

Paramentos de barragens

Inspeção visual assistida

No Laboratório Nacional de Engenharia Civil está em curso um estudo no âmbito do qual se desenvolveu uma metodologia baseada em varrimentos com radiação laser e cobertura com imagens digitais, que visa produzir e codificar com objectividade, de forma menos onerosa e mais célere, a informação tradicionalmente obtida durante as inspecções visuais. Trata-se da inspeção visual assistida.

ENQUADRAMENTO

A construção de barragens tem facultado múltiplos benefícios à sociedade. De acordo com a International Commission on Large Dams (ICOLD), a classificação de “grande barragem” aplica-se às obras com altura máxima, acima da fundação, superior a 15 metros ou cujo reservatório tenha uma capacidade superior a 1 milhão de metros cúbicos. Em 1998, um levantamento levado a cabo pela ICOLD identificou 47 655 grandes barragens de um universo de aproximadamente 500 000 barragens construídas no mundo. Três quartos destas grandes barragens, um terço das quais de betão, foram construídos antes de 1980. Grosso modo, 12 000 grandes barragens de betão têm hoje mais de meio século.

Práticas relacionadas com a segurança e a integridade das barragens consolidaram-se ao longo de muitos anos e evoluem com novos conhecimentos e tecnologias. As barragens e os seus órgãos de segurança e exploração envelhecem e este envelhecimento obriga a uma continuada e multifacetada atenção para assegurar a sua longevidade e segurança. A segurança estrutural é condicionada por uma cuidada operação e uma contínua monitorização. É prática corrente instrumentar barragens e proceder à sua inspeção visual.

As inspecções visuais são levadas a cabo por especialistas e visam registar as ocorrências significativas e visíveis no paramento de jusante, no paramento de montante quando visível, nas galerias, no coroamento, nas encostas, nos

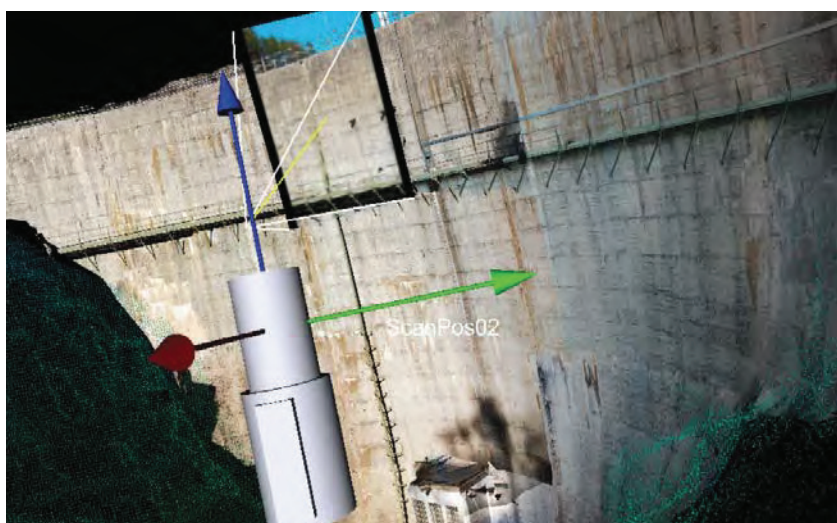


Fig. 1 - Sistema referencial instrumental associado a cada estacionamento do TLS e cobertura fotográfica motorizada sequencial do objecto em estudo

órgãos de segurança, etc... A informação recolhida, no entanto, tem alguma subjectividade na classificação, é morosa e onerosa na aquisição, pouco precisa no seu posicionamento espacial, mas não deixa de ser extremamente importante. Sintetizando: no actual contexto da segurança, manutenção, conservação e reabilitação de barragens, os técnicos que executam as inspecções visuais necessitam de ser assistidos por metodologias que lhes permitam coligir informação com maior celeridade e objectividade de forma a inspecionar um número crescente de barragens que se aproximam de períodos críticos do seu envelhecimento.

