



COMPARAÇÃO DE TÉCNICAS FOTOGRAMÉTRICAS NA RECONSTITUIÇÃO DIGITAL DO MODELO FÍSICO 3D DO PROLONGAMENTO DO MOLHE LESTE DO PORTO DE SINES

Rui Capitão, Rute Lemos, Conceição J.E.M. Fortes,
Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Avenida do Brasil 101, 1700-066 Lisboa
rcapitao@lnec.pt, rlemos@lnec.pt, jfortes@lnec.pt.

Resumo

Neste trabalho são apresentados os resultados da comparação entre três metodologias para obtenção de modelos tridimensionais de superfície, aplicadas à situação específica do modelo físico 3D do prolongamento do molhe leste do porto de Sines: são elas as aqui designadas técnicas “Kinect”, “Metashape” e “LiDAR”, as duas primeiras executadas em PC *Windows*, e a última executada em *smartphone iOS* com a aplicação “3dScanner”. O produto final das três técnicas são, entre outros, nuvens de pontos, que permitem a obtenção de modelos tridimensionais de superfície.

Assim, são descritas sumariamente as três técnicas, os procedimentos para a sua utilização, assim como os resultados obtidos com essas três técnicas, e faz-se uma comparação entre elas no que diz respeito à sua usabilidade nos ensaios correntes, às suas vantagens e inconvenientes, entre si e em comparação com as técnicas clássicas de análise de resultados dos modelos físicos 3D.

Introdução

Os ensaios em modelo físico são amiúde utilizados como ferramenta fundamental no processo da conceção e dimensionamento de quebra-mares de talude, o que permite estudar facilmente o comportamento hidráulico destas estruturas, para determinadas condições de agitação marítima. O objetivo principal destes ensaios é estudar a estabilidade da estrutura, assim como avaliar galgamentos sobre a mesma, e inferir sobre eventual progressão de danos (se existirem), através da quantificação de movimentos e quedas dos elementos do manto resistente.

Normalmente, a identificação de movimentos e quedas desses elementos é realizada por inspeção visual durante o período do ensaio. No entanto, esta técnica tem algumas limitações entre as quais a de ser muito dependente da experiência do observador. Por isso, para melhor identificar, e mesmo medir esses deslocamentos, têm sido utilizadas outras metodologias, tais como fotogrametria e varrimentos 3D, por exemplo com sensores de posição.

Uma dessas técnicas de levantamentos tridimensionais da envolvente do modelo de quebra-mar é feita com recurso a um sensor de posição *Kinect*, da *Microsoft*[®]. Soares *et al.* (2017) testou o uso deste sensor para detetar movimentos de cubos perfeitos e tetrápodes em dois modelos físicos. Musumeci *et al.* (2018) levou a cabo levantamentos da parte submersa do talude de quebra-mares usando o sensor *Kinect* durante a realização de ensaios 2D com blocos artificiais *Accropode*[®]. Sande *et al.* (2018) realizou testes com vista a uma abordagem da validação dos levantamentos com o sensor *Kinect*, com determinação da variação da sua precisão consoante os parâmetros e distâncias ao sensor usados nos levantamentos.

Outra técnica, baseada em fotogrametria, que utiliza neste trabalho o *software Agisoft*[®] *Metashape*, tem sido utilizada com sucesso em diversos trabalhos, nas mais variadas áreas, p. ex. recentemente na área da monitorização, Kwasi e Jayson-Quashigah (2021). Este *software* usa o método “*Structure-from-Motion*” (SfM) o que permite calcular posições da câmara, e a sua orientação, com ou sem pontos de controlo (GCP), Pepe e Costantino (2020).

Finalmente, julgou-se interessante considerar também uma terceira técnica de baixo custo que consiste na utilização de um simples *smartphone* com sensor LiDAR incorporado e uma aplicação (App) *3dScanner* para realizar varrimento 3D do modelo. Do conhecimento dos autores deste trabalho, esta metodologia não foi efetuada em nenhum trabalho científico, mas à primeira vista apresenta como grandes vantagens a sua portabilidade, facilidade de utilização e custo.

Qualquer uma destas metodologias é capaz de produzir nuvens de pontos, utilizadas na obtenção de modelos de superfície, extração de perfis e cálculos de volumes erodidos. No entanto, a precisão dos resultados obtidos e a facilidade de utilização em ambiente laboratorial depende de técnica para técnica. É, assim, muito importante avaliar o desempenho das diferentes técnicas e identificar as suas principais vantagens e desvantagens. Nesse sentido, testaram-se estas três técnicas de levantamento da envolvente num modelo físico 3D do molhe leste do porto de Sines, no âmbito dos ensaios em modelo físico tridimensional desta estrutura apresentados em Lemos *et al.*, 2021. O objetivo deste estudo é, assim, avaliar a melhor técnica a ser aplicada na identificação e medição de deslocamentos de blocos neste modelo físico.

Nas secções seguintes, são descritas sumariamente essas três técnicas, os procedimentos para a sua utilização, assim como os respetivos resultados obtidos, e faz-se uma comparação entre elas no que diz respeito à sua usabilidade nos ensaios e às suas vantagens e inconvenientes, entre si e em comparação com a técnica clássica de análise de resultados dos modelos físicos 3D (inspeção visual).

