



Combinação da Fotogrametria Digital e dos Sistemas de Varrimento Laser Terrestre na inspeção visual assistida de barragens de betão: o caso da barragem do Cabril

Bruno BAETA ¹, Gil GONÇALVES ^{1,2} e António BERBERAN ³

¹ Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade de Coimbra

² Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores - Coimbra

³ Consultor de modelação e monitorização - Lisboa

(baetabruno@gmail.com; ^{1,2} gil@mat.uc.pt; ³ berberan@epoch-suite.com)

Palavras-chave: Laser Scanner Terrestre, Sistemas Combinados de Imagens Terrestres, Fotogrametria, Modelação 3D, Modelo Digital de Superfície, Orto-Imagens de alta resolução, Inspeção Visual Assistida

Resumo: As grandes barragens de betão, que começaram a ser construídas na primeira metade do último século, têm agora mais de 50 anos. Dado o seu envelhecimento torna-se fundamental a monitorização dessas estruturas. A inspeção visual é uma mais-valia, tendo em conta que em muitas estruturas antigas não existem equipamentos instalados para a monitorização e avaliação da sua segurança.

Os Sistemas de Varrimento Laser Terrestres (SVLT) permitem obter de forma rápida, suficientemente precisa e exacta, modelos tridimensionais de superfícies reflectivas. Acoplando ao digitalizador Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) um sistema de "imageamento" (câmara fotográfica digital), é possível combinar os dados Laser com as imagens digitais. Com a integração destes dois sistemas num único sistema, perspectiva-se um novo modo de inspeções visuais, designadas por inspeções visuais assistidas.

Neste artigo é apresentada uma metodologia que combina a Fotogrametria Digital com os SVLT na inspeção visual assistida de barragens, nomeadamente a sua aplicação ao paramento jusante da Barragem do Cabril. Após o adequado processamento fotogramétrico, são produzidas orto-imagens com exactidão de 3 cm e resolução espacial variando entre 3-10 mm, adequadas para a identificação, classificação e arquivo de anomalias bem como na análise de deformação da estrutura. Os resultados obtidos mostram que na inspeção visual de barragens de betão, esta combinação de tecnologias constitui uma ferramenta adequada, relativamente aos métodos tradicionais, em termos de custos e tempos de produção. ¹

¹ O autor escreve, por opção pessoal, de acordo com a antiga ortografia.



1. Introdução

Os SVLT permitem criar modelos tridimensionais de objectos a baixo custo e com adequada precisão e exactidão geométrica. Obtêm-se modelos densos, compostos por milhões de pontos cujas coordenadas são recolhidas a frequências que podem atingir 1 milhão de pontos por segundo. Se anexarmos uma câmara fotográfica digital, co registada no sistema de coordenadas do SVLT é possível enriquecer o modelo geométrico com informação pictórica (em geral com as componentes RGB da luz solar). A fusão da informação geométrica e radiométrica, que provêm respectivamente do digitalizador (*scanner*) Laser terrestre e da câmara fotográfica, dá origem ao que podemos chamar de uma fotografia 3D com qualidades métricas. Estes modelos foto-realísticos de objectos podem ser explorados das mais variadas formas pelos responsáveis da exploração e segurança das grandes barragens.

No âmbito da engenharia aplicada a barragens, os resultados obtidos após o processamento dos dados provenientes da combinação entre os SVLT com as câmaras fotográficas, podem ser utilizados em diversas fases do ciclo de vida de uma barragem. A quantidade sem precedentes de informação geométrica e radiométrica pode ser utilizada, por exemplo, somente para registo de informação das fundações, para o caso de estas terem que ser revistas após a construção da barragem, ou para mapear e acompanhar a evolução de deteriorações visíveis provenientes do envelhecimento da estrutura. Também, sistemas de engenharia inversa podem ser fácil e rapidamente desenvolvidos com o intuito de gerar modelos tridimensionais CAD (*Computer Aided Design*) tendo em mente a renovação e manutenção das barragens cujos documentos tenham sido perdidos ou estejam muito desactualizados.