No Laboratório Nacional de Engenharia

Civil está em curso um estudo no âmbito do qual se desenvolveu uma metodologia, baseada em varrimentos com radiação laser e cobertura com imagens digitais, visando produzir e codificar com objectividade, de uma forma menos onerosa e mais célere, a informação tradicionalmente obtida durante as inspecções visuais. Esta metodologia, designada por inspeção visual assistida, é descrita neste artigo. Apesar de ter sido desenvolvida para barragens, pode ser aplicada a outro tipo de edificado, *mutatis mutandis*.

TECNOLOGIA

A tecnologia LIDAR (Light Detection And Ranging) usa o varrimento laser a



Fig. 2 – Equipamento terrestre de varrimento laser e câmara fotográfica digital

partir de plataformas aéreas de asa fixa ou móvel, para levantamentos da superfície terrestre. A miniaturização desta tecnologia permitiu a sua transportabilidade e o seu estacionamento terrestre e deu lugar ao Terrestrial Laser Scanning (TLS). Este equipamento (Fig. 2) emite impulsos laser a partir de um cilindro rotativo que, por sua vez, possui dois espelhos, igualmente rotativos num eixo perpendicular ao da rotação anterior. O tempo de ida e volta do impulso permite calcular a distância entre o equipamento e o ponto que reflectiu a emissão. A distância e respectivas medidas angulares de cada uma das rotações referidas, constituem as coordenadas polares tridimensionais dos pontos que reflectiram os impulsos, as quais se transformam em coordenadas cartesianas instrumentais (x,y,z). A uma cadência que pode ser do milhar de impulsos por segundo, obtém-se o que se convencionou chamar “nuvem de pontos”. O TLS é um sensor activo pelo que é possível fazer levantamentos à noite e obter um mapa de intensidades, semelhante a uma fotografia, o que se pode revelar de particular importância em situações de emergência. Ao TLS pode estar associada uma câmara fotográfica digital com foto-sensores CCD. Neste caso é feita uma cobertura fotográfica do objecto e, recorrendo à formulação fundamental da fotogrametria, é possível associar, a cada

