

Sistema Integrado para Monitorização de Taludes: caso de estudo de um Talude Rochoso na Zona do Funchal

Mário Pedro PEREIRA^{1*}, José PIMENTA FRANÇA¹, Lia DUARTE^{2,3}, André PINHAL² e Ana Cláudia TEODORO^{2,3}

¹ Laboratório Regional de Engenharia Civil, Região Autónoma da Madeira

² Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

³ Instituto Ciências da Terra (ICT), Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

(mpereira@lrec.pt; pimenta@lrec.pt; liaduarte@fc.up.pt; apinhal@fc.up.pt; amteodor@fc.up.pt)

Palavras-chave: Taludes, Monitorização, VANT, Laser Scanner Terrestre, Fotogrametria, Risco

Resumo: A ilha da Madeira é uma ilha vulcânica de orografia complexa, onde os regimes de precipitação intensa associados a movimentos de massa estão na origem de movimentos de massa e de escoamentos sólidos que colocam em causa a segurança da população e de infraestruturas, sendo o histórico dessas ocorrências demonstrativo da frequência e gravidade de tais ocorrências.

Neste contexto, é crucial estabelecer metodologias para avaliação e alerta do risco de aluimento de encostas em condições climatéricas adversas, o que impõe a identificação, a caracterização física, geológica e geotécnica nas zonas mais suscetíveis a escorregamentos e a desprendimento de materiais rochosos, o que inclui a sua monitorização periódica.

A monitorização rigorosa, regular e precisa de taludes rochosos de origem vulcânica, ou de infraestruturas implantadas em zonas de risco, é matéria de complexidade relevante. Técnicas atuais de *laser scanner* terrestre (LST) e fotogrametria por intermédio de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) são abordagens de grande potencial para a monitorização deste tipo de estruturas pela possibilidade de caracterização pormenorizada que possibilitam através da geração de modelos 3D e nuvens de pontos, bem como, pela possibilidade de interligação de dados obtidos por cada uma das técnicas potencializando uma melhor caracterização e evolução temporal do elemento em estudo.

O principal objetivo deste trabalho é apresentar os primeiros resultados obtidos na monitorização de um dos taludes rochosos existentes na zona do Funchal, bem como, evidenciar as potencialidades da integração das técnicas de Laser Scanner e fotogrametria de proximidade por intermédio de VANT.

1. Introdução

Fenómenos naturais de intensidade extrema têm sido registados com mais frequência na ilha da Madeira nos últimos anos. Tais fenómenos têm vindo a diminuir os seus períodos de retorno para intervalos de tempo cada vez mais reduzidos alertando e consciencializando os diferentes intervenientes públicos e privados, governamentais e civis para uma nova realidade, cujas implicações tornam-se cada vez mais significativas, implicações essas agravadas pelas características geomorfológicas da ilha da Madeira. Como as vertentes das encostas da ilha são extremamente acentuadas e de origem vulcânica, quando o coberto vegetal é menos denso e após ocorrências extremas, nomeadamente precipitação, estas são favoráveis a instabilidades. Os deslizamentos de terra são considerados um dos grandes riscos geológicos atuais e são responsáveis por numerosos danos. São muitos os habitantes, especialmente em áreas residenciais, que são ameaçados anualmente por este fenómeno (Sui *et al.*, 2008). Nesse pressuposto, torna-se cada vez mais importante estabelecer programas de monitorização de modo a acompanhar a evolução temporal destes fenómenos na ilha da Madeira. Os taludes rochosos são superfícies irregulares (Figura 1) que requerem um acompanhamento e monitorização precisa e regular. São diversas as metodologias e equipamentos que de modo individual ou em conjunto permitem monitorizar diferentes tipos de elementos ou infraestruturas, contudo, dependendo do tipo de elemento ou infraestrutura que se pretende monitorizar, torna-se necessário adotar a técnica e o equipamento mais apropriado.



