



X CONFERÊNCIA NACIONAL DE CARTOGRAFIA E GEODESIA

INFORMAÇÃO GEOESPACIAL PARA OS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

INSTITUTO POLITÉCNICO DA GUARDA

02 – 03 NOVEMBRO 2023

# Potencial dos dados LiDAR na delimitação de objetos da REN

Rui Pereira Reis e António Alves da Silva

[ruireis@dgterritorio.pt](mailto:ruireis@dgterritorio.pt); [aalves@dgterritorio.pt](mailto:aalves@dgterritorio.pt)

Direção-Geral do Território

# Sumário

- Cartografia da REN
  - Enquadramento legislativo;
  - Temas, subtemas e catálogo de objetos.
- Tecnologia LiDAR
  - Características, qualidade e erros;
  - Produtos derivados;
  - Classificação: algoritmos e esquemas de classificação;
  - Produtos derivados.
- Levantamento Lidar do projeto áGIL
- Exemplos de aplicação:
  - Cartografia vs LiDAR, declives, AEREHS (Sintra, Proença-a-Nova).
- Conclusões
  - Vantagens LiDAR para delimitação de objetos da REN



# Cartografia da REN: Enquadramento

- Regime Jurídico da REN – RJREN:
  - Instituído pelo Dec.-Lei nº321/83, RJREN revisto e atualizado diversas vezes;
  - RJ em vigor instituído pelo Dec.-Lei nº166/2008, de 22 de agosto, e depois disso alterado várias vezes, a última das quais pelo Dec.-Lei nº124/2019, de 28 de agosto.
- RJREN prevê dois níveis:
  - Estratégico: concretizado através de Orientações Estratégicas Nacionais e Regionais;
  - Operativo: consistindo na elaboração de cartas de delimitação da REN de âmbito municipal.
- As Orientações Estratégicas Nacionais e Regionais – OENR:
  - especificam as diretrizes e critérios para a delimitação das áreas integradas na REN (Portaria nº336/2019, de 26 de setembro). Também: “Guia metodológico” (CCDR-LVT, 2015).
- Carta de delimitação da REN:
  - representa áreas incluídas na REN e áreas excluídas da REN representadas sobre a carta base.
- Carta base da REN:
  - é obtida a partir da cartografia de base, oficial ou homologada, por seleção da informação relevante para a elaboração da carta de delimitação da REN.



# Cartografia da REN

- A carta de base é obtida a partir de cartografia topográfica vetorial 1: 10 000 que deve ter como conteúdo mínimo (DGT, 2020):
  - Informação oro-hidrográfica tridimensional;
  - Redes rodoviária e ferroviária;
  - Construções;
  - Toponímia.
- Pode ser utilizada cartografia topográfica de imagem (ortofotocartografia)
  - desde que complementada com informação vetorial e toponímica.
- Exatidão posicional planimétrica da cartografia de base  $\leq 5$  m.
- Ortofotomapas com resolução espacial  $\leq 0,5$  m.
- Exatidão temática  $\geq 95\%$ .
- Sistema de georreferência PT-TM06/ETRS89.



# Catálogo de Objetos da REN

Tema: Áreas de proteção do litoral		
Subtema	Objeto	
Faixa marítima de proteção costeira	Faixa marítima de proteção costeira	01
Praias	Praias	02
Barreiras detríticas	Restingas	03
	Barreiras soldadas	04
	Ilhas-Barreira	05
Tômbolos	Tômbolos	06
Sapais	Sapais	07
Ilhéus e rochedos emersos no mar	Ilhéus	08
	Rochedos emersos no mar	09
Dunas costeiras e dunas fósseis	Dunas costeiras litorais	10
	Dunas costeiras interiores	11
	Dunas fósseis	12
Arribas e respetivas faixas de proteção	Arribas	13
	Faixa de proteção de arribas a partir do rebordo superior	14
	Faixa de proteção de arribas a partir da base da arriba	15
Faixa terrestre de proteção costeira	Faixa terrestre de proteção costeira	16
	Águas do mar – Margem	17
Águas de transição e respetivos leitos, margens e faixas de proteção	Águas de transição – Leito	18
	Águas de transição – Margem	19
	Águas de transição – Faixa de proteção	20

Tema: Áreas relevantes para a sustentabilidade do ciclo hidrológico terrestre		
Subtema	Objeto	
Cursos de água e respetivos leitos e margens	Cursos de água – Leito	21
	Cursos de água – Leito canalizado	22
	Cursos de água – Margem	23
Lagoas e lagos e respetivos leitos, margens e faixas de proteção	Lagoas e lagos – Leito	24
	Lagoas e lagos – Margem	25
	Lagoas e lagos – Faixa de proteção	26
Albufeiras que contribuam para a conectividade e coerência ecológica da REN, bem como os respetivos leitos, margens e faixas de proteção	Albufeiras – Leito	27
	Albufeiras – Margem	28
	Albufeiras – Faixa de proteção	29
Áreas estratégicas de infiltração, proteção e recarga de aquíferos	Áreas estratégicas de infiltração, proteção e recarga de aquíferos	30

Tema: Áreas de prevenção de riscos naturais		
Subtema	Objeto	
Zonas adjacentes	Zonas adjacentes	31
Zonas ameaçadas pelo mar	Zonas ameaçadas pelo mar	32
Zonas ameaçadas pelas cheias	Zonas ameaçadas pelas cheias	33
Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo	Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo	34
Áreas de instabilidade de vertentes	Áreas de instabilidade de vertentes	35
	Escarpas	36

Tema: Áreas de exclusão		
Subtema	Objeto	
Exclusão por compromisso – C	Exclusão por compromisso – C	37
Exclusão para a satisfação de carências – E	Exclusão para a satisfação de carências – E	38

# Cartografia da REN

- Para a delimitação dos 36+2 objetos da REN usa-se:
  - Cartografia de base homologada e atualizada: ortofotocartografia, levantamentos aerofotogramétricos, coberturas aerofotográficas;
  - Informação fornecida pela APA, IH, LNEG, ... (Exemplos: cartografia hidrográfica-IH; LMPMAVE, Domínio Público Marítimo-APA, Carta Geológica – LNEG, ...);
  - Cartografia adquirida propositadamente para a delimitação dos objetos da REN a nível concelhio.
- Com a disponibilidade, num futuro próximo, de um levantamento Lidar de Portugal Continental o enquadramento subjacente à aquisição dos dados cartográficos de base (usados na REN e nos PDM) pode vir a alterar-se de forma significativa sendo previsível virem a estar disponíveis diversos CDG derivados:
  - de âmbito nacional,
  - de elevada resolução,
- ou, pelo menos, este levantamento pode fornecer dados com base nos quais será possível criar, com relativa facilidade, diversos CDG de elevada resolução.





