



ESTUDO DE UM CANAL DE NAVEGAÇÃO COM APOIO EM FOTOGRAFIA AÉREA COM DRONE

Alexandre Santos-Ferreira¹; Elisabete Dias²

^{1,2}DGRM; [1sferreira@dgrm.mm.gov.pt](mailto:sferreira@dgrm.mm.gov.pt); [2edias@dgrm.mm.gov.pt](mailto:edias@dgrm.mm.gov.pt)

Resumo

O estudo de um canal de navegação fluvial, pressupõe o estudo da sua fisiografia e geomorfologia, isto é, para além da hidrografia dos fundos, é necessária a caracterização das formações geológicas que nele ocorrem e que constituem a natureza desses fundos, sendo por isso fundamental e essencial a elaboração de um modelo digital de terreno. Como é do conhecimento comum, a extensão de um canal de navegação e a natureza do leito do rio torna muitas vezes inviável uma prospeção geológica e geotécnica tradicional, pois para além de morosa é onerosa, pelo que soluções alternativas adequadas são cada vez mais importantes e urgentes.

A utilização de uma prospeção recorrendo à tecnologia LIDAR (Light Detection And Ranging) é para a maioria dos organismos economicamente dispendiosa, e não muito prática. Assim, no presente estudo de um canal navegável num troço do rio Guadiana, compreendido entre o Pomarão e Mértola, implementou-se um sistema alternativo que se considera adequado, menos dispendioso e de aplicação simples. Esse sistema consiste no uso de fotografias aéreas obtidas a partir da utilização de VANT (veículo aéreo não tripulado).

Como se sabe a fotografia aérea não penetra normalmente na água, no entanto, verificou-se que se a campanha fotográfica, com fotografias tiradas na vertical, for executada ao amanhecer, com luz rasante, a restituição aerofotogramétrica permite obter um modelo digital do terreno fiável, na forma, ainda que o valor das profundidades não seja exato, podendo o modelo digital do terreno assim obtido ser complementado com um levantamento topo hidrográfico tradicional simplificado, o que permite a produção fácil das condições geomorfológicas do rio e, assim, a definição fácil do canal navegável a implementar.

Introdução

A necessidade de implementar a continuação do canal navegável de V. Real de Sto António ao Pomarão até Mértola, e tendo em atenção que este trecho, mais sinuoso e com fundos rochosos frequentes e, na sua maior parte de calhau rolado e blocos de rocha, logo com condições de regularização de fundos mais exigentes do que os troços já executados, levou a que se estudassem métodos de caracterização de fundos que fossem rápidos de executar, e económicos.

Foi, assim, decidido proceder a estudos com recurso a métodos económicos, baseados na fotografia aérea obtida com veículos aéreos não tripulados (VANT), vulgo drones. Neste trabalho apresenta-se a metodologia que foi implementada, tanto para o zonamento das condições geotécnicas dos fundos do canal, como para a elaboração do modelo digital de elevação (MDE) que serviu de base aos estudos do canal.

Localização

A área de estudo a que corresponde o projeto com vista à definição de um canal navegável do rio Guadiana está compreendido no troço entre o Pomarão e Mértola e insere-se na zona sul do Parque Natural do Vale do Guadiana (PNVG), tendo este parque uma extensão em área de cerca de 69 773 ha, abrangendo parte dos concelhos de Mértola e Serpa, Figura 1 (ICNF, 2021).

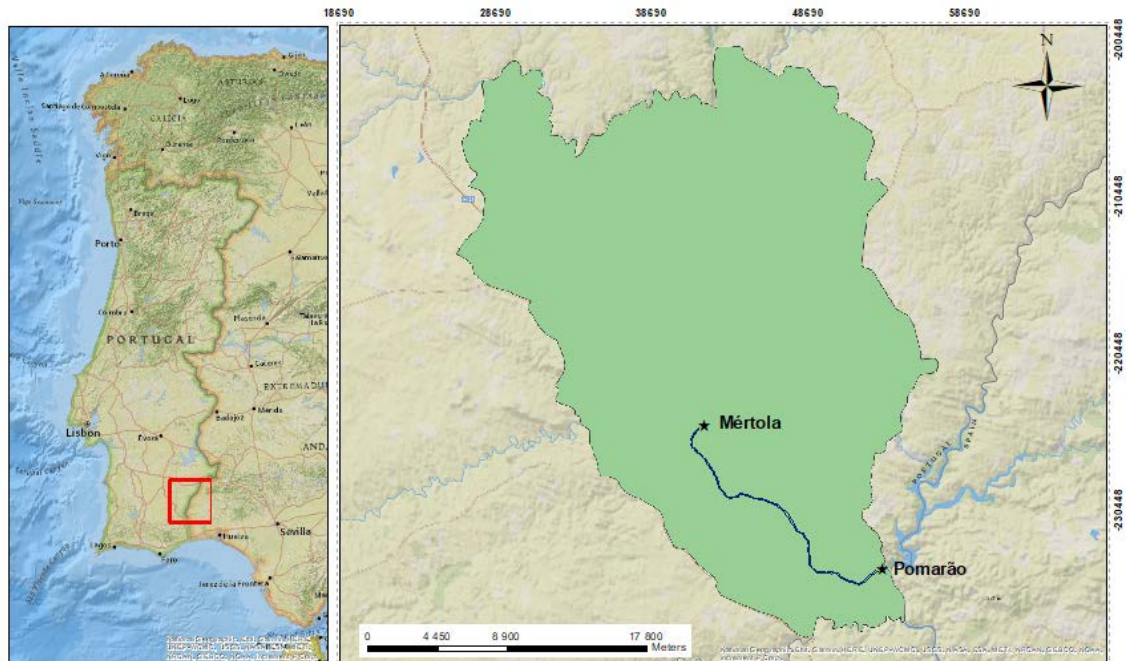


Figura 1. Parque Natural do vale do Guadiana (adaptado de ICNF, 2021).