Modelo físico

O modelo físico do quebra-mar de talude do molhe leste do porto de Sines foi construído nas instalações experimentais do Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA) do LNEC, num tanque de ondas do Pavilhão de Hidráulica Marítima com 30.0 x 19.6 m², equipado com 2 geradores móveis de ondas irregulares com 6.0 m de comprimento cada, para profundidades de água até 0.75 m (Figura 1).



Figura 1. Modelo nas instalações experimentais do pavilhão de Hidráulica Marítima do LNEC

O modelo, construído e explorado de acordo com a lei de semelhança de *Froude*, representa os últimos 350 m do prolongamento e reproduz um quebra-mar de taludes cujos mantos são constituídos por cubos *Antifer* de 712 kN (no tronco) e de 843 kN (na cabeça e troço adjacente) colocados de modo arrumado. Os mantos de cubos *Antifer* do extradorso e intradorso desenvolvem-se, entre as cotas +13.0 m (ZH) e -25.0 m (ZH), com uma inclinação de 2.5H:1V e 1.5H:1V, respetivamente.



Técnicas usadas

Para a caracterização dos danos do quebra-mar leste de Sines, para cada série de ensaios (conjunto de ensaios com o mesmo período de onda e alturas de onda significativa crescentes) foram efetuados uma inspeção visual, com contabilização do número de blocos movidos, e um levantamento tridimensional da envolvente do modelo do quebra-mar com recurso ao sensor de posição *Kinect*, uma das técnicas de levantamento da envolvente do modelo aqui referidas.

Porém, de modo a permitir comparação entre técnicas, após a conclusão do estudo, no final da última série de ensaios, foram também usadas as outras duas técnicas de levantamento da envolvente do modelo, com recurso a fotografias.

Para isso, utilizou-se a câmara fotográfica de um *smartphone* (*iPhone 12 Pro*) com 12-M-pixel de resolução. Esta captura permitiu obter fotos oblíquas em torno do modelo físico, com ângulos e posições diferentes. Para a reconstrução 3D a partir destas fotografias, foram utilizados dois pacotes de *software*: o *software* comercial *Metashape* (Agisoft, 2021) e a aplicação para telemóvel iOS *3dScanner* (Laan Labs, 2021). As técnicas utilizadas foram a fotogrametria a curta distância e a digitalização 3D, e ambas foram utilizadas para gerar nuvens de pontos.

O tanque encontrava-se vazio durante os períodos de aquisição de fotografias e de varrimentos 3D para todas as técnicas. Descrevem-se essas técnicas a seguir.

Kinect

A primeira técnica usa o sensor de movimento *Kinect* (modelo 2.0), que permite determinação de distâncias/profundidades através de um projetor de infravermelhos e um sensor CMOS (*complementary metal-oxide semiconductor*) monocromático, os quais trabalham complementarmente para “verem” a cena em 3-D, independentemente da quantidade de luz existente no local. O dispositivo contém ainda uma câmara RGB, que adquire os três componentes da cor (vermelho, verde e azul). O sensor *Kinect* utiliza a tecnologia “*Time of Flight*”, para estimar a posição de um ponto relativamente ao sensor, medindo o tempo que um feixe infravermelho demora a percorrer a distância entre o sensor e o objeto e a regressar, considerando a velocidade da luz. Na aquisição das nuvens de pontos, foi utilizado o *software* de uso livre *Kinect Fusion* (Izadi *et al.*, 2011), pertencente ao pacote de *software* construído com *Microsoft SDK*.

A Figura 2 ilustra o equipamento usado para realizar os levantamentos tridimensionais do modelo, bem como a interface do *Kinect Fusion*. O *Kinect* operou, montado num tripé, tendo a distância de aquisição sido de cerca de 2 m acima do modelo, tendo sido ligado a um computador durante toda a fase de aquisição de dados.



Figura 2. Sensor *Kinect* e interface *Kinect Fusion*



Atendendo à grande dimensão do modelo e, de modo a obter a melhor relação entre a distância do sensor ao modelo e a qualidade do levantamento, bem como a otimização do tempo de processamento das nuvens de pontos, os varrimentos foram realizados individualmente, troço a troço, mantendo constantes os parâmetros do sensor utilizados nos levantamentos em todos os troços. Os parâmetros utilizados nos levantamentos foram: resolução do volume do Voxel nas 3 direções: 512 para os 3 eixos; Voxel/m: 256; intervalo de aquisição: entre 0.5 m e 8 m. As nuvens de pontos obtidas foram posteriormente fundidas.

O pós-processamento das nuvens obtidas foi realizado com o *software* de uso livre *CloudCompare* (Girardeau-Montaut, 2006).

Metashape

A segunda técnica usa ferramentas de fotogrametria clássica, num pacote comercial (*Agisoft® Metashape*), aplicada a um conjunto de imagens com grande sobreposição e obtidas a partir de um dispositivo fotográfico que se desloca sobre a área coberta pelo modelo, quer em planta quer em altimetria, o que permite obter imagens ortoretificadas, ortofotomapas, nuvens de pontos e modelos digitais de terreno (DTM). A Figura 3 ilustra a utilização deste *software*, o qual apresenta uma interface com o utilizador muito amigável, e permite a realização das tarefas necessárias de uma forma fluida e eficiente.

