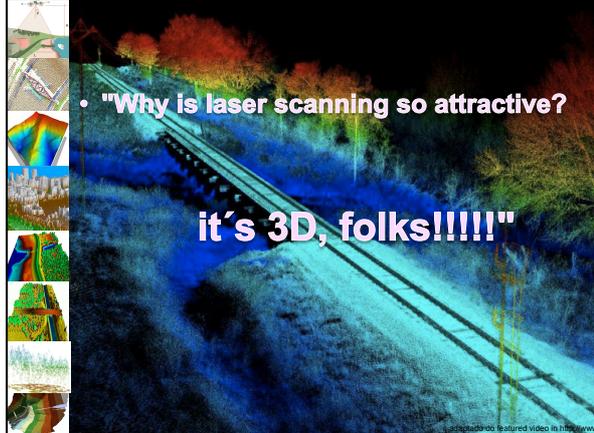


Varrimento por laser: estado-da-arte e aplicações

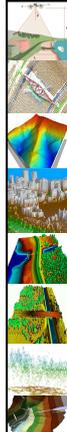
Luísa Gomes Pereira
ESTGA
Universidade de Aveiro
2011

- "Why is laser scanning so attractive?
it's 3D, folks!!!!"



- Introdução
- Fundamentos
- Processamento de Dados e Produtos Derivados
- Sistemas Comercializados
- Aplicações
- Resultados de alguns projetos em Portugal

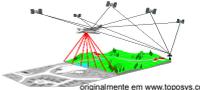


Introdução

- Varrimento por laser – LiDAR - é uma tecnologia de deteção remota que permite determinar as coordenadas, ou outras propriedades de um objeto pela sua iluminação com radiação laser. Tem capacidades únicas para a aquisição de informação para, diversas aplicações.
- Varrimento topográfico por laser



- ALS (*Airborne Laser Scanning*)
avião, helicóptero, UAV
- TLS (*Terrestrial Laser Scanning*)
tripé, plataforma fixa
- MLS (*Mobile Laser Scanning*)
carro, comboio, barco, etc.

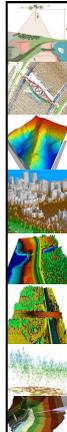


originalmente em www.toposys.com




www.riegj.com

Permite adquirir coordenadas XYZ de nuvens de pontos com grande precisão e de uma forma muito eficaz (cm a décimas de mm).



Introdução

- O laser foi desenvolvido em 1958
- Em meados dos anos 60 o laser começou a ser usado em levantamentos topográficos para a medição de distâncias (EDM)
- Isto permitiu o desenvolvimento de aparelhos que produziam, de maneira manual, perfis, usados inicialmente em minas e em túneis.
- Quando se acoplou a esses aparelhos um mecanismo de varrimento surgiu o primeiro TLS (comercializado em meados dos anos 90)
- O 1º MLS é desenvolvido no início de 2000.
- O desenvolvimento do conceito VA tem início em 1970 na NASA mas a inexistência/indisponibilidade de tecnologias de suporte (ex: integração de GPS e INS, capacidade de armazenamento e velocidade de processamento de dados) não permitiram o seu uso em aplicações topográficas para civis até meados de 90.

Introdução

Passou-se de perfis para nuvens de pontos.

O Modo de medição em perfis é utilizado em investigação, satélites ou para a monitorização contínua de estruturas alongadas como as turbinas eólicas.

http://ftp.ecn.purdue.edu/ishani.../Chapter_2_Gordon_Toth_v2.doc

Introdução

<http://www.ikg.uni-hannover.de/index.php?id=333&L=1>

Introdução

Projeto FCT: Estimación de Variables Forestales e de Combustível e Modelação Digital de Terreno através de Varrimento Aéreo por Laser e Imagens CIR de Grande Resolução

Introdução

- Varrimento por laser sendo uma técnica rápida, precisa e direta (não inferencial) para a aquisição de geoinformação, tornou-se naturalmente uma técnica topográfica muito atrativa.
- A procura de densas nuvens de pontos aumentou e a tecnologia, principalmente nos últimos 6 anos sofreu grandes avanços, tanto que se tornou uma das principais tecnologias para aquisição de geoinformação juntamente com a Fotogrametria Digital.
- De facto, estas duas tecnologias já são utilizadas em combinação como por exemplo para a produção de ortofotos.
- Considerando que há cerca de 400 sistemas ALS em operação em todo o mundo e que cada sistema custa entre \$500.000 a \$1,3 milhões, isto corresponde a um grande investimento na tecnologia pelos produtores de geoinformação.