Figura 1 – Talude Rochoso no Complexo Balnear do Lido (Esquerda – aquando da campanha de teste; Centro – após limpeza; Direita – identificação de alvos topográficos pintados no talude rochoso)

Segundo Preto *et al.*, (2014), na análise de um maciço rochoso deve ser tida em atenção o sistema de descontinuidades, a definição das famílias de diáclases que compartimentam o maciço e suas características.

Metodologias clássicas de monitorização, através de estação total ou sistemas globais de navegação por satélite (GNSS), são técnicas muito utilizadas para este tipo de estudos. No entanto, devido às suas características intrínsecas, não são atualmente as técnicas mais adequadas para monitorizações deste tipo de elemento, pela limitação inerente na caracterização de superfícies irregulares, pois apenas permitem a “modelação” através de pontos discretos. Deste modo, apenas com estas técnicas não é possível identificar e quantificar deslocamentos relativos dentro do mesmo elemento, tal como acontece através de análises qualitativas através de fotografia aérea, imagens de satélite e cartografia temática.

Associado à crescente demanda de informação 3D e à necessidade de cobertura de grandes áreas em janelas temporais cada vez mais curtas, têm vindo a usar-se tecnologias LST e a fotogrametria de proximidade por intermédio de VANT como tecnologias mais apropriadas para a monitorização de elementos irregulares e de grandes dimensões. O resultado do varrimento efetuado pelos LST resulta na geração de nuvens de pontos 3D, que representam milhares ou milhões de pontos singulares 3D, definidos a partir da medição de ângulos e distâncias individuais (Zoog, 2008).

Por outro lado, as técnicas de deteção remota, nomeadamente por intermédio de VANT, permitem ultrapassar muitas das dificuldades normalmente encontradas no terreno, pela possibilidade de aquisição de uma grande quantidade de dados, de elevada resolução espacial, em áreas muitas das vezes inacessíveis, a uma distância segura da zona a observar e num curto espaço de tempo (Matildes *et al.*, 2015).

A possibilidade de conjugação dos dados obtidos por LST e VANT através das suas nuvens de pontos, bem como, pelas imagens geradas, permite completar, por um lado, as zonas de sombra formadas pela ausência de informação em cada uma das técnicas

aumentando significativamente a informação disponível, e por outro, possibilita a comparação da evolução temporal dos elementos monitorizados, permitindo um melhor conhecimento da sua evolução no tempo e no espaço. Neste trabalho pretende-se definir uma metodologia de monitorização específica para este tipo de elementos naturais e alargar a metodologia definida para outros casos de estudo. Pretende-se ainda evidenciar as potencialidades das técnicas adotadas enquanto técnicas individuais e em conjugação e apresentar os primeiros resultados obtidos para um caso de estudo. Os equipamentos utilizados neste trabalho foram o LST BLK 360 da Leica® e o VANT Albris da SenseFly®.

