

MARTIM PORTUGAL V. FERREIRA  
Coordenação

# A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos

VOL. 2 • RECURSOS GEOLÓGICOS E FORMAÇÃO



Coimbra • Imprensa da Universidade

## HISTÓRIAS COM ÁGUA E PEDRAS. NEM SEMPRE MOLE, NEM SEMPRE DURAS

J. DELGADO RODRIGUES <sup>1</sup>

**PALAVRAS-CHAVE:** reparação obras hidrogeotécnicas, alteração de rochas xistosas, preservação de arte rupestre, preservação contra a submersão.

**KEY WORDS:** remediation of hydrogeotechnical works, decay of schistous rocks, preservation of rock art, preservation in submersion conditions.

### RESUMO

Apresentam-se 4 casos de estudo onde se procura ilustrar a acção da Geologia de Engenharia na resolução de problemas concretos de diversas índoles: i) o restabelecimento dos caudais numa captação de água, ii) a resolução de um incidente em obras de saneamento básico que originou a perda de caudal de nascentes termais, iii) a preservação de gravuras paleolíticas em contextos de eventual submersão e de exposição sub-aérea e iv) a preservação de uma construção em xisto de idade romana em condições de submersão longa e permanente.

### ABSTRACT: Stories with water and rocks: soft and hard not for ever

The paper presents 4 case studies aiming at illustrating the role of Engineering Geology as a tool for solving different kinds of real problems: i) the reestablishing of discharge levels in a water supply scheme, ii) the resolution of an incident in a sewage network with implications in thermal water springs, iii) the preservation of rock art in eventual submersion conditions and in sub aerial exposure and iv) the preservation of a schist built construction of Roman age for supporting long term and permanent submersion.

<sup>1</sup> Geólogo, Investigador Coordenador do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av Brasil, 1700-066 Lisboa; delgado@lnec.pt.

## 1. INTRODUÇÃO

Lembro-me das escassas aulas que tivemos sobre Geologia Aplicada (nessa época ainda não se falava de Geologia de Engenharia), e do Professor Coteló Neiva nos ser mostrado um ou outro exemplo de locais de barragens e das omnipresentes escarpas de Santarém. Desde então, muitas coisas mudaram nesta disciplina, e os exemplos de casos de estudo que os modernos pedagogos têm à sua disposição para as suas aulas serão, certamente, ricos e numerosos, em contraste com o que então se passava.

Quando pensava na escolha de um tema que servisse para este artigo, veio, naturalmente, a hipótese de escrever sobre alguma da investigação recente que se vai realizando, mas logo considerei que sendo essa a forma que se usa no nosso dia a dia, ela não corresponderia ao meu objectivo, que era o de escrever sobre algo que me aproximasse do homenageado e que, na medida do possível, introduzisse algum grau de identificação mútua. Pensei, então, em seleccionar alguns casos da minha experiência mais ou menos recente, que permanecem inéditos, e que, se algum mérito tiverem, espero que o seu carácter pedagógico tenha aí um peso significativo. Quero pensar que os nossos colegas mais jovens os possam vir a usar nas suas aulas futuras. Se assim for, considero que está cumprida uma parte desta homenagem.

O tema do artigo tem como pano de fundo as pedras e a água. As pedras, como não poderia deixar de ser num artigo escrito por um geólogo. A água, pois é ela que, em última análise, justifica grande parte da nossa acção como geólogos de engenharia. Dentre as possibilidades que se me deparavam, escolhi quatro exemplos de índoles diversas. Dois são ligados à hidrogeologia e outros dois situam-se no âmbito da preservação do património cultural. Os casos das termas do Luso e das Furnas ilustram soluções de grande simplicidade, mas que raramente se tem a oportunidade de pôr em prática. Valem pelo método de análise que foi seguido, onde a solução resulta da correcta interpretação das causas e da identificação precisa dos objectivos a atingir. O caso da preservação das gravuras de Foz Côa ilustra como pode ser difícil manter o rigor científico em clima de grande mediatização e dá conta de um processo de investigação bastante peculiar, onde simultaneamente era necessário responder a reptos lançados com escasso fundamento científico, ao mesmo tempo que era imperioso conhecer a situação do estado de conservação das gravuras e encontrar formas de promover a sua preservação, viessem elas a ser submersas ou a serem deixadas expostas. O caso do Castelo da Lousa ilustra os estudos e os trabalhos realizados para proteger este património durante a submersão. Como aspecto lateral, e em plano secundário, pode servir para ilustrar algumas contradições do meio técnico e científico, e como alerta para os perigos de uma excessiva corporativização das nossas profissões, sejam elas quais forem.

## 2. MELHORIA DAS CAPTAÇÕES DA FONTE DE S. JOÃO, NO LUSO

A Fonte de S. João, na vila do Luso (Mealhada), é um dos ex-libris da região centro do País. As suas bicas são sinónimo de abundância e a qualidade da sua água é reconhecida nacional e internacionalmente. A água captada na Fonte é usada na rede de abastecimento público e o excesso sai pelas bicas que debitam para o exterior, integrando-se no escoamento superficial. A motivação para o pedido que foi formulado ao LNEC centrava-se na existência de alguns problemas estruturais nas obras da captação e na apreciável perda de caudais da Fonte e era acompanhada pela preocupação de dotar a captação de melhores condições arquitectónicas e de melhor aproveitamento dos caudais da nascente. O estudo então efectuado [1] implicou a realização de uma campanha de sondagens mecânicas para identificação das condições geológicas e geotécnicas imediatamente a jusante da Fonte. Estes trabalhos tinham em vista obter informação sobre as condições de fundação das novas obras de captação e definir as soluções de impermeabilização que impedissem o escoamento pelos terrenos de fundação, que se suspeitava constituir uma parte significativa das perdas de água da nascente.