Introdução

- E apesar de VL já estar bem estabelecido como uma ferramenta para aquisição de geoinformação, a tecnologia continua a desenvolver-se rapidamente, com prospectos de melhorias em performance particularmente no aumento da frequência de emissão do sinal e, no caso de ALS de aquisição a altitudes cada vez mais elevadas (aumento da potência do laser).
- Os sistemas existentes permitem já digitalizar o sinal (fullwave) e manipular vários pulsos no ar num dado momento quer utilizando vários sensores ou vários sistemas completos ou quase completos, quer utilizando a separação em dois do raio laser à saída (PDM), quer tendo a possibilidade de disparar um raio laser sem o anterior ter chegado (MPIA; CMP; MTA).

Introdução

- Presentemente, câmaras digitais de formato médio são tipicamente utilizadas juntamente com os sensores nos sistemas ALS. Possivelmente, num futuro próximo veremos esta integração com câmaras digitais de grande formato.
- O aumento da resolução espacial, da densidade de pontos por m², e uma maior resolução das câmaras digitais melhorarão o processo de fusão. Claramente, esta combinação de sensores levará ao desenvolvimento de métodos para a extração e classificação de objetos. Para certas aplicações, o processo de fusão terá que incluir imagens hiper-espetrais.
- O mercado de software para processamento e visualização de dados cresceu também substancialmente.
- O número de aplicações tem vindo a aumentar consideravelmente.

Introdução

- Com a grande procura de dados VL surge a necessidade de haver diretrizes para a avaliação da qualidade dos dados e produtos derivados, principalmente com a crescente integração de dados de diversas fontes.

(nos EUA a ASPRS publicou diretrizes sobre a avaliação da exatidão vertical e horizontal (draft) de dados e produtos LIDAR)
http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/Vertical_Accuracy_Reporting_for_Lidar_Data.pdf

- No sítio da Riegl encontram-se também 3 documentos que podem servir de linhas orientadoras para a escolha dos seus sistemas para uma determinada aplicação (ALS, TLS, e MLS).
- Existe software, como o *Topo Analyst* (da *Spatial Information Solutions*) que permite determinar a exatidão em H de dados e produtos LIDAR

- **Introdução**
- **Fundamentos**
- **Processamento de Dados e Produtos Derivados**
- **Sistemas Comercializados**
- **Aplicações**
- **Resultados de alguns projetos em Portugal**

Fundamentos

- O princípio de medição prende-se com o cálculo da distância que o sinal percorre desde o scâner até ao objecto e o seu retorno, que pode ser determinado através do tempo decorrido entre a emissão do sinal laser e a detecção do retorno ou através de métodos de triangulação.
- Os scâneres são denominados *ranging* ou triangulação consoante operam no primeiro ou segundo modo, respectivamente.
- Pelo facto do scâner de triangulação ser usado somente para levantamento de pequenas peças, não serão aqui abordados.

Fundamentos

- Um sistema VL é composto por duas (três) partes fundamentais:
 - Laser scâner
 - Unidade de controlo do sistema
 - Sistema de Posicionamento para os sistemas ALS e MLS
 A estas componentes pode ser acoplada(s) câmara(s) ou vídeo.

<http://www.topconpositioning.com/products/mobile-mapping/ip-52>

IP-52 Components da TOPCON

Fundamentos

- A componente laser scâner é constituída por :
 - uma unidade laser (emissor de laser, um modulador no caso dos sensores de sinal contínuo, óptica, e um recetor)
 - um scâner óptico-mecânico
 - módulo para digitalizar o sinal (fullwave) e
 - uma unidade eletrónica que controla o laser e o scâner.

Fundamentos

- O sistema laser mede distâncias e ângulos entre a plataforma e o "ponto" iluminado
- e a atitude e posição da plataforma durante a missão, através do POS (nos sistemas móveis).
- Os sistemas VL podem-se dividir em 2D e 3D.

Fundamentos

- Sistemas 2D: ALS and MLS, onde o raio laser é defletido pelo scâner associando-se um ângulo a cada medição.

