



Sensoriamento Remoto II

Sensoriamento Remoto por LIDAR (LIDAR Remote Sensing)

- Introdução
- Laser Scanner terrestre
- Airborne Laser Scanner
- Aplicações

UFPR – Departamento de Geomática
Prof. Jorge Centeno
2016
copyright@ centenet

VARREDURA A LASER

- O sistema de varredura a laser é uma nova tecnologia
- projetada para a medição de coordenadas tridimensionais de pontos em uma superfície
- baseada na emissão de um pulso LASER

- LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiance

- Outras denominações comuns:
- LIDAR (Light Detection And Ranging) : Detecção e medição de distância usando luz
- LADAR (Laser Detection And Ranging) : Detecção e medição de distância usando laser

Classificação no Padrão IEC 60825-1:1993

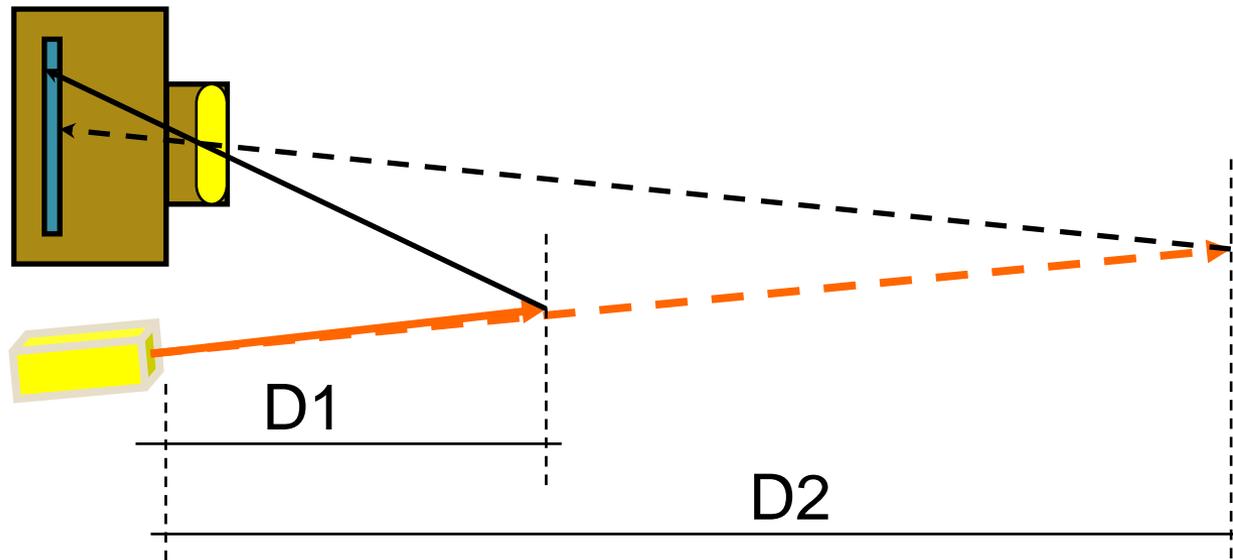
Class e	Riscos	Laser	Pot. máx Emitida
I	Sem perigo	VIS e NIR	~mW
2	Não apresenta perigo se exposta ao olho/córnea durante um curto período de tempo (0,25s)	VIS	1mW
3A	torna-se perigosa para a vista quando o feixe do laser é reduzido através de instrumentos ópticos (por exemplo, a lente).	VIS e NIR	5mW
3B	é perigosa para o olho/córnea e em alguns casos também para a pele.	VIS e NIR	0,5W
4	é extremamente perigosa para a vista e igualmente para a pele. A radiação difusa pode igualmente ser perigosa.	VIS e NIR	>0,5W

Princípios de funcionamento

- Triangulação
- Time of flight

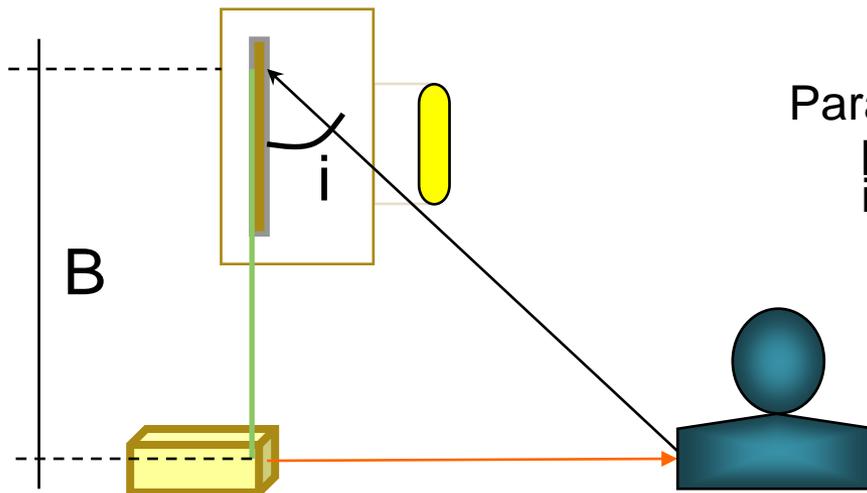
Triangulação

- Os sistemas que funcionam com o princípio de triangulação utilizam um emissor laser e uma câmera para determinar a posição do ponto do laser.
- Dependendo da distância entre o sensor e o objeto, o pulso laser refletido pela superfície aparece em lugares diferentes no plano da imagem.
- A câmera, o ponto na superfície e o emissor laser formam um triângulo (triangulação).



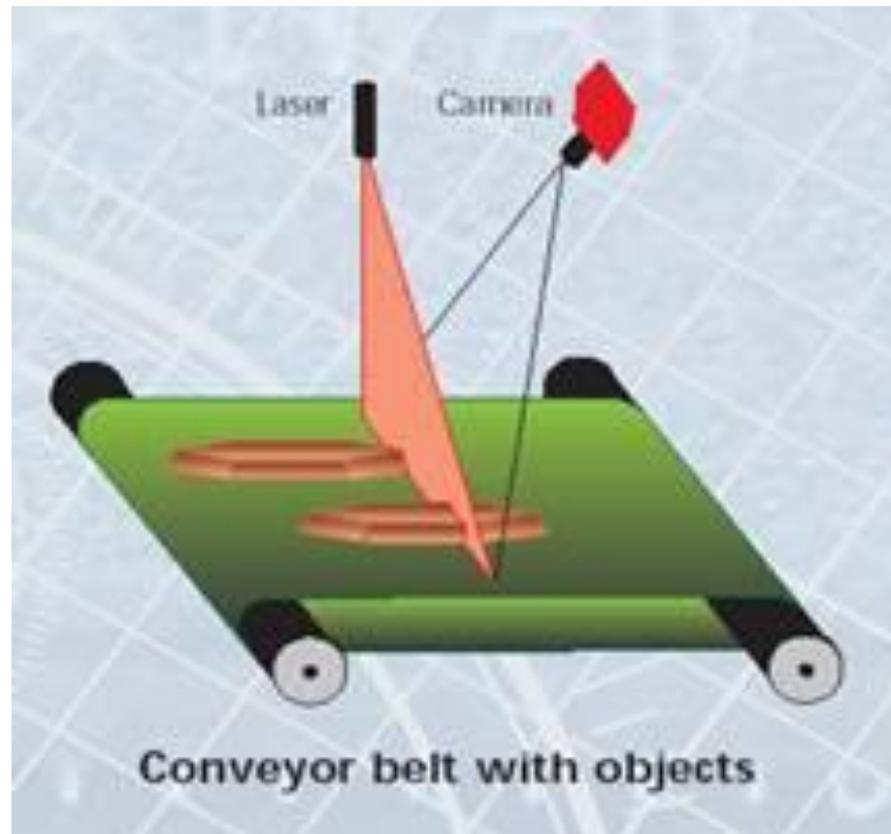
Triangulação

- Neste triângulo, são conhecidos:
- B : distância entre a câmara e o emissor laser.
- ângulo de emissão = 0 .
- i : ângulo de incidência na câmara (conhecendo o ponto de incidência no plano da imagem e os parâmetros de orientação interior da câmara).
- Com isto, a posição do ponto pode ser calculada.