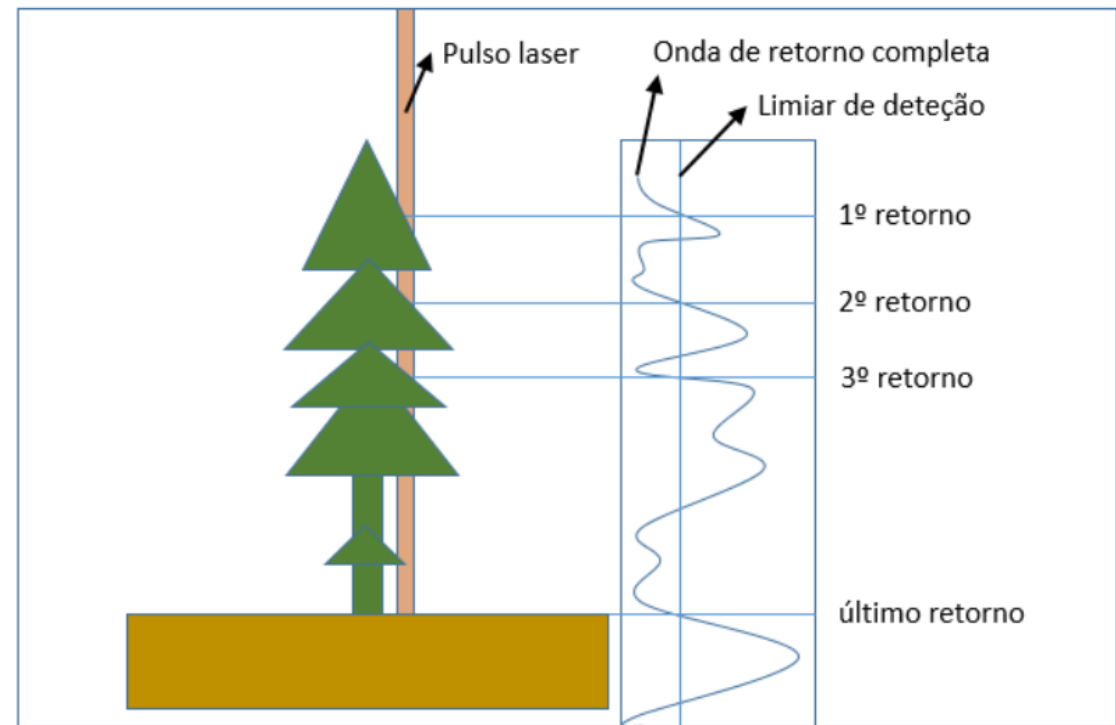
# Tecnologia LiDAR

- Tecnologia LiDAR:
  - Nuvem de pontos 3D, classificados, com distribuição não uniforme mas com elevadas densidades médias.
  - Tipos de LiDAR: terrestre, aéreo (avião e VANT).
- Sistema LiDAR aéreo:
  - Emite pulsos laser em determinado c.d.o., a elevada frequência (até 2MHz) e recolhe os retornos/reflexões. Distâncias/altitudes determinadas com base no tempo do percurso do pulso entre emissão e receção.
  - À medida que o avião avança um espelho (rotativo/oscilante/*palmer*) desvia os pulsos por forma a fazer-se um varrimento lateral e cobrir-se uma faixa/fiada aprox. perpendicular à linha de voo.
  - Integra: Sistema inercial (IMU); Sistema de posicionamento/navegação (GNSS);
- Permite modelação detalhada de:
  - Terreno, Vegetação, Construções, planos de água, fundos pouco profundos (batimétrico);
  - Resolução: no passado: 0,25/1/2 pts/m<sup>2</sup>, agora: 8/10/16 pts/m<sup>2</sup> ou mesmo mais (40, 100, ...);
  - Elevada exatidão: 5/10/15cm em Z e 15/30/50cm em XY.
- LiDAR batimétrico: dupla frequência, importante no levantamento da fachada costeira.



# Tecnologia LiDAR

- Sensor caracterizado por:
  - Comprimento de onda da luz laser;
  - Frequência de repetição de pulso (FRP);
  - Potência do pulso laser (alcance vs segurança);
  - Campo de visão transversal (FOV);
  - Frequência de varrimento transversal.
- Comprimentos de onda e refletância:
  - 532 nm (verde): Permite a modelação de fundos submersos de pouca profundidade e da zona de transição terra-mar.
  - 1064 nm (NIR): Mais utilizado em topografia aérea pois tem elevada refletância nos objetos que normalmente se encontram.
  - 1550 nm (SWIR): Topografia terrestre. Mais seguro, fraca refletância na vegetação.
- Caracterização do levantamento:
  - Densidade/espacamento de pontos. Depende de: FRP, frequência de varrimento transversal, da velocidade do avião e da altura do avião acima do solo;
  - Número de retornos por pulso e/ou recolha de onda completa;
  - Classificação dos pontos/retornos. Classes: Solo, Vegetação (alta, média, baixa), Construções e Planos de água (pelo menos).





# LiDAR: Erro admissível em altimetria

- Classes de exatidão vertical:

Valores de erro admissível em altimetria com indicação da densidade média e espaçamento médio recomendados dos pontos lidar em cada classe/nível de qualidade:

Quality Level	RMSEz NVA	NVA 95%	VVA	Espaçamento médio	Densidade média
QL0	5 cm	9,8 cm	15 cm	≤ 35 cm	≥ 8 pts/m <sup>2</sup>
QL1	10 cm	19,6 cm	30 cm	≤ 35 cm	≥ 8 pts/m <sup>2</sup>
QL2	10 cm	19,6 cm	30 cm	≤ 71 cm	≥ 2 pts/m <sup>2</sup>
QL3	20 cm	39,2 cm	60 cm	≤ 141 cm	≥ 0,5 pts/m <sup>2</sup>

*NVA = Non-vegetated Vertical Accuracy*

*VVA = Vegetated Vertical Accuracy*

Fonte: (Heidemann, 2018) Lidar base specification. USGS.



# LiDAR: Erro esperado em planimetria

- *Lidar Horizontal Error*( $RMSE_r$ ) =  $\sqrt{(GNSS\ positional\ error)^2 + \left(\frac{\tan(IMU\ error)}{0.55894170} \times flying\ altitude\right)^2}$

- $RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}$

Erro esperado em planimetria : (em função da altitude de voo):

Fonte: ASPRS (2014) ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data.