A interpretação das sondagens [2] mostrou que a linha de água onde se situa a captação tem um nível detrítico muito grosseiro na sua base, à qual se seguem aluviões mais ou menos arenosas. Na figura 1 apresenta-se um esquema simplificado da situação geológica ali existente. Esta é uma situação relativamente simples, pelo que a perda de água pelo nível de cascalheira parecia ser a razão óbvia para o decréscimo de produtividade que se detectava na nascente. A solução geotécnica típica também não seria difícil de encontrar, mas as condições específicas da água desta Fonte impuseram uma solução menos habitual.

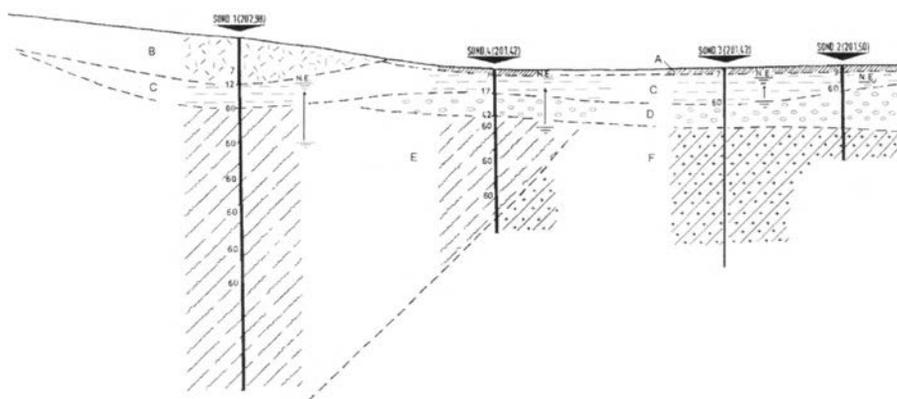


Fig. 1 - Esquema da situação geológica a jusante da Fonte de S. João, no Luso. Legenda: A = betão; B = aterro; C = argila; D = areia com seixo grosso; xisto argiloso; F = quartzito. (A distância aproximada entre S1 e S4 é de 26m).

A observação das obras de captação que na altura existiam permitiu verificar que alguns dos pilares de betão se encontravam totalmente destruídos, estando algumas estruturas suportadas unicamente pelo aço das armaduras que tinham resistido à completa destruição do betão. A justificação do facto também não levanta dificuldades, nomeadamente se atendermos à baixíssima mineralização das águas desta nascente (em torno de 40 mg/l de mineralização total) e ao seu baixo pH (entre 5 e 5,5), mas foi a observação do pormenor dos pilares de betão que acabou por orientar de forma decisiva a solução definitiva a adoptar.

Assim, considerou-se que não seria prudente resolver o problema com uma simples estrutura de betão enterrada para actuar como barragem de forma a impedir a fuga de água pela fundação, pois a acção lixiviante da água poderia afectar a eficácia da cortina a mais ou menos curto prazo. Foi equacionada a realização de uma cortina de argila compactada, mas os previsíveis elevados caudais que ali ocorreriam tornavam esta solução de difícil concretização. Assim, foi decidido propor a construção de uma dupla cortina, sendo uma de betão e uma segunda de argila, imediatamente contígua à anterior. A cortina de betão, a construir em primeiro lugar, permitiria realizar a imprescindível cortina de argila de forma segura, com o devido controlo da compactação. A função da cortina de argila tornava-se essencial, pois sendo este material resistente ao tipo de água em jogo, ela seria o garante de que os caudais que poderiam vir a atravessar o betão seriam sempre diminutos, pois a cortina de argila imporá sempre que ocorressem, no betão, gradientes de percolação muito baixos.

A solução que posteriormente foi proposta pelo projectista era constituída por uma cortina de argila, construída por sucessivas estacas de argila secantes entre si, pois este processo construtivo era compatível com as condições de percolação que se verificavam no local, pelo que a sua construção era realizável. Com alguns contributos da equipa do LNEC [3], esta foi a solução que viria a ser concretizada. Os caudais disponíveis foram significativamente incrementados, pelo que se pode concluir que as interpretações realizadas e as obras construídas foram apropriadas.

### 3. ACIDENTE NAS TERMAS DAS FURNAS, ILHA DE S. MIGUEL

Durante a instalação da rede de saneamento básico nas imediações das Termas das Furnas, na Ilha de S. Miguel, Açores, ocorreu um pequeno desmoronamento na vala e o aparecimento de caudais apreciáveis de água quente que provocou dificuldades inesperadas à realização das obras, ao mesmo tempo que provocava uma redução drástica nos caudais de nascentes de águas quentes que se situavam na sua imediata vizinhança (fig. 2). Esta interferência nas nascentes foi recebida com grande preocupação, nomeadamente por receio de que pudessem ter carácter

irreversível. As medidas tomadas de imediato não surtiram efeitos desejados, pelo que o LNEC foi chamado a dar parecer sobre o acidente e a propor soluções para resolução do problema.

O projecto das obras de saneamento básico previa a instalação das tubagens a cerca de 2m de profundidade ao longo do eixo da rua que dá acesso às referidas termas. Já nas proximidades das instalações das termas, ocorrem diversas nascentes termais, algumas delas na berma da referida estrada. Durante a abertura da vala, na zona onde ocorrem as nascentes, verificou-se a ocorrência de água quente e o subsequente desmoronamento de alguns troços da vala. Imediatamente foi construído um pequeno murete de betão para sustentar as paredes, que teve como efeito uma ligeira recuperação dos caudais das nascentes. Na altura da visita [4], o signatário encontrou a vala com um apreciável caudal de água quente a escoar-se pelo seu fundo, o que não só dificultava a realização das obras como era sinal de que as nascentes perdiam uma parte muito significativa dos caudais que a elas deveriam afluir.