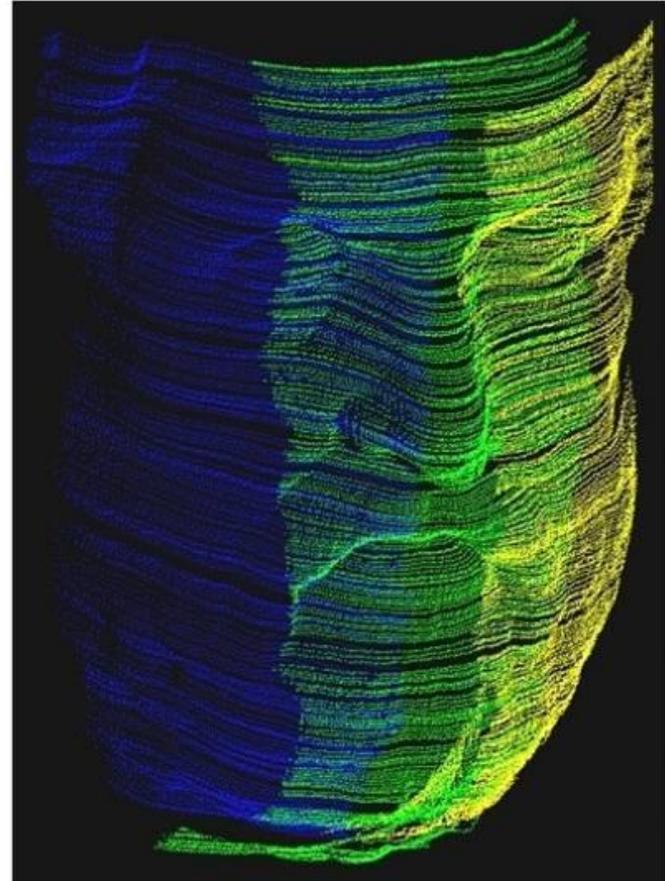


Para acelerar o processo, uma linha pode ser lida em lugar de um ponto isolado.

- [Adept Electronic Solutions](#) - Photonfocus AG, Switzerland, MV-DI024E-3D01 camera



Scanner commercial



NIKON: LCI 5Dx

Acurácia: (MPE_p)¹	2.5µm (0.0001in)
Resolução (distância entre pontos)	22µm (0.00087in)
Taxa de aquisição (aprox.)	70,000 points/sec
Pontos por linha (aprox.)	900
Laser tipo:	Classe 2 (660µm)

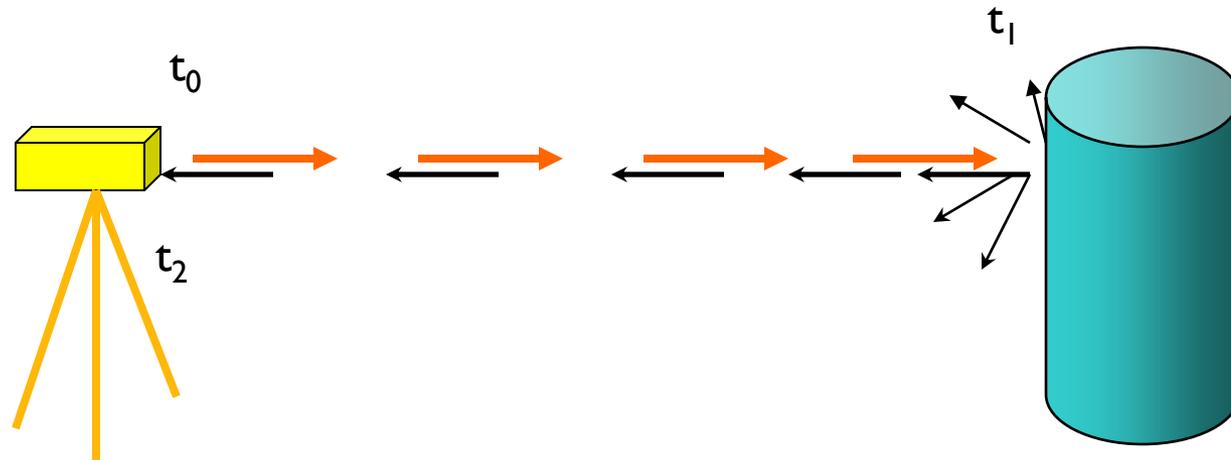


<http://www.nikonmetrology.com>

- Time of flight = tempo de propagação

Time-of-flight

Baseia-se na medição do tempo entre a emissão e o retorno do pulso refletido.



t_0 : O pulso é disparado na direção do objeto.

t_1 : Ao atingir a superfície dos objetos, parte do mesmo é refletida na direção do sensor,

t_2 : No sensor, são medidos

- o tempo decorrido entre a emissão e a captação do retorno e
- a intensidade do retorno.

Como calcular a distância?

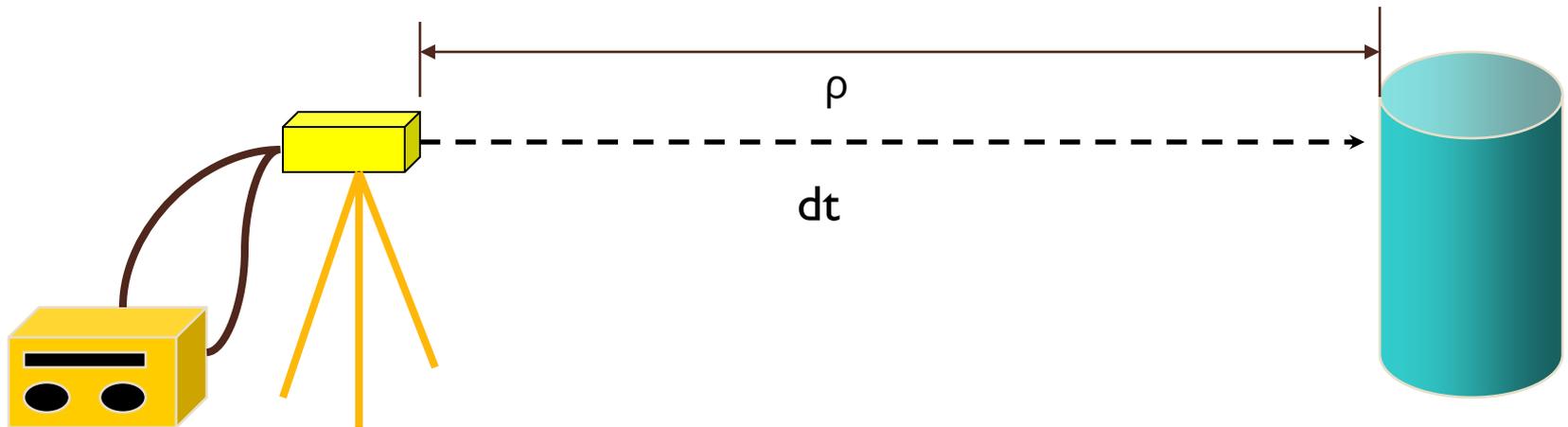
- A distância entre o sensor e o objeto pode ser calculada a partir do tempo decorrido entre a emissão e o registro do retorno.

Velocidade = distância/tempo

$$c = (2 * \rho) / dt$$

Logo,

$$\rho = c * dt / 2$$



Como medir o tempo?