2. Zona de Estudo: Talude Rochoso no Complexo Balnear do Lido

Na sequência das várias visitas realizadas ao Complexo Balnear do Lido e dos diversos contactos mantidos com a gestão do espaço, verificou-se existirem elementos suficientes para concluir que um dos taludes rochosos de suporte existente no complexo encontrava-se fragilizado, sendo, conseqüentemente, fundamental monitorizar esse talude rochoso no sentido de avaliar o seu estado efetivo e a evolução espaço temporal através da comparação direta entre diferentes campanhas de monitorização espaçadas no tempo. O talude em questão (Figura 1), devido às fragilidades identificadas no local, possui uma zona envolvente de acesso vedado ao público, tendo já sido alvo de processos de monitorização prévios através de técnicas de topografia clássica (estação total). Considerando as limitações inerentes à técnica utilizada para este tipo de elemento já descritas anteriormente e que estão relacionadas com a caracterização discreta sobre pontos pontuais (Figura 1 - Direita), este tipo de monitorização não produziu qualquer resultado com resultados aceitáveis. Este trata-se de um dos taludes de suporte existente na parte central do complexo, zona essa onde se verifica a maior presença de visitantes. Tem um comprimento de aproximadamente 50 m e altura variável entre 2.5 m, no troço a Oeste, e cerca de 10 m no troço a Este. Implanta-se ao longo de um corredor de circulação e de solário existente nas proximidades das estruturas de apoio e diversão infantil, sendo frequente o desprendimento de pequenos blocos que colocam em causa a integridade física das pessoas que circulam, conforme informações recolhidas no local. Na crista do talude desenvolve-se um muro de suporte revestido a pedra aparelhada para contenção da plataforma do passeio marítimo do Lido, implantado a cota superior. São visíveis formações de duas etapas eruptivas contemporâneas da morfologia atual, onde se identifica, no nível inferior, uma espessa escoada basáltica coberta por camada de piroclastos de pouca espessura e de baixa capacidade geomecânica, que está sujeita a fatores externos erosivos potenciadores de desagregação, a exemplo das intempéries, das regas e manutenção de área ajardinada, da percolação e escorrimento de água, de tensões internas (raízes), etc. (Figura 2). O maciço rochoso, no essencial pouco alterado, apresenta elevado grau de fraturação e várias famílias de diáclases, sendo que as predominantes parecem indicar uma atitude média vertical a subvertical com orientações paralelas e perpendiculares à face do talude.



Figura 2 – Estado de fraturação do maciço rochoso

Notam-se ainda famílias de diáclases horizontais, que individualizam blocos de dimensões variáveis (Figura 2), sendo elevado o risco do desprendimento de blocos por rotura em cunha. O significativo estado de descompressão do maciço comprovado pelo conjunto de fraturas em cunha e conseqüente queda de blocos rochosos deu origem à formação de dispositivos sobrejacentes em consola, com agravamento do risco de novos desprendimentos.

3. Metodologia de Monitorização

Para a definição da metodologia a aplicar na monitorização deste talude rochoso foi realizada uma campanha de teste. A campanha visava numa fase inicial, testar, recorrendo à manipulação estrutural do objeto de estudo, as capacidades e limitações dos equipamentos e técnicas a adotar, através da simulação da existência de deslizamentos de vários volumes colocados artificialmente sobre o talude rochoso e verificar a capacidade de identificar e quantificar essas alterações. Nesse pressuposto,

foram colocados sobre a crista e ao longo do talude rochoso a diferentes altitudes (1.8, 5.4, 8.3, 10 e 10.3 m) cinco volumes artificiais de betão armado apoiados e amarrados/ancorados por um fio metálico de 2 mm com volumes a variar entre os 0.0012 m³ e os 0.0068 m³ (Figura 3).



Figura 3 – Blocos artificiais utilizados para a simulação da queda de volume rochoso

Os taludes rochosos, por natureza, são caracterizados por possuírem “faces” irregulares com diferentes geometrias que se desenvolvem a diferentes altitudes. Esse facto implica que dependendo do local onde se está a observar o talude possam ser criadas zonas de sombra na nuvem de pontos gerada, onde não é possível caracterizar corretamente o elemento pela não captação da informação. O talude rochoso pode, em grande parte, obstruir-se a si próprio. O modo de ultrapassar essa dificuldade terá de passar por uma cobertura completa do elemento a monitorizar, através da observação e aquisição de informação em diferentes locais e a diferentes altitudes, possibilitando a aquisição de uma nuvem de pontos completa e densa. A programação da campanha de aquisição de dados reveste-se assim de extrema importância. Na medida em que os LST, na maioria dos casos, consequência das características dos locais onde os taludes rochosos se encontram, não possibilitam uma cobertura completa do elemento de estudo (Figura 4), a conjugação de informação proveniente dos VANT torna-se necessária. De modo a otimizar a comparação direta entre nuvens de pontos, a nuvem de pontos de referência deverá ser mais densa e extensa que a nuvem de pontos a comparar (CloudCompare, 2015). Nesse pressuposto, de acordo com as especificações técnicas dos equipamentos a utilizar, nomeadamente, o alcance, a taxa de emissão e precisão de medição pontual, terá de ser dada especial atenção às distâncias a que os equipamentos são estacionados do elemento a monitorizar de modo a cobrir todo o elemento e não existir diluição espacial da densidade de pontos adquiridos e degradação das precisões obtidas.