A ocorrência de nascentes quentes significa que os fluxos seguem percursos relativamente profundos sendo a sua localização à superfície função de singularidades locais, que o carácter lenticular dos níveis vulcano-sedimentares facilmente justifica. A execução da vala para instalação da rede de saneamento intersectou um nível menos permeável que impedia o escoamento na direcção de jusante onde existem cotas do terreno mais baixas e que obrigava o fluxo a subir até à superfície do terreno na outra berma da estrada. A imediata perda de fluxo das nascentes e ligeira recuperação quando se construiu o primeiro murete demonstravam a fácil ligação entre a vala e a nascente, ao mesmo tempo que sugeria que a solução geotécnica que permitiria resolver as duas questões em presença, a construção da vala e a recuperação do caudal das nascentes, deveria procurar obstar a essa ligação hidráulica que se estabeleceu entre esses dois pontos.

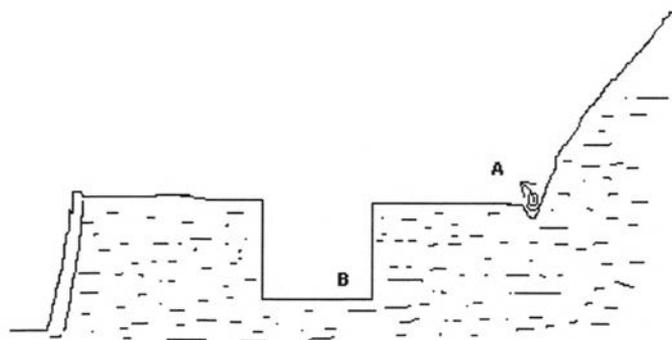


Fig. 2 – Estrada das Termas das Furnas. Esquema simplificado da situação geotécnica. A = nascentes de água quente; B = vala em construção para instalação da rede de saneamento. (Sem escala)

Tendo este modelo interpretativo como base, foi proposto que a vala fosse revestida completamente com paredes de betão em forma de U, dentro do qual seriam instaladas, de forma independente, as tubagens de saneamento básico. Este revestimento deveria ser betonado contra o terreno de forma a impedir que se desenvolvesse qualquer rede de fluxo privilegiada entre o revestimento e o terreno. Sendo completamente impermeável, era de prever que o aquífero voltasse a ganhar carga hidráulica, de forma a recuperar as nascentes. A instalação independente de condutas punha a salvo de riscos de contaminação das nascentes provocadas por eventuais roturas da rede de saneamento.

A construção do revestimento revestia-se de alguma dificuldade, nomeadamente devido às elevadas temperaturas e à presença de fluxos verticais ascendentes que dificultavam a aplicação do betão, pelo que foi recomendado que ele fosse realizado por troços e com cuidados adicionais, a fim de garantir a qualidade da solução. Foram ainda sugeridas medidas complementares que permitissem a inspecção futura das obras e a detecção de eventuais roturas na zona de atravessamento das nascentes.

A solução preconizada foi construída e os caudais foram totalmente recuperados, tendo os dois problemas sido resolvidos satisfatoriamente.

#### **4. CONSERVAÇÃO DAS GRAVURAS DE FOZ CÔA**

##### **A) CONSIDERAÇÕES GERAIS**

A discussão e a polémica que estiveram associadas ao caso das gravuras de Foz Côa, desde a sua descoberta até à decisão de abandonar a construção da barragem, podem ser consideradas exemplares sob muitos pontos de vista. As notícias nos meios de comunicação nacionais e internacionais, os artigos de opinião publicados, as tomadas de posição de grupos de cidadãos, as petições nacionais e internacionais, as discussões e os artigos científicos escalpelizaram o assunto dos mais diversos pontos de vista e os seus argumentos e a veemência posta na discussão foram suficientes para fazer abortar a construção de uma das barragens mais importantes da rede eléctrica nacional.

A conservação das gravuras acabou por estar fortemente envolvida nas discussões (nem sempre com razão, como adiante procurarei explicar), pelo que as questões técnicas, que são as únicas que nos compete tratar enquanto técnicos de um laboratório do Estado, acabaram por extravasar esse limite e entrar em discussões com contornos já mais políticos do que técnicos. O signatário foi chamado, enquanto especialista, a opinar sobre diversas matérias relacionadas com a conservação das gravuras, pelo que pôde testemunhar alguns dos episódios marcantes da discussão em torno da continuação ou do abandono da construção da

barragem. Em face da responsabilidade que lhe cabia enquanto técnico, o signatário sempre fez questão de não se deixar envolver na polémica de fundo que estava em discussão, pois só assim poderia aspirar a ter algum papel na questão verdadeiramente relevante — a preservação das gravuras — quer elas fossem imersas, quer viessem a ficar como sempre estiveram.

A polémica centrada nas gravuras de Foz Côa teve (e tem) diversas vertentes e não é possível reduzi-la a uma equação simples e de resposta única. Há, necessariamente, uma componente científica que todos reconhecem, a par de outras vertentes relevantes, de natureza social, económica e política, eventualmente menos evidentes, mas nem por isso menos importantes. Todas elas são de difícil quantificação e têm diferentes “medidas-padrão” para aferição das suas grandezas, pelo que não seria difícil prever que, dadas as valias absolutamente excepcionais de algumas dessas vertentes, o consenso seria virtualmente impossível e a solução só poderia ser política.

O presente texto aborda exclusivamente questões de índole técnica e científica que se prendem com os efeitos de uma eventual submersão e com a situação que se verifica na sua ausência. Nem o presente texto, nem as anteriores posições do signatário permitem, só por si, justificar as opções de submersão das gravuras ou do abandono da construção da barragem. Não se trata de fugir à polémica, escudando-se em posições tecnocráticas. Tratando-se, como ficou dito, de cotejar uma valia científica excepcional, com uma valia económica e estratégica reconhecidamente muito relevante, postas em posições antagónicas, apenas os argumentos políticos poderiam ser decisivos e esses estão fora da óptica do presente artigo.

Os elementos de natureza técnica que adiante serão utilizados foram obtidos durante a realização de estudos do LNEC para o IPPAR ou para a HIDRORUMO. A colaboração com estas duas entidades foi requisitada de forma independente, mas foi desenvolvida sempre com conhecimento mútuo. Os resultados e pareceres foram publicados em relatórios do LNEC [5, 6, 7, 8].