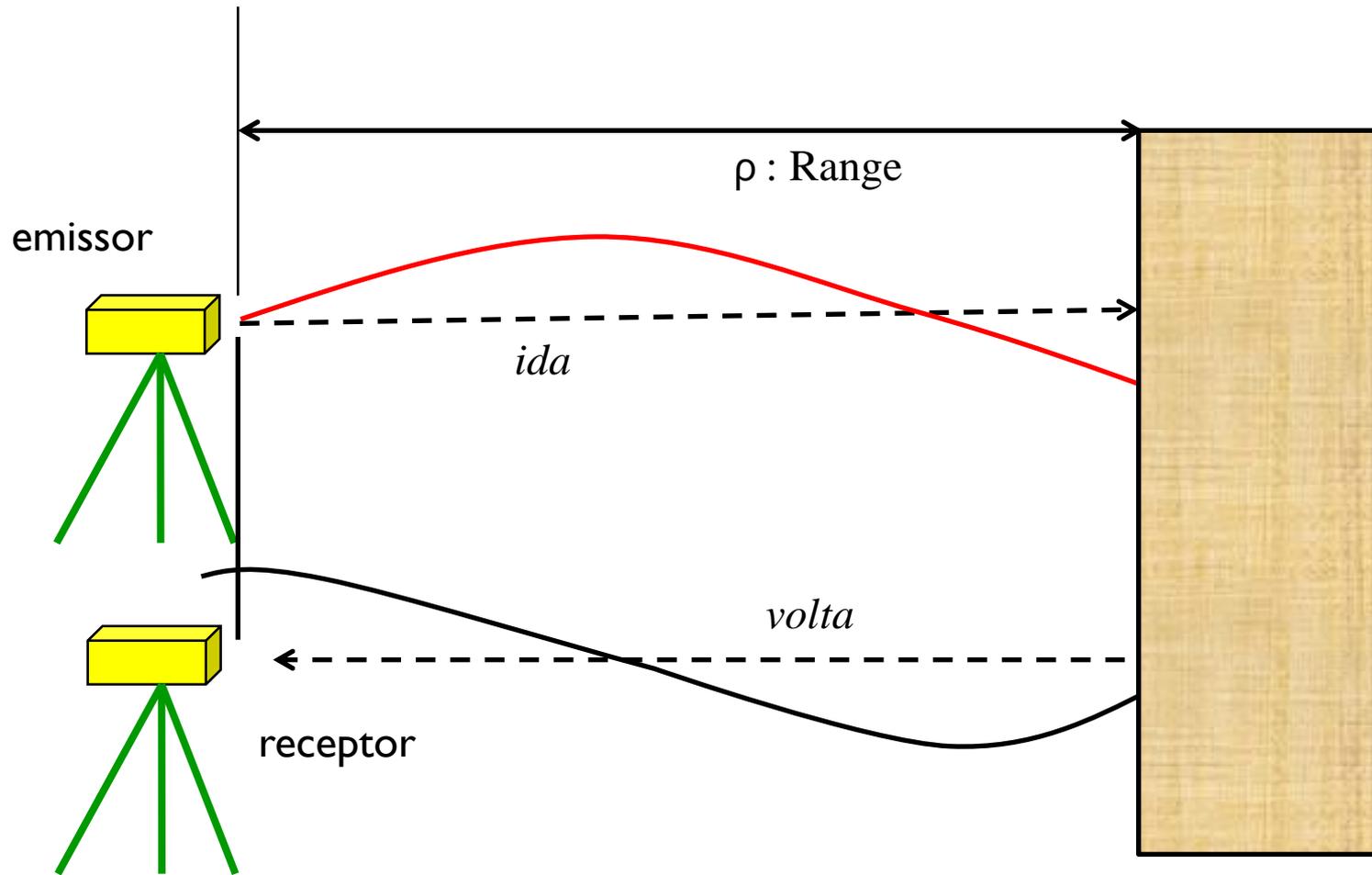
- Para isto existem duas alternativas: o sistema de pulsos e o sistema de onda contínua.

Pulsed laser scanning

Continuous wave laser scanning

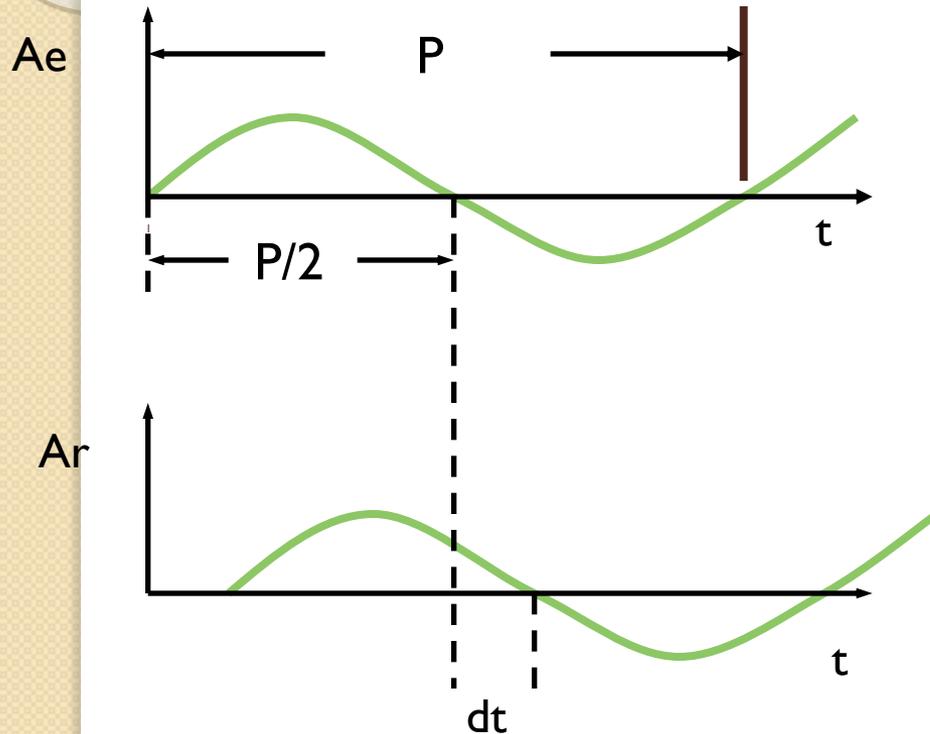
- 
- Continuous wave
 - Onda contínua

Onda contínua



Sistema de onda contínua

O tempo de viagem da onda e diretamente proporcional à diferença de fase entre o sinal recebido e o emitido.



$$P \cong 2\pi$$
$$dt \cong \Phi$$

P : período da onda

dt : retardo

Φ : diferença de fase

Sistema de onda contínua

$$P \cong 2\pi$$

$$dt \cong \Phi$$

então:

$$dt = (\Phi P) / (2\pi)$$

ou, em termos de frequência (f):

$$dt = \Phi / (2\pi f)$$

como (Range) é: $\rho = 0,5 * c * dt$

logo:

$$\rho = 0,5 * c * \Phi / (2\pi f)$$

P : período da onda

dt : retardo da onda

Φ : diferença de fase

c = velocidade da luz

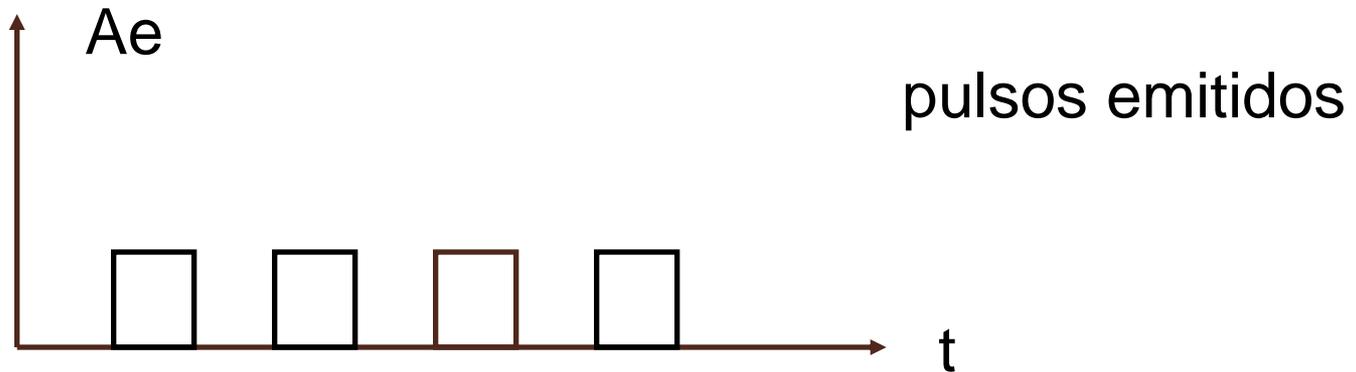
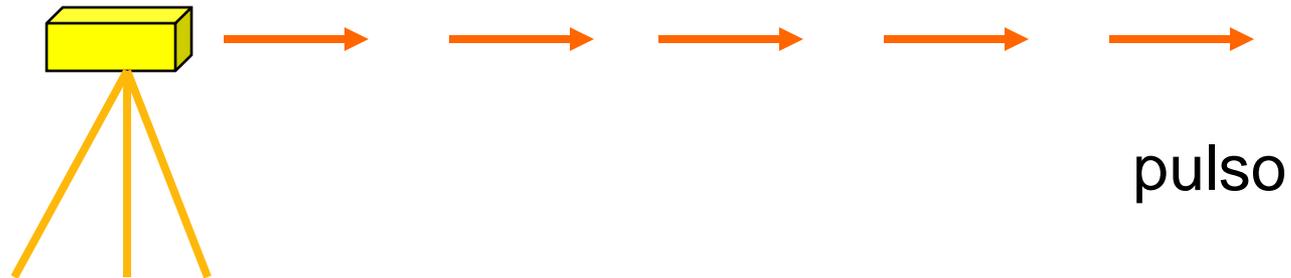
Resolução