Este trabalho descreve a combinação desta tecnologia de multisensores para a obtenção de imagens de alta resolução do paramento de jusante da Barragem do Cabril. O trabalho foi requerido pela EDP (Energias de Portugal) e produzido pela empresa Artescan, tendo sido o LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) contratado como consultor. Este estudo iniciou-se com os trabalhos de campo em Março de 2010 e terminou em Janeiro de 2011 com os processamentos finais. A barragem do Cabril foi construída em 1954, no Rio Zêzere, para produção de energia eléctrica. O seu paramento é uma abóbada com dupla curvatura, tem uma altura máxima acima da fundação de 132 metros e o coroamento tem um desenvolvimento de 290 metros.

Após esta secção introdutória, faz-se uma breve descrição da tecnologia dos sistemas de varrimento Laser e das câmaras fotográficas. Tendo em conta a enorme quantidade de informação que é recolhida numa rápida operação de campo, algumas especificações devem ser aclaradas antes da fase de aquisição de dados. Estas especificações serão descritas no terceiro capítulo. O ponto quarto deste trabalho descreve as diferentes fases do processamento, bem como alguns exemplos de produtos 2D provenientes destas tecnologias. Serão também enumerados alguns exemplos de produtos 3D que só poderão ser explorados na sua totalidade recorrendo a meios de visualização electrónica. Estes produtos terão diferentes aplicações em diversas áreas da engenharia. No ponto 5 são descritas algumas das necessidades de investigação e desenvolvimento com base na experiência adquirida em processos de combinação da fotogrametria digital com os SVLT. Por fim, no ponto 6 são referidas as principais conclusões quanto à aplicabilidade do método utilizado.

2. Princípios básicos de funcionamento dos sensores e sua combinação

Dado que os SVLT são plataformas multisensores, os sensores Laser e fotográfico serão abordados de forma breve em parágrafos distintos. O leitor poderá encontrar em Shan, J. e Toth, C. K. (2008) e Luhmann *et al.* (2006) uma descrição mais aprofundada dos fundamentos teóricos utilizados pelos sistemas.

2.1 Sensor Laser

Os sensores Laser emitem radiação electromagnética, geralmente luz monocromática visível, que se difunde no espaço com grande coerência e que tem um grau de divergência muito reduzido. O digitalizador Laser ao emitir impulsos, com elevada potência, consegue calcular a distância ao ponto objecto P, pelo tempo que o impulso leva a percorrer o trajecto entre a componente emissora e o objecto e o regresso novamente à componente emissora.

O digitalizador Laser ao emitir o feixe, incrementa mecanicamente um desvio angular, decomposto em ângulo vertical e ângulo horizontal. Isto significa, que para cada impulso emitido e reflectido, obtém-se, para além da intensidade do impulso reflectido (I), as coordenadas tridimensionais polares do ponto de reflexão. Estas coordenadas polares podem ser transformadas num sistema cartesiano de coordenadas associadas ao instrumento. Depois desta transformação, obtém-se uma nuvem de pontos com



coordenadas 3D instrumentais registadas com o respectivo valor da intensidade de reflectância, isto é, para cada ponto, as ordenadas (x, y, z, I) . As coordenadas instrumentais referidas podem ser convertidas para um sistema de referência objecto quer por referenciação indirecta, via pontos de controlo, ou por referenciação directa, se o SVLT possuir capacidades de posicionamento ou de orientação. Obtém-se então uma nova matriz de transformação que permite fazer a relação entre as coordenadas instrumento (x, y, z) e as coordenadas objecto (X, Y, Z) . (Lerma *et al.*, 2008). Como os SVLT utilizam sensores activos, podem ser utilizados sem luz externa e consegue-se criar um mapa de intensidades (I) que se vai assemelhar a uma fotografia monocromática.

2.2 Sensor fotográfico

O sensor de uma câmara fotográfica, com os elementos organizados numa matriz pode captar, por meio de um sistema de lentes, radiométrica e espacialmente um objecto e discretizá-lo de diversas maneiras. A imagem digital 2D obtida é um ficheiro com os valores de intensidade da cor vermelha, da verde e da azul, de um cenário representado em *pixéis* organizados em i linhas e j colunas da matriz do sensor, ou seja cada pixel terá as coordenadas (i, j) e os atributos (R, G, B) . As câmaras digitais incorporadas nos SVLT estão em geral calibradas, conhecendo-se previamente os efeitos $(\delta i, \delta j)$ das distorções geométricas existentes no sistema de lentes, assim como os parâmetros de transformação que relacionam as coordenadas matriciais (i, j) com as foto-coordenadas (u, v) .