<http://it.tudelft.nl/en/organisation/departments-and-chairs/remote-sensing/optical-and-laser-remote-sensing/research/research-fields/airborne-laser-scanning/quality-improvement-of-sla-data/>

Fundamentos

- Sistemas 3D: TLS e MLS a cada medição estão associados 2 ângulos

- O sinal é disparado e defletido. Geram-se assim padrões de linhas de pontos ao longo da linha de varrimento que representam, com elevada densidade, o objecto.

Fundamentos

mecanismos de varrimento

Scanner de Palmer

Espelho oscilante

Fibras óticas

Espeho polígono e relativo

padrões de linhas no terreno

Progressive Palmer scans

http://ftp.ecn.purdue.edu/jstahr/.../Chapter_2_Gordon_Toth_v2.doc

Fundamentos

scâner "tipo-câmara: dois espelhos galvanómetros (cabeça fixa FOV: limitado por ex. 40°x40°)

scâner panorâmico: um espelho galvanómetro ou polígono e um servomecanismo (movimento horizontal)

Reshetlyuk Y. 2006. Investigation and calibration of pulse time-of-flight terrestrial laser scanners. Licentiate thesis in Geodesy

Fundamentos

http://www.gita.org/chapters/texas_northcentral/ppts/11_12_10/SAMINC%20.pdf

Fundamentos

- Existem dois tipos de sistemas VL:
- Sistemas pulsados que usam unidades laser que emitem o sinal em intervalos de tempo regulares (deteção analógica e digitalização do sinal).
- Sistemas de sinal contínuo constituídos por unidades laser que emitem continuamente a luz laser.
- Os sistemas comerciais ALS são pulsados, enquanto que os TLS e MLS usam ambos os tipos de unidades (pulsado e contínuo).

Sistemas pulsados

O eco inicia-se com a parte mais alta da vegetação e termina com a mais baixa, eventualmente, a superfície.

À medida que a luz laser penetra na vegetação, mais ramos ou folhas produzirão ecos.

$$R = \frac{\Delta t \cdot c}{2}$$

<http://iegi.com>

adaptado de: <http://www.almx.com/almx/almx.html>

Sistemas pulsados: detecção analógica do sinal

A maior parte dos sistemas ALS permite a medição de diversos ecos, em geral, 4 ecos.

Os sistemas TSL oferecem a possibilidade de aquisição do 1º ou último retorno mas a gravação simultânea não está, em geral, disponível.

Sistemas pulsados: detecção analógica do sinal

Primeiro eco

Último eco

Sistemas pulsados: digitalização do sinal

O 1º sistema ALS fullwave operacional surgiu em 1999, comercializado em 2004

Echo waveform

Adaptado de http://www.gf.su.se/~opatri/opatri_docu/ModuleFullwave.html

Sistemas pulsados: digitalização do sinal

- Nos sistemas em que o sinal é analisado offline, i.e., a maioria dos sistemas ALS, o sinal é amostrado com uma frequência da ordem de 1GHz se bem que somente um número de amostras é digitalizado e armazenado (depende do sistema. Por exemplo 440 nos sistemas da OPTECH).
- Nos sistemas TLS e MLS fullwave, os ecos detetados pelo sistema são digitalizados e analisados, em geral, em tempo real. Isto permite a análise do sinal e a detecção de vários alvos *in situ* e a sua imediata visualização. Abre novas possibilidades para o levantamento de estruturas obstruídas por vegetação.

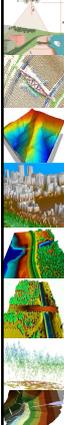
Sistemas pulsados: digitalização do sinal

1º retorno

todos os dados adicionais adquiridos pelo método de digitalização do sinal

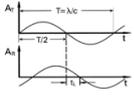
os dados adquiridos

Em: Advances in Mobile Laser Scanning Data Acquisition
Peter RIEGER, Nikolaus STUONICKA, Martin PFENNIGBAUER, Andreas ULLRICH, Austria

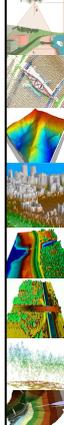


Sistemas de sinal contínuo

- O scanêr recebe a onda e mede a diferença de fase entre o sinal enviado e o recebido. Este desvio de fase permite calcular a distância entre o objeto e o scanêr .