Figura 4 – Vista Geral do Talude e identificação de zonas de sombra

Tentou-se que as estações LST não estivessem afastadas do talude rochoso mais de 10 m de modo a conseguir a maior densidade e precisões disponibilizadas pelo equipamento utilizado (6 mm a 10 m), contudo, a densidade de pontos capturados nas faces superiores mais horizontais do talude rochoso foi mais reduzida originando zonas ocas (Figura 4). Procurando colmatar essas lacunas, para o VANT definiram-se dois voos, um vertical para obtenção de imagens verticais e outro frontal para obtenção de imagens oblíquas ambos com resolução espacial de 0.80 cm/pixel. Considerando que uma nuvem de pontos é uma estrutura desorganizada e entre duas nuvens de pontos do mesmo elemento não há correspondência direta entre os seus pontos, no caso de levantamentos com fins de monitorização temporal é essencial que a referência espacial se mantenha inalterável ao longo das diferentes épocas (Matildes, 2016). A definição de utilização ou não de sistemas de coordenadas geográficos associados às nuvens de pontos geradas por técnicas de aquisição distintas terá igualmente relevância no registo, união e comparação de resultados para cada nuvem de pontos em épocas distintas. Não obstante, na medida em que se pretendia, igualmente, testar a hipótese de utilização do *software* de comparação entre nuvens de pontos para nuvens de pontos geradas sobre elementos de acesso restrito ou impossível para os quais não é possível coordenar pontos geográficos ou fazer transporte de coordenadas

geográficas, o sistema de coordenadas adotado para a campanha de teste foram os referenciais intrínsecos dos equipamentos. Os dados gerados em cada um dos varrimentos com o LST e o VANT foram tratados separadamente em *software* específicos, o ReCAP PRO (<https://www.autodesk.com/products/recap/overview>), o MicMac (<https://micmac.ensg.eu/index.php/Accueil>) e o Agisoft (<http://www.agisoft.com>), gerando as nuvens de pontos correspondentes. Posteriormente, as nuvens de pontos foram processadas independentemente e unidas somente no final desse procedimento. Foram ainda realizadas diferentes análises no *software* de código livre CloudCompare (<http://www.cloudcompare.org/>).

4. Resultados

Definida a metodologia de monitorização e programada a campanha de teste, foram feitos os primeiros varrimentos com o LST e os levantamentos com o VANT com a presença dos blocos artificiais sobre o talude rochoso (Figura 3). Foram constituídas 7 estações LST (93 milhões de pontos), obtidas 32 imagens pelo voo vertical (30 milhões de pontos) e 16 imagens pelo voo frontal/oblíquo (9 milhões de pontos) (Figura 5). Apesar da nuvem de pontos gerada a partir das fotografias verticais conter mais dados que a nuvem de pontos gerada pelas fotografias frontais, a informação presente nesta pouco retrata o objeto de estudo em questão pelo que esta foi preterida em detrimento da nuvem de pontos obtida pelas fotografias frontais. Concluída a primeira série, foram simulados os deslizamentos dos blocos colocados artificialmente e efetuados novos varrimentos e levantamentos. Foram constituídas novamente mais 7 estações LST (34 milhões de pontos), obtidas 32 imagens pelo voo vertical (30 milhões de pontos) e 16 imagens pelo voo frontal (8 milhões de pontos).