2.3 Combinação dos sensores

A partir de uma orto-imagem digital, representada analiticamente por uma função do tipo:

$$G(i, j) = (g_r(i, j), g_g(i, j), g_b(i, j)) \quad (1)$$

onde g_r, g_g e g_b são funções discretas das três intensidades (vermelho, verde e azul) do comprimento de onda da parte visível do espectro electromagnético, e utilizando as equações de colinearidade, dadas na forma mais simples por:

$$u = c \frac{r_{11}\Delta X + r_{12}\Delta Y + r_{13}\Delta Z}{r_{31}\Delta X + r_{32}\Delta Y + r_{33}\Delta Z} \quad v = c \frac{r_{21}\Delta X + r_{22}\Delta Y + r_{23}\Delta Z}{r_{31}\Delta X + r_{32}\Delta Y + r_{33}\Delta Z} \quad (2)$$

onde u e v são foto-coordenadas, c é a distância focal, r são os nove elementos de uma matriz tridimensional de rotação que relaciona as coordenadas da fotografia com as do objecto, e $\Delta X, \Delta Y$ e ΔZ são as três componentes de um vector conhecido que liga a origem das foto-coordenadas ao ponto P no objecto. Obtém-se uma nuvem de pontos texturizada, representada por uma função do tipo:

$$G(X, Y, Z) = (g_r(X, Y, Z), g_g(X, Y, Z), g_b(X, Y, Z)) \quad (3)$$

Com base na equação (3), poderemos obter a nuvem de pontos não estruturada num ficheiro (binário ou ASCII) com uma organização do tipo (X, Y, Z, R, G, B, I) .

3. Especificações técnicas

O volume de informação a recolher num curto espaço de tempo requer especificações técnicas detalhadas, da parte do consumidor da informação, e um planeamento cuidadoso, do lado do produtor. Os objectivos das especificações consistem em: estabelecer parâmetros de qualidade adequados ao trabalho, definir critérios de rejeição ou de aceitação, permitir a comparação entre épocas distintas e homogeneizar suportes e formatos de dados a fim de migrar dados entre utilizadores, plataformas, redes, aplicativos e *software*. Os itens a especificar deverão incluir os metadados, a área e o objecto de interesse, as restrições da operação, o sistema de coordenadas e a sua materialização, restrições electrónicas nos métodos de processamento de dados, resolução cronológica (se, para efeitos de monitorização), resolução espacial e resolução radiométrica, alcance mínimo e máxima divergência do feixe Laser, bem como outras especificações técnicas do equipamento, calibração e procedimentos de referenciação, controle de qualidade e entregas de produtos finais. Porque o sensor Laser pode ser biologicamente nocivo, a classe do Laser deve ser referida. O prestador de serviços deve fornecer ao utilizador de dados os *softwares* de visualização apropriados para documentos 3D de engenharia que só podem ser vistos em computadores.



A forma de um objecto pode ser detectada numa nuvem de pontos e o detalhe do objecto pode ser identificado numa imagem, dependendo do espaçamento entre pontos (ou densidade) e da resolução da imagem, respectivamente. No Quadro 1, encontram-se os valores que podem ser definidos para alcançar os resultados desejados.

Quadro 1 – Espaçamento entre pontos da nuvem Laser e resolução da imagem digital

PONTOS LASER		Probabilidade de detectar a forma	
Dimensão da forma (λ)	0.66	0.95	
	Espaçamento entre pontos		
	$\lambda / 3$	$\lambda / 20$	
IMAGEM DIGITAL		Probabilidade de identificar detalhes	
Dimensão do detalhe (δ)	0.66	0.95	
	Resolução (no cenário)		
	$\delta \times 3$	δ	

4. Aquisição e processamento de dados

A alta frequência com que se faz a aquisição de dados permite a recolha de grandes quantidades de informação num curto período de tempo. Isto significa que se deve ter em consideração a fase das especificações técnicas, a fase do planeamento, do processamento e do controlo de qualidade.

Neste estudo foram feitos diversos estacionamentos do Laser *scanner* de forma a cobrir todo o paramento jusante da barragem e evitar obstruções que provocam inexistência de informação. Ao SVLT foi acoplado uma câmara fotográfica com uma lente de 20 mm para uma primeira cobertura total da estrutura. Uma outra lente 180 mm também foi utilizada com o SVLT numa segunda cobertura do paramento, de modo a obter imagens igualmente georreferenciadas de toda a estrutura. Finalmente, fez-se uma terceira cobertura fotográfica do paramento, com uma lente de 300 mm a qual não sendo passível de ser acoplada ao sistema Laser, foi referenciada posteriormente via *software*.