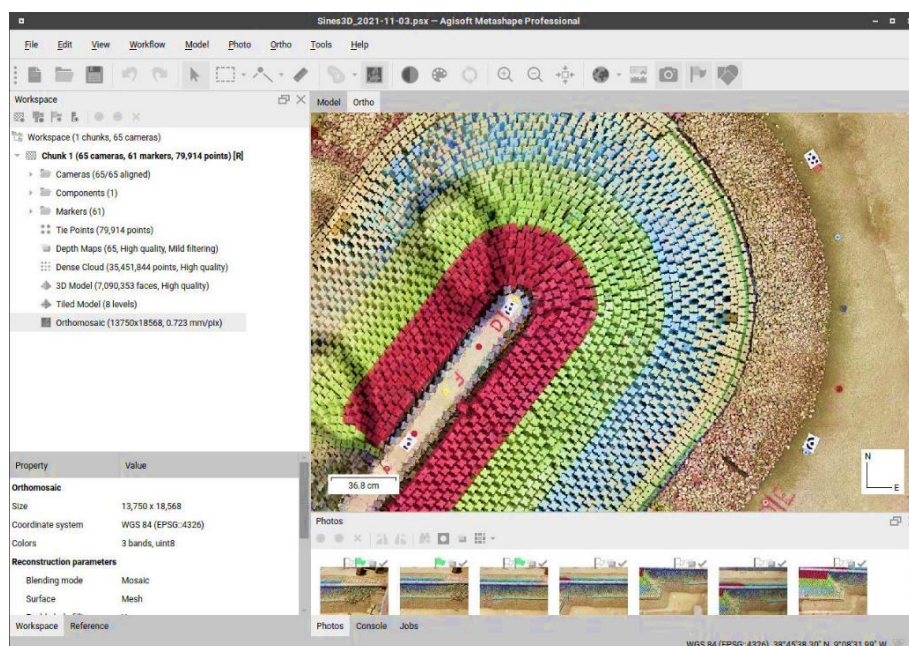


Figura 3. Interface *Metashape*

LiDAR

Finalmente, a terceira técnica usa, num mero dispositivo móvel (*smartphone Apple iPhone 12 Pro*), e através de uma simples *App* (gratuita) para iOS (*3dScanner*), métodos fotogramétricos sobre a aquisição, com varrimento 3D, realizada com um sensor LiDAR (*Light Detection And Ranging*), de deteção remota, que existe montado nesse simples *smartphone* não profissional, Figura 4.

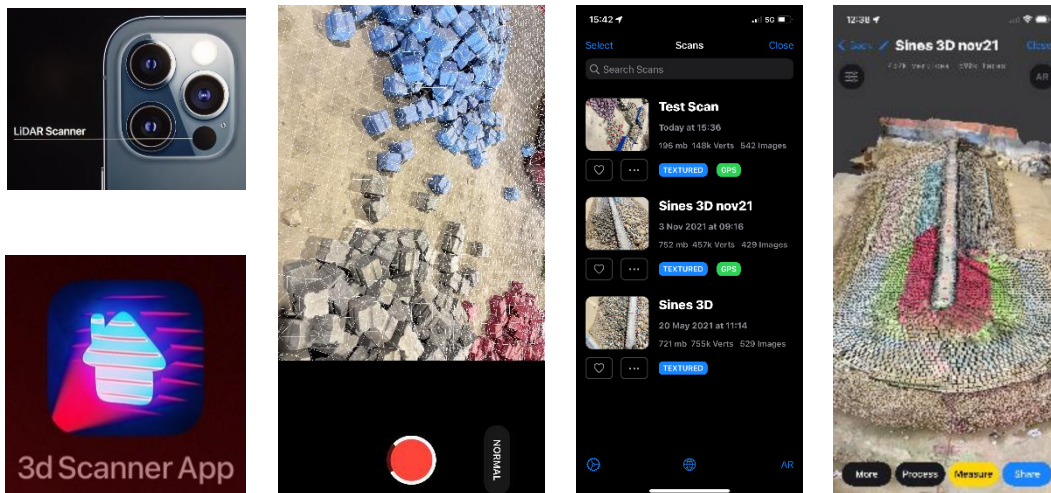


Figura 4. Sensor LiDAR do iPhone 12 Pro e aspetos da interface da App iOS 3dScanner

Com esta técnica, as imagens do modelo são obtidas com o sensor LiDAR do smartphone, o que permite medir a velocidade da luz refletida pelos elementos do modelo e conseqüentemente obter as correspondentes distâncias e outra informação importante do mesmo modelo. A determinação das distâncias aos objetos é realizada através de um *laser* pulsado que mede a diferença de tempo entre a emissão do pulso *laser* e a deteção do sinal refletido, de forma semelhante à tecnologia do radar, que utiliza ondas de rádio.

Sendo esta tecnologia, em geral, de muito elevado custo, achou-se interessante utilizar esta versão LiDAR portátil incorporada num simples equipamento móvel, de muito menor custo, para averiguar sobre a sua eventual utilidade neste contexto da experimentação com modelos físicos.