Canal de navegação Pomarão – Mértola

Desde a foz do Guadiana até ao Pomarão, o canal de navegação foi dimensionado tendo como navio de projeto uma embarcação com 70m de comprimento, boca de 10m, e calado de 1.80mZH. deste modo, desde a foz até ao Pomarão o canal dimensionado tem uma largura mínima de 30m, com o fundo à cota -2.00mZH e com curvas com raio mínimo de 210m.

O canal assim definido permite a navegação de embarcações de maiores dimensões do que o navio de projeto, desde que disponham de meios auxiliares de navegação. Assim, o Pomarão já foi visitado por um navio com 100m de comprimento, após o estabelecimento do canal.

Para o dimensionamento, e para a navegação futura no rio, para além do regolfo, haverá que contar com os atrasos da maré, que se faz sentir até aos açudes a montante de Mértola.

Condições de navegabilidade necessárias

Com a embarcação definida para o novo troço, com 40m de comprimento, 7m de boca e calado máximo de 1.80mZH, o canal poderá ter dimensões mais reduzidas. Considerando que a largura de 30m torna a navegação mais confortável, ela poderá ser reduzida para 25 ou mesmo 20m, estando a ser estudadas estas três larguras como alternativas. As curvas do canal poderão ter um raio substancialmente menor, da ordem dos 120m, integrando-se melhor no traçado mais sinuoso do rio, pretendendo-se que a cota de fundo se mantenha nos -2.00m ZH. Em fase de projeto de execução poderá ser estudada outra cota, mantendo o calado, se se tiver em consideração o regolfo que se observa no canal do rio, atendendo a que o Pomarão está a 50 km da foz. É igualmente necessário considerar as zonas em que podem ocorrer assoreamento e erosões (Santos-Ferreira, A e Santos, C., 2018)

Enquadramento geológico e litoestratigrafia

As formações rochosas presentes na área do Parque do vale do Guadiana são o testemunho de uma história de milhões de anos que em termos geológicos se definem por estarem inseridas na



Zona Sul Portuguesa (ZSP), uma das unidades do Maciço Hespérico, também designado por Maciço Antigo (Julivert *et al.*, 1974; Ribeiro *et al.*, 1979).

Nesta área observa-se a ocorrência de rochas metamórficas, tais como: xistos, grauvaques, metarenitos, siltitos, conglomerados, que em termos litoestratigráficos se caracterizam por formações rochosas que datam do Carbónico e Devónico, sendo constituídas pelas seguintes unidades, da mais recente para a mais antiga, Figura 2 (Oliveira *et al.*, 2007).

- a) Grupo do Flysch do Baixo Alentejo (período Carbónico – 359 a 299 Ma) – representa a sedimentação detrítica profunda, do tipo turbidítico, que foi sucessivamente preenchendo depressões submarinas. Deste Grupo salienta-se a ocorrência da Formação de Mértola, constituída por bancadas, de espessura centimétrica a métrica, de grauvaque, que alternam com xistos argilosos, grauvaques, metarenitos e siltitos, e ainda níveis de conglomerados.
- b) Faixa Piritosa (período Devónico Médio a Superior – 393 a 359 Ma) – constitui uma das mais importantes províncias metalogénicas do mundo para jazigos de sulfuretos maciços de metais básicos associados a rochas vulcânicas e sedimentares. Nela estão incluídos o Grupo Filito-Quartzítico (GFQ), sobre o qual assenta em concordância o Complexo Vulcano-Sedimentar (CVS).
 - i. Grupo filito-quartzítico (GFQ) - unidade detrítica composta por filitos e quartzitos, com intercalações de siltitos e grauvaques.
 - ii. Complexo Vulcano-sedimentar (CVS) - representado por uma associação heterogénea de rochas vulcânicas e sedimentos de origens diversas que se depositaram em meio marinho, e que hospedam os jazigos de sulfuretos maciços e de manganês, cujas unidades litológicas são representadas por vulcanitos ácidos, xistos e filitos.