## Altitude (AGL) - RMSEr

500 m	-	13,1 cm
1000 m	-	17,5 cm
1500 m	-	23,0 cm
2000 m	-	29,0 cm
2500 m	-	35,2 cm
3000 m	-	41,0 cm
3500 m	-	48,0 cm
4000 m	-	54,4 cm
4500 m	-	61,1 cm
5000 m	-	67,6 cm



# LiDAR: Classificação

- Processo clássico de classificação:
  - Filtragem solo/não-solo
  - Classificação de pontos com base em parâmetros caracterizadores dos diferentes tipos de objetos.
  - Análise e processamento interativo, usando verificações independentes, por forma a produzirem-se as classificações finais.
- A nuvem de pontos classificada é posteriormente sujeita a processos de reconstrução para criar objetos e se criarem os CDG derivados.
- Atualmente usam-se também métodos de Inteligência Artificial/*Deep Learning* usando diferentes redes neuronais consoante o tipo de objetos a reconhecer:
  - Recentemente (2023) o *National Land Survey* da Finlândia usou: Unet - Construções e cursos de água, RoadVecNet - Rede viária, NestNet2 - Alterações;
  - Para Construções (Unet): Reconhecimento de **97,9%** dos objetos.



# LiDAR: Métodos de filtragem

- Morfológicos: (lidR, Whitebox Tools, PDAL) Transformação para raster seguindo-se a aplicação das operações de erosão-abertura e dilatação-fecho. Os detalhes do terreno são mantidos consoante a diferença de altitude antes e após a operação de erosão. Para melhorar resultados: Filtros morfológicos progressivos.
- Densificação progressiva (PTIN: LASTools, ATIN: Agisoft, TerraSolid): operam progressivamente criando e densificando um TIN sendo acrescentados pontos quando a diferença de altitude relativamente à superfície definida pelos pontos já integrantes do TIN não for superior à determinada por meio de diferentes métodos de interpolação. Há muitas variantes e em algumas substitui-se o TIN (plano) por splines para representar do terreno.
- Filtragem baseada na superfície (Fusion, *CSF-cloth simulation filter*: CloudCompare): de início todos os pontos são classificados como solo. Os pontos que não pertencem ao solo são removidos gradualmente. Normalmente começa-se por usar *krigging* para determinar a superfície contendo todos os pontos e posteriormente filtram-se os pontos com base na distância destes à superfície interpoladora.
- Filtragem baseada em segmentação: (Whitebox tools) distingue-se do anterior porque em vez de se processarem pontos isolados estes são previamente divididos em segmentos/grupos homogéneos usando para tal diversos métodos.
- Híbridos: (*Blue Marble Geographic's hybrid filter*: Global Mapper) combinam algoritmos diferentes por forma a combinarem-se os pontos fortes de diferentes abordagens.
- Outros: Ex.: *MCC-multiscale curvature classification*: MCC-LiDAR.
- Baseados em Machine Learning (ML) : Artificial Neural Network (ANN), Support Vector Machines (SVM), Random Forest (RF), Convolutional Neural Networks (CNN), entre outros.

Ver, por exemplo: Chen *et al* (2021), Sithole & Vosselman (2004), Stular & Lozic (2020).

# LiDAR: Esquemas de classificação

## ES - PNOA-LiDAR

1 – Sin clasificar

2 – Suelo

3 – Veg. baja (<1m)

4 – Veg. media (1-3m)

5 – Veg. alta (3-100m)

6 – Edificaciones

7 – Ruido

9 – Agua

12 – Solape

17 – Puentes

## BE-Flandres DHMV II

1 = unclassified

2 = ground

9 = water

## Suíça LiDAR

0 - Non classifié

2 - Sol

4 - Basse végétation

5 - Haute végétation

6 - Bâtiments

9 - Eau

10 - Ponts, passerelles

## Holanda AHN3

maaiveld-nível do solo

bebouwing-edifícios

water-água

kunstwerk-obras de arte

overig-outros



# LiDAR: Produtos derivados

- MDT – Modelo Digital do Terreno;
- MDS – Modelo Digital de Superfície;
- TIN - *Triangulated Irregular Network*;
- Outros produtos: obtidos por classificação da nuvem de pontos 3D:
  - Construções, Vegetação, Solo, Rede viária
- Modelo de intensidades;
- Ortofotocartografia;
- Vários/muitos produtos derivados com aplicação em (ou específicos de) diferentes áreas de aplicação:
  - Ex. na área florestal: Modelo de alturas das copas.



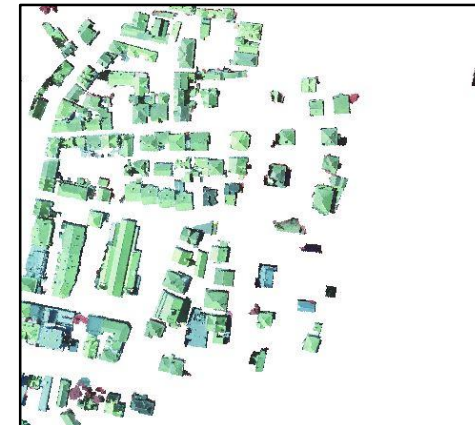
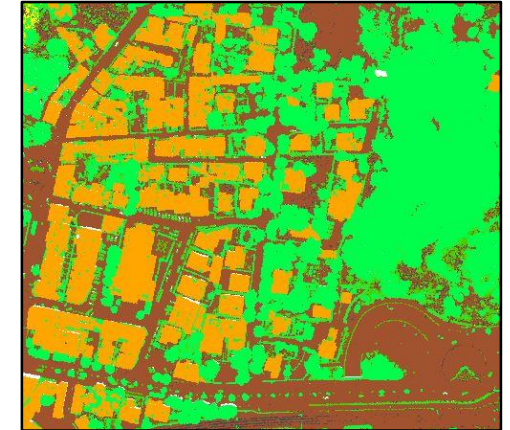
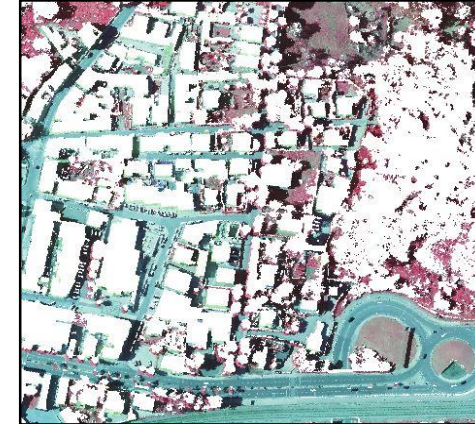
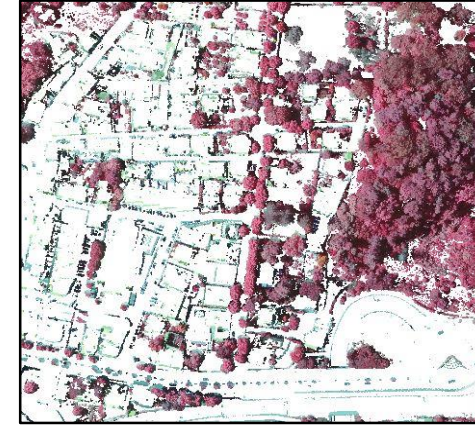
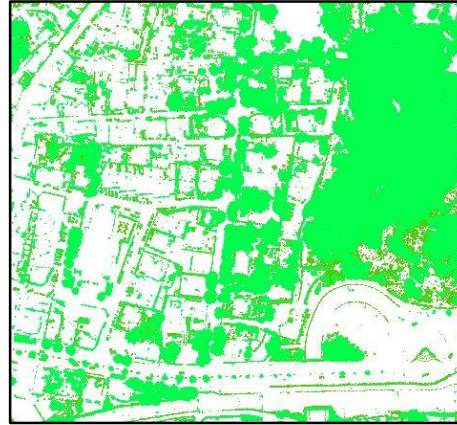
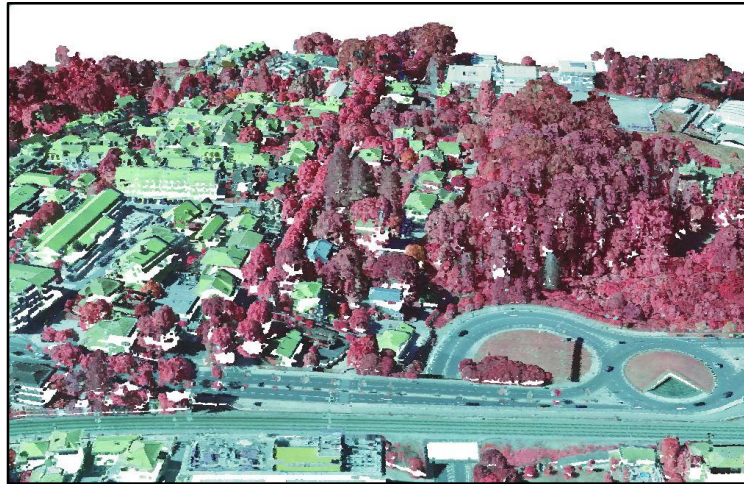
# Levantamento LiDAR utilizado