Metodologia para comparação de técnicas

Para permitir adequada comparação das três técnicas acima descritas, foi realizado um levantamento topográfico de alguns pontos do modelo, de modo a obter as coordenadas desses pontos, para serem usados como pontos de controlo (GCP), ver Figura 5.

Esses pontos de controlo foram posteriormente usados para georreferenciar as nuvens de pontos resultantes de cada técnica de levantamento. Os pontos de controlo (marcadores a verde na Figura 5) estavam localizados no coroamento do modelo e também no chão do tanque na zona adjacente ao pé do talude de todo o modelo. As suas coordenadas (x,y,z) foram obtidas através de um levantamento com uma estação total "Leica TCR307".

Adicionalmente, foram colocados mais marcadores à volta do modelo, com vista a criar pontos de referência visual (marcadores a azul na Figura 5), os quais não foram, contudo, georreferenciados.

Tanto para a técnica *Metashape* como para a técnica LiDAR foram capturadas fotografias com recurso à câmara fotográfica do smartphone, na primeira realizando fotografias de forma manual tentando obter imagens oblíquas cobrindo todo o modelo com sobreposição de pelo menos 80%, o que resultou em 65 fotografias de 12 Mpixel, e na segunda realizando o varrimento 3D, que no final produziu fotografias também oblíquas, mas de menor resolução, de forma automática, de acordo com o algoritmo de captura de imagens da aplicação empregue nesta técnica (*3dScanner App*), o que resultou em 429 fotografias de ~3 Mpixel, ver Figura 6 e Tabela 1.



Figura 5. Pontos de controlo usados para georreferenciar as nuvens de pontos (a verde) e marcadores de referência visual (a azul)



Figura 6. Captura de imagens à volta do modelo para as técnicas *Metashape* e LiDAR

A Tabela 1 mostra as características do equipamento e *software* utilizados e os produtos gerados. O produto final das três técnicas são nuvens de pontos, as quais permitem a obtenção de modelos tridimensionais de superfície (MDT) e, a partir destes, a extração de perfis e o cálculo de volumes erodidos.

As nuvens de pontos obtidas com *Kinect* e *Metashape* foram referenciadas a partir dos pontos de controlo, utilizando a ferramenta *Registration* do *software CloudCompare*. O erro médio quadrático $ERMS$ encontrado no alinhamento das nuvens de pontos obtidas com *Kinect* e *Metashape* foi de 0.00971 e de 0.01006 respetivamente.

O parâmetro $ERMS$ traduz as diferenças médias encontradas entre os pontos de controlo utilizados no alinhamento das nuvens e os mesmos pontos após o alinhamento. Assim sendo, o erro é semelhante em ambas as técnicas, da ordem de 0.01 m, e, portanto, muito pequeno.



No caso da nuvem LiDAR, obtida com *3dScanner*, não foi possível, devido à insuficiente resolução da nuvem (i.e., devido à baixa densidade de pontos), distinguir os pontos de controlo localizados na base do modelo, sendo apenas possível distinguir alguns pontos do coroamento. Assim sendo, o alinhamento foi também realizado com a ferramenta *Registration* mas, neste caso, utilizaram-se pontos homólogos da nuvem obtida com o *software Metashape*. Os pontos homólogos utilizados foram os marcadores colocados na base do talude e alguns pontos de controlo localizados no coroamento (ver Figura 5).

Tabela 1. Características do equipamento e *software* utilizados

	<i>Kinect</i>	<i>Metashape</i>	LiDAR
Tipo de captura	3D Scan	Fotografia	3D Scan
Direção	Nadiral	Oblíqua	Oblíqua
Resolução	-	4032 × 3024 px ²	1920 × 1440 px ²
Nº de aquisições	7 varrimentos	65 fotos	1 varrimento (429 fotos)
Distância média ao modelo	2.0 m	~1.5 m	~1.0 m
Software usado no processamento	<i>SDK – Kinect Fusion</i>	<i>Metashape</i>	<i>3dScanner</i>
Produtos obtidos	nuvem de pontos + MDT + perfis + volumes erodidos, etc.		

Resultados

Para a abordagem comparativa das três técnicas utilizou-se uma zona do extradorso do tronco e a zona da cabeça. A avaliação de diferenças entre as técnicas baseou-se no cálculo das diferenças altimétricas entre perfis homólogos, utilizando uma aplicação MATLAB que permite a extração e cálculo das diferenças altimétricas, permitindo também obter os valores de diferenças médios, máximos e mínimos ao longo do talude, em cada um dos perfis (Lemos, 2021). A localização desses perfis, objeto de comparação, é ilustrada na Figura 7.