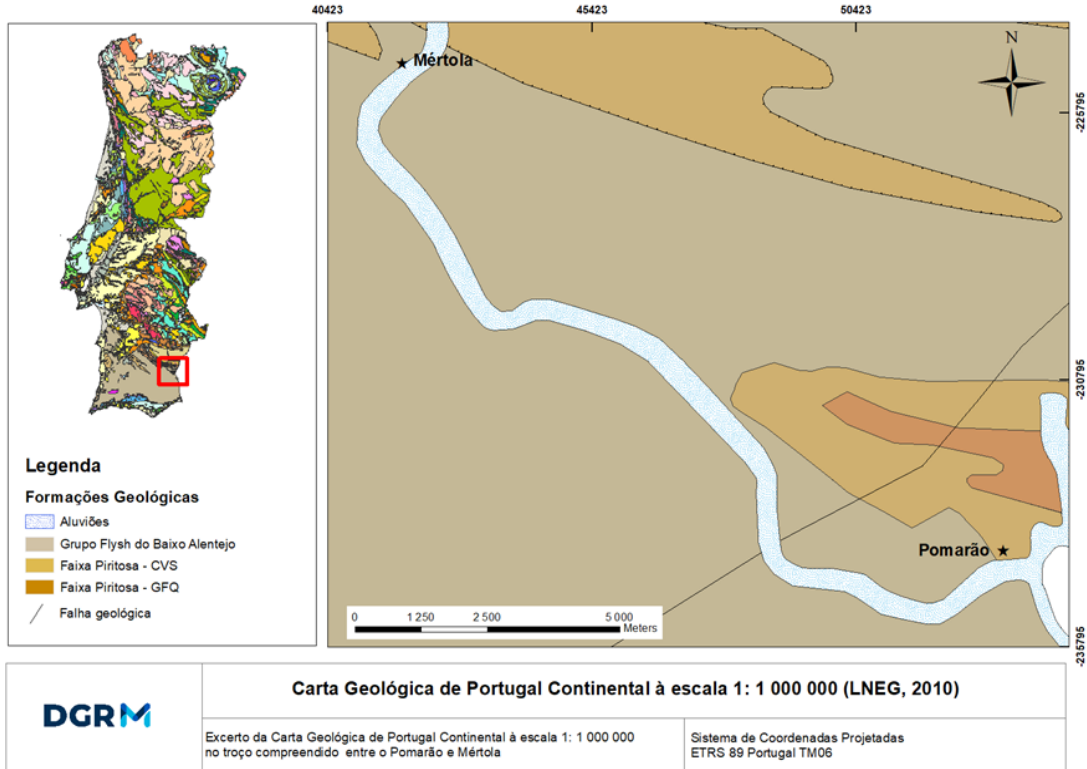


Figura 2. Excerto da Carta Geológica de Portugal Continental à escala 1:1 000 000 (adaptado de Ribeiro *et al.*, 2010).



Pela análise da carta geológica, observa-se que o canal de navegação corresponde às aluviões sobrejacentes às formações do Grupo do Flysch do Baixo Alentejo constituído pela alternância de xistos argilosos, grauvaques, metarenitos, siltitos e conglomerados.

Topohidrografia

Para o estudo do novo troço do canal de navegação foram utilizados levantamentos hidrográficos tradicionais, e levantamentos com restituição aerofotogramétrica a partir de voos com drone. A cobertura fotográfica com drone, não permite a penetração na água; no entanto, com luz rasante, detecta o tipo de ondulação que se verifica em cada ponto, que permite, como se mostrará adiante, com as características geológicas e geotécnicas do fundo, permitindo, nas zonas em que é necessário proceder a escavação, definir o tipo de material e granulometria do material a remover.

Levantamentos topo-hidrográficos

Foram utilizados três levantamentos topo-hidrográficos deste troço do rio Guadiana, a saber:

- Levantamento total do Guadiana, desde a foz até Mértola, com muito pormenor, realizado em 1995 pelas brigadas hidrográficas da então Direção Geral de Portos, Navegação e Transportes Marítimos;
- Um levantamento de verificação, com duas fiadas de pontos, entre Pomarão e Mértola, realizado em 2012 pelo Instituto Hidrográfico; entre Pomarão e Vila Real de Santo António este levantamento é muito detalhado, tendo servido de base o projeto dos troços do canal navegável VRSA- Alcoutim, e Alcoutim-Pomarão;
- Um levantamento de verificação entre Pomarão e Mértola, realizado entre Pomarão e Mértola, realizado em Maio de 2021 pelo Instituto Hidrográfico.

Na Figura 3 apresenta-se um extrato desses levantamentos, no troço junto a Mértola.



Figura 3. Levantamentos hidrográficos utilizados: DGPNTM, de 1995, IH de 2012 e IH de 2021.

Levantamento VANT

Depois de várias tentativas, com resultados de restituição de qualidade variável, executaram-se voos em maio de 2021, confirmados com voos em setembro de 2021, às 8h00 da manhã, de modo a ter-se luz rasante. As fotos tinham uma sobreposição mínima de 80%.

Com base nessa cobertura fotográfica, procedeu-se à elaboração de um ortofotomapa de elevada qualidade, e a uma restituição aerofotogramétrica.

Na Figura 4 apresenta-se, para a zona que se analisará mais à frente, relativa ao troço de Mértola e imediatamente a jusante, o respetivo ortofotomapa e a restituição aerofotogramétrica.

A restituição aerofotogramétrica apenas permite analisar corretamente a topografia nas partes emersas. A restituição aerofotogramétrica na superfície do rio dá informação sobre a ondulação em cada zona, controlada pela natureza dos fundos na sua vertical. Este efeito, detetável, como



se pode ver na Figura 4, é nítido quando o levantamento fotográfico é executado com luz rasante.