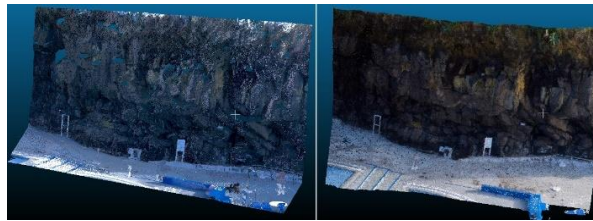


Figura 5 – Nuvens de pontos geradas pelos varrimentos LST e VANT

Considerando que as nuvens de pontos geradas pelo VANT são mais reduzidas que as nuvens de pontos geradas pelo LST (na ordem das dez vezes), não fazia sentido verificar os resultados de cada uma individualmente. Deste modo, procedeu-se à análise dos dados gerados pelo LST e pelo conjunto LST e VANT. Procedeu-se ao registo e orientação de cada nuvem de pontos para o mesmo referencial de modo a possibilitar a comparação entre elas, utilizando para tal as ferramentas disponíveis no *software* CloudCompare. Foram usados pontos bem distribuídos, estáveis, de fácil identificação e fora da zona de monitorização. Posteriormente, as nuvens de pontos geradas no primeiro varrimento foram unidas formando-se uma única nuvem para a campanha com os blocos artificiais sobre o talude rochoso e uma nuvem de pontos para a campanha após a simulação do desprendimento desses blocos artificiais. Posteriormente, foram reduzidas e segmentadas para nuvens de pontos com espaçamento entre pontos de 1 cm de modo a reduzir a complexidade e tempo no tratamento da informação, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Redução e segmentação das nuvens de pontos

Tecnologia	Nuvem	Original (Milhões)	Reduzida (Milhões)	Segmentada (Milhões)
LST	Varrimento 1	93	44	3.5
	Varrimento 2	34	9	2.3
VANT (Obliquo)	Varrimento 1	9	2.3	1.6
	Varrimento 2	8	1.6	1.3

O *software* CloudCompare disponibiliza dois algoritmos de comparação de nuvens de pontos distintos, o C2C e o M3C2. Neste trabalho o algoritmo utilizado para a comparação entre nuvens de pontos foi o C2C apesar deste algoritmo, em comparação ao M3C2, dar somente a indicação das distâncias absolutas entre nuvens de pontos. Assim, começou-se por comparar as duas

nuvens de pontos geradas pelo LST correspondente ao primeiro e segundo varrimento. Utilizou-se como referência a nuvem de pontos do varrimento 1 (a nuvem de pontos mais densa) (Figura 6), obtendo-se a diferença apresentada na Figura 7 – esquerda. Verificou-se que o resultado apresentado evidenciava somente a movimentação de massa positiva ou seja, o acréscimo dos materiais nas suas posições finais, desde os blocos reposicionados até ao cascalho que se desprendeu do talude e se acumulou no chão em consequência dos embates dos blocos no talude. Nessas situações, a nuvem de comparação utilizada (varrimento 2) possuía informação dos locais alterados, enquanto nas localizações de decréscimo a nuvem de pontos não continha nenhuma informação (zona oca). Pressupôs-se assim que se a nuvem de pontos de referência contém informação mas a nuvem de comparação não capta informação após a movimentação apresentando uma zona oca, não se consegue calcular a distância entre as nuvens de pontos sendo o resultado uma zona sem qualquer informação.



Figura 6 – Nuvens de pontos gerada com o LST – Varrimento 1. Correspondência fotográfica

Em oposição, supôs-se que se a nuvem de pontos de referência não contivesse informação mas a nuvem de pontos de comparação possui-se informação o *software* iria detetar essa movimentação. Deste modo, realizou-se uma nova comparação entre as duas nuvens de pontos geradas pelo LST mas invertendo a nuvem de pontos de referência (Figura 7 – direita).