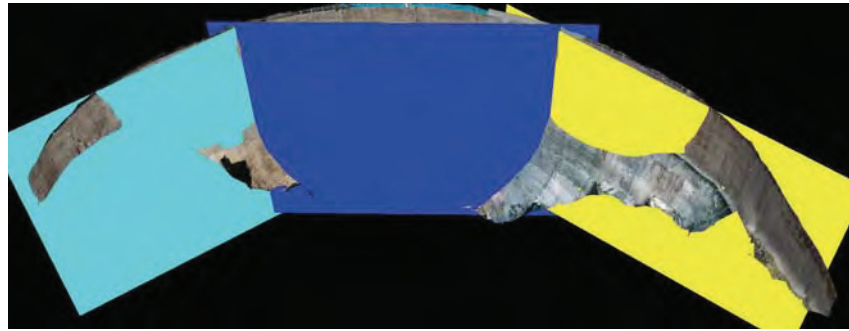


Fig. 3– Os três planos sobre os quais se rectificaram as imagens originais

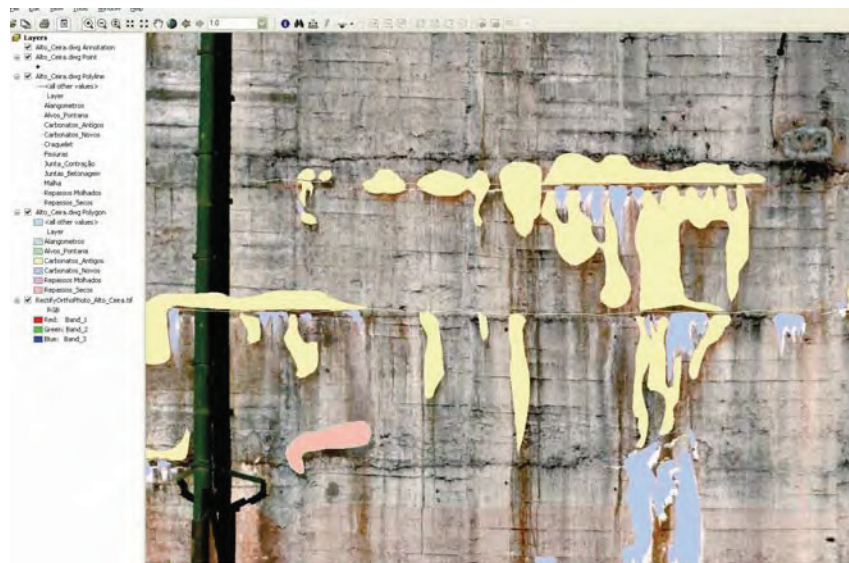


Fig. 4 – Vectorização e classificação das ocorrências detectadas sobre o mosaico composto por várias imagens rectificadas

ponto coordenado pelo TLS, os valores radiométricos RGB registados no correspondente pixel da imagem. Ou seja, é possível obter um modelo discreto tridimensional do objecto com textura fotográfica no formato (x,y,z,R,G,B) .

A variedade de produtos que se pode obter por pós-processamento vai desde os convencionais perfis, cortes, plantas e curvas de nível até animações no âmbito da realidade virtual passando pela reconstrução virtual tridimensional, contínua e com textura fotográfica, de modelos de objectos em estudo.

METODOLOGIA

Cada estacionamento do TLS dá origem a uma nuvem de pontos coordenados num referencial tridimensional instrumental e independente. Para cobrir integralmente o objecto, haverá necessidade de vários estacionamentos, pelo que é es-

sencial proceder a uma concatenação das respectivas nuvens numa única, já agora num referencial também único e mais adequado, designadamente o referencial da obra. Esta referenciação concretiza-se com um número redundante de alvos retro-reflectores de coordenadas conhecidas no referencial da obra e colocados no cenário. Um modelo funcional relaciona os diversos sistemas de referência tridimensionais independentes, associados a cada posição instrumental, com um sistema de referência único tridimensional e associado ao objecto. Com base nesse modelo determinam-se os vários conjuntos de parâmetros de transformação entre cada sistema referencial independente e o sistema referencial associado ao objecto. Finalmente, a transformação de cada uma das nuvens independentes e parciais para o referencial objecto resulta numa única nuvem, que se pretende integral, do objecto.