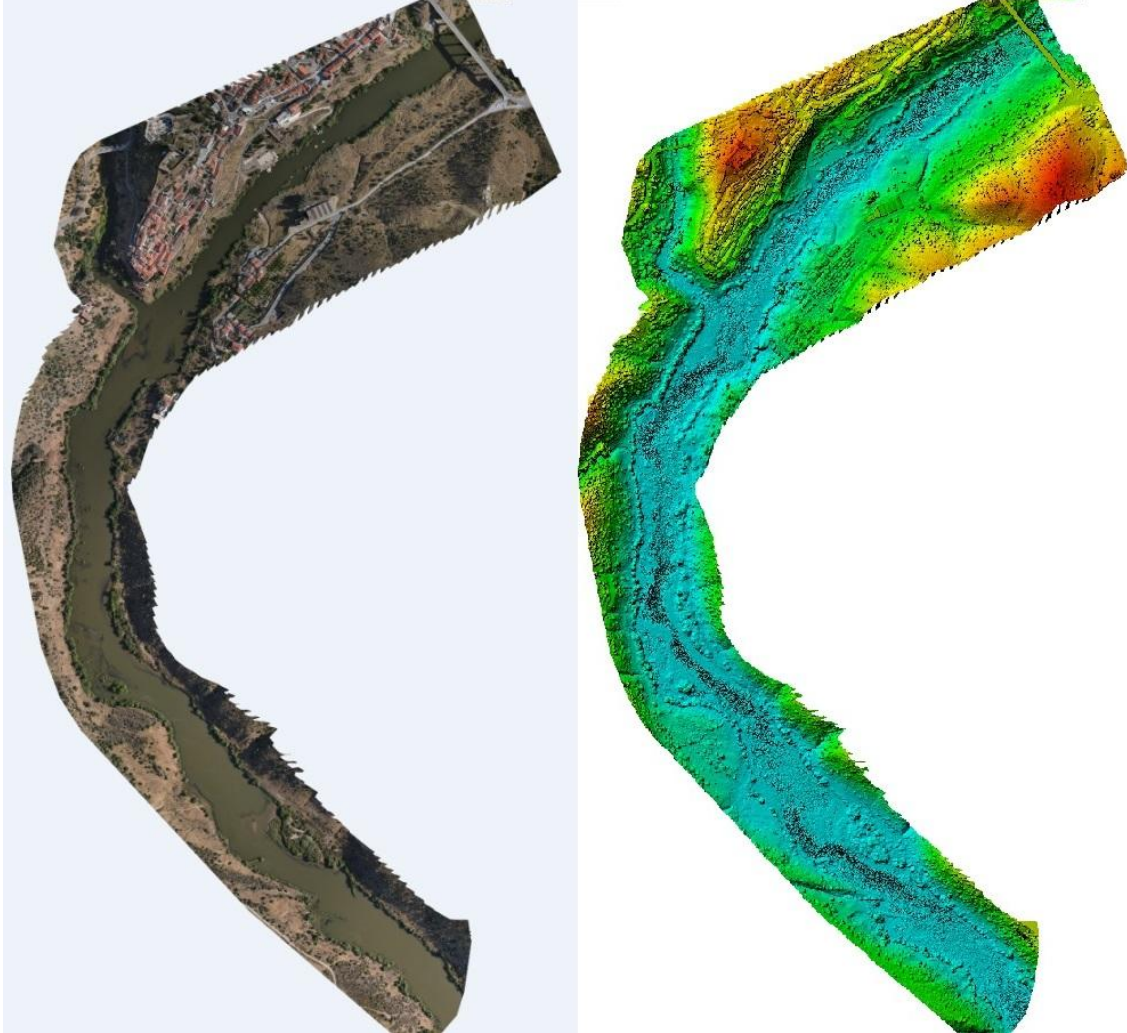


Figura 4. Infografias obtidas a partir do Ortofotomapa e restituição aerofotogramétrica na zona de Mértola.

Análise espacial em sistemas de informação geográfica

A análise espacial realizada decorreu em ambiente de sistemas de informação geográfica (SIG) recorrendo à utilização da aplicação ArcGIS da @ESRI e esquematiza-se na Figura 5.

Foram usados dados geográficos de diferentes fontes e origens, em formatos distintos e integrados nos SIG onde então se procedeu à análise e ao geoprocessamento da informação, com a produção dos modelos digitais de elevação (MDE) através do uso da modelação *TIN* (*triangular irregular networks*), ao zonamento do canal de navegação, ao cálculo de áreas e volumes e produção dos diversos mapas finais (Jenness, J.S. (2004); Huang, B. (2018).

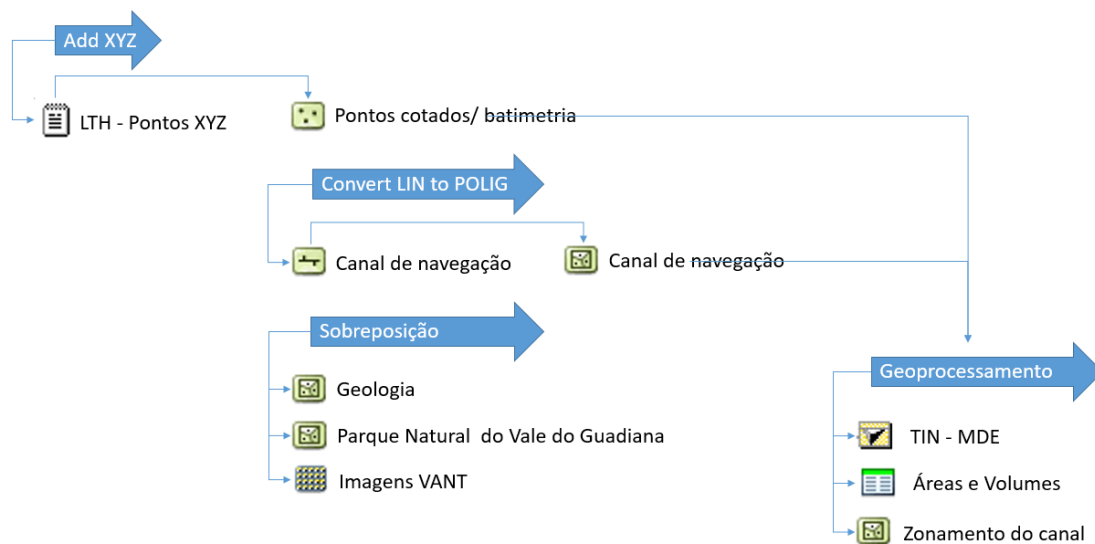
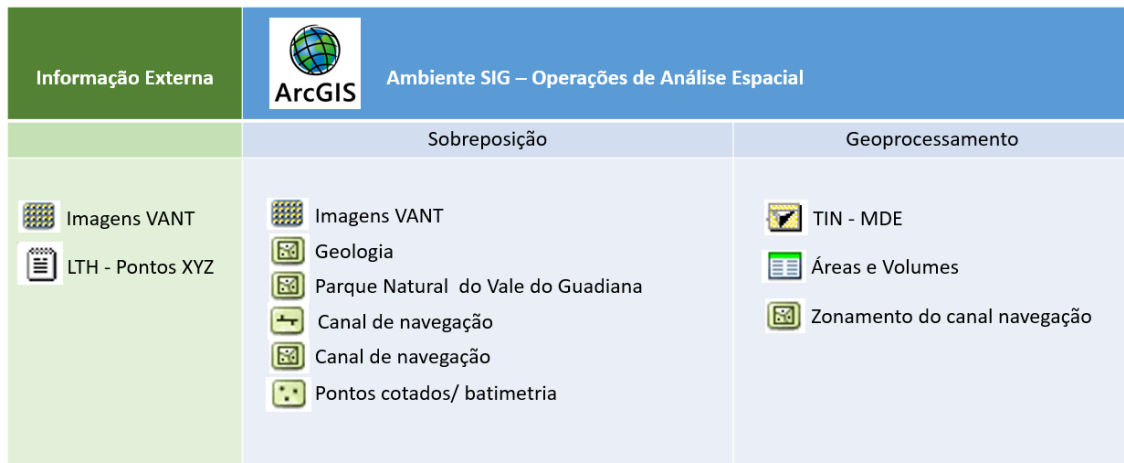