#### **B) AS PRIMEIRAS QUESTÕES LIGADAS À SUBMERSÃO**

Logo nas primeiras tomadas de posição no debate sobre a possível influência da albufeira sobre as gravuras apareceram, de forma recorrente, afirmações que associavam a submersão à destruição das gravuras. Essas afirmações nunca foram acompanhadas de demonstrações ou comprovações e, nalguns casos, mesmo, os argumentos aduzidos situavam-se no campo da mais completa inverosimilhança. Tal era o caso, por exemplo, de invocar o risco de abrasão que a deposição de sedimentos acarretaria, quando é sabido que a circulação das águas numa albufeira é sempre extremamente lenta e que os sedimentos se depositam sem qualquer efeito abrasivo sobre as margens.

A invocação da possível agressividade química da água é uma questão mais séria e, por isso, merece maior desenvolvimento. Os valores relativamente baixos do pH das águas das chuvas e das águas que circulam nos maciços eram os argumentos mais invocados para justificar os riscos da submersão. A procura das respostas a esta questão passou pela realização de alguns ensaios de simulação das condições de submersão, mas a análise teórica dos mecanismos em presença permite, também, encontrar alguns contributos para esta apreciação.

### C) AS ROCHAS DO VALE DO CÔA E OS SEUS MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO

A descrição geral da geologia da região encontra-se na folha 15-A da Carta Geológica de Portugal [9], enquanto que os aspectos relevantes para o empreendimento estão descritos em NEIVA, 1993 [10]. A região insere-se na Zona Centro Ibérica da Cadeia Hercínica. Rochas metassedimentares do Grupo do Douro pertencentes ao Complexo Xisto-Grauváquico encontram-se aqui amplamente representadas. São sedimentos turbidíticos deformados durante a deposição e, posteriormente, em sucessivas fases da orogenia alpina. Xistos, filádios e metagrauvaques constituem os tipos litológicos que predominam na zona de influência da albufeira e são dessa natureza os afloramentos rochosos que constituem as rochas-suporte das gravuras.

Pela sua composição mineralógica, estas rochas podem ser consideradas bastante resistentes à alteração química. A prevalência de arestas vivas, os solos esqueléticos que se desenvolvem nestes maciços e a quase total ausência de materiais alterados são prova dessa elevada resistência. A observação de pormenor, com auxílio de microscópio, permite verificar que as zonas mais expostas exibem alguns vacúolos típicos devidos ao desaparecimento de alguns minerais. Alguma coloração acastanhada, por deposição de óxidos e hidróxidos de ferro, e um ligeiro incremento de porosidade nas zonas mais próximas da superfície são as manifestações mais evidentes da alteração de natureza química. Por sua vez, é visível uma profusa rede de fissuras e microfissuras, a níveis macro e microscópio, que evoluem para fracturas com desenvolvimento da dimensão dos afloramentos. A marcada anisotropia das rochas-suporte das gravuras influi fortemente no desenvolvimento e na orientação da rede fissural, pelo que as formas de degradação que prevalecem são os fragmentos de dimensões diversas, mas sempre de arestas vivas, sinal da predominância dos mecanismos de natureza física sobre os de natureza química.

Na altura da descoberta das gravuras (antes da extensiva limpeza que lhes foi feita) as rochas-suporte estavam fortemente colonizadas com microflora variada, onde se evidenciavam as diversas espécies líquénicas que existem nos afloramentos da região. Para além do impacte visual que provoca, a colonização deixa evidentes sinais do seu ataque às superfícies, nomeadamente pela formação de

alvéolos, mais ou menos profundos. Alguns dos sulcos das gravuras estão significativamente afectados pelo crescimento de tais alvéolos. A existência, lado a lado numa mesma rocha-suporte, de sulcos bem vincados e de outros fortemente afectados pela progressão dos alvéolos não pode deixar de ter significado histórico, quer esse facto signifique diferentes épocas de incisão, quer seja devido a reincisão posterior.

#### D) DEGRADAÇÃO DAS ROCHAS-SUPORTE EM CONDIÇÕES SUB-AÉREAS

No decurso da polémica, algumas afirmações produzidas consideravam, de forma mais ou menos explícita, que as rochas-suporte têm passado incólumes a sua exposição sub-aérea e que esse ambiente apresentaria, por isso, as condições ideais para a sua preservação. Uma observação cuidada das rochas-suporte mostra que tal pressuposto não é verdadeiro ou, pelo menos, não o é na sua totalidade. De facto, são numerosas as gravuras mutiladas pelo desaparecimento de partes significativas da superfície dos blocos e outras encontram-se em condições de estabilidade muito precária. A colonização biológica, especialmente a de tipo liquénico, transformou profundamente a morfologia de algumas incisões e nem mesmo o vandalismo mais ou menos recente as poupou, ainda que culturalmente fossem umas ilustres “desconhecidas”. As instabilizações de taludes são fenómenos que ocorrem de forma bastante generalizada, os afloramentos rochosos estão bastante desconjuntados, as suas diaclases estão abertas e alguns blocos sofreram deslocamentos significativos e é verosímil que algumas rochas-suporte tenham pura e simplesmente desaparecido na sua totalidade.

A observação dos afloramentos gravados permite, pois, afirmar que as condições de exposição sub-aérea trazem, também elas, alguns riscos para a preservação das gravuras, como seria, aliás, previsível para quem tenha destes fenómenos algum entendimento cientificamente fundamentado. A fissuração extensiva traduz a sensibilidade destes materiais às variações do teor em água e às variações térmicas, que se considera serem os mecanismos de alteração com incidência mais evidente nas transformações que se observam nas superfícies gravadas. Seguindo-se à fissuração, dá-se o desprendimento de fragmentos de maior ou menor dimensão, em especial ao longo do contorno dos afloramentos. No presente, podem encontrar-se situações de todos os tipos, entre afloramentos com a superfície relativamente estabilizada, até outros em situação extremamente precária, com sérios riscos de perda iminente. Dadas as naturais variações de composição litológica, de exposição aos agentes de degradação e até as suas dimensões, não se estranha que os muitos afloramentos gravados representem todas as situações expectáveis em termos de grau de degradação.