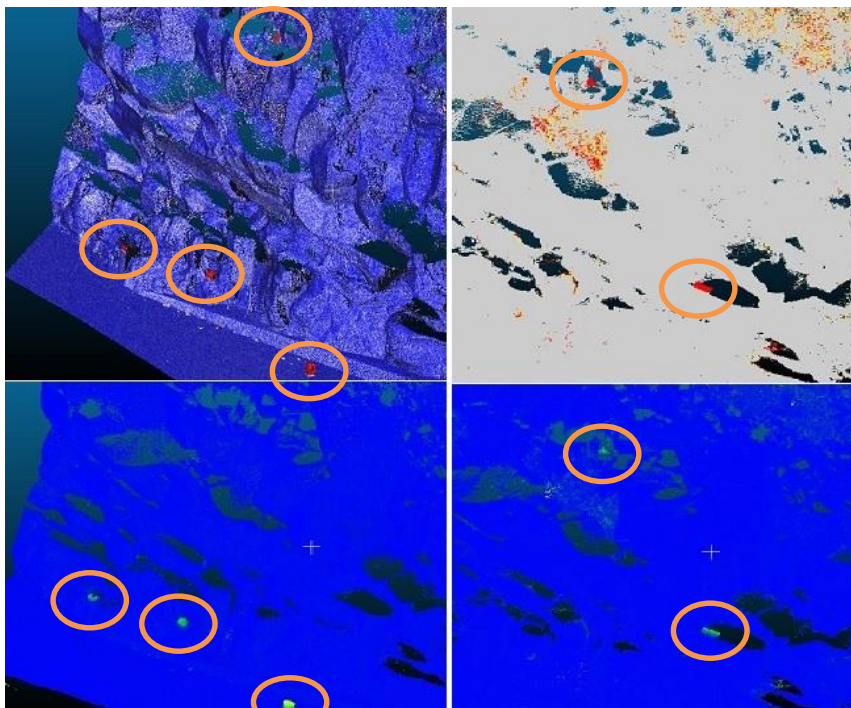


Figura 7 – Diferenças calculadas entre as nuvens de pontos (Esquerda, referência varrimento 1; Direita, referência varrimento 2)

Pela conjugação dos dois resultados verifica-se que, por um lado, são identificados todos os movimentos de massa e quantificada a distância máxima (na ordem dos 30 cm), mas, por outro, a informação não detém qualquer valor sobre acréscimo ou decréscimo de massa. A estratégia usada para ultrapassar o obstáculo criado pelas zonas de sombra naturalmente criadas pela geometria de observação LST passou pela conjugação da informação proveniente dos VANT (Figura 8).

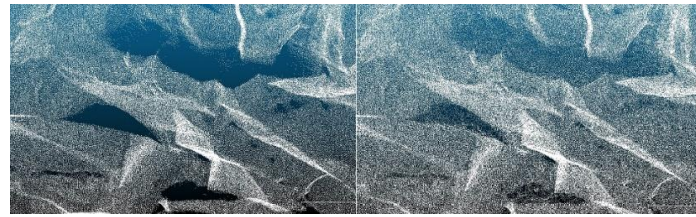


Figura 8 – Nuvem de pontos gerada com o LST completada com a nuvem de pontos VANT

Realizou-se a comparação das duas nuvens de pontos geradas pela composição das nuvens LST e VANT correspondentes ao primeiro e segundo varrimento utilizando-se como referência a nuvem de pontos do varrimento 1. Pelo resultado apresentado, verificou-se a existência da deslocação de massa, contudo, o resultado encontrado não foi o mais satisfatório. As distâncias calculadas entre as nuvens de pontos, na ordem dos 15 cm, não evidenciavam a totalidade de massa deslocada (Figura 9).