- Características do levantamento LiDAR usado nos testes - projeto áGIL, ICNF:
  - <https://geocatalogo.icnf.pt/geovisualizador/agil/>
  - Freq. Repetição de Pulso = 900 khz, Freq. Varrimento Lateral = 110 Hz
  - Altitude de voo: 1250 metros, velocidade média: 160 nós, FOV = 17,5º (dinâmico)
  - Faixa/fiada (nível do solo): 788 m; Espaçamento entre linhas de voo: 630,6 m.
  - Densidade de pulso de saída nominal = 10,02 a 13,88 pts/m<sup>2</sup>
  - Aquisição simultânea de informação posicional e de imagem/espectral (IRG).
  - Classificação:
    - Não-classificado, Solo, Vegetação (Baixa, Média, Alta), Construções, “Low noise”, Água, Sobreposição;
- Portaria nº336/2019 (diretrizes e critérios para a delimitação das áreas da REN) já prevê a utilização de MDT criados a partir do levantamento LiDAR topo-batimétrico da costa.
- Segundo a nossa análise:
  - A delimitação de praticamente todos os objetos da REN necessita informação cartográfica, ortofotocartográfica e/ou aerofotográfica, que pode ser substituída, com vantagens, pela informação de um levantamento Lidar.





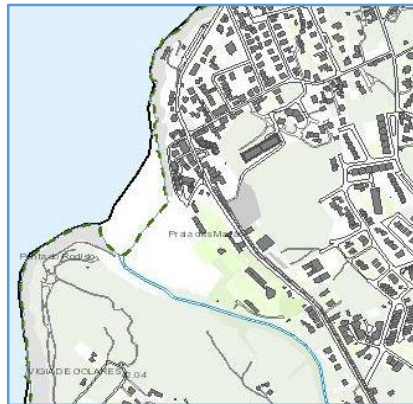
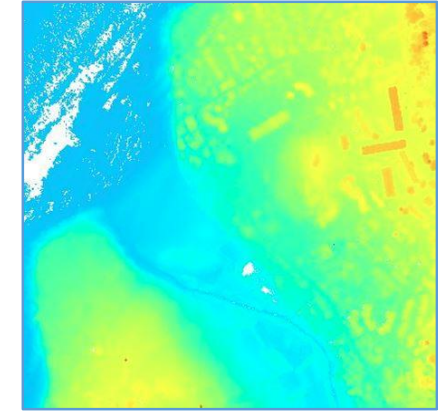
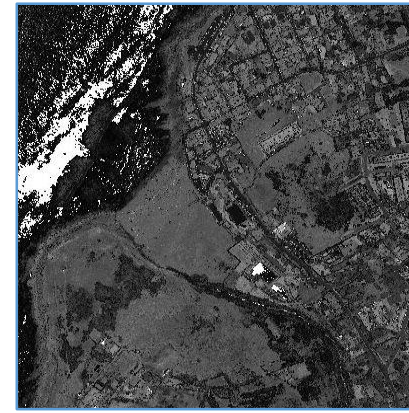
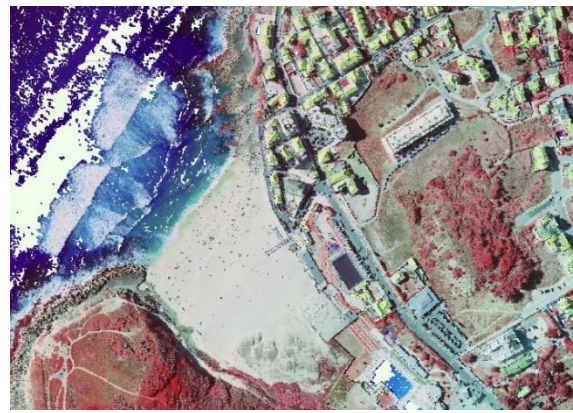
# Exemplo: Sintra