As diferentes etapas do processamento, bem como alguns exemplos práticos em 2D e 3D, serão expostas nesta seção. Adicionalmente serão apresentadas diferentes formas de sistematizar a informação gerada em documentos de engenharia.

4.1 Fases do processamento

Os dados brutos são recolhidos em várias nuvens de pontos, dependendo do tamanho do objecto, informação topográfica existente, alcance do Laser *scanner*, obstruções, entre outros parâmetros. A fase do pré-processamento, *in situ*, permite a texturização das diferentes nuvens de pontos. Várias etapas de processamento terão lugar, antes destes dados serem convertidos em documentos de engenharia. O nível de automação destas etapas é consideravelmente mais baixo quando comparado com a fase de aquisição de dados, o que significa que o número de dias necessários para o processamento dos dados será maior do que os dias de campo, dependendo do tipo e qualidade dos documentos finais produzidos.

4.1.1 - Filtragem de dados

Entre os milhões de pontos recolhidos, existe uma quantidade considerável de ruído devido a muitos e variados factores, como obstruções temporárias ou permanentes, multi-reflexões, fraca reflectividade da superfície, entre outros. A filtragem manual (i.e. limpeza) de dados foi feita quando o operador foi capaz de identificar pontos que não estão relacionados com o objecto em estudo. A filtragem automática de dados foi feita recorrendo a algoritmos automáticos de filtragem próprios dos *softwares* de edição de nuvens de pontos. Em ambos os casos, a remoção de ruído, foi executada de forma a garantir uma fidelidade, julgada razoável, entre o objecto real e a sua representação virtual.

4.1.2 – Reamostragem

A resolução das nuvens de pontos recolhidas varia em função do ângulo de deflexão do feixe Laser e da distância ao objecto, o que pode levar a uma sobre amostragem nos cenários mais próximos e a uma subamostragem nos planos mais afastados. Considerando a grande quantidade de dados a ser processado, procedeu-se a uma reamostragem dos dados, com o intuito de



eliminar e reduzir os pontos que não adicionam informação útil ao modelo, melhorando assim a velocidade de processamento, bem como da transferência e do armazenamento dos dados. Neste processo foi igualmente considerada a qualidade da representação do objecto em causa.

4.2 Documentos de engenharia

O LNEC levou a cabo diversas pesquisas sobre a utilização e aplicação dos SVLT combinados com câmaras digitais e recomenda, aos proprietários das grandes barragens, a utilização destas metodologias, quando apropriada (Oliveira *et al.*, 2010).

Os resultados deste processamento podem ser apresentados em diferentes tipos de documentos tradicionais de engenharia ou seja, documentos bidimensionais que representem objectos tridimensionais e que foram gerados automaticamente a partir dos modelos 3D: secções transversais e longitudinais, perfis, curvas de nível, entre outros. Outros novos tipos de documentos de engenharia são as representações virtuais em 3D dos objectos, que só podem ser totalmente explorados de forma interactiva em plataformas computacionais, devido à sua natureza tridimensional. Alguns exemplos de documentos de engenharia, com diferentes níveis de processamento, serão apresentados seguidamente.

4.2.1 - Dados geométricos e radiométricos

O registo de dados radiométricos e geométricos referenciados, de estruturas de grandes dimensões, será visto cada vez mais como um trunfo inestimável. A Figura 1 representa uma nuvem de pontos não editada que pode ser visualizada *in situ* e onde se podem fazer medições quase em tempo real.

Neste trabalho, foram feitos 8 estacionamentos do SVLT para representar o paramento da barragem do Cabril numa nuvem com aproximadamente 19 milhões de pontos. Para referenciar as diferentes posições SVLT, utilizaram-se 6 pontos de referência da rede de monitorização geodésica, 30 pontos de ligação (alvos do SVLT) e 30 pontos de verificação (pontos materializados no paramento).