O processamento dos dados obtidos por sinal contínuo é mais complicado mas os resultados podem ser mais precisos. No entanto para que a comparação de fase se efetue de uma forma conveniente convém que a intensidade do sinal de retorno seja boa, e portanto, estes instrumentos tendem a produzir mais pontos errados a longas distâncias. São muito rápidos e fornecem muito detalhe (ex: > 1milhão de pontos/s).

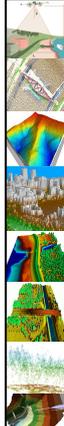


Sistemas com deteção de fótons

- NASA está a usar uma técnica inovadora, que consiste na deteção de fótons, no seu projeto experimental SIMPL (*Swath Imaging Multi-Polarization Photon-counting LIDAR*).
- É um protótipo de um ALS que servirá para cartografar a topografia terrestre, glaciares e grandes áreas geladas, e vegetação.
- Os detetores de fótons, não só detetam como contam os fótons individuais refletidos pelo objeto usando pulsos de pequenos comprimentos de onda produzidos por scanêrs de fibras.
- Se a tecnologia provar ser viável, o ALS usará vários scanêrs de fibras, que operarão numa configuração de *pushbroom*, medindo perfis em paralelo eliminando o uso de espelhos.



- Introdução
- Fundamentos
- Processamento de Dados e Produtos Derivados
- Sistemas Comercializados
- Aplicações
- Resultados de alguns projetos em Portugal



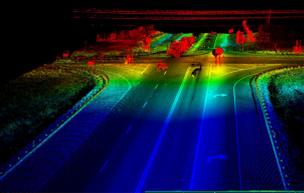
Processamento dos dados

- O resultado do varrimento laser é uma nuvem de pontos isolados com informação tridimensional. Apesar do processo de medição ser muito rápido e simples, o processamento dos dados, mesmo com um software apropriado, requer muita paciência e tempo por parte do utilizador até obter um resultado final na forma de um desenho CAD ou uma representação da superfície através de uma malha.
- Depois da aquisição, existem basicamente três conjuntos de dados: aquele produzido pelo sistema laser (distância e o(s) respectivo(s) ângulo(s) do raio de luz laser), pelo sistema POS (posição e orientação do sensor) e os dados de calibração.
- O seu processamento depende do tipo de levantamento: ALS, MLS ou TLS.