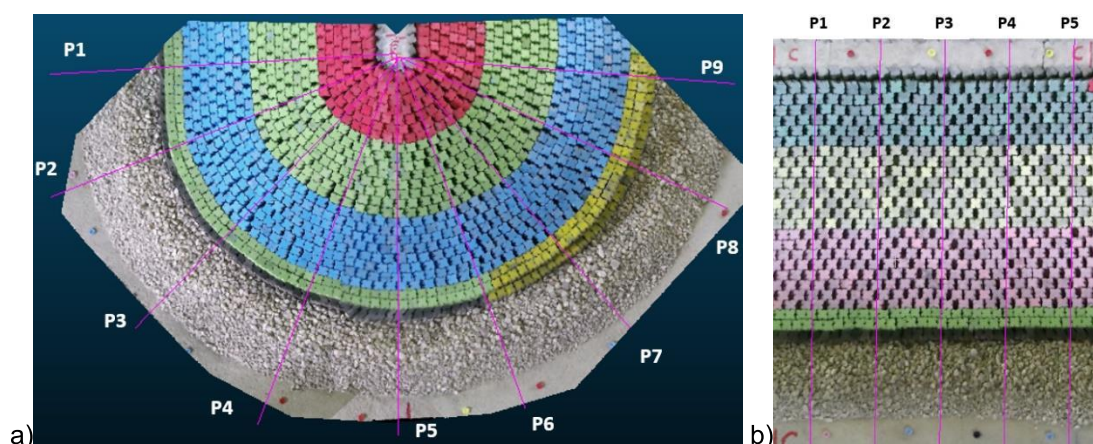


Figura 7. Localização dos perfis a comparar. a) Cabeça, b) Tronco.

A Figura 8 ilustra as três nuvens após o seu alinhamento (com as limitações atrás referidas), bem com as zonas objeto da comparação.

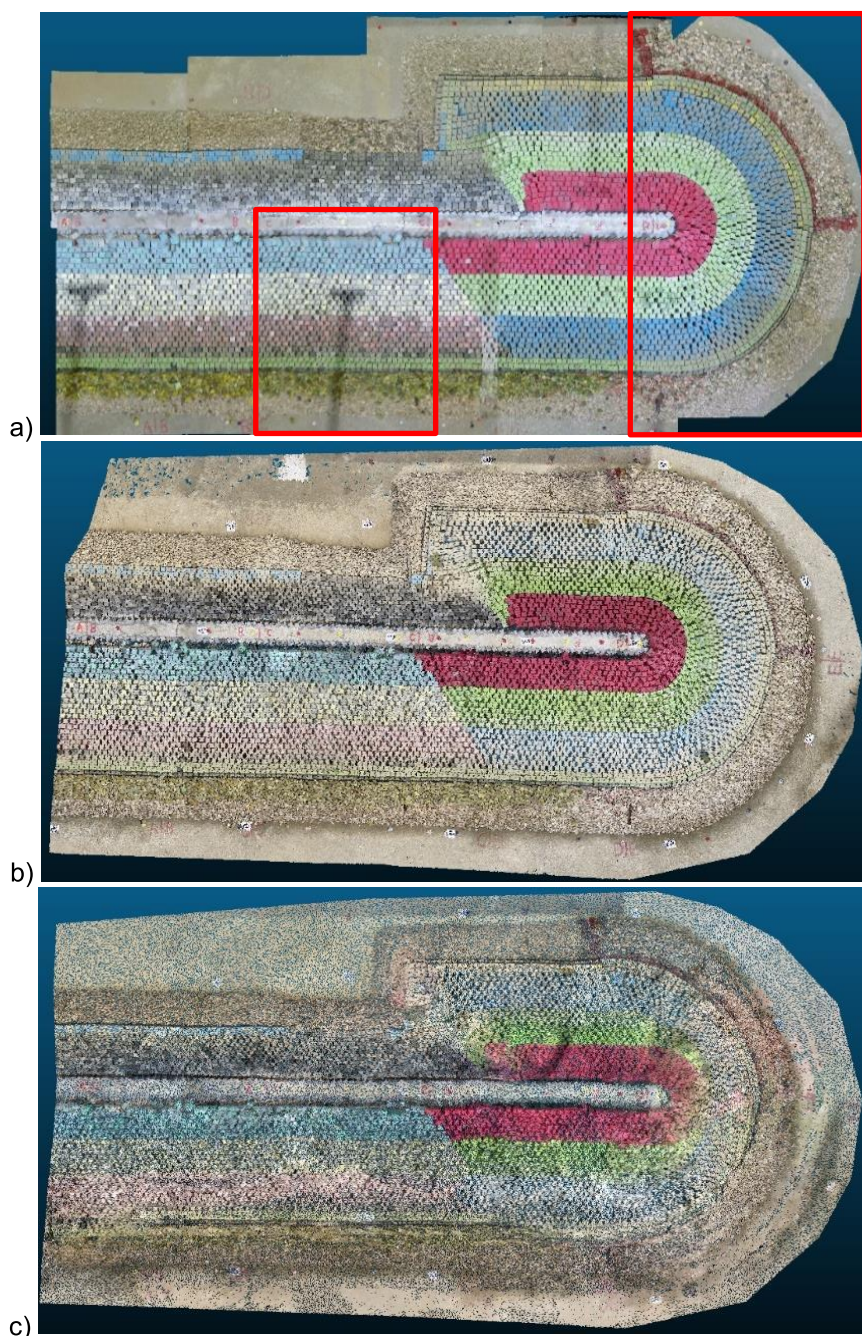


Figura 8. Nuvens de pontos obtidas com: a) *Kinect*, b) *Metashape*, c) *LiDAR*

Numa primeira abordagem à verificação da qualidade das nuvens obtidas, foram criados mapas de isolinhas relativos a uma zona do tronco e da cabeça (Figura 9 e Figura 10, respetivamente). Verificou-se que a qualidade do levantamento *LiDAR* não permitia obter resultados que conduzissem a uma comparação fidedigna com as outras duas técnicas, como se pode observar na comparação dos perfis extraídos com estas três técnicas, tanto no tronco do extradorso (perfil P1), como na cabeça do quebra-mar (perfil P5), ver Figura 11.