4.2.2 - Engenharia Inversa e Modelação 3D

Terminado o processamento e o pós-processamento, geram-se vários documentos de engenharia com procedimentos mais ou menos automáticos. Na Figura 2 é representado um pormenor do paramento jusante da barragem, com a representação de diferentes fases de processamento, da nuvem de pontos (à esquerda), à modelação da superfície representada com triângulos irregulares (ao centro) e à texturização com informação pictórica dessa mesma superfície (à direita). A TIN (*Triangular Irregular Network*), mostrada ao centro na imagem, é o "esqueleto" do modelo 3D real, um produto intermediário na transformação dos dados para obter produtos finais, como por exemplo, as orto-imagens e é obtida por uma triangulação de *Delaunay* numa representação paramétrica da superfície do paramento (George e Borouchaki., 1997).

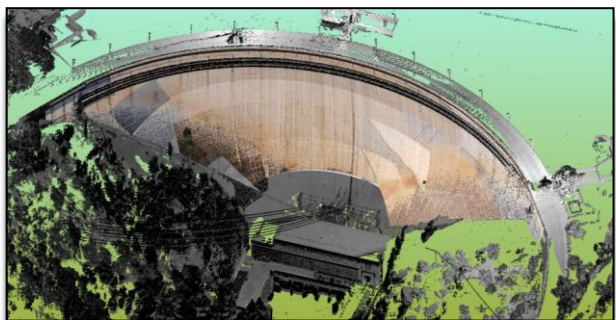


Figura 1 – Nuvem de Pontos do paramento da barragem do Cabril, com 1 a 2 cm de precisão nas coordenadas 3D e com uma resolução de 1 decímetro cúbico

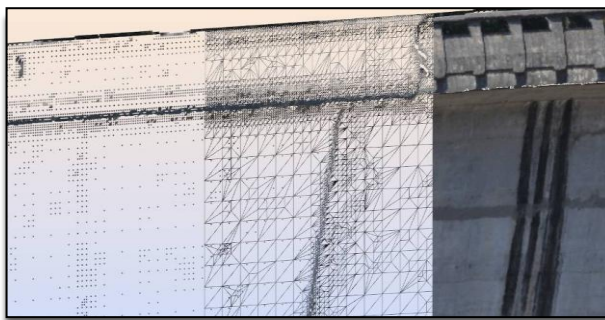


Figura 2 – Diferentes representações do mesmo modelo 3D de um pormenor do paramento da barragem do Cabril

4.2.3 – Orto-Imagens

A produção de orto-imagens, a partir de modelos tridimensionais texturizados, gerados com base nas nuvens de pontos com informação RGB, foi um procedimento realizado com *software* específico. Foram então produzidas orto-imagens com resolução de

1 cm (Figura 3) da totalidade do paramento de jusante da barragem, recorrendo à cobertura fotográfica feita pelo Laser scanner com a lente de 180 mm, fotografias georreferenciadas ao sistema Laser, pois são conhecidos os parâmetros que relacionam o sistema de coordenadas do Laser e da câmara acoplada ao sistema.

Com o intuito de produzir orto-imagens de 3 mm resolução, foi feita a georreferenciação das fotografias obtidas com a lente de 300 mm tendo como referência externa a modelação 3D texturizada. Ficamos então em condições de produzir orto-imagens com qualidade espacial útil para as operações de inspecção visual (Figura 4). Produzimos também imagens da projecção cilíndrica da modelação texturizada, com resolução espacial de 1 cm e de 3 mm (Oliveira *et al.*, 2010).



Figura 3 – Orto-imagem do paramento jusante da barragem do Cabril, com uma resolução de 1 centímetro



Figura 4 – Orto-imagem de alta resolução do paramento jusante da barragem do Cabril, com uma resolução de 3 milímetros

4.3 – Análise da Exactidão

Em simultâneo com a campanha de Laser scanner, foi efectuada uma campanha de monitorização geodésica pela equipa de topografia da EDP, que fez o cálculo das coordenadas de pontos que se encontram materializados no paramento jusante da barragem (Figura 5). Estas coordenadas serviram para fazer o controlo da incerteza de cada fase, desde a nuvem de pontos original às orto-imagens. Estes pontos são identificados e as suas coordenadas comparadas com as coordenadas provenientes dos métodos geodésicos. No Quadro 2 temos as coordenadas do modelo 3D comparadas com as coordenadas de um dos 30 pontos de verificação (ponto GH280).