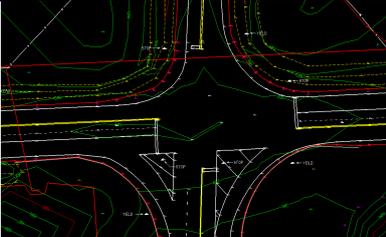


Processamento dos dados: ALS e MLS

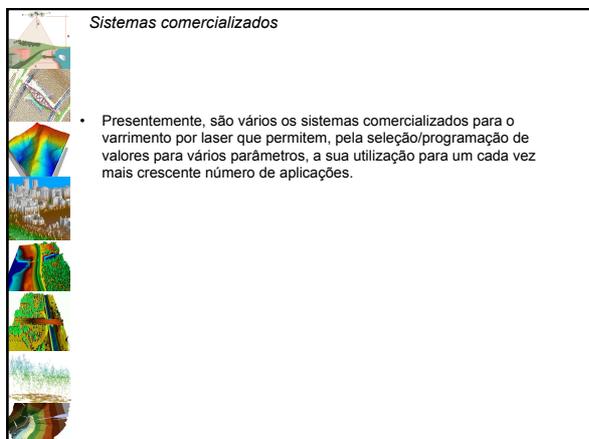
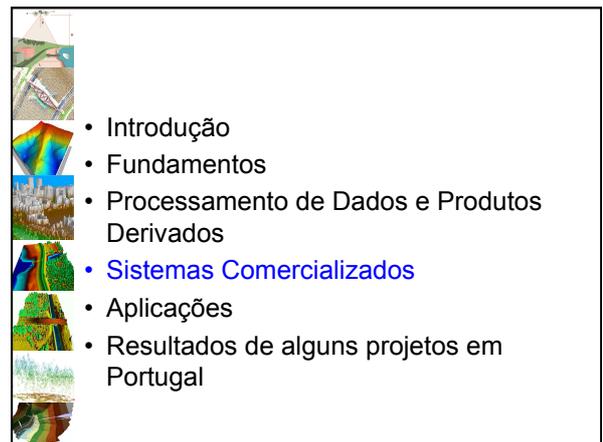
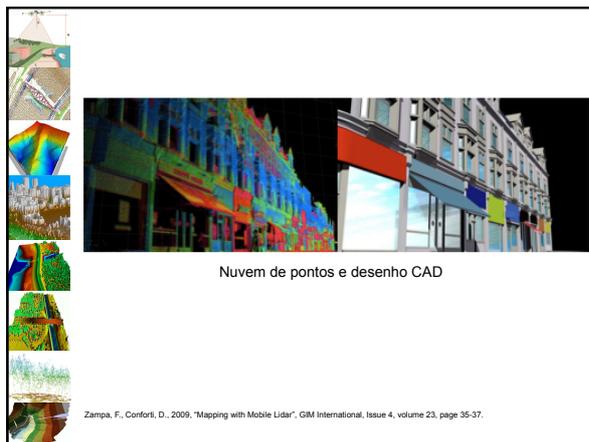
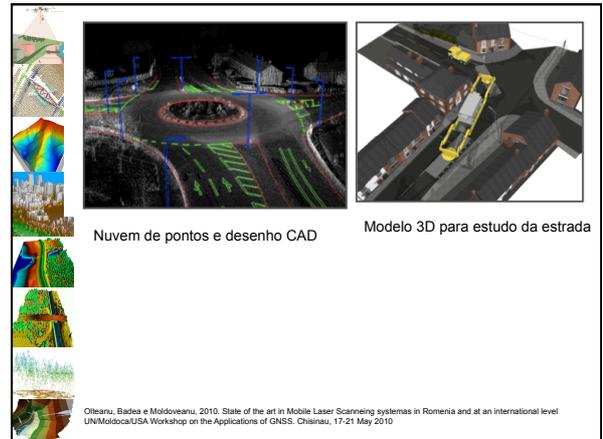
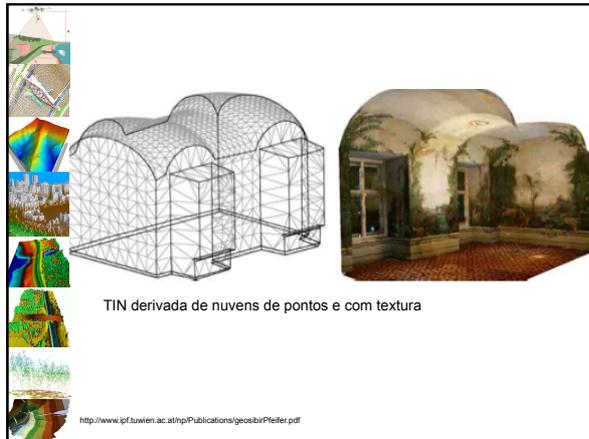
- As companhias que levam a cabo o levantamento e que processam os dados, usam em geral *software* já existente para efetuar o pós-processamento dos dados GPS/INS e transformações de *Data*.
- No entanto, tarefas mais complicadas, como o processamento do sinal (fullwave), ajustamento das fiadas (ALS), registo de dados/georeferenciação, redução dos dados, transformação para o formato em grelha e filtragem são levadas a cabo pelas empresas que adquirem os dados com *software*, quer desenvolvido por elas próprias, quer adquirido, que pode introduzir erros nos dados. Por esta razão, a visualização e edição manual dos dados torna-se necessária, sendo por vezes substancial. A precisão final dos produtos derivados depende em grande parte do *software* utilizados.
- A nuvem de pontos pode ser importada em vários pacotes de *software* (AutoCAD, ArcGIS) para visualização, manipulação, transformação e fusão com outros dados para derivação de novos produtos.



Estradas: nuvem de pontos e desenho CAD



http://www.gliu.org/chapters/lexus_montecarlo/right/11_12_19/SAMINC%20.pdf



Sistemas comercializados

Leica-Geosystems

ALS

- Compraram em 2001 a Azimuth e batizaram o seu Aeroscan ALS como ALS40 . Era muito grande e pesado.
- ALS50 (2005); ALS50-II (2006);
- ALS Corridor Mapper (2007); ALS60 (2008); ALS70 CM, HP e HA (2010).

TSL e MLS: HDS6200/7000/8800; ScanStation C5/10



Sistemas comercializados

Riegl

Essencialmente um fornecedor de sensores laser mas também vende sistemas completos.