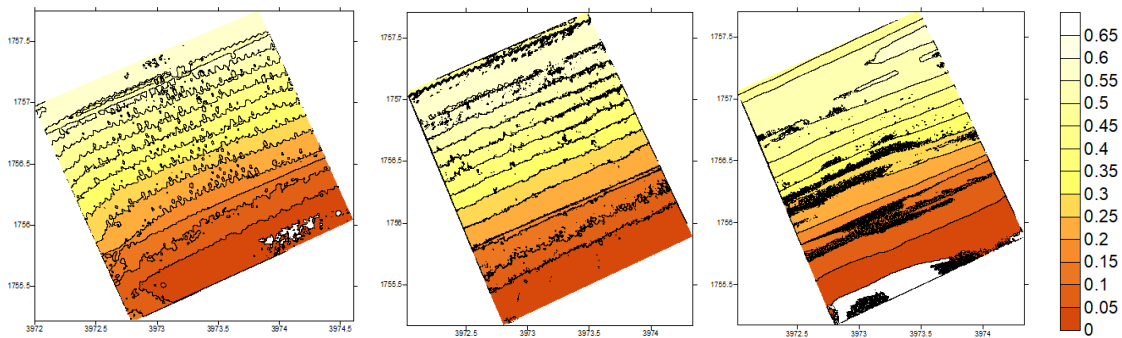


Figura 9. Mapa de isolinhas do tronco (em m). a) *Kinect*, b) *Metashape*, c) *LiDAR*

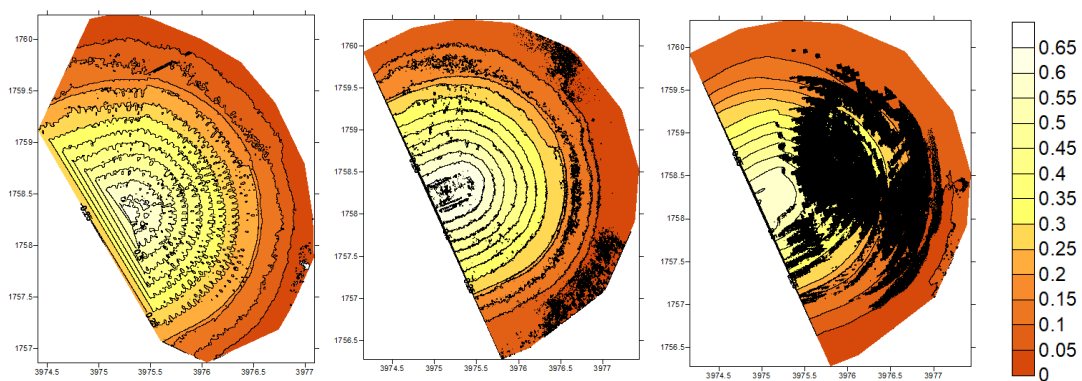


Figura 10. Mapa de isolinhas do tronco (em m). a) *Kinect*, b) *Metashape*, c) *LiDAR*

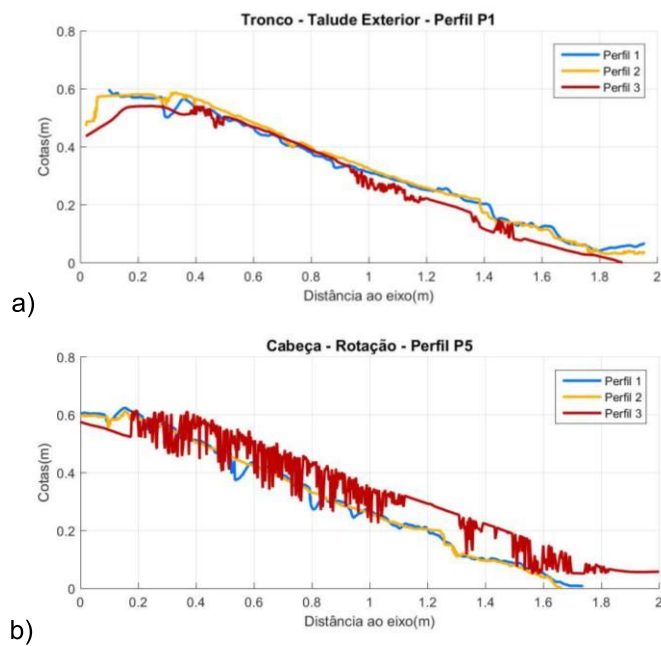


Figura 11. Perfis comparativos das três técnicas utilizadas: *Kinect* (Perfil 1), *Metashape* (Perfil 2) e *LiDAR* (Perfil 3). a) Tronco (P1); b) Cabeça (P5)

Assim, de aqui em diante foram apenas utilizados os levantamentos realizados com o sensor *Kinect* e com o *Metashape*, os quais foram aferidos, fazendo uma sobreposição dos perfis levantados com o perfil de projeto. A Figura 11 ilustra a sobreposição na zona do tronco (a) e na zona da cabeça (b). Verificou-se que ambos os levantamentos acompanham o andamento do talude, tendo-se obtido uma concordância adequada à validação das duas técnicas.