- A resolução do sistema é proporcional à resolução em termos de diferença de fase $\Delta(\Phi)$:
 - $\Delta(R) = 0,5 * c * \Delta(\Phi) / (2\pi f)$

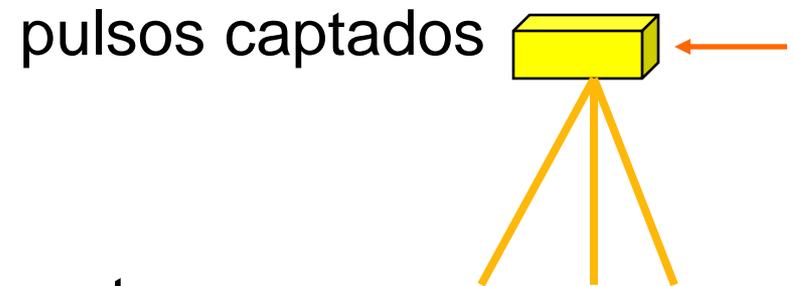
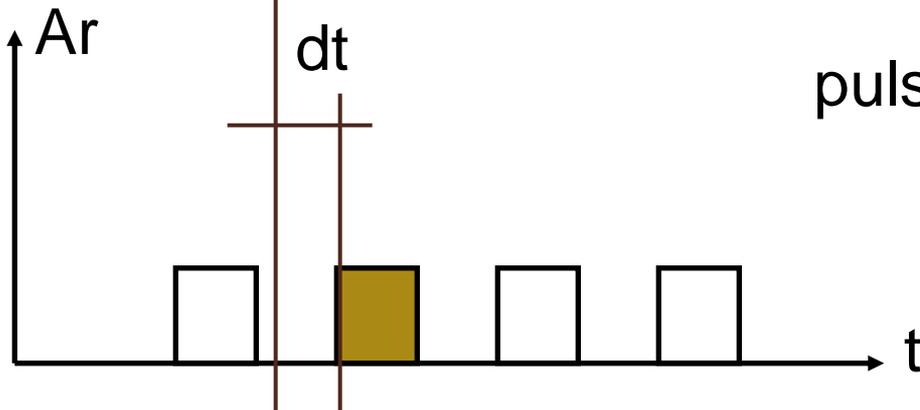
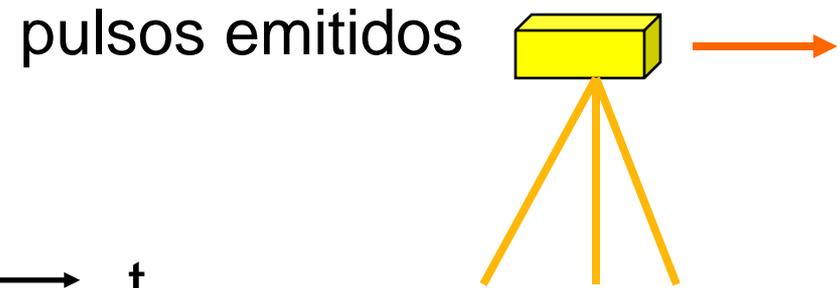
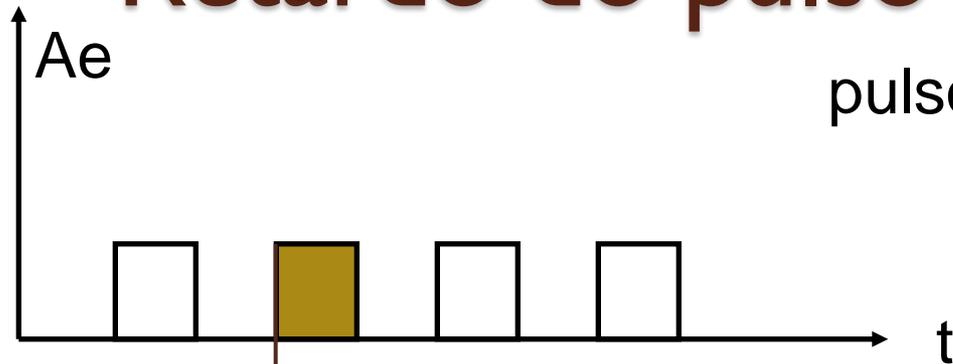
- 
- Pulsed Lidar
 - Sistema de pulsos

Sistema de Pulso

- Baseia-se na emissão de curtos pulsos em intervalos regulares.



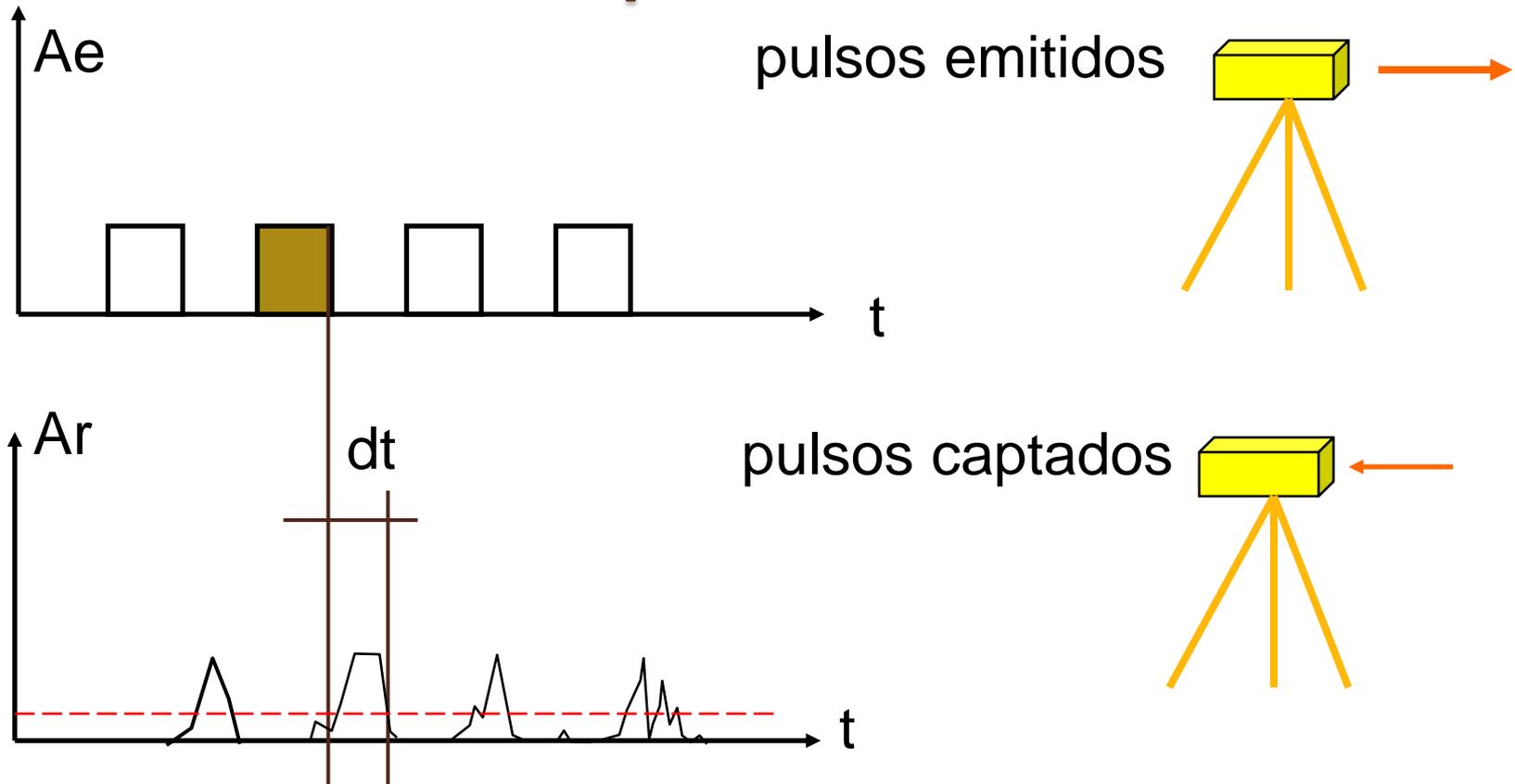
Retardo do pulso refletido



O retardo do pulso refletido e captado possibilita determinar a distância (R)