ALS: LMS e VQ

LMS-Q160/240i (baixa alt.); LMS-Q560/680i (novo) (alta alt.); VQ-480 ; alt. média; VQ-580 (novo)

TSL e MLS: VZ-400/1000/4000 (novo)
VQ-180/250/450 (novo); VMX-250/450 (novos)



Sistemas comercializados

- Várias companhias na Alemanha construíram os seus sistemas ALS na base de sensores da Riegl, como a IGI, a TopoSys (Trimble) e a iMAR.

IGI LiteMapper

3D-ALS da iMAR Riegl

TopoSys (agora Trimble) Harrier 56



Sistemas comercializados

IGI

ALS

Fornecedor dos sistemas de navegação e posicionamento CCNS (Computer Controlled Navigation System) & AEROcontrol GPS/IMU.

Comercializa o LiteMapper 2400/4800/5600 baseados em sensores laser da Riegl

TSL e MLS: Juntamente com o 3D Laser Mapping: 3D Street Mapper; 3D Rail Mapper



Sistemas comercializados

TopoSys

Falcon laser scanners, baseados na tecnologia de fibras ópticas. Descontinuados pela Trimble.

Trimble Harrier 24 & 56. Baseados nos sensores Riegl LMS-Q240 & LMS-Q560 com o POS/AV GPS/IMU e as câmaras digitais DSS ou AIC da Applinix & Rollei também agora da Trimble!

Harrier 56



Sistemas comercializados

TopEye

Esta companhia pertence agora ao grupo Blom. Foi durante anos produtor usando o seu próprio sistema de baixa altitude TopEye Mk I (corridor mapping); redesenhado: TopEye Mk II. Último modelo TopEye Mark III com dois scanêrs.

Todos os modelos são desenhados para serem operados em helicópteros.

Laser

INS

Camera



Sistemas comercializados

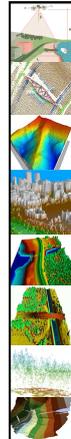
Fugro

Opera os sistemas FLI-MAP construídos internamente.
 FLI-MAP II; baixa altitude (H = 150 m).
 FLI-MAP 400 baixa altitude (H = 400 m).

O Novo FLI-MAP 1000 (2008).
 (i) 150 or 250 KHZ
 (ii) Multiple-Pulse- in-Air (MPIA).
 (iii) Altitudes até 950 m



- Introdução
- Fundamentos
- Processamento de Dados e Produtos Derivados
- Sistemas Comercializados
- Aplicações
- Resultados de alguns projetos em Portugal

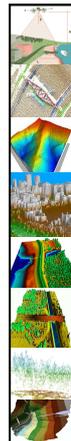


Aplicações

- O desenvolvimento da técnica de varrimento aéreo por laser deu-se no contexto da modelação da superfície terrestre, para a criação de modelos digitais de superfície (DSM) e DTM e tem-se estendido às mais variadas aplicações.
- Estas vão desde, e sem ser exaustivo, a sua utilização nas telecomunicações, produção de modelos 3D urbanos, estudos específicos de corredores, como das linhas de transmissão, levantamento da linha costeira, de linhas de caminho de ferro, de florestas, planeamento e construção de estradas, monitorização de diques e da zona costeira, monitorização de zonas de cheias, arquitetura, património histórico, estudos forenses, navegação autónoma, entre muitas outras.



- Introdução
- Fundamentos
- Processamento de Dados e Produtos Derivados
- Sistemas Comercializados
- Aplicações
- Resultados de alguns projetos em Portugal



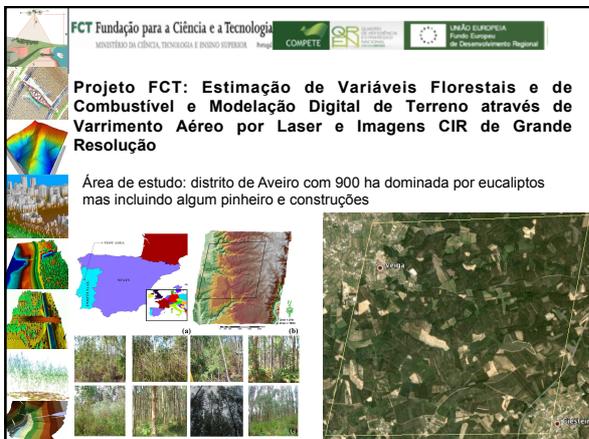
FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
 MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