As diferenças ocorridas no pé do talude para ambos os levantamentos não deverão ser contabilizadas nesta comparação, atendendo a que estas se devem aos estragos verificados na berma do pé do talude (em enrocamento) no final do ensaio.

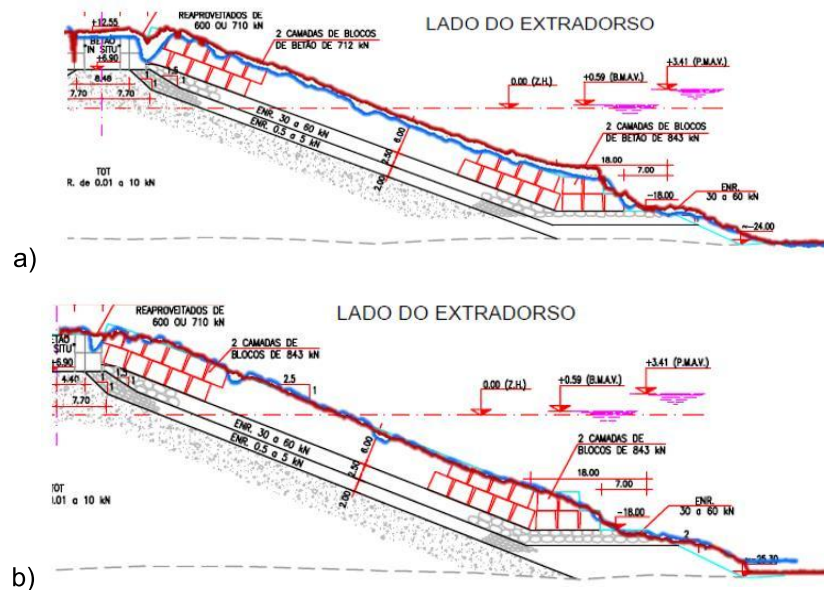


Figura 12. Aferição dos perfis obtidos com perfil de projeto utilizando as metodologias *Kinect* (azul) e *Metashape* (vermelho). a) No tronco, b) Na cabeça

Na Tabela 2 e na Tabela 3, respetivamente para os perfis do tronco e da cabeça do quebra-mar, são apresentadas as diferenças em altimetria entre os perfis obtidos com ambos os levantamentos, onde é possível visualizar os valores absolutos de diferenças de cotas médias (*Dif Med abs*), mínimas (*Dif Min abs*) e máximas (*Dif Max abs*) entre os levantamentos realizados com as duas técnicas agora em análise (*Kinect* e *Metashape*).

Tabela 2. Diferenças altimétricas entre as duas técnicas, obtidas nos perfis P1 a P5 do tronco

Perfil	Dif_Med	Dif_Min	Dif_Max	Dif_Med abs	Dif_Min abs	Dif_Max abs
1	0.009	-0.038	0.041	0.014	0	0.041
2	0.018	-0.044	0.054	0.02	0	0.054
3	0.018	-0.021	0.042	0.018	0	0.042
4	0.02	-0.023	0.063	0.021	0	0.063
5	0.017	-0.029	0.047	0.018	0	0.047

Constata-se que nos 5 perfis do tronco as diferenças médias encontradas foram inferiores a 0.021 m, sendo a diferença máxima igual ou inferior a 0.054 m e a mínima de 0 (ver (Tabela 2)). Por seu lado, as diferenças médias encontradas nos nove perfis da cabeça são inferiores a 0.012 m, sendo a diferença máxima igual ou inferior a 0.073 m e a mínima de 0 (ver Tabela 3).



Tabela 3. Diferenças altimétricas entre as duas técnicas, obtidas nos perfis P1 a P9 da cabeça

Perfil	Dif_Med	Dif_Min	Dif_Max	Dif_Med abs	Dif_Min abs	Dif_Max abs
1	-0.01	-0.07	0.043	0.012	0	0.07
2	-0.008	-0.051	0.052	0.011	0	0.052
3	-0.003	-0.046	0.033	0.011	0	0.046
4	-0.005	-0.036	0.041	0.01	0	0.041
5	0	-0.031	0.073	0.011	0	0.073
6	-0.002	-0.032	0.055	0.008	0	0.055
7	-0.003	-0.022	0.04	0.008	0	0.04
8	0	-0.029	0.054	0.008	0	0.054
9	0.003	-0.028	0.031	0.006	0	0.031

Verifica-se assim que as técnicas (Sensor *Kinect* + *Kinect Fusion* e Fotos + *Metashape*) produzem resultados muito bons e comparáveis entre si, bastante melhores do que os obtidos com a técnica LiDAR + *3dScanner*, nas condições limitativas em que esta última foi executada.