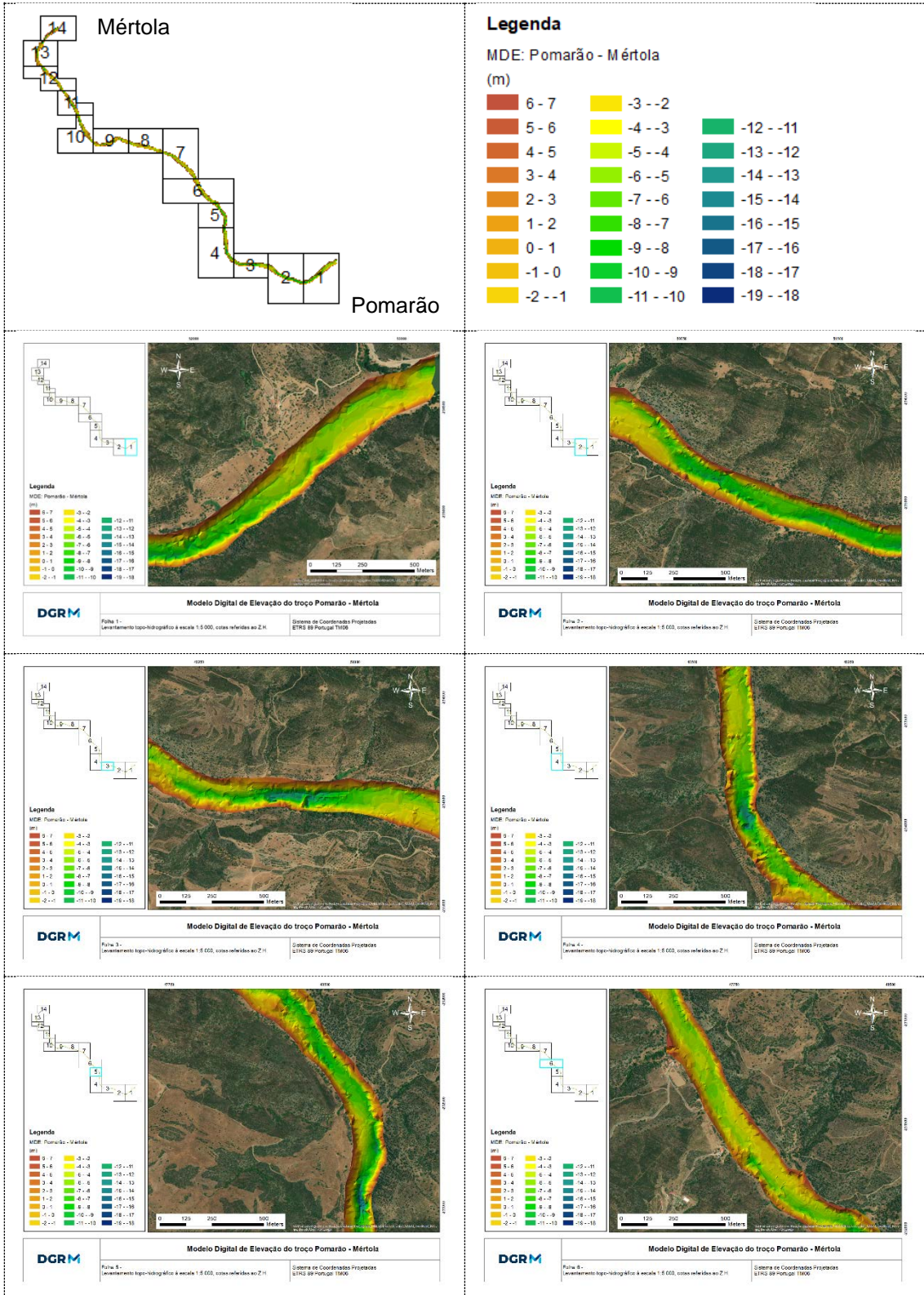
Figura 5. Modelação em ambiente SIG – fluxograma das operações de análise espacial.

Modelação 3D

Com base nos levantamentos topo-hidrográficos e nas imagens recolhidas no VANT obtidos no troço do rio Guadiana compreendido entre o Pomarão e Mértola, foi realizado o modelo digital de elevação (MDE), com cotas referidas ao Z.H., por folhas numeradas de 1 (Pomarão) a 14 (Mértola), Figura 6 (De Floriani, L., Magillo, P. (2018)b).