Figura 9 – Zoom das diferenças calculadas entre as nuvens de pontos LST e VANT

Constatou-se que, a nuvem de pontos gerada pelo VANT, devido a não terem sido usados pontos de controlo no terreno, apresenta bastante ruído que não foi devidamente reduzido pelas ferramentas de limpeza disponíveis no *software* CloudCompare. Nesse sentido, e considerando que a comparação entre as nuvens de pontos compostas não apresentou resultados suficientemente robustos, foram comparadas as nuvens de pontos intercaladas, isto é, a nuvem de pontos LST com a nuvem de pontos composta pelo LST e VANT reduzindo a superfície de comparação à apresentada na Figura 8. O objetivo desta última comparação foi testar o benefício da nuvem de pontos de comparação após a deslocação do bloco artificial não conter zonas ocas, aliado ao facto da nuvem de pontos do varrimento 1 com LST ser uma nuvem mais “limpa” que a nuvem composta pelo LST e VANT. Foi utilizado o algoritmo de comparação M3C2. A nuvem de pontos de referência foi a nuvem de pontos gerada somente pelo LST e a nuvem de pontos de comparação foi a nuvem de pontos gerada pelo LST e VANT (Figura 10).

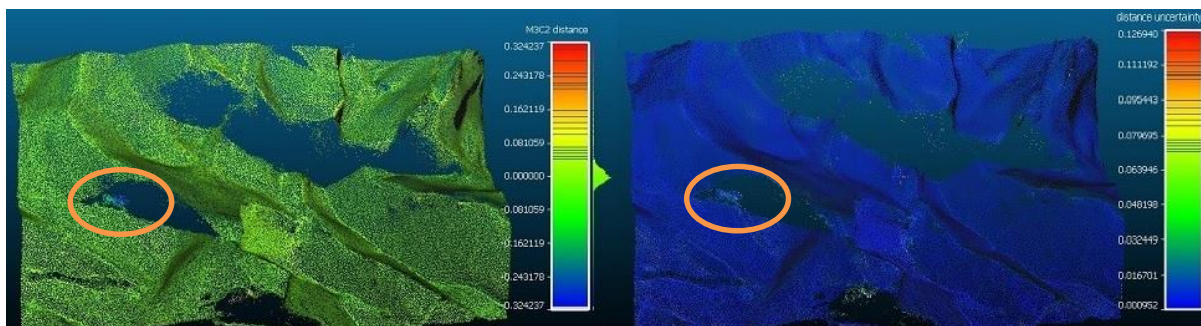
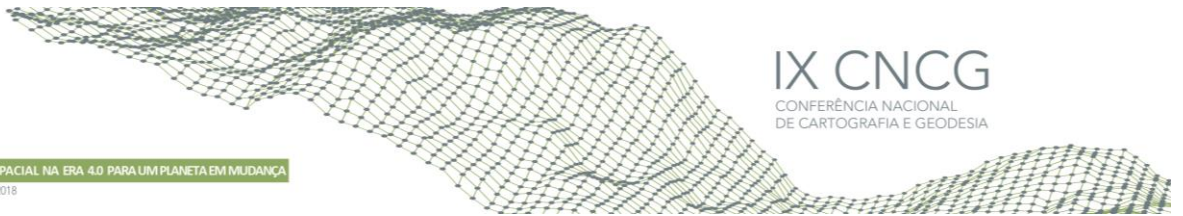


Figura 10 – Diferenças calculadas entre as nuvens de pontos M3C2 (Esquerda, diferença relativa; Direita, incerteza nas medições)

Verificou-se agora que o resultado apresentado já evidenciava a totalidade da movimentação de massa e o decréscimo de materiais, bem como, informação relativa às incertezas na medição das distâncias. Os valores encontrados para as movimentações de massa foram agora idênticos aos valores dos volumes dos blocos artificiais utilizados. Concluída a campanha



de teste foi efetuada uma limpeza geral ao talude rochoso pela empresa concessionária do espaço balnear (Figura 1- centro). A campanha de referência foi realizada durante o mês de junho de 2018 estando programado que as campanhas de monitorização ocorram semestralmente.