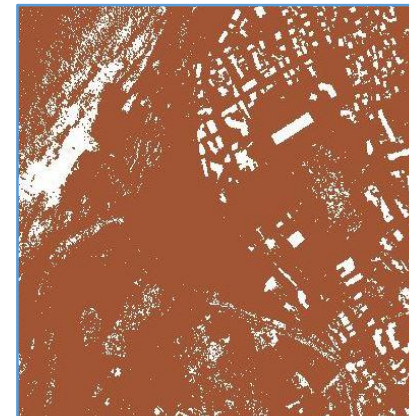
100m



# Exemplo: Praia das Maças



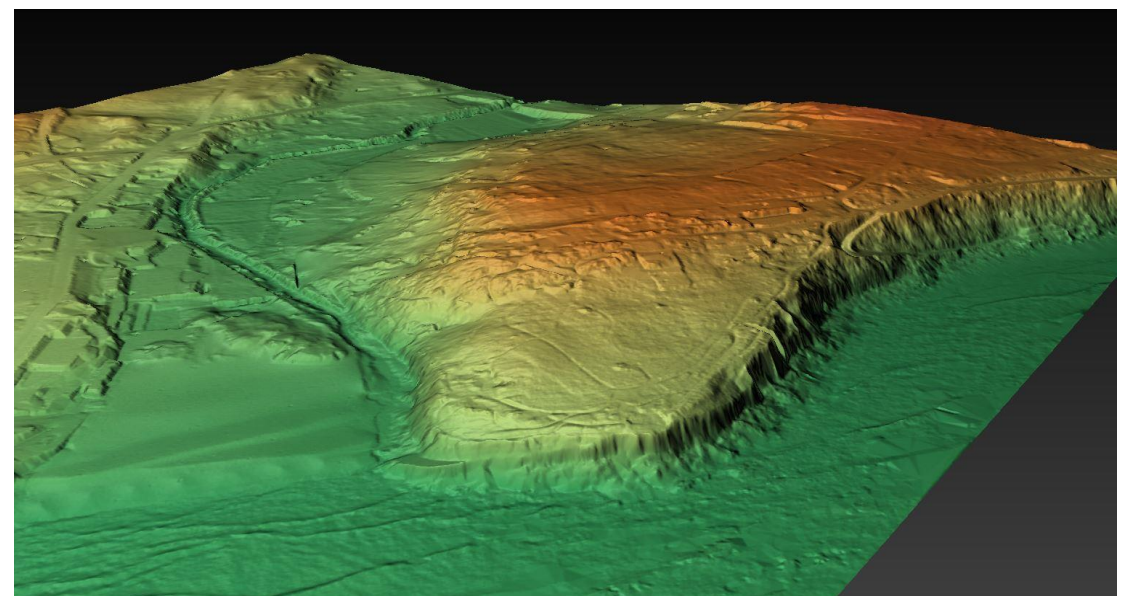
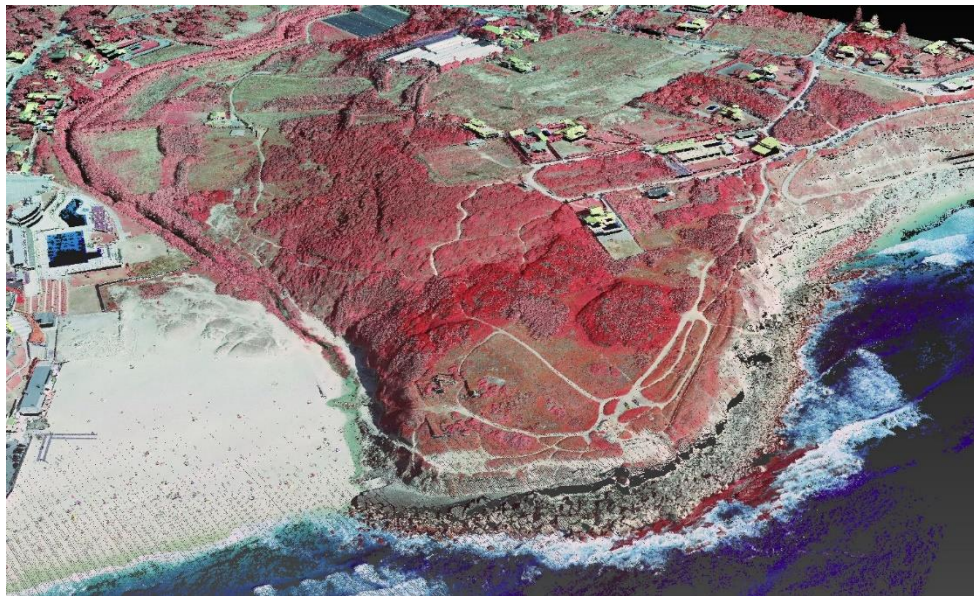
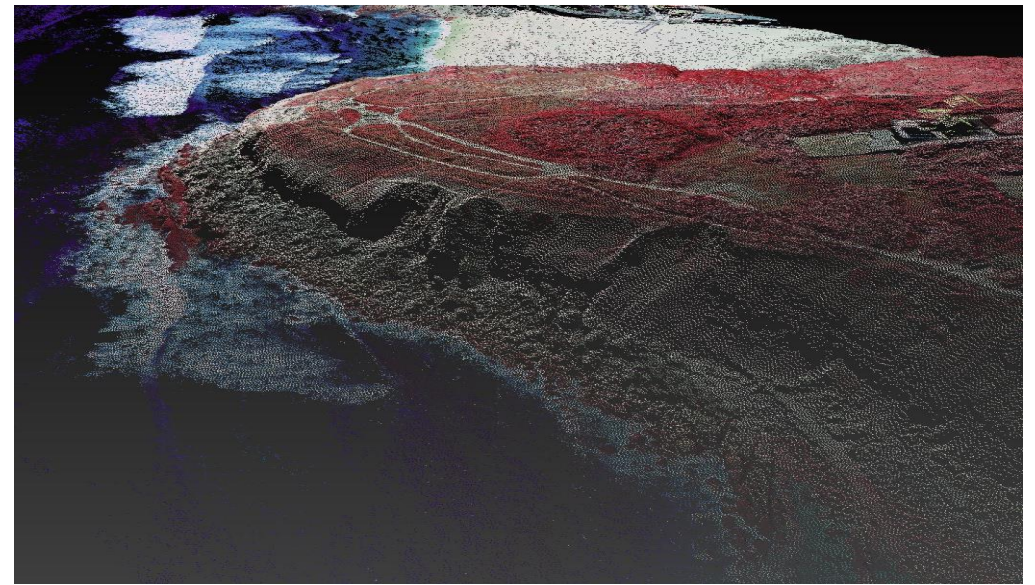
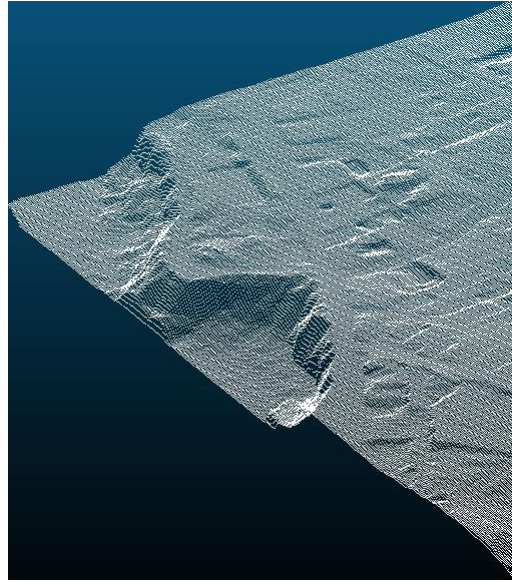
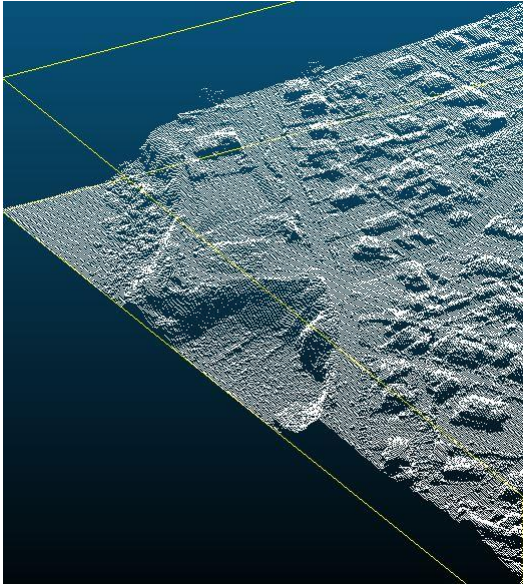
Ortophotografia e cartografia 1:10 000.