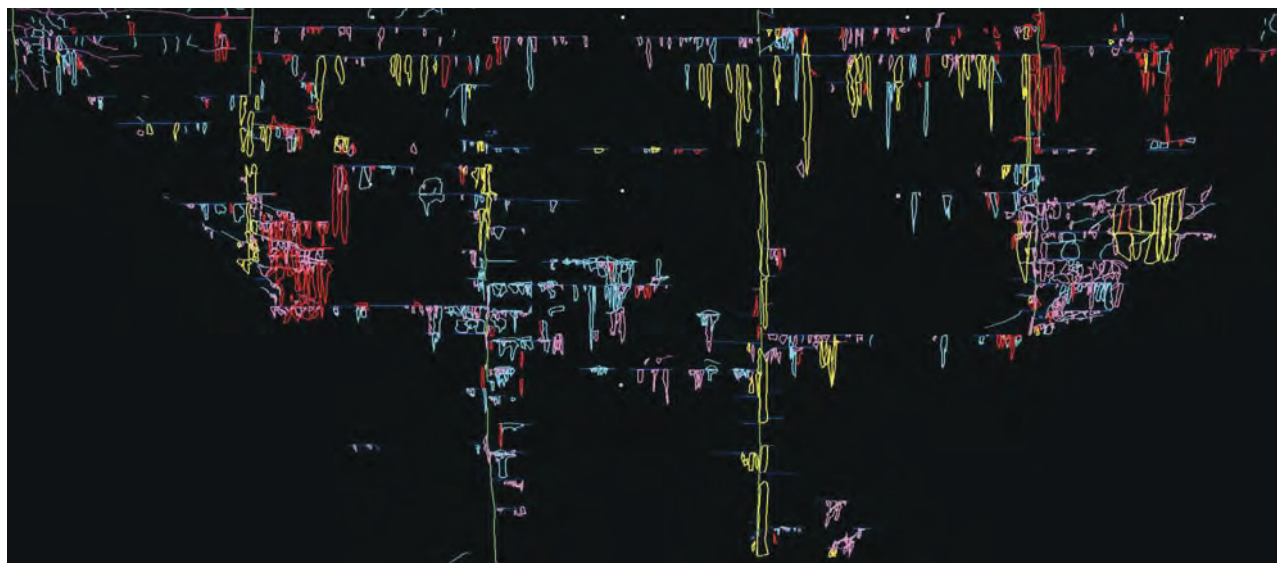


Fig. 5 – Resultado da vectorização em CAD de ocorrências (fissuras, exsurgências, etc.) identificadas sobre a imagem ortorectificada do paramento de jusante da barragem

Por outro lado, para cada imagem captada pela trama de elementos sensores CCD da câmara fotográfica, determinam-se os respectivos parâmetros de orientação externa (a posição espacial do centro óptico e a atitude angular do eixo óptico) aquando da exposição. A câmara foi previamente calibrada em termos da geometria da formação da imagem, designadamente: distância focal residual, excentricidade do ponto principal, deformações tangenciais e deformações transversais.

Nesta aplicação, a questão fundamental é a resolução geométrica da imagem digital. Outros parâmetros de qualidade da imagem, tais como incerteza posicional, resolução espectral e nível de quantização, são importantes, mas não determinantes.

CONCRETIZAÇÃO

A metodologia exposta foi aplicada à barragem do Alto Ceira, com vista ao levantamento de patologias visíveis no seu paramento de jusante. O LNEC especificou e coordenou a experiência, executada pela empresa Artescan, enquanto o Dono da Obra (Electricidade De Portugal) autorizou, acompanhou e apoiou a mesma experiência. As imagens fotográficas de objectos com relevo não têm escala, pelo que há que processá-las de forma a terem

qualidade métrica. O processo escolhido para esse processamento foi a ortorectificação, no qual há que entrar em conta com a orientação externa de cada imagem, a calibragem interna da câmara e o modelo numérico do paramento da barragem (a nuvem de pontos). Optou-se por ortorectificar cada fotografia segundo um dos três planos que se ilustram na Fig. 3.

As ortoimagens foram depois agrupadas num único mosaico integral da barragem. Finalmente, sobre este mosaico, foram identificadas e classificadas todas as ocorrências que, constantes de um catálogo, puderam ser detectadas (Figs. 4 e 5).

Foi feita uma cobertura fotográfica adicional com uma teleobjectiva de grande distância focal. Estas fotografias foram disponibilizadas num segundo monitor, para facilitar a detecção e classificação das ocorrências que ofereciam dúvidas.


CONCLUSÃO

Estima-se que, para produzir informação semelhante, o método tradicional duplica os custos e quadruplica o tempo de execução. A informação também resulta mais objectiva na sua classificação, mais rigorosa no seu posicionamento e mais completa. Por outro lado, este tipo de informação codificada, estruturada e de qualidade quantificá-

vel, facilita o povoamento de sistemas de informação referentes à monitorização de barragens.

O especialista pode (em gabinete e em simultâneo) ocupar-se da inspecção visual assistida de várias barragens, superintendendo o trabalho de técnicos menos experientes, cada um deles inspecionando uma barragem na sua estação de trabalho. Ele deve, no entanto, fazer sempre uma visita final à obra para completar e controlar a qualidade da informação.

Foram obtidos registos que podem, posteriormente, ser reavaliados quer para entender a origem de ocorrências entretanto detectadas, quer para as interpretar à luz de novos conhecimentos. O histórico das ocorrências ganhou assim maior amplitude temporal e de saber.

A metodologia exposta pode ser aplicada ao edificado com geometria pouco complexa, tais como, cúpulas, chaminés e paredes de betão ou alvenaria, lajes e torres de arrefecimento, bem como a taludes artificiais ou naturais. A adaptação ao levantamento de patologias em edificado com geometria mais complexa é tecnicamente possível, mas a sua exequibilidade e viabilidade económica devem ser ponderadas caso a caso. 

ANTÓNIO BERBERAN,
Engenheiro Geógrafo,
Investigador do LNEC