COMPETE

UNICÃO EUROPEIA
 Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

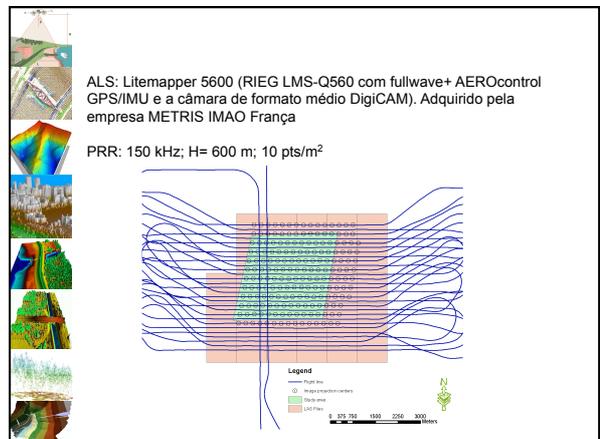
Projeto FCT: Estimação de Variáveis Florestais e de Combustível e Modelação Digital de Terreno através de Varrimento Aéreo por Laser e Imagens CIR de Grande Resolução

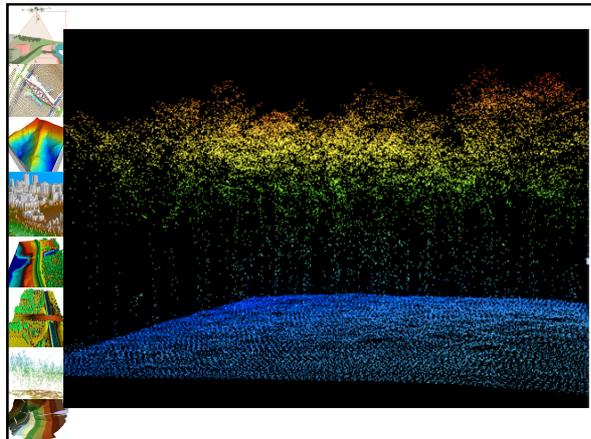
Área de estudo: distrito de Aveiro com 900 ha dominada por eucaliptos mas incluindo algum pinheiro e construções



ALS: Litemapper 5600 (RIEG LMS-Q560 com fullwave+ AEROcontrol GPS/IMU e a câmara de formato médio DigiCAM). Adquirido pela empresa METRIS IMAO França

PRR: 150 kHz; H= 600 m; 10 pts/m²





Trabalho de campo restringiu-se ao estrato eucalipto puro (480,928 ha).

Foram seleccionadas 45 parcelas de inventário circulares de 400 m² (r=11,28 m)

Como resultado do inventário florestal foram medidas as alturas total e da base da copa de 2272 árvores/varas juntamente com a caracterização geral das 45 parcelas.

Para avaliar algoritmos desenvolvidos para a produção do inventário com os dados laser:

- DTM por parcela
- Coordenadas XYZ de cada árvore da parcela e linhas de quebra (3174)

Para avaliar a qualidade dos dados laser:

- Caminhos florestais junto a parcelas (XYZ)
- Grelhas de 1 x 1 m² em superfícies regulares (estradas e campo arado) (XYZ)

Qualidade dos dados laser

	Média (cm)	RMSE (cm)
Estrada asfaltada	2,8	3,2
Campo de futebol	1,8	3,4
Campo arado	6,8	8,4

Qualidade do DTM produzido com os dados laser

Para gerar o DTM procedeu-se à filtragem dos dados usando o algoritmo de Axelsson (não houve edição manual)

Média em valor absoluto por parcela varia entre 5 e 28 cm
 RMSE varia entre 4 e 29 cm. Com todas medições, média dos resíduos é 8 cm e o RMSE é 15 cm.

Doutoramento Universidade de Coimbra e IGN França

Alguns resultados preliminares

Árvores	Posição	Árvores de Referência	Árvores Detectadas
Eucalipto	Dominante	146	98,6%
	Codominante	176	85,2%
	Dominada	210	61,4%
Pinheiro	Sudominante	117	12,8%
		52	92,3%
Total		701	69,3%

António Ferraz, Frédéric Bretar, Stéphane Jacquemoud, Gil Gonçalves, Luisa Pereira, Margarida Tomé, Paula Soares, 2011. 3D mapping of a multi-layered Mediterranean forest using ALS data. Submitted Remote Sensing of Environment.

