparada a anomalia, não mais se atingiram infiltrações superiores a $0,050 \text{ m}^3/\text{s}$ (dos quais cerca de $0,020 \text{ m}^3/\text{s}$ se atribuem às águas das chuvas), apesar de o nível da água na albufeira já ter atingido a cota (738,00).

CONCLUSÕES

Se bem que o período decorrido após a reparação, não permita tirar conclusões definitivas no que respeita ao funcionamento a longo prazo da barragem, não restam dúvidas que as infiltrações foram reduzidas a valores que se podem considerar insignificantes, e que não haviam sido conseguidos com as 7 reparações anteriores.

Os benefícios resultantes da reparação estão bem patentes na Fig. 1, onde se relacionam as infiltrações totais com os níveis de albufeira, a partir de Janeiro de 1975. Os pontos assinalados correspondem às datas que a seguir se referem:

1 - 1/1/75	6 - 4/7/77	11 - 14/12/79	16 - 01/01/81	21 - 09/11/82
2 - 1/7/75	7 - 2/1/78	12 - 01/01/80	17 - 01/07/81	22 - 01/01/83
3 - 1/1/76	8 - 3/7/78	13 - 01/07/80	18 - 01/01/82	23 - 01/07/83
4 - 1/7/76	9 - 2/1/79	14 - 09/07/80	19 - 01/07/82	24 - 01/01/84
5 - 3/1/77	10 - 2/7/79	15 - 18/12/80	20 - 24/09/82	

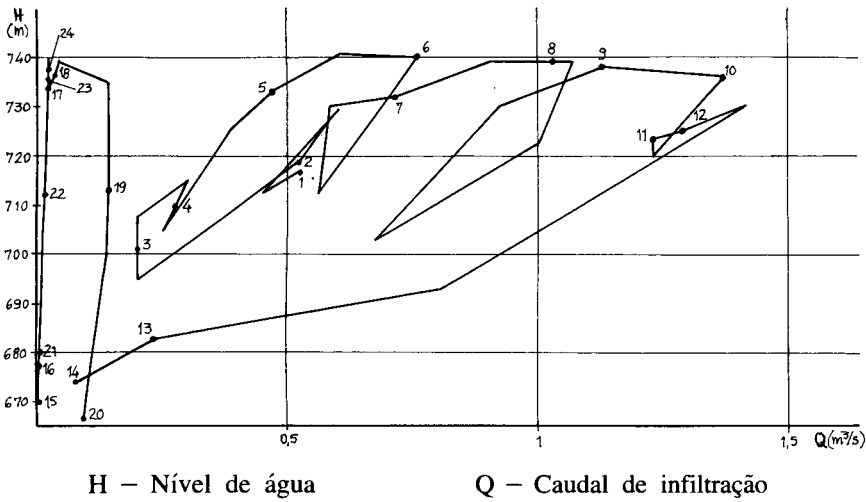


Fig. 1 — Infiltrações através da cortina de montante.