$$R = 0.5 * c * dt$$

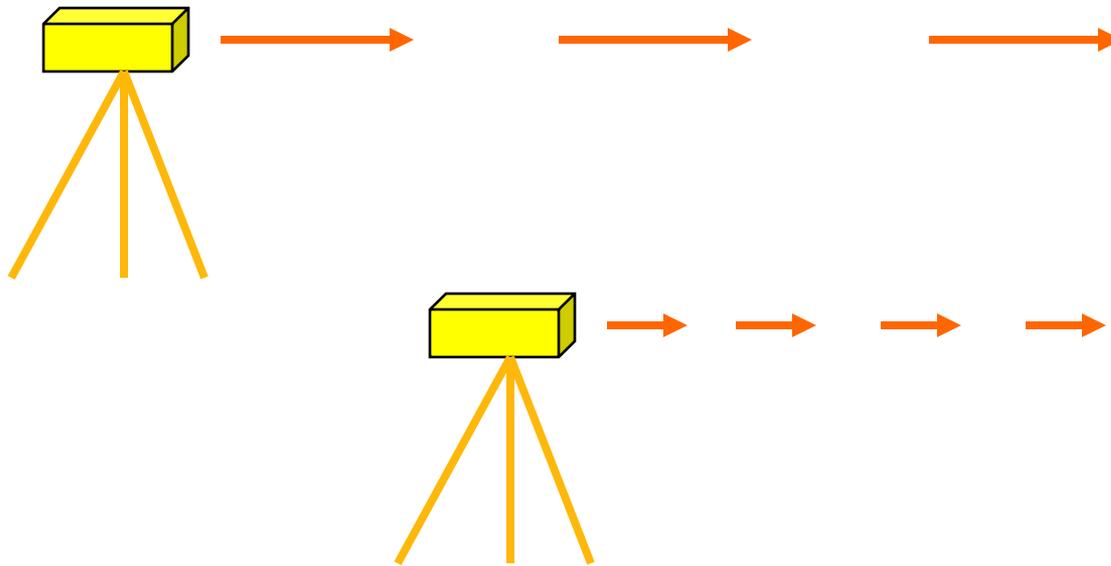
Retardo do pulso refletido



Resolução em distância

- A resolução do sistema de pulso em termos de distância é determinada pelo afastamento e a duração do pulso, ou seja a resolução da medida do intervalo de tempo:

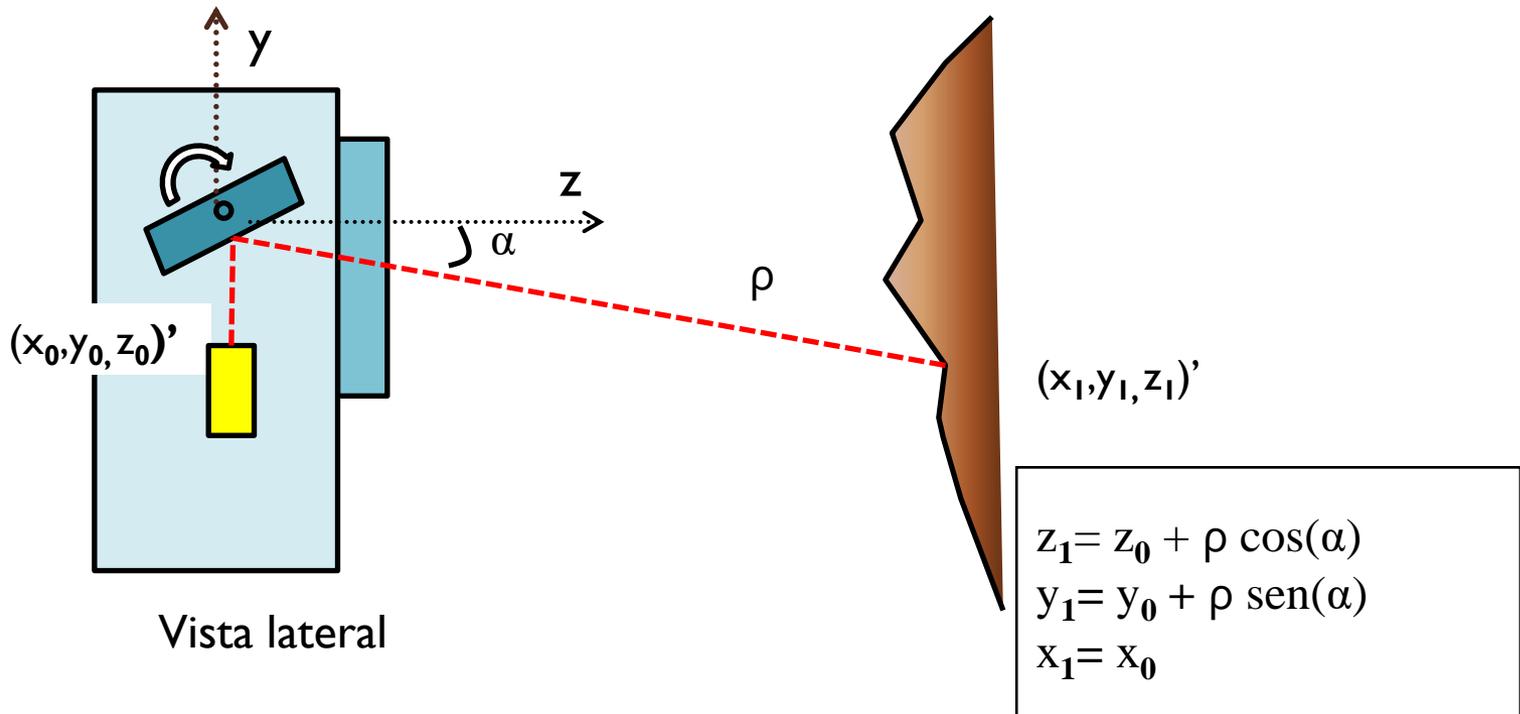
- $\Delta(R) = 0.5 * c * \Delta(dt)$



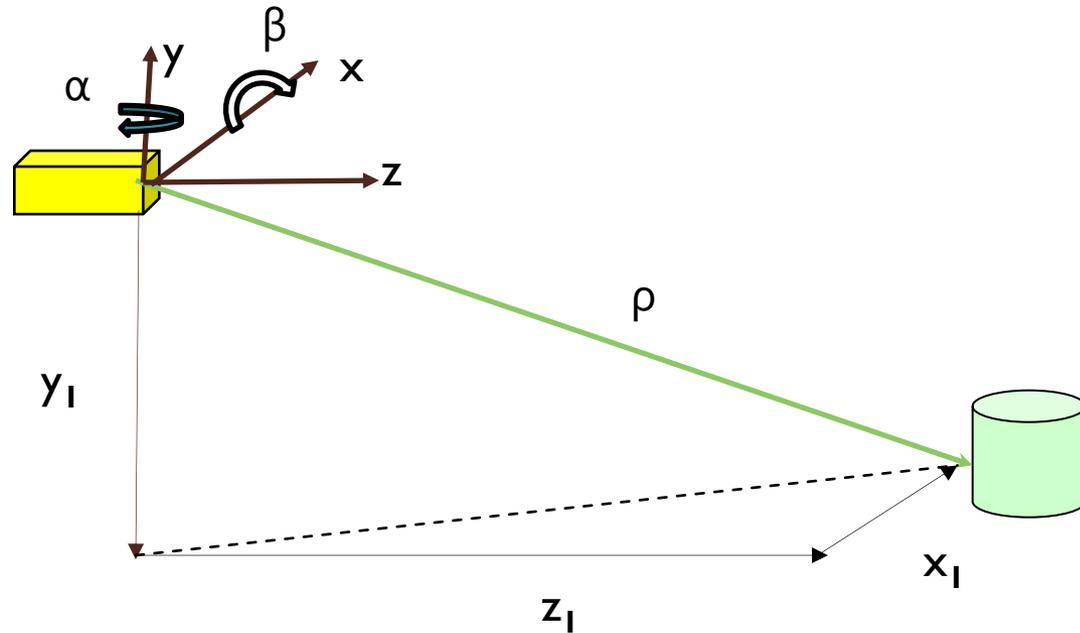
- 
- Cálculo da posição do ponto
 - VARREDURA

Posição do Ponto atingido

- Uma varredura transversal (de cima para baixo) pode ser obtida utilizando um espelho móvel, girando em torno do eixo x, na frente do sensor/emissor



- O espelho pode ser girado também em torno do eixo vertical, efetuando a varredura em duas direções:

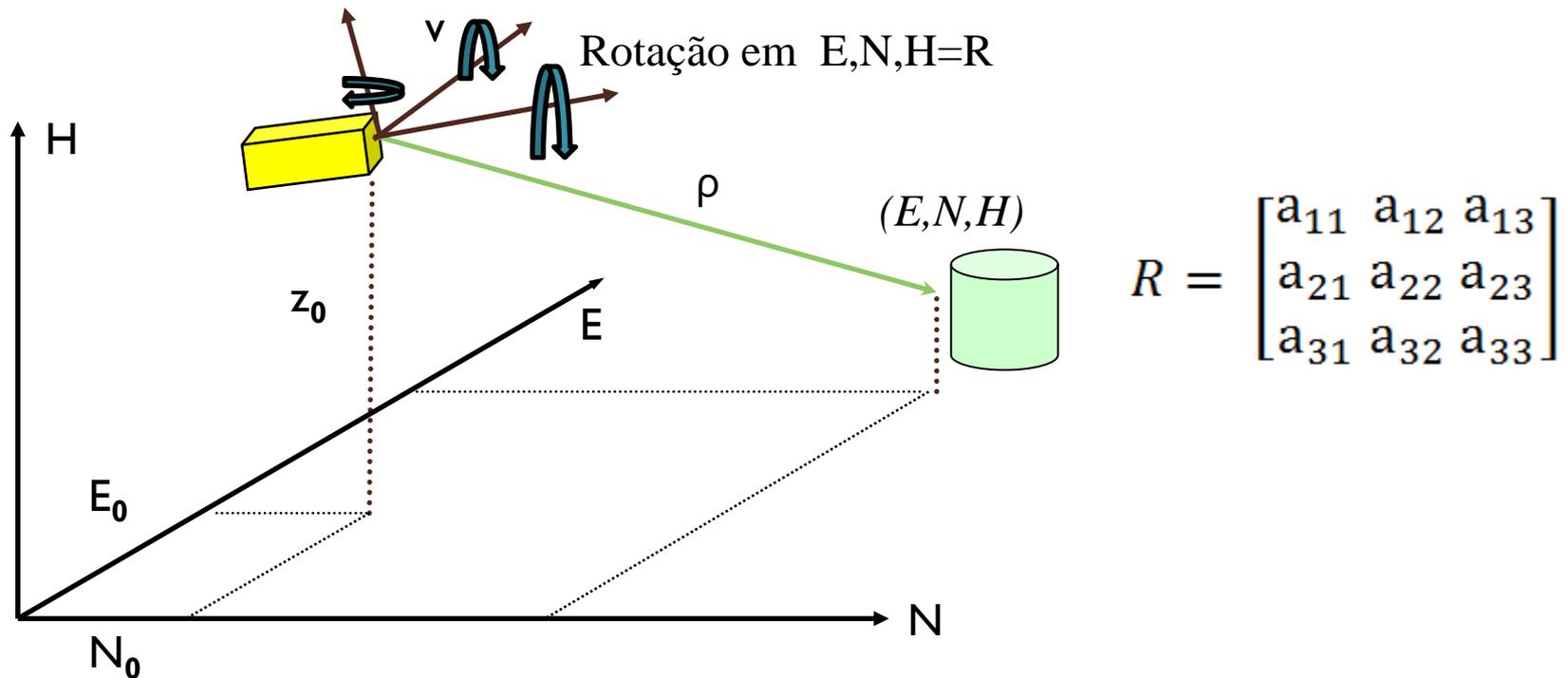


Se: $x_0 = y_0 = z_0 = 0$;

$(x_1, y_1, z_1) = f(\rho, \alpha, \beta)$

Orientação: caso geral

- Para referenciar as coordenadas no sistema externo (horizontal (E,N) , vertical(H)) deve-se aplicar a rotação relativa entre o sensor e o sistema de referência (R)



$$P_{x_1, y_1, z_1} = P_{x_0, y_0, z_0} + R_{\text{emissão}}(a_1, a_2, a_3) \text{ Range}$$

laser scanner terrestre

A questão da posição

O sistema pode ser instalado em tripés.

As Rotações dos espelhos de varredura e Range devem ser medidas.

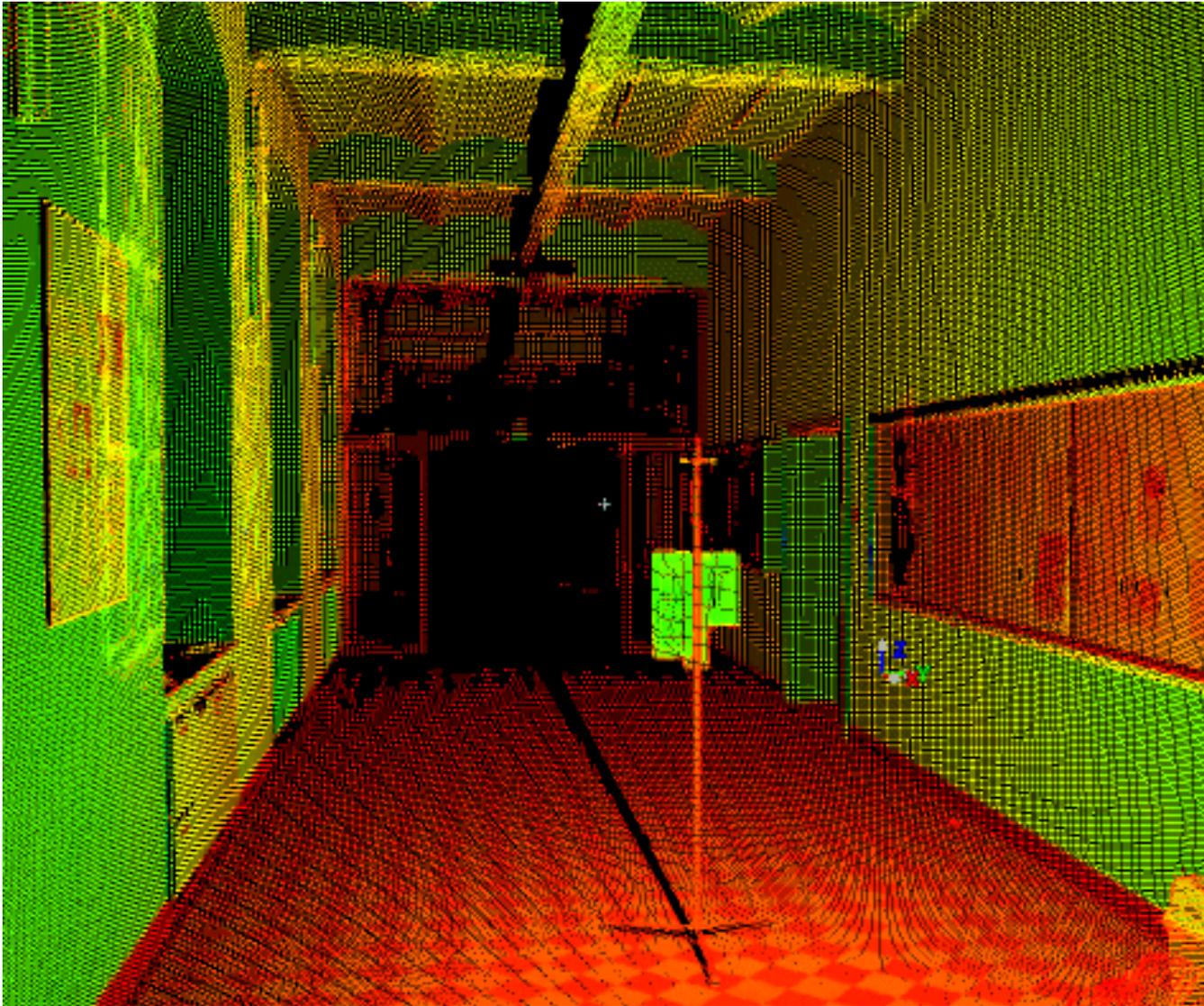
Levantamento relativo.