A construção do MDE, que é uma forma de dados geográficos digitais baseados em vetores, baseou-se na triangulação de um conjunto de vértices (pontos) usando o modelo de triangulação irregular (TIN). Neste modelo os vértices são conectados com uma série de arestas para formar uma rede de triângulos (De Floriani, L., Magillo, P. (1999); De Berg *et al.* (2000); De Floriani, L., Magillo, P. (2018)a).

Podemos observar que as cotas do rio Guadiana variam entre os 6mZH na margem a batimétricas na ordem dos -19m (ZH) em algumas zonas do seu leito.



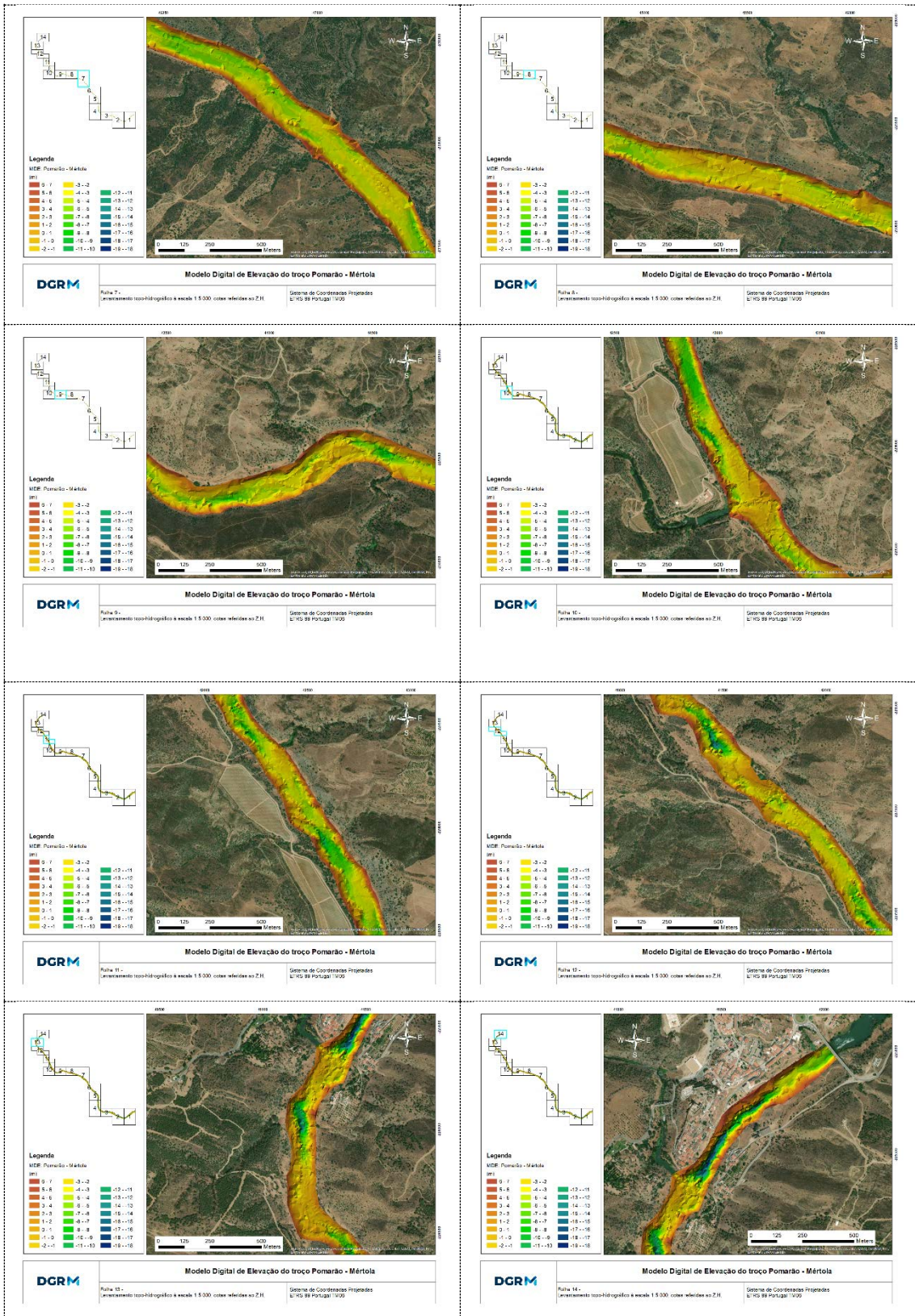


Figura 6. MDE do troço do rio Guadiana compreendido entre o Pomarão e Mértola, com Folhas numeradas de 1- Pomarão a 14 – Mértola respetivamente.



Condições de instalação do canal de navegação

Determinação das zonas do canal a regularizar

A partir do MDE definido atrás, foi possível, considerando a cota de fundo para o canal de -2.0mZH, e considerando um traçado para o canal cumprindo as condições de navegabilidade definidas, identificar as zonas em que seria necessário proceder a uma regularização de fundo. Na Figura 7 Apresenta-se o troço das folhas 10 a 14, com o canal de 25m de largura implantado e, a castanho, as zonas em que será necessário proceder a uma regularização do fundo, com eventual dragagem, que pode, em alguns casos, muito limitados, incluir o quebramento de rocha. Na sua maior parte incluir a dragagem de seixo e calhau rolado, que será removido do leito do canal para as zonas envolventes.