## E) ALTERAÇÃO EXPERIMENTAL DE ROCHAS DO VALE DO CÔA

A alteração que se verifica nos afloramentos gravados desenvolveu-se ao longo de algumas dezenas de milhares de anos, pelo que ela se deve ter processado sob condições de ambiente que terão variado ao longo do tempo. A reprodução por via experimental nunca é verdadeiramente representativa do que ocorre na realidade, pelo que as interpretações que se façam a partir de resultados de laboratório devem sempre ser feitas de forma cautelosa, dentro das limitações que tais condições de ensaio implicam. Tendo em conta essas limitações, foram realizadas duas sequências de ensaios, sendo uma destinada a verificar a taxa de solubilização das rochas xistosas e outra a testar a sua sensibilidade às variações do teor em água. Os ensaios de solubilização foram realizados com pequenos provetes de rocha imersos em água bi-distilada, em três ciclos sucessivos de 14, 28 e 31 dias. Regularmente eram medidos o pH e a condutividade eléctrica da água. Simultaneamente foram ensaiados provetes de granito e de mármore para servirem de termos de comparação, já que se sabia ser difícil efectuar a interpretação dos resultados apenas em termos absolutos. Dentre os resultados obtidos, salientam-se os seguintes<sup>8</sup>:

- os valores do pH e da condutividade eléctrica das soluções aumentam rapidamente no caso do mármore, sendo a evolução muito mais lenta no caso dos granitos e dos xistos,
- a taxa de mobilização dos iões nas rochas siliciosas é muitíssimo inferior à que se verifica nas rochas carbonatadas, ainda que muito pouco porosas, como é o caso dos provetes de mármore ensaiados,
- a taxa de mobilização dos elementos químicos, quer nos xistos, quer nos granitos, diminui à medida que o tempo de imersão avança, denotando tendência para a estabilização a valores bastante baixos de condutividade eléctrica. No mármore a taxa de mobilização mantém-se bastante elevada e relativamente constante ao longo dos 3 ciclos realizados,
- nas rochas menos alteradas (granito “gD” e xisto “xis3”), as taxas de mobilização inicial são mais elevadas, mas reduzem-se a ritmo mais forte.

Na figura 3 sintetizam-se os resultados da evolução de condutividade eléctrica. De notar, a maior condutividade eléctrica da solução em contacto com o mármore, bem como a regularidade ao longo do ensaio, sugerindo que a capacidade dissolvente se mantém inalterável ao longo dos 3 ciclos. As soluções em contacto com o granito ou com os xistos denotam a maior resistência destas rochas à extracção iónica e mostram que após uma maior taxa de mobilização das superfícies recém-cortadas, se seguem acentuadas reduções no segundo e no terceiro ciclos, com tendência para a estabilização a níveis bastante baixos de condutividade.

Em termos conclusivos, os resultados mostraram que a extracção de espécies químicas por água de elevada agressividade (bi-distilada, pH=5,3 e condutivi-

dade eléctrica de  $2,0\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) é muitíssimo baixa. Em termos relativos, eles são da ordem de grandeza dos verificados nos granitos e muitíssimo inferiores aos obtidos nos mármore. A solubilização decresce rapidamente com os sucessivos ciclos de imersão, como consequência da progressiva redução do papel das superfícies de corte recente, naturalmente mais vulneráveis ao ataque da água. Este comportamento sugere que as superfícies antigas, já estabilizadas do ponto de vista da sua susceptibilidade à solubilização, deverão apresentar taxas de mobilização ainda inferiores às registadas nos ensaios realizados. A reconhecida baixíssima mineralização das águas subterrâneas que circulam em maciços de natureza xistosa está em perfeito acordo com os resultados experimentais obtidos.

Do ponto de vista dos riscos que a submersão poderia trazer para as gravuras, foi concluído que a solubilização não seria uma ameaça significativa, nomeadamente porque a água que estaria em contacto com as gravuras teria muito menor agressividade química, quer pelo seu pH mais elevado, quer pela maior concentração iónica<sup>11</sup>, quando comparada com a água bi-destilada usada nos ensaios. Em termos de mera análise, importa ainda referir que as gravuras sempre estiveram em contacto com a água das chuvas, ela própria muito mais pura e mais agressiva do que água que corre no rio Côa e que o facto de terem resistido todo o tempo que levam desde a sua incisão é a prova mais cabal da sua elevadíssima resistência à solubilização. Uma eventual (e não provada, como vimos) sensibilidade à solubilização pela água da albufeira deixaria sérias dúvidas sobre a sua própria resistência à água das chuvas e, consequentemente, quanto à possibilidade de terem a idade que lhes é atribuída pelos arqueólogos.

Os ensaios de envelhecimento artificial, em câmara climática com ciclos de alternância de humidade relativa baixa e elevada a dois patamares de temperatura, bem como com ciclos de molhagem e secagem em câmara de nevoeiro, não foram suficientes para degradar os provetes de forma detectável pelos meios experimentais utilizados, nomeadamente a velocidade de propagação de ultrassons. Se exceptuarmos os níveis mais alteráveis e friáveis que existem nalguns dos blocos-suporte das gravuras, e que não foram amostrados para este estudo, pode-se concluir que, para além da sua fraca sensibilidade ao ataque químico, também a sua resistência às variações do teor em água parece ser significativa.

Apesar de apresentarem evidentes sinais de alteração física, as rochas-suporte das gravuras têm resistido de forma notável aos agentes de degradação, pelo que se compreendem os resultados obtidos neste estudo. A manutenção do bom estado de conservação de muitas das incisões durante o período de cerca de duas dezenas de milhares de anos, que é considerado como idade das gravuras, só terá sido possível pela elevada resistência das rochas-suporte e este facto é, simultaneamente, um forte argumento para contraditar a tese de que uma eventual submersão iria originar a destruição das gravuras.