Vantagens: laser scanner terrestre

- Rapidez. Capaz de coletar mais de 2000 pontos por segundo, a uma distância de até 1500 metros do alvo, gerando uma densa nuvem de pontos
- Alta densidade e quantidade de pontos (nuvem de pontos com resolução configurável a até 1mm)
- Não necessita de alvos refletores
- Pode ser operado na ausência da luz.
- Fácil operação
- .

exemplo



TRIMBLE GX 3D SCANNER

- Range (typically, under standard clear conditions)
- **350 m to 90% reflective surface³ (w/ OverS**
- 200 m to 35% reflective surface³
- 155 m to 18% reflective surface³
- Scanning speed. **up to 5000 points per second**
- Single point accuracy.
- **position = 12 mm @ 100 m:**
- **distance = 7 mm @ 100 m**
- Hz angle = 12" (60 μ rad):
- Vt angle = 14" (70 μ rad)

- Scan resolution . **spot size: 3 mm @ 50 m**
- Point spacing: down to 3.2 mm @ 100 m
- Scan row (hz): 200,000 points ;
- Scan row (vt): 65,536 points

- Laser type: pulsed 532 nm, green
- Field of view . 360° x 60° continuous single scan
- Digital imaging. real-time integrated color video with 5.5x optical zoom



• http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-390416/022543-404_GX_3Dscanner_advanced_DS_0907_lr.pdf

ILRIS



Parameter	ILRIS-HD	ILRIS-HD-ER	ILRIS-LR
Range 80% reflectivity	1250 m	1800 m	3000 m
Range 10% reflectivity	400 m	650 m	1330 m
Minimum range	3 m		
Laser repetition rate (peak and effective PRF) ¹	10,000 Hz		
Raw range accuracy (averaged) ^{2,3}	7 mm @ 100 m		

Alguns exemplos

- Exemplos de levantamentos em Curitiba.



Teatro do Paiol - Curitiba

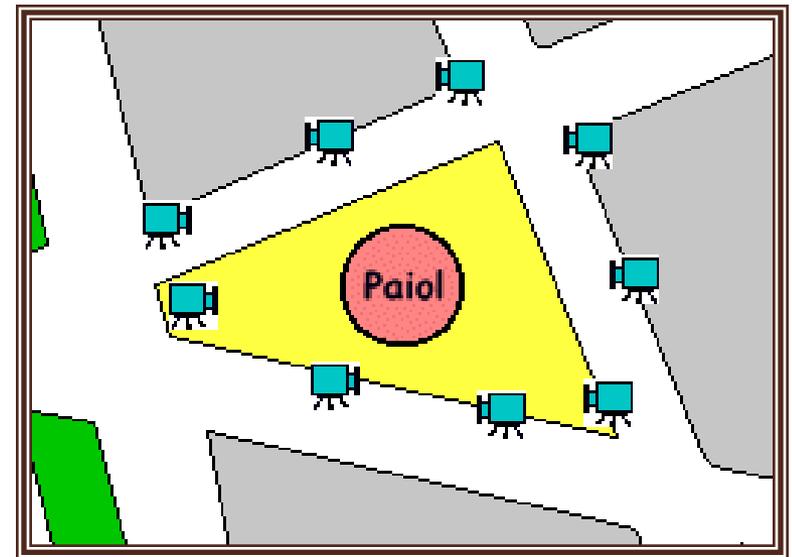
Neste exemplo é aplicada a varredura a laser terrestre com a finalidade de se obter uma descrição geométrica da fachada de um prédio circular, difícil de ser levantado utilizando fotografias convencionais a curta distância.



- Teatro do Paiol – Curitiba

Coleta de dados

- Foram realizadas 9 tomadas em pontos diferentes. Teoricamente seriam necessárias apenas 4 tomadas para que toda a extensão da construção fosse mapeada. No entanto mais tomadas foram necessárias, devido a impossibilidade de colocar o equipamento a uma distância suficiente para um recobrimento adequado (obstáculos presentes no campo de imageamento).



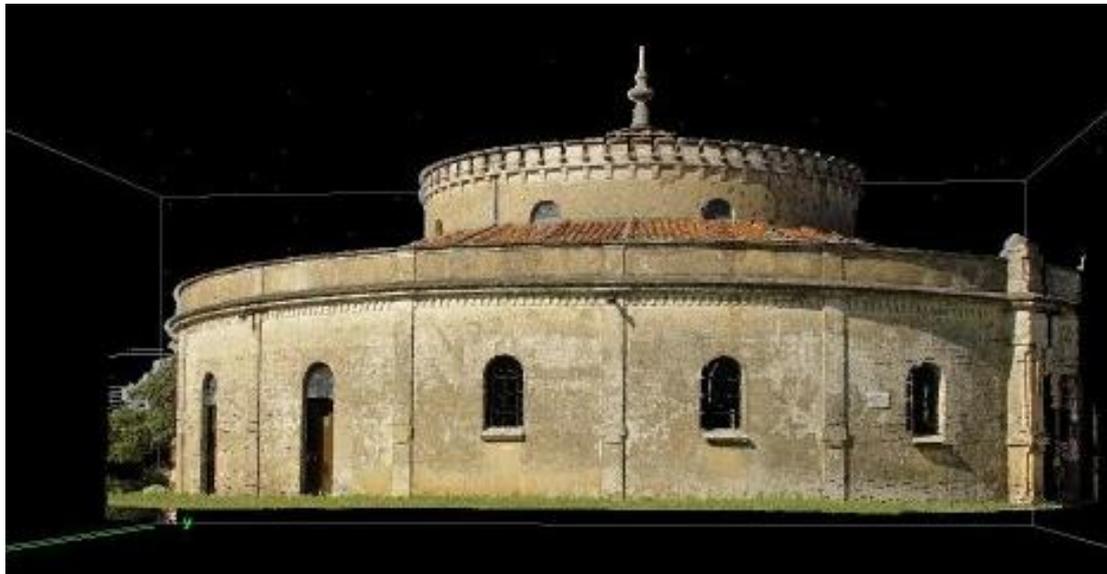
fotografias

- **Junto com a varredura a laser foram adquiridas fotografias desde cada estação. Para isto, o equipamento conta com a opção de acoplar uma câmara digital no eixo do sensor. Assim a fotografia é obtida no mesmo momento da tomada dos dados tridimensionais.**



Modelagem tridimensional

-
- **Modelo tridimensional com superposição da textura derivada da imagem RGB.**



Oclusões



CYRAX HDS 3000 (Leica)

O Sistema consiste do aparelho para varredura laser, do software Cyclone que é executado em um PC, do sistema de força (bateria) e mais acessórios como tripés e alvos.



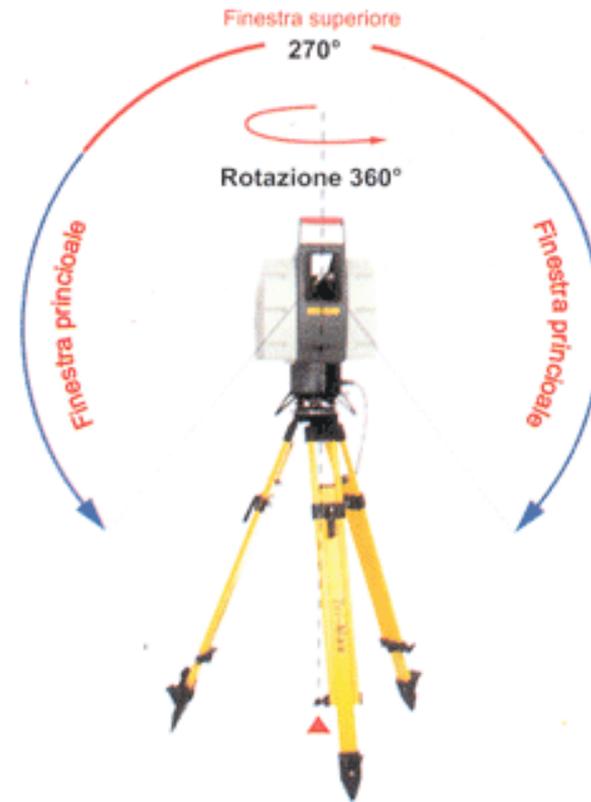
Laser Scanner Terrestre

- Especificações Técnicas

Acurácia em distância (z)	±4mm
Acurácia planimétrica (x, y)	±6mm
Acurácia angular – incremento do ângulo IFOV	± 60 microradianos 12''
Acurácia da superfície modelada	± 2mm
Acurácia com aquisição de alvos	± 1,5mm
Campo de visão FOV	360° horizontal, 270° vertical
Distância mínima de operação	1 m
Distância máxima de operação	100 m
Taxa de varredura	1800 pontos por segundo
Máxima densidade de resolução	1,2 mm

Laser Scanner Terrestre

- equipamento



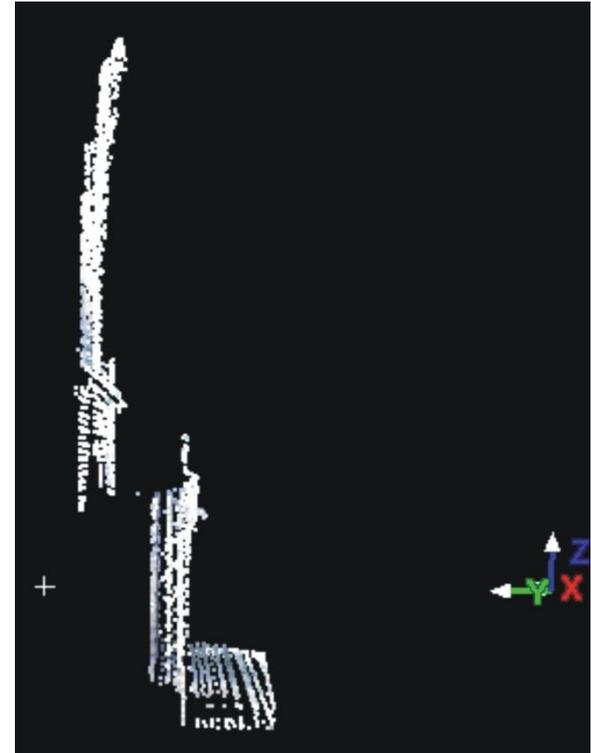
Para realizar um levantamento

- Verifique a fonte de energia.
- Estude a posição (as posições) onde colocar o aparelho. Considere que deve cobrir toda a superfície e minimizar oclusões
- Estime o melhor horário (pedestres ou carros podem esconder o objeto)
- Defina a densidade de pontos na superfície do terreno
- Tome cuidado com carros. Se possível, sinalize com cones sua posição.