5. Conclusões

Os resultados apresentados neste trabalho permitem concluir que a utilização de LST e VANT para monitorização de superfícies irregulares, nomeadamente, taludes rochosos, são de grande interesse. A geração de modelos 3D, pormenorizados e rigorosos oriundos destas duas técnicas permitem a caracterização exata do elemento e acompanhar a sua evolução temporal. A programação minuciosa da campanha com LST e VANT por forma a minimizar as zonas com ausência de informação reveste-se de grande importância, na medida em que uma programação eficiente possibilitará uma melhor cobertura do elemento a monitorizar, bem como, potenciar as capacidades de cada uma das técnicas considerando as suas características específicas. Verificou-se que a nuvem de pontos gerada pelo VANT apresentou, devido a não terem sido usados pontos de controlo no terreno, bastante ruído limitando a sua utilização. É aconselhável, sempre que possível, o uso de pontos de controlo no terreno que permitam eliminar grande parte das incertezas no tratamento da informação gerada.

A nuvem de pontos 3D obtida a partir da utilização de fotografia aérea vertical mostrou não ser adequada para a caracterização da face do talude rochoso pela recolha diminuta de informação, sendo adequado a utilização de imagens oblíquas. No entanto, nuvens de pontos com dezenas de milhões de pontos apresentam limitações de processamento dos dados. Em alternativa, e de acordo com os resultados, uma secção da área de monitorização em áreas mais pequenas, poderá, em determinadas situações, facilitar o tratamento da informação. Da análise feita aos dados obtidos pela comparação das nuvens de pontos, concluiu-se que a comparação entre nuvens de pontos em que, uma delas, ou ambas, possuam zonas ocas, condiciona os resultados.

Torna-se essencial utilizar nuvens de pontos completas tanto como referência como de comparação. O algoritmo M3C2 apresentou resultados muito aceitáveis, pois disponibiliza informação mais pormenorizada do que o algoritmo C2C, pelo que será mais explorado no futuro. A metodologia apresentada permite quantificar distâncias entre nuvens de pontos na ordem do centímetro. Serão ainda, ao abrigo do plano de monitorização do talude rochoso do Complexo Balnear do Lido, realizadas campanhas de monitorização semestralmente, que serão de extrema importância para avaliar a evolução e estabilidade do talude rochoso.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da parceria estabelecida com a Frente MarFunchal, E.M., entidade com a jurisdição do Complexo Balnear do Lido. São igualmente devidos os agradecimentos ao Eng.º Carlos Gonçalves do Laboratório Regional de Engenharia Civil (LREC) pela realização dos levantamentos com o VANT.

Referências Bibliográficas

- CloudCompare v. 2.6.1, <http://www.cloudcompare.org/>, consultada em 15 de julho de 2018.
- Matildes, R.; Redweik, P.; Marques, F. (2015). Técnicas de deteção remota próximas para monitorização do litoral. VIII Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia. Amadora, 29-30 outubro. ISBN: 978-989-8152-10-7.
- Matildes, R. (2016). Técnicas de teledeteção de alta resolução aplicadas à monitorização 3D de arribas litorais: adequabilidade, modelação da informação e resultados. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Preto, P.; Fernandes, I.; Ribeiro, M.A. (2014). Avaliação da estabilidade de um talude rochoso. Comunicações Geológicas, 101, Especial III, Págs. 1143-1146.
- Sui, L.; Wang, X.; Zhao, D.; Qu, J. (2008). Application of 3D laser scanner for monitoring of landslide hazards. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII, part B1, Págs. 277-282.
- Zoog, H.M. (2008). Investigations of High Precision Terrestrial Laser Scanning with Emphasis on the Development of a Robust Close-Range 3D-Laser Scanning System. Doctoral Thesis. Institute of Geodesy and Photogrammetry ETH Zurich, Switzerland.