Dados Lidar: Visualização de informação espectral (bandas IRG: Infrared, Red, Green), modelo de intensidades, altimetria e classificação em: Vegetação, Solo e Construções.

Fontes: Ortophotografia - <https://cartografia.dgterritorio.gov.pt/wms/ortos2018>  
Cartografia - <https://cm-sintra.pt/territorial/plano-diretor-municipal/visualizadorsig>  
Dados Lidar - <https://geocatalogo.icnf.pt/geovisualizador/agil.html>

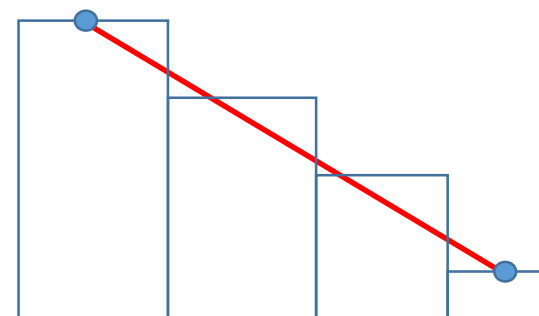
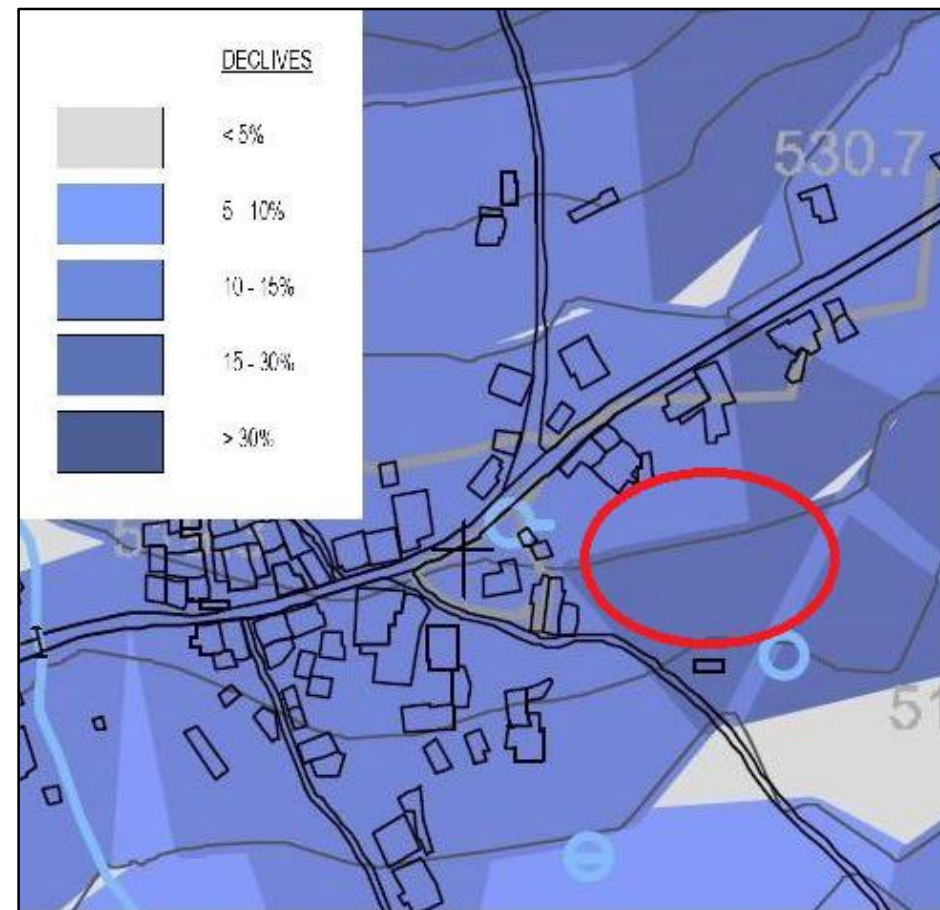




Dados Lidar: <https://geocatalogo.icnf.pt/geovisualizador/agil.html>



# Exemplo: Declives



# AEREHS

- Equação Universal de Perda do Solo (EUPS):