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
 MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

COMPETE
 INICIATIVA COMUNITÁRIA de INOVAÇÃO E CRIAÇÃO DE CONHECIMENTO

UNÃO EUROPEIA
 Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

Projecto "EROSFIRE II - Ferramenta SIG para conservação do solo, à escala de encostas até bacias hidrográficas, após incêndios florestais"

Determinar o efeito da resolução de um MDT, produzido de duas fontes de dados distintas, na delimitação de áreas de contribuição em zonas de floresta arida.



Área de Estudo

Dados:

- Imagens aéreas obtidas com a Câmara Aérea Digital da Intergraph DMC01-0129 (pixel =12 µm ; distância focal f=120 mm); Alt. voo:1500 m; sobreposição frontal de 60%; pixel terreno = 19 cm.
- Dados adquiridos pela empresa Municipia.
- TIN com linhas de quebra.
- Grelha de 20 x 20 cm de pontos, obtidos com Riegl, modelo LMS Z360I (TLS). Adquiridos pela empresa Artescan



TIN fotogramétrica

Legenda
 In_Imite_fotogrametria
 Altitude (em metros)

945.446 - 992.311
525.883 - 545.446
306.32 - 525.883
496.757 - 506.32
407.193 - 496.757
447.63 - 497.193
428.067 - 447.63
408.094 - 428.067
388.04 - 408.094

1:7.500

0 50 100 200 Metros

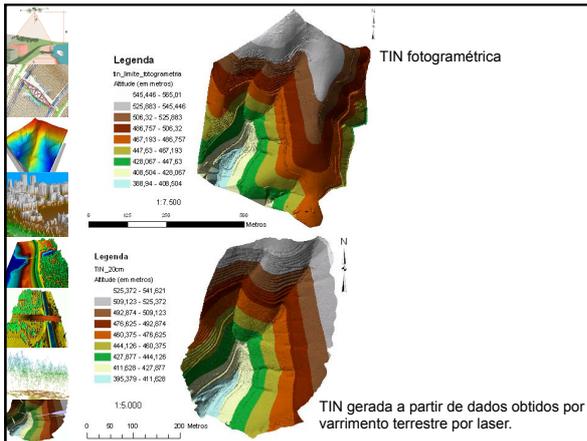
TIN gerada a partir de dados obtidos por varrimento terrestre por laser.

Legenda
 TIN_20cm
 Altitude (em metros)

525.372 - 541.621
539.123 - 525.372
492.874 - 509.123
476.625 - 492.874
460.376 - 476.625
444.126 - 460.375
427.877 - 444.126
411.628 - 427.877
395.379 - 411.628

1:5.000

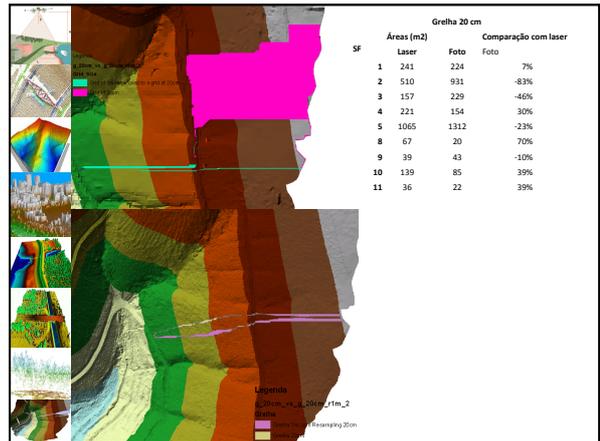
0 50 100 200 Metros



Grelha 20 cm

SF	Áreas (m2)		Comparação com laser	
	Laser	Foto	Foto	
1	241	224		7%
2	510	931		-63%
3	157	229		-46%
4	221	154		30%
5	1065	1312		-23%
8	67	20		70%
9	39	43		-10%
10	139	85		39%
11	36	22		39%

Legenda
 Grelha_20cm_1x_1_20cm_11m_2
 Borda
 Zona de Resampling 20m



Conclusão

"If you are not in the LiDAR business you will not be in the mapping business"



featured video in <http://www.asprs.org/>