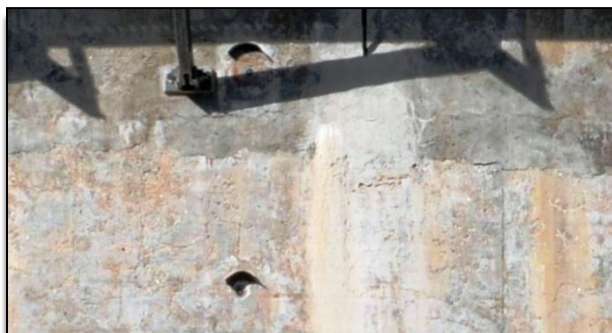


Figura 5 – Pontos materializados no paramento jusante da barragem

Quadro 2 – Comparação das coordenadas do modelo 3D com as coordenadas dos métodos geodésico

GH280	Geodesia (m)	Modelo (m)	Δ (m)
X	169.310	169.339	-0.030
Y	428.090	428.081	0.009
Z	280.863	280.868	-0.006

5. Investigação e Desenvolvimento

Estes sistemas combinados têm sido comercialmente disponibilizados nas duas últimas décadas e comprovaram já ser uma tecnologia fiável utilizada nas mais variadas áreas e com diferentes aplicações. Esta é também uma tecnologia que está com um nível significativo de desenvolvimento (Staiger, 2005). Primeiro, com melhorias contínuas em termos de exactidão, resolução e frequência de recolha de dados. Segundo, existe uma constante necessidade de desenvolvimento de algoritmos e *software*, e em terceiro, ainda não existe um consenso no melhor *design* ou melhor tecnologia a ser incorporada neste equipamento. Esta terceira observação explica a dificuldade em especificar modelos de erro e procedimentos de calibração. A utilização de sensores

infravermelhos deve ser desenvolvida como ferramenta útil para ajudar na detecção e classificação de deteriorações. Sobre a aplicação desta tecnologia na inspeção visual, tem sido feita alguma investigação e desenvolvimento na extracção automática ou semiautomática de deteriorações (e. g. Chen *et al.*, 2006; Yamaguchi *et al.*, 2008).

As Inspeções Visuais são processos importantes na monitorização de barragens e que quando feitos de forma tradicional são muito dispendiosos, morosos e eventualmente perigosos. A abordagem tradicional das inspeções visuais é fisicamente exigente e tem de ser realizada no local por pessoal qualificado. O resultado é muito subjectivo uma vez que é dependente do técnico e não do equipamento de recolha automática de dados. Não tem um resultado abrangente e não tem exactidão posicional devido a dificuldades operacionais (Berberan *et al.*, 2011). A Figura 6 mostra uma orto-imagem, que utilizada como uma imagem com escala pode servir para mapear as deteriorações visíveis no paramento da barragem, sem qualquer tipo de dificuldades operacionais.

Sob a orientação de um engenheiro qualificado, vários técnicos podem inspeccionar simultaneamente várias barragens, em diferentes computadores. Esta possibilidade pode ser de grande importância na sequência de terremotos ou em outras catástrofes naturais que possam afectar simultaneamente várias barragens. O mapeamento de deteriorações deve seguir um catálogo de sintomas que deverá ser definido inicialmente. Os resultados do mapeamento deverão ser validados no local e com a ajuda de técnicos da própria barragem.

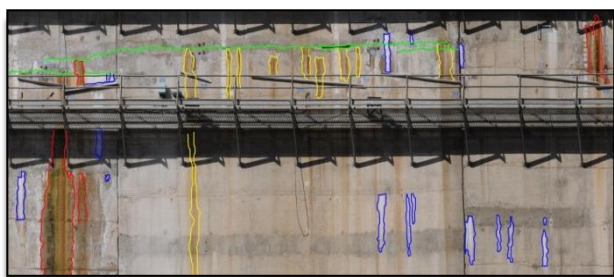


Figura 6 – Mapeamento de deteriorações com base numa orto-imagem



Figura 7 – Sistema de gestão da informação “GestBarragens” de diferentes tipos de observações efectuadas pelo LNEC

Os sintomas mapeados podem ser associados aos seus atributos mais significativos e completar assim um sistema de informação onde diferentes tipos de observações, provenientes de diversos instrumentos de monitorização, podem ser cruzados e validados para estimar o comportamento ou o estado da barragem (Figura 7).