$$A = R * K * LS * C * P$$

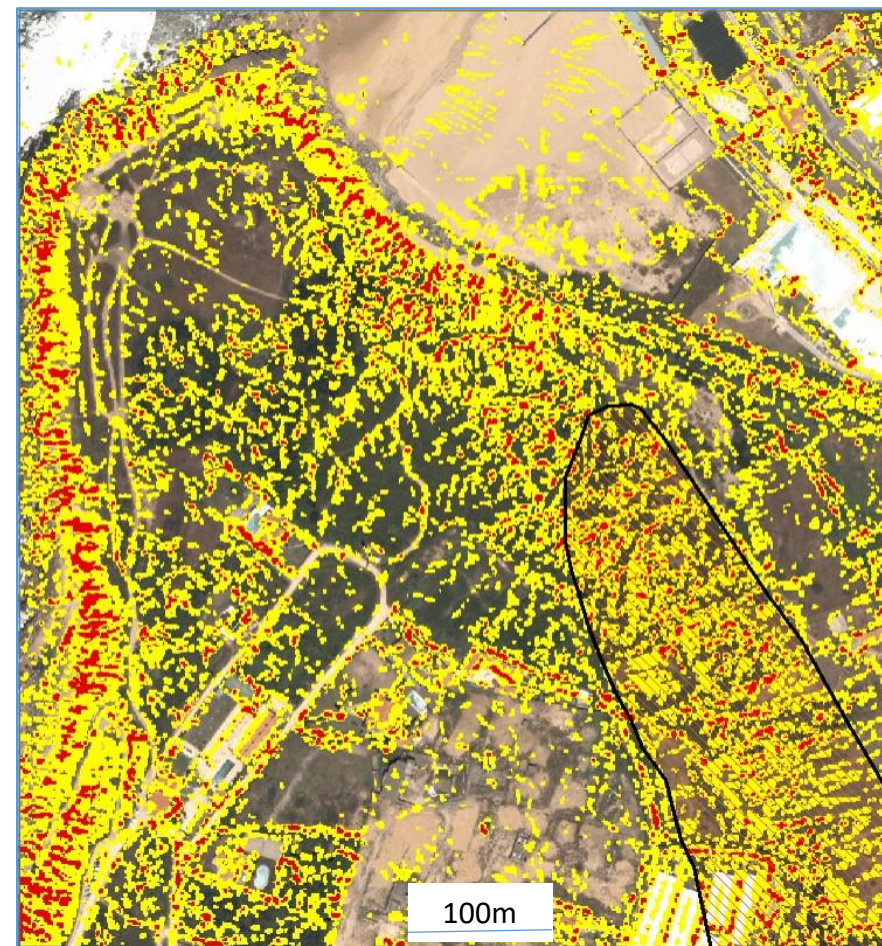
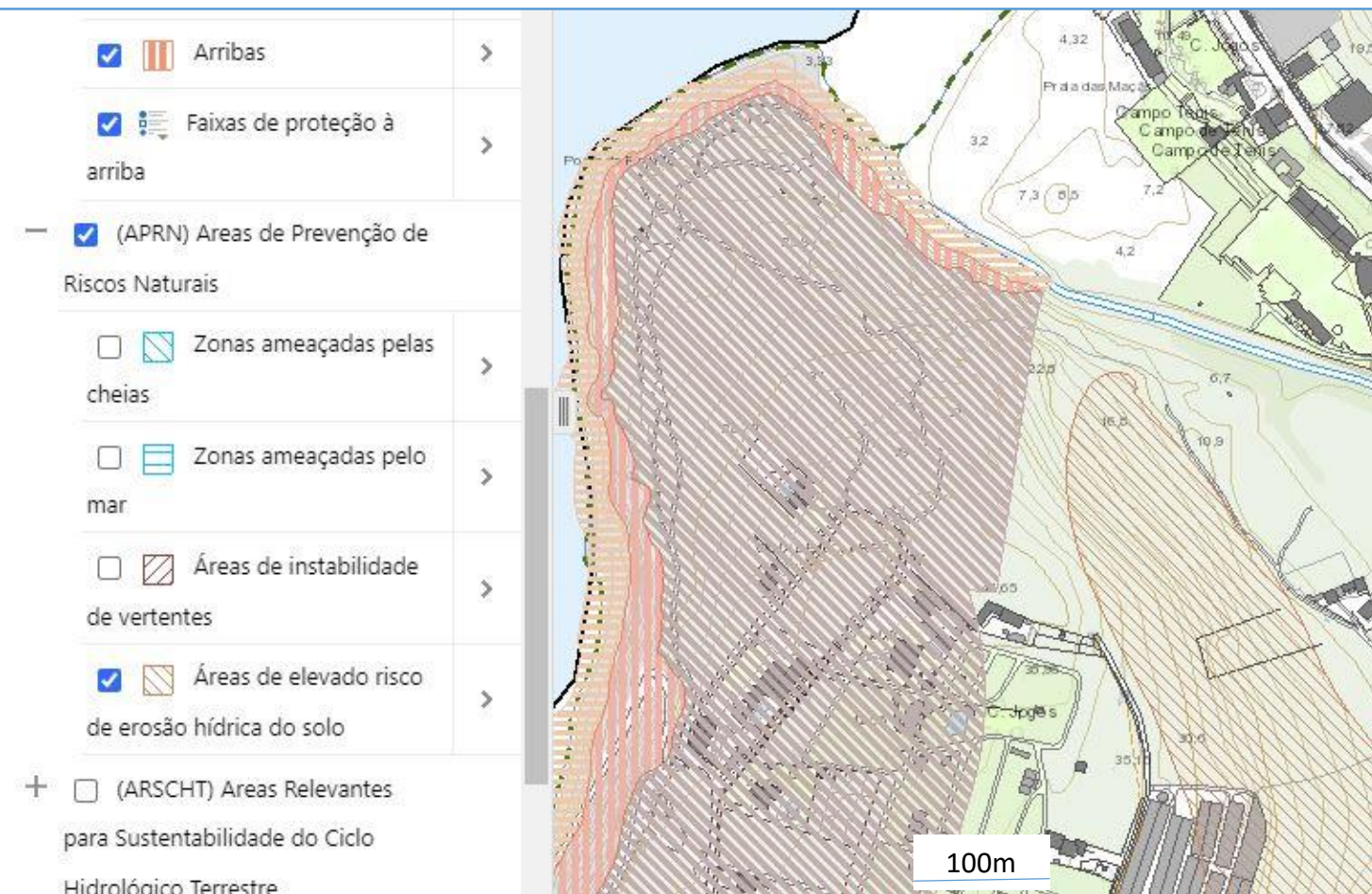
- A - Estimativa da erosão específica do solo;
  - R - o fator de erosividade da precipitação;
  - K - fator relativo à erodibilidade do solo;
  - **LS - Fator Topográfico: exprime a importância relativa do atrito de uma superfície através da relação entre o comprimento do escoamento desorganizado numa vertente (L) e o seu declive (S);**
  - C - fator relativo ao tipo de ocupação do solo;
  - P - fator antrópico.
- 
- O fator determinante, responsável pelas maiores diferenças numa determinada zona, é o LS e aquele em que os dados LiDAR podem ser uma mais valia:
    - R é constante para escalas locais e a variabilidade de K é pouco relevante para o cálculo de A
    - os fatores C e P são fatores antrópicos que não afetam substancialmente os resultados.





# AEREHS - LS

O LiDAR contribui para uma melhor definição do relevo em geral e, particularmente dos declives e da rede hidrográfica, aumentando a qualidade e detalhe do LS e das AEREHS.