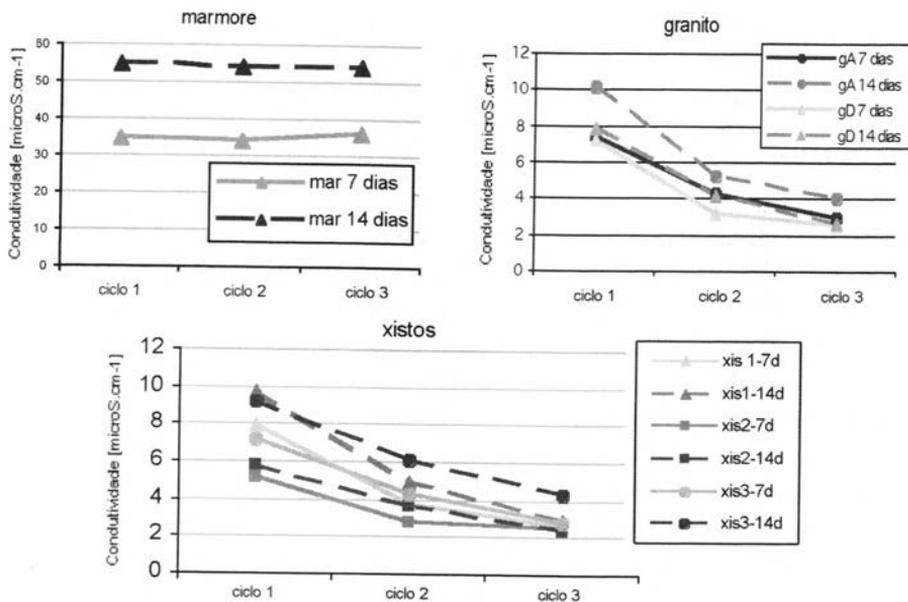


Fig. 3 – Evolução da condutividade eléctrica da água de contacto com provetes de mármore, granito e xisto, ao fim de 7 e 14 dias.

Considerando-se, assim, demonstrado que o ataque químico das águas da possível albufeira não era um risco sério para as gravuras, importa referir que a submersão comportava alguns riscos. De facto, existem níveis relativamente friáveis e áreas com blocos em situações de estabilidade muito precária que não resistiriam à agitação provocada pela água da albufeira e, por isso, correriam o risco de desmoronamento. Deste modo, caso a construção prosseguisse, teria sido imprescindível realizar obras de conservação que preparassem os blocos para uma futura submersão, nomeadamente para precaver contra as instabilizações que a remoção de pequenos níveis de solo intercalados entre os blocos mais desconjuntados corria o risco de provocar.

#### F) A CONSERVAÇÃO EM CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO SUB-AÉREA

No seguimento da decisão de abandonar a construção da barragem, as autoridades promoveram a realização de novos estudos tendo em vista a conservação e gestão do Parque Arqueológico do Vale do Côa, entretanto criado. O LNEC e o autor foram solicitados a continuar a dar a sua colaboração, cujos resultados têm ficado expressos em documentos próprios [12, 13], de onde foram extraídas as considerações que aqui se apresentam.

O maciço que contém as rochas-suporte está intensamente diaclasado e a queda de blocos é um processo de evolução bastante frequente. Com alguma frequência, os afloramentos estão fortemente desconjuntados, muitas vezes já com evidentes indícios de terem sofrido movimentações. Algumas gravuras estão mutiladas pelo desprendimento de blocos e, outras, estão em fase de perda iminente. A estabilização dos blocos-suporte é a operação mais urgente, pois as perdas que a sua instabilização acarreta serão sempre de grande monta e podem ocorrer de forma súbita, a qualquer instante. A sua estabilização será uma operação delicada, pois ela incluirá acções de índole geotécnica, dirigidas a massas de rocha relativamente grandes, mas que devem ser realizadas com métodos e cuidados mais próprios da conservação arquitectónica do que das típicas intervenções em obras geotécnicas.

Por sua vez, as superfícies gravadas exibem intensa fissuração, mas a elevada resistência ao ataque químico tem permitido que a perda de material seja moderada. Em termos gerais, não parece necessário proceder a grandes operações de consolidação por impregnação generalizada das superfícies, mas a colmatação das fendas mais abertas e a contenção dos bordos das superfícies gravadas são acções que permitirão dar alguma margem de segurança adicional para as gravuras.

Algumas gravuras manifestam evidentes sinais de ataque dos líquenes que existiam nas superfícies. A limpeza com meios mecânicos que foi efectuada após a descoberta das gravuras eliminou a colonização mais visível, mas o método não é apropriado para eliminar as espécies microscópicas nem a componente endolítica das espécies liquénicas mais desenvolvidas. A aplicação de produto biocida apropriado poderá ser a alternativa mais apropriada para atacar este problema.

A abordagem à conservação das rochas-suporte deve definir prioridades, pois enquanto algumas se encontram em razoável estado de conservação, outras exibem sinais de instabilidade iminente, pelo que devem ser intervencionadas com alguma urgência. Quer as intervencionadas, quer as que se considerem poder ser deixadas para segunda prioridade devem ser objecto de apropriado esquema de monitorização, a fim de avaliar o desempenho e a adequação das soluções de conservação adoptadas ou a alertar para a necessidade de efectuar novas intervenções, caso os sinais de instabilidade assim o recomendem.

A conservação do sítio não se esgota nas acções a realizar directamente nas rochas-suporte. A delineação dos caminhos de visita, o enquadramento paisagístico, a protecção da vegetação nativa e a introdução de barreiras – físicas e psicológicas – para impedir o contacto directo dos visitantes com as rochas gravadas são outros aspectos adicionais recomendáveis para a preservação deste valioso património arqueológico.