Uma última referência vai para o constante desenvolvimento na variedade de documentos digitais 3D de engenharia que somente podem ser visualizados em dispositivos de visualização electrónica e que serão uma vantagem para a engenharia, para além dos tradicionais documentos 2D. Uma vez gerados os modelos tridimensionais texturizados, é possível disponibilizá-los em ficheiros CAD 3D, ficheiros PDF 3D, ficheiros OBJ, ficheiros VRML, entre outros. Definindo percursos em torno do modelo, é possível também produzir relatórios vídeo que permitirão inspeccionar de muito perto o paramento em análise.

6. Conclusões

Este estudo confirmou que a fusão da informação proporcionada pelas câmaras digitais com a proveniente dos SVLT permite adicionar aos dados geométricos destes SVLT uma riqueza semântica que pode ser explorada com objectiva vantagem para obter o mesmo tipo de informação que é recolhida tradicionalmente durante a inspeção visual dos paramentos e encontros das barragens. A informação recolhida pela via aqui descrita, tem melhor qualidade em termos de posicionamento, de resolução cronológica, de rigor, de integridade, de objectividade e de custos. Como é registado e processado em tempo real, quer os dados brutos quer a informação processada estão prontos para serem migrados para outras aplicações ou *software* e serem enviados através de uma intranet ou internet para proprietários, consultores, autoridades, fiscalizações e projectistas.

A experiência obtida, demonstrou que a instalação de uma unidade de produção de modelos tridimensionais e aquisição de imagem carece de grandes investimentos iniciais no SVLT, na câmara digital e respectivas lentes, em computadores de alta performance em termos de cálculo numérico, processamento e gráfico, sistemas de armazenamento de dados, licenças e



manutenção de *software*, bem como na formação de quadros qualificados, investimento que é bastante significativo (Oliveira *et al.*, 2010).

A incerteza posicional e o alcance dos *Laser scanners*, é agora suficiente para a maioria dos trabalhos de engenharia que requerem um sistema de recolha de dados radiométricos e de posicionamento com alta frequência, como é o caso da inspeção visual ou da monitorização de estruturas, como foi apresentado neste trabalho sobre a barragem do Cabril. Espera-se que a evolução da tecnologia *Laser scanner*, que não foi desenvolvida inicialmente em ambientes geodésicos mas que actualmente também está a ser feito pelos fabricantes de estações totais, venha a melhorar ainda mais a qualidade posicional dos dados adquiridos.

Agradecimentos

Agradecemos à EDP e à Artescan pela disponibilização dos dados recolhidos. Agradecemos também ao LNEC, entidade consultora e de acolhimento deste estudo, pela disponibilização dos recursos necessários ao processamento dos dados.

Referências Bibliográficas

- Berberan, A.; Ferreira, I.; Portela, E.; Oliveira, S.; Oliveira, A.; Baptista, B. (2011). Overview on Terrestrial Laser Scanning as a Tool for Dam Surveillance. 6th International Dam Engineering Conference. LNEC, Lisboa.
- Chen, L.; Shao, Y.; Jan, H.; Huang, C.; Tien, Y. (2006). Measuring System for Cracks in Concrete Using Multitemporal Images. *Journal of Surveying Engineering* © ASCE.
- George, P. L., Borouchaki, H. (1997). *Triangulation de Delaunay et maillage: applications aux éléments finis*. Hermes.
- Lerma García, J.L.; Van Genechten, B.; Heine, E.; Quintero, M.S. (2008). *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., Harley, I. (2006). *Close range photogrammetry: Principles, methods and applications* (pp. 1-510). Whittles.
- Oliveira, S.; Ferreira, I.; Berberan, A.; Mendes, P.; Boavida, J.; Baptista, B. (2010). Monitoring the structural integrity of large concrete dams: the case of Cabril Dam. *Hydropower 2010*, Lisboa.
- Staiger, R. (2005). The Geometrical Quality of Terrestrial Laser Scanner (TLS), FIG Working Week 2005 and GSDI-8, Cairo, Egypt. April 16-21.
- Shan, J., Toth, C. K. (Eds.). (2008). *Topographic Laser ranging and scanning: principles and processing*. CRC press.
- Yamaguchi, T.; Nakamura, S.; Saegusa, R.; Hashimoto, S. (2008). Image-Based Crack Detection for Real Concrete Surfaces. *IEEJ Trans2008*; 3: Págs.128–135.