PDM Sintra:

<https://cm-sintra.pt/territorial/plano-diretor-municipal/visualizadorsig>

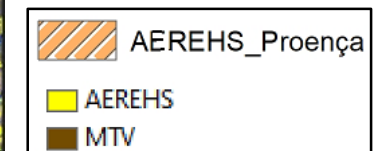
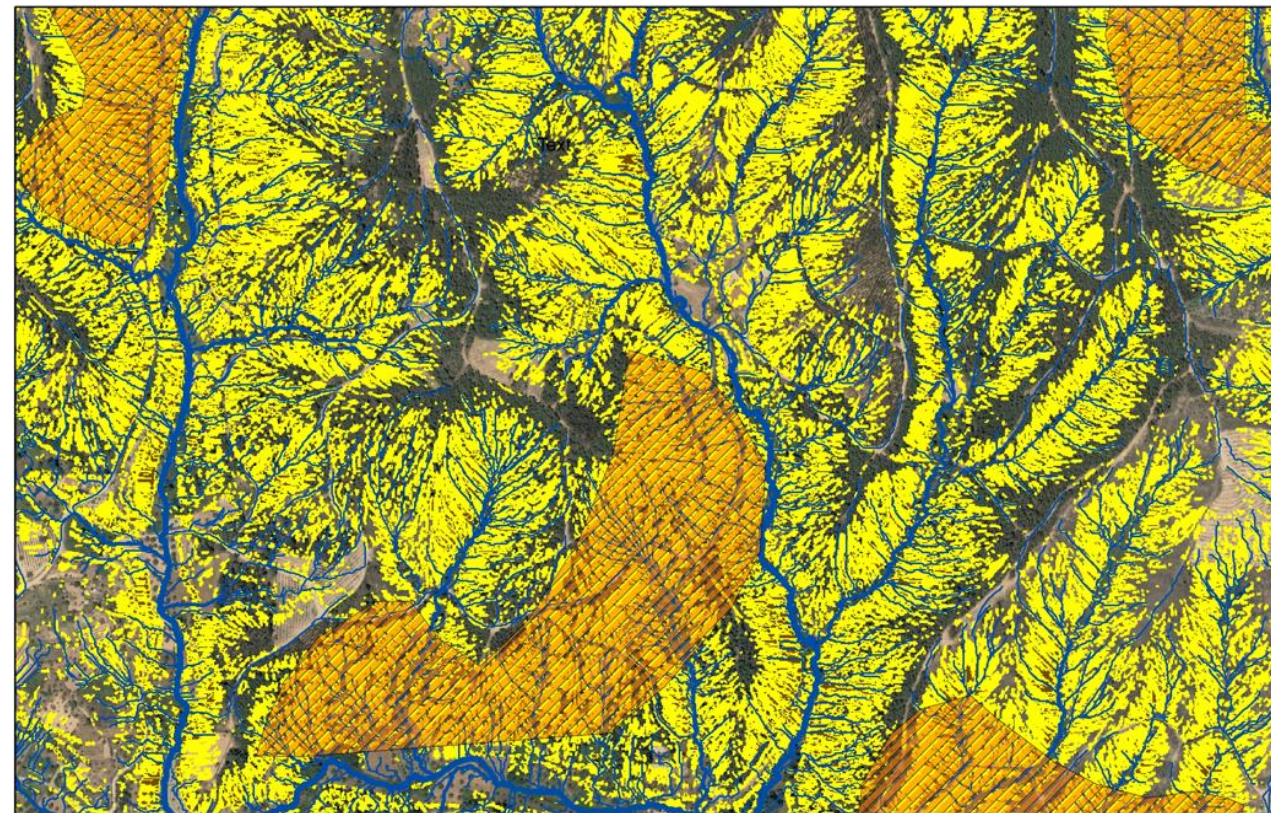
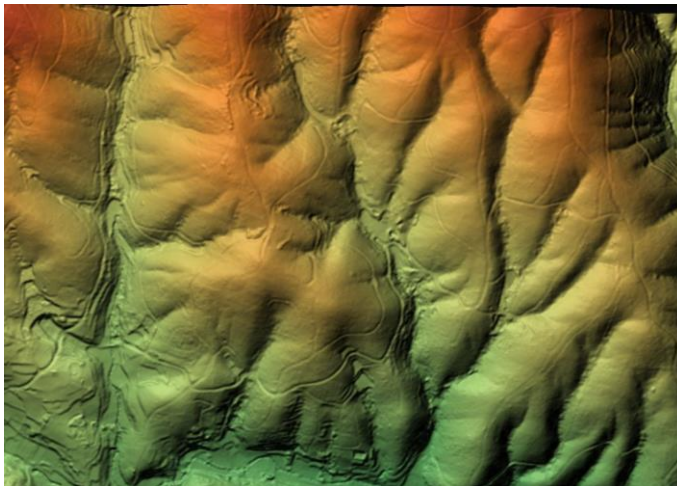
- LS- Áreas de Risco de Erosão Hídrica do Solo
- LS – Áreas de Risco de Movimento de vertente
- Áreas de Risco de Erosão Hídrica do Solo do PDM



# AEREHS - LS

Comparação entre a distribuição espacial do LS obtido com LiDAR e as “Áreas de Erosão” no PDM

Proença-a-Nova: Área a Este de Serzedinha e Montelhada.



100m



# Conclusões

- Os levantamentos Lidar usados para delimitação da REN podem:
  - Fornecer dados mais detalhados e exatos (ex.: MDT, MDS, declives, exposições);
  - Substituir dados anteriormente recolhidos usando diferentes técnicas/contextos;
  - Incorporar dados de natureza nova e com potencial para a utilização de novas metodologias de exploração de dados (ex.: nuvem de pontos).
  - Permitem constituir um novo paradigma nos processos de delimitação e identificação dos objetos da REN.
- Vantagens dos dados LiDAR:
  - Dados superabundantes;
  - Permitem melhores resolução e exatidão dos objetos REN derivados;
  - Possibilidade de manutenção dos dados atualizados para grandes áreas (região/país);
- Dificuldades:
  - Necessitam-se grandes capacidades de processamento e de armazenamento;
  - Envolve processos de edição e verificação exigentes.

# Referências

- American Society for Photogrammetry and Remote Sensing(2014) ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. Edition 1, Version 1.0.0, ASPRS Map Accuracy Working Group, November 2014.
- Chen, C.; Guo, J.; Wu, H.; Li, Y.; Shi, B. (2021) Performance Comparison of Filtering Algorithms for High-Density Airborne LiDAR Point Clouds over Complex LandScapes. Remote Sensing, 13, 2663. <https://doi.org/10.3390/rs13142663>
- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo (2015) Guia metodológico para delimitação da Reserva Ecológica Nacional em Lisboa e Vale do Tejo. Direção de Serviços de Ordenamento do Território, CCDR-LVT, julho de 2015.
- Direção Geral do Território (2020) Norma técnica - Reserva Ecológica Nacional: Produção e reprodução das cartas de delimitação da REN. Versão 31-12-2021.
- Heidemann, H. (2018) Lidar Base Specification. Version 1.3, February 2018, National Geospatial Program, U. S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey.
- Sithole, G. and G. Vosselman (2004) Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 59, 85–101.
- Stular, B and E. Lozic (2020) Comparison of Filters for Archaeology-Specific Ground Extraction from Airborne LiDAR Point Clouds. Remote Sensing, 12, 3025; doi:10.3390/rs12183025



# Potencial dos dados LiDAR na delimitação de objetos da Reserva Ecológica Nacional

## Obrigado

- Contactos:

Rui Pereira Reis  
[rui.reis@dgterritorio.pt](mailto:rui.reis@dgterritorio.pt)

António Alves da Silva  
[aalves@dgterritorio.pt](mailto:aalves@dgterritorio.pt)