## 5. CONSERVAÇÃO DO CASTELO DA LOUSA

### A) INTRODUÇÃO

O chamado Castelo da Lousa, classificado como monumento nacional, é uma casa fortificada do período da ocupação romana, situada na margem esquerda do rio Guadiana, a escassos quilómetros da aldeia da Luz. A construção da barragem do Alqueva vai originar a sua permanente submersão, pelo que a EDIA solicitou ao LNEC um parecer sobre as medidas a adoptar para proteger a construção dos riscos da submersão. O presente capítulo tem como base o relatório oportunamente elaborado para aquela entidade [14].

Pelo menos do ponto de vista geológico, existe algum paralelismo entre os casos de Foz Côa e do Castelo da Lousa. Ambos afectam rochas metamórficas de natureza xistosa, ainda que no último caso se trate de rochas de mais baixo grau de metamorfismo e, portanto, mais brandas. A eventualidade de submersão que se discutia em Foz Côa foi uma certeza no Castelo da Lousa, pelo que aqui houve a necessidade de por em prática algumas das acções que poderiam ter sido necessárias em Foz Côa, caso a construção da barragem tivesse sido continuada.

O significado cultural do Castelo da Lousa não está ao nível das gravuras de Foz Côa, pelo que a construção da barragem nunca foi questionada com base na salvaguarda deste, nem de outros vestígios arqueológicos. De forma espontânea e sem fundamento técnico, chegaram a ouvir-se opiniões a favor da remoção do Castelo e da sua reconstrução noutra local, mas a simples observação das estruturas deste monumento e dos materiais que as compõem é suficiente para negar viabilidade a tal hipótese de solução. Por ser o principal polo arqueológico conhecido, na zona inundada, até poucos anos antes da conclusão da obra, o Castelo da Lousa mereceu a atenção da comunidade científica e dos “media” que lutaram pela sua preservação. O grande surto de novas pesquisas arqueológicas promovidas pela EDIA como parte da política de identificação, estudo e divulgação do património que seria inundado pela albufeira levou à descoberta de numerosos outros indícios e, incompreensivelmente, à subalternização da importância do Castelo da Lousa por parte da própria comunidade científica. Já em fase de discussão pública das soluções de projecto definidas para salvaguarda do Castelo, foi argumentado que seria preferível desviar as avultadas verbas que a preservação envolveria e usá-las em novas pesquisas arqueológicas, uma vez que pareciam existir zonas com potencial interesse ainda não devidamente investigadas.

Esta alternativa de uso de verbas entre a preservação de um monumento em risco, de valor reconhecido pela comunidade arqueológica, e uma nova pesquisa arqueológica, ainda que daí pudesse resultar uma interessante publicação científica, mereceu o repúdio público do signatário<sup>15</sup> que não pode deixar de questionar o posicionamento e coerência da comunidade arqueológica em face da preservação

de vestígios arqueológicos, tão diferentes foram os posicionamentos em Foz Côa e no Castelo da Lousa.

## **B) OS PROBLEMAS DO MONUMENTO E AS SOLUÇÕES DE SALVAGUARDA**

As estruturas do Castelo da Lousa são constituídas por paredes de pedra seca, com as faces exteriores compostas de grandes blocos de pedra aparelhada e bem arrumada e um interior de blocos mais irregulares e com arrumação mais caótica. A pedra utilizada é um xisto de baixo grau de metamorfismo, com xistosidade evidente e grande fissilidade, que ocorre em extensos afloramentos, praticamente sem cobertura de solo, em toda a área envolvente do monumento. O aspecto que o monumento apresenta resulta, em boa parte, de escavações arqueológicas extensivas, realizadas há cerca de três décadas, que puseram a descoberto vastas áreas que se encontravam soterradas, muito provavelmente por escombros resultantes de desmoronamentos do próprio monumento. Nessa altura, foram realizadas algumas reconstruções em diversas áreas que, hoje, moldam parte significativa da imagem que se tem do monumento.

A exposição aos agentes atmosféricos induziu danos muito significativos. Há sinais alarmantes de progressiva instabilização das paredes mais altas e há desmoronamentos documentados pelas cicatrizes que vão deixando, pelo que a situação antes da submersão era já de grande precariedade a necessitar de medidas correctivas de extensão e profundidade consideráveis. A sensibilidade da pedra aos agentes atmosféricos, nomeadamente às variações térmicas e higrométricas, traduziu-se pela desagregação superficial dos blocos, especialmente dos de menores dimensões, e as perdas por erosão são já muito significativas, com tendência para aumentar o ritmo de perda.

Ensaio de alteração experimental, em ciclos de molhagem e secagem, realizados com esta rocha conduziram a fenómenos de desagregação em pequenas esquirolas e ao aparecimento de blocos clivados em grandes fragmentos, situações que ocorrem em abundância por todo o monumento. Os estudos comentados no capítulo anterior a propósito da conservação das gravuras de Foz Côa podem também ser utilizados aqui para apoiar a análise dos mecanismos de degradação, dada a grande semelhança entre os tipos de rocha ocorrentes nestes dois locais.

Para apreciar as condições de segurança da estrutura e propor medidas para a sua preservação é necessário ter em conta que o monumento irá estar permanentemente submerso durante a vida da barragem, mas que será reexposto por períodos mais ou menos longos por exigências normais ou excepcionais de exploração da albufeira (limpeza, manutenção, etc.). Deste modo, o monumento terá de suportar as acções que decorrem do enchimento e do esvaziamento da albufeira (por exemplo, em termos da erosão que é provocada pela agitação do plano de

água), situações que ocorrerão algumas vezes durante a vida útil da barragem, bem como os efeitos devidos à secagem que se verificará após longos períodos de submersão. Na definição das medidas a tomar, para além destes pressupostos, procurou-se encontrar soluções removíveis que pudessem ser eliminadas ou substituídas quando, uma vez terminada a exploração da albufeira, for decidido repor o monumento em situação semelhante à actual.