Efetivamente, apesar de os equipamentos LiDAR clássicos permitirem elevadas precisões, a sua implementação no *smartphone* utilizado neste trabalho terá forçosamente que ser muito restringida nas suas capacidades, dados o tamanho e custo tremendamente mais reduzidos desse equipamento face às soluções clássicas LiDAR. Por outro lado, a aplicação iOS usada (*3dScanner*), talvez por ser de acesso gratuito, tem severas limitações na resolução da fotografias capturadas durante o processo de “renderização” do modelo 3D, assim como limitações na resolução dos produtos finais (nuvens de pontos). Eventualmente, terão que ser realizados mais testes com esta ferramenta (ou outras que possibilitem o uso do sensor LiDAR, mais adequadas ao nível de resolução pretendido), utilizando diferentes distâncias e tempos de aquisição da nuvem de pontos, de modo a otimizar os seus resultados no que diz respeito à densidade da nuvem de pontos obtida.

Conclusões

Neste trabalho, apresentam-se três técnicas de digitalização fotogramétrica e 3D para identificação de alterações em elementos de modelos físicos de quebra-mares em laboratório.

Os resultados obtidos permitem concluir que a técnica LiDAR de baixo custo (*smartphone* com sensor LiDAR + app *3dScanner*) não produz, nas condições descritas neste trabalho, resultados aceitáveis no que se refere à definição e precisão dos resultados, embora esta metodologia possa ser utilizada de forma muito útil como primeiro indicador da evolução dos danos no modelo durante uma série de ensaios. A sua utilização é muito rápida, muito fácil e sem custos.

Por outro lado, e deixando, pela razão acima, esta técnica de lado, as restantes duas técnicas (sensor *Kinect* + *Kinect Fusion* e Fotos + *Metashape*) mostraram produzir resultados muito bons e comparáveis entre si, como se pode constatar nos resultados apresentados nas Tabelas 1 e 2. A técnica *Kinect* produz resultados de grande qualidade, comparável à técnica *Metashape*, mas tem a desvantagem face à anterior de ser de utilização mais complexa e morosa e de requerer mais elevada curva de aprendizagem do *software* de processamento *Kinect Fusion*, que é menos amigável com o utilizador do que o *software Metashape*. Porém, a técnica *Metashape* tem a desvantagem de ser um produto comercial (*Agisoft Metashape*), cuja licença de utilização obriga a investimento inicial mais elevado.

Porém, todas as técnicas aqui apresentadas revelaram, no âmbito deste trabalho, espaço para aperfeiçoamento, pelo que este tema deverá em futuro próximo ser retomado para tentar obter mais avanços.



Agradecimentos

Agradece-se à Fundação para a Ciência e a Tecnologia pelo financiamento aos projetos “BSafe4Sea”, ref. PTDC/ECI-EGC/31090/2017 e “To-SeaAlert”, ref. PTDC/EAM-OCE/31207/2017. Agradece-se também a ajuda dos colegas do LNEC, Maria João Henriques e Francisco Sancho, na utilização do *software Metashape*, César Costa e Rui Reis, no levantamento com *Kinect* e Jan Hilário no levantamento com estação total dos pontos de controlo.

Referências Bibliográficas

Agisoft (2021). *Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.7*. Agisoft LLC. https://www.agisoft.com/pdf/Metashape-pro_1_7_en.pdf.

Girardeau-Montaut, D. (2006). “*Détection de changement sur des données géométriques tridimensionnelles*”. PhD thesis.

Izadi, S.; Kim, D.; Hilliges, O.; Molyneaux, D.; Newcombe, R.; Kohli, P.; Shotton, J.; Hodges, S.; Freeman, D.; Davison, A.; Fitzgibbon, A. (2011) - *Kinect Fusion: real-time 3D reconstruction and interaction using a moving depth camera*.

Kwasi, A.; Jayson-Quashigah, P. (2021). *Unmanned Aerial Systems. Theoretical Foundation and Applications. Advances in Nonlinear Dynamics and Chaos (ANDC). Chapter 7 - UAV photogrammetry and 3D reconstruction: application in coastal monitoring 2021*, Pages 157-174.

Laan Labs (2021). 3d Scanner App™. LIDAR Scan in 3D. <https://apps.apple.com/us/app/3d-scanner-app/id1419913995>.

Lemos, R.; Silva, L.G., Fortes, C.J. (2022) – *3ª fase de ampliação do molhe leste do porto de Sines - Ensaios em modelo reduzido. Ensaios tridimensionais de estabilidade e galgamentos*. Relatório 12/2022– DHA/NPE.

Lemos, R. (2021). *Procedimentos para pós-processamento de nuvens de pontos provenientes de levantamentos aerofotogramétricos com drone*. Relatório BSafe4Sea 01/2021, abril.

Pepe, M.; Costantino, D. (2020). *Techniques, tools, platforms and algorithms in close range photogrammetry in building 3D model and 2D representation of objects and complex architectures*. *Comp.-Aided Des. Applic.*, 18 (1) (2020), pp. 42-65, 10.14733/cadaps.2021.42-65.