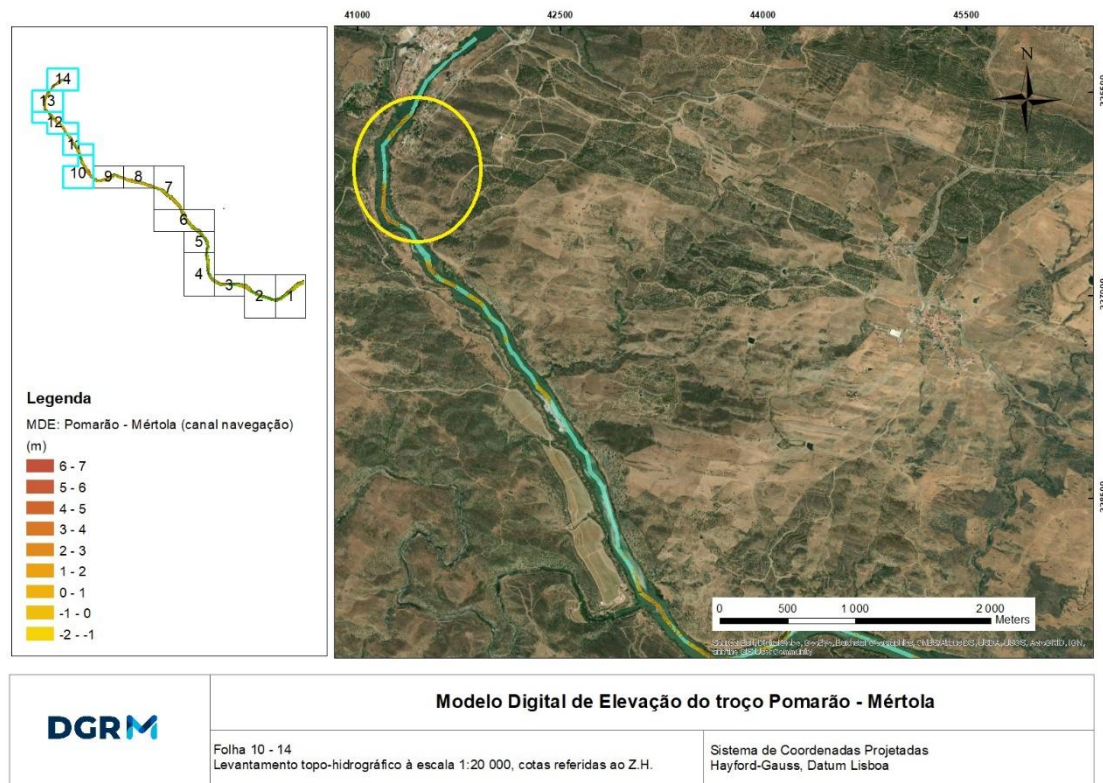


Figura 7. Implantação do canal de navegação, Folhas 10 a 14 – Mértola.

Zonamento das condições geotécnicas do fundo do canal

A regularização de fundos nas zonas assinaladas para o troço ilustrado pela Figura 7 necessita o conhecimento da natureza dos fundos nas zonas a dragar; No restante traçado do canal o conhecimento da natureza dos fundos é também necessária, já que se torna saber a natureza das formações em que se vão cravar as estacas das balizas que definirão o canal navegável. A caracterização, com meios tradicionais, da natureza destes fundos é demasiado dispendiosa, e demorada. Procurou-se, assim, um método expedito e economicamente viável para proceder a essa caracterização.

Considerando que num escoamento fluvial não torrencial a superfície do escoamento é influenciada pela natureza e rugosidade do fundo, considerou-se a possibilidade de proceder a



voos de VANT, e à restituição aerofotogramétrica para identificar essa natureza dos fundos.

Após alguns ensaios, concluiu-se que se o voo fosse efetuado ao amanhecer, ou próximo, com luz que se pudesse aproximar de luz rasante, os resultados eram interessantes (Figura 4), permitindo um zonamento do leito do rio.

Para exemplo do zonamento efetuado considerou-se unicamente a zona limitada no círculo amarelo da Figura 7, imediatamente a jusante de Mértola. Considerou-se, para o estudo do canal navegável do Pomarão a Mértola, três tipos de fundos: rocha, seixo e calhau rolado, areia.

O zonamento efetuado foi aferido por observação visual, em maré baixa. Na Figura 8 apresenta-se o zonamento efetuado no troço referido.