A observação da parede norte mostra uma extensiva “barriga” que está em estreita ligação com acentuadas deformações nas paredes interiores contíguas e com a ocorrência de fendas no próprio aterro que com ela confina pelo lado interior. Trata-se de uma situação de grande precariedade, a requerer medidas urgentes, que ilustra a necessidade de adoptar soluções de protecção que contemplem a vertente da segurança estrutural das paredes e não apenas a alteração da pedra que as constitui. Por sua vez, a parede leste já sofreu importante desmoronamento e tem o interior exposto, pelo que também seria necessário precaver contra a erosão dos níveis de solos finos, fortemente argilosos, que não resistiriam à mais leve agitação da água que com eles contactasse.

Deste modo, a solução-tipo que foi preconizada tinha como objectivos principais: i) – proteger as paredes que se encontram em condições de estabilidade precária, ii) – proteger as áreas colapsadas, cujas superfícies estão muito vulneráveis, iii) – evitar o arrastamento de finos do interior das paredes.

Como solução-tipo, foi então sugerida a construção de uma máscara de enrocamento de blocos de xisto, devidamente fundada no maciço rochoso e convenientemente adossada ao monumento através de camadas de transição de materiais granulares finos e de filtro de geotêxtil.

Em função dos mecanismos de alteração que foram considerados mais relevantes, nomeadamente os ciclos alternantes de embebição e secagem, o monumento submerso ficará mais protegido contra as suas acções nefastas, uma vez que o número de ocorrências será muitíssimo reduzido e, por motivo de estar coberto com a máscara de enrocamento, também a sua intensidade será atenuada. A dissolução dos xistos não é um mecanismo de degradação com relevância significativa, pelo que também este aspecto não representa riscos significativos. Uma eventual perda de resistência do xisto devida à imersão prolongada também não parece ser motivo de preocupação, por um lado porque as tensões instaladas são baixas e, por outro, porque o próprio reforço de enrocamento que será construído irá minimizar os efeitos que daí pudessem resultar.

O projecto da obra de contenção foi elaborado pela COBA que, por razões económicas, propôs a substituição da máscara de enrocamento por uma outra de betão pobre embalado em sacos de geotêxtil, com lógica e funções idênticas às previstas na solução-tipo recomendada. A solução proposta foi realizada e o monumento encontra-se presentemente preparado para a completa submersão.

## AGRADECIMENTOS

Os casos aqui apresentados resultaram de trabalhos realizados por contrato para as seguintes autoridades, que autorizaram a inclusão de resultados dos estudos que contrataram com o LNEC: Secretaria Regional da Habitação e Equipamentos, da Região Autónoma dos Açores, Câmara Municipal da Mealhada, Parque Arqueológico do Vale do Côa, HIDRORUMO e EDIA. O autor teve a colaboração do Eng.º Maranha das Neves na definição das soluções para a Fonte de S. João e da Dr.ª Dória Costa, nos estudos realizados para o Vale do Côa.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 DELGADO RODRIGUES, J. e MARANHA DAS NEVES, E. – *Parecer sobre as condições de estanqueidade da Fonte de S. João, no Luso, e proposta para a resolução do problema*. Relatório LNEC 153/87-NP, Lisboa, Junho de 1987.
- 2 SOPECATE, 1987 – *Estanqueidade da Fonte de S. João (Luso)*. Relatório geotécnico. Lisboa, Março de 1987.
- 3 MARANHA DAS NEVES, E. e DELGADO RODRIGUES, J. – *Parecer sobre a cortina de impermeabilização da Fonte de S. João, no Luso*. LNEC, Nota Técnica, Lisboa, Outubro de 1988.
- 4 DELGADO RODRIGUES, J. – *Análise de interferências da rede de saneamento básico nas nascentes das Termas das Furnas, na Ilha de S. Miguel*. Relatório LNEC54/53/753, Maio de 1983.
- 5 DELGADO RODRIGUES, J. – *Parecer sobre o relatório da missão da UNESCO ao Vale do Côa*. LNEC, Nota Técnica 1/95 DG/GERO, Março de 1995.
- 6 DELGADO RODRIGUES, J. e COSTA, D. – *Análise do estado de alteração e parecer sobre os efeitos da submersão das rochas do Vale do Côa*. Relatório LNEC 124/95, Maio de 1995.
- 7 DELGADO RODRIGUES, J. e COSTA, D. – *Parecer sobre os prováveis efeitos da submersão sobre as rochas-suporte das gravuras de Foz Côa*. Relatório LNEC 285/95, Outubro de 1995.
- 8 DELGADO RODRIGUES, J. e COSTA, D. – *Resultados dos ensaios de submersão sobre rochas do Vale do Côa*. Relatório LNEC 286/95, Outubro de 1995.
- 9 SILVA, A. F. e RIBEIRO, M. L. – *Carta Geológica de Portugal na escala 1/50000. Notícia explicativa da folha 15-A (Vila Nova de Foz Côa)*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1991.
- 10 NEIVA, J. M. C. – *Geologia e geotecnia da região da albufeira do aproveitamento hidroeléctrico de Foz Côa*. EDP, S.A., Direcção Operacional de Equipamento Hidráulico, Porto, 1993.
- 11 Registos de albufeiras de diversas barragens portuguesas mostram que os valores de pH, mesmo a elevadas profundidades, são sempre superiores a 6,1 e muitas vezes superiores a 7. Em Crestuma, foi medida condutividade eléctrica de 200mS.cm<sup>-1</sup>
- 12 DELGADO RODRIGUES, J. – *Conservação da arte rupestre do parque Arqueológico do Vale do Côa*. LNEC, Relatório 241/99 -GERO, Outubro de 1999.

- 13 AAVV – *Report of the International Commission on Conservation of the Côa Valley Archeological Park* .September 1997.
- 14 DELGADO RODRIGUES, J. – *Parecer sobre o estado de conservação do Castelo da Lousa e medidas para a sua preservação*. LNEC, Relatório 5/98 - GERO, Janeiro de 1999.
- 15 Discussões havidas num Encontro promovido pela EDIA, em Évora, para divulgação do património arqueológico na área inundada pela albufeira da barragem de Alqueva, em Fevereiro de 2001.