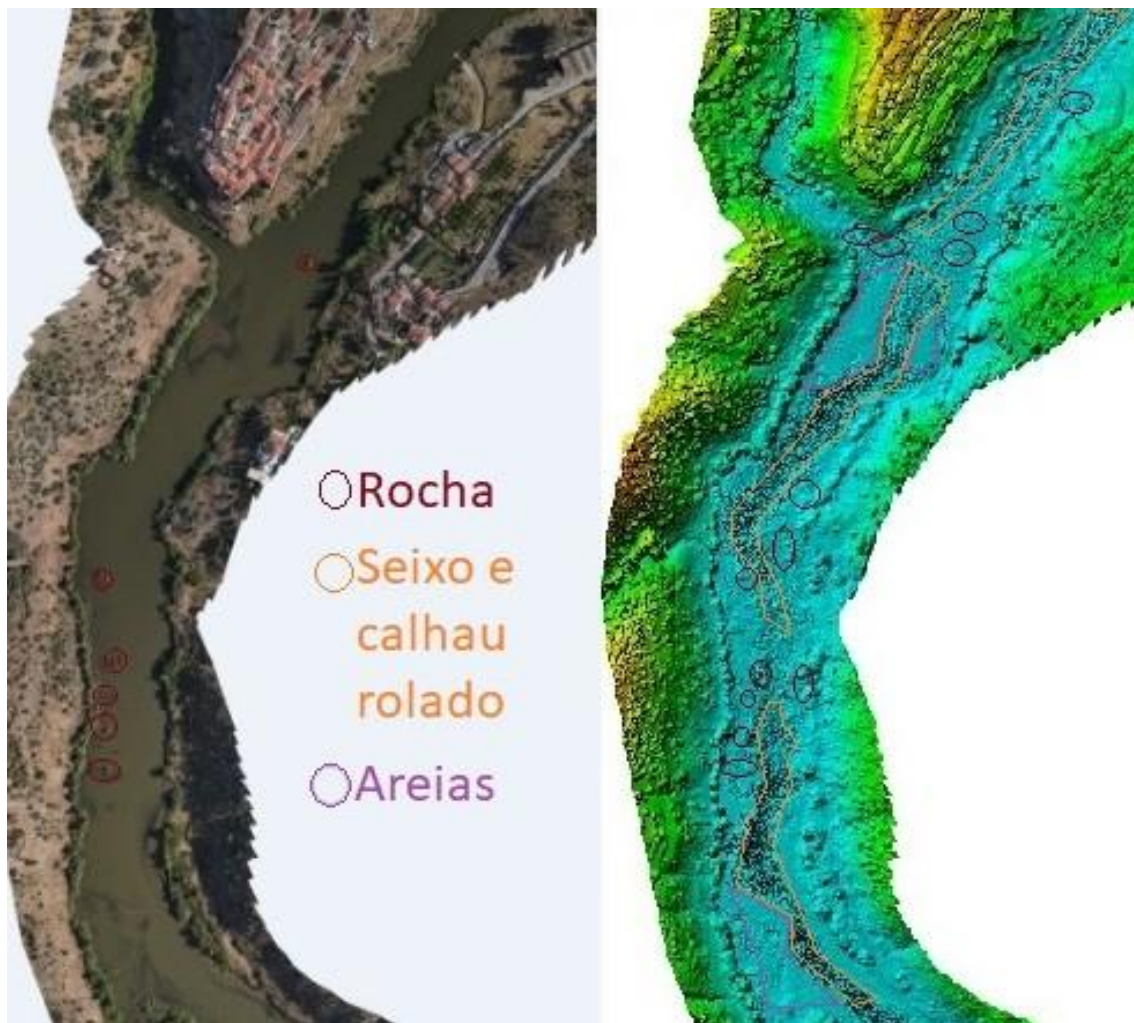


Figura 8. Zonamento do canal de navegação a jusante de Mértola.

As zonas de rocha emersa são facilmente identificáveis no ortofotomapa, e na restituição aerofotogramétrica. Como se pode ver da restituição aerofotogramétrica, a zona com fundo em seixo e calhau rolado é, igualmente, muito facilmente identificável, bem como as zonas em areia.

As zonas de rocha imersa são mais dificilmente marcadas, implicando uma observação em maré baixa, e a identificação do relevo, tendo sido, em alguns casos, complementar a informação obtida da restituição aerofotogramétrica com os dados do levantamento hidrográfico de 1995.



Conclusões

A metodologia apresentada permitiu definir com a fiabilidade necessária ao projeto de execução do canal as condições de fundo, permitindo quantificar o custo das operações de dragagem, bem como as condições de cravação das estacas das balizas do canal.

Esta metodologia não é aplicável a situações em que a ondulação marítima seja determinante, já que nessa situação a ondulação anula o efeito da influência do fundo sobre a forma da superfície da água.

No entanto, no caso de canais de navegação fluviais, e com os condicionalismos de se utilizar fotografia aérea obtida com luz rasante, os resultados obtidos com o recurso a VANT são interessantes.

Referências Bibliográficas

- De Berg, M., Van Kreveld, M., Overmars, M., Schwarzkopf, O. (2000). "Computational geometry – Algorithms and applications". Springer 2nd ed. 367pp.
- De Floriani, L., Magillo, P., Puppo, E. (1999). "Applications of computational geometry to geographic information systems". En: J.R. Sack, J. Urrutia (eds). Handbook of computational geometry. Elsevier Science, New York, p. 333 –88.
- De Floriani, L., Magillo, P. (2018)a. "Triangulated Irregular Network". En: L. Liu, M.T. Özsu (eds) Encyclopedia of Database Systems. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8265-9_437.
- De Floriani, L., Magillo, P. (2018)b. "Digital Elevation Models". En: Liu, L., Özsu, M.T. (eds) Encyclopedia of Database Systems. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8265-9_129.
- Huang, B. (2018). "Comprehensive Geographic Information Systems". Elsevier. 1474 pp.
- ICNF, 2021. "Serviço de mapas WMS", consulta em dezembro, 2021.
- Jenness, J.S. (2004). "Calculating Landscape Surface Area from Digital Elevation Models" Wildlife Society Bulletin, 3, 829-839.
- Julivert, M., Fontboté, J.M., Ribeiro, A., Conde, L. (1974). "Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares". IGME, 94 pp.
- Oliveira, J.T., Silva, J.B., Pereira, Z. (2007). "Notícia explicativa da folha 46-D Mértola"; Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia. 46 p.
- Ribeiro, A., Antunes, A., Ferreira, M., Rocha, M., Soares, A., Zbyszewski, G. Almeida, F., Carvalho, D. Monteiro, J., (1979). "Introduction à la Géologie Générale du Portugal". Serviços Geológicos de Portugal, 114 pp.
- Ribeiro, M.L., Bento dos Santos, T. (2010). "A nova Carta Geológica de Portugal à escala 1:1.000.000 e a importância da cartografia geológica de base". En: Portugal Tecnológico. (LNEG, URL: <https://geoportallneg.pt/mapa/#>).
- Santos-Ferreira, A. M., Santos, C. S., 2018, 'Sedimentation and Erosion in Harbor Estuaries', in A. Amini (ed.), Sedimentation Engineering, IntechOpen, London. 10.5772/intechopen.74049.