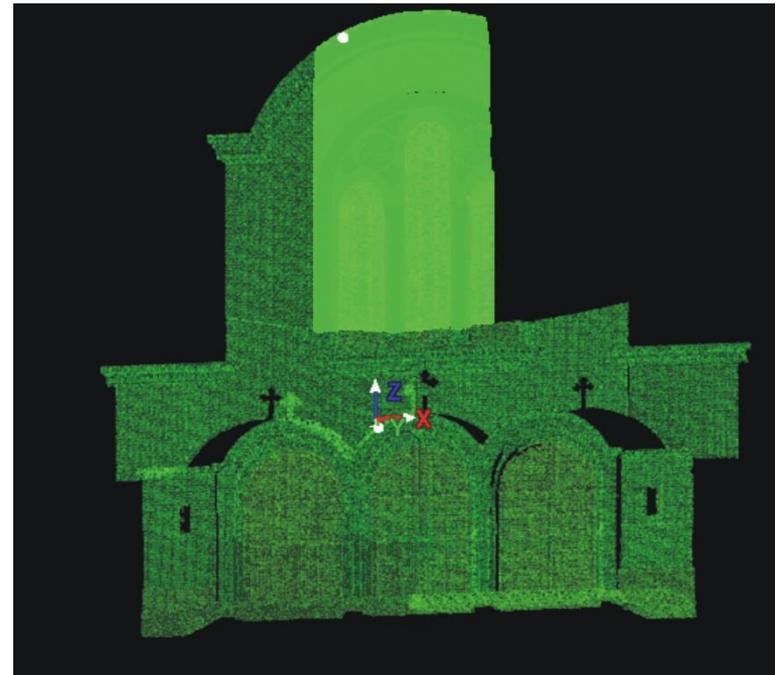
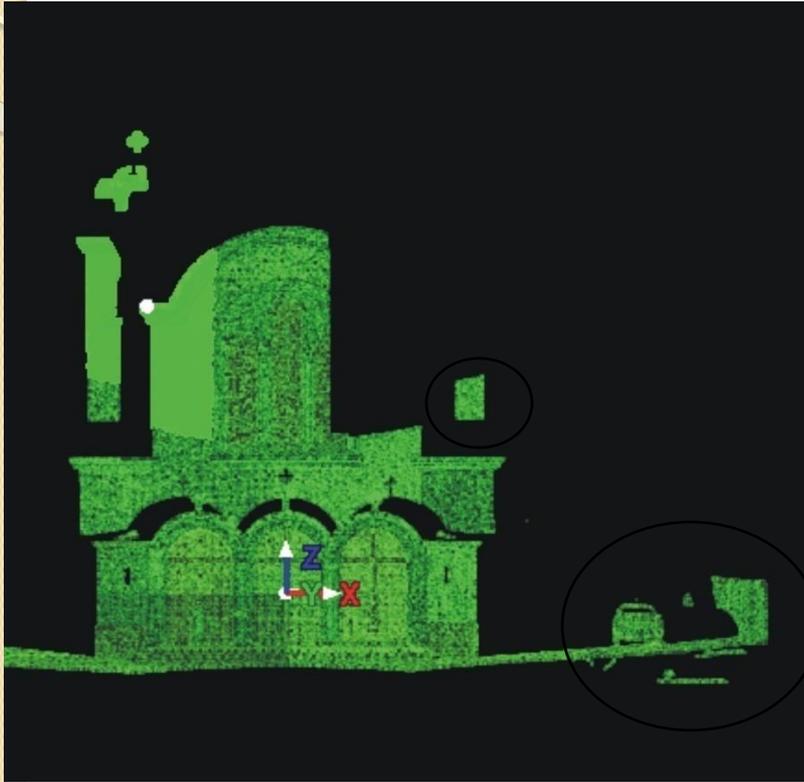
A Igreja Católica
Ortodoxa Antioquina
São Jorge de Curitiba.
Alex Medina.

Quick-scan



- Vistas frontal e lateral de levantamento com baixa densidade de pontos

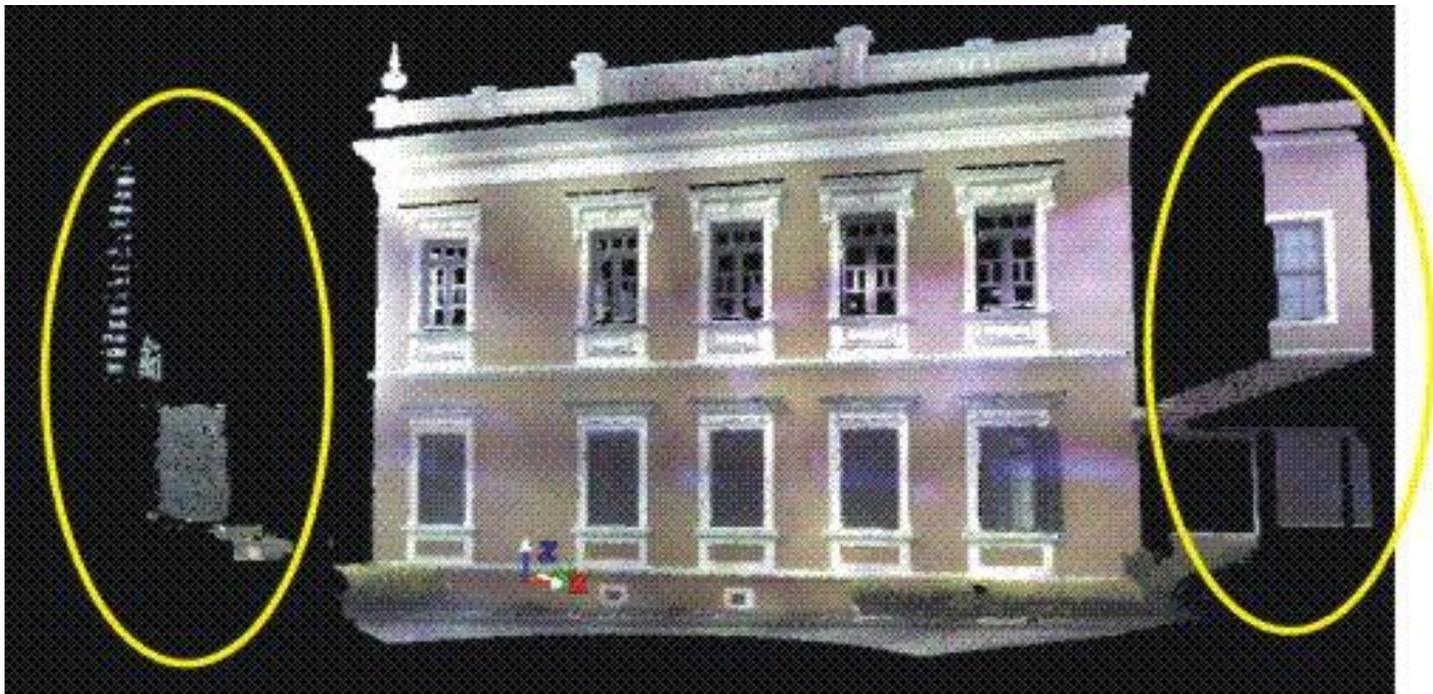
Levantamento denso e edição



- Dados: antes e depois de recorte (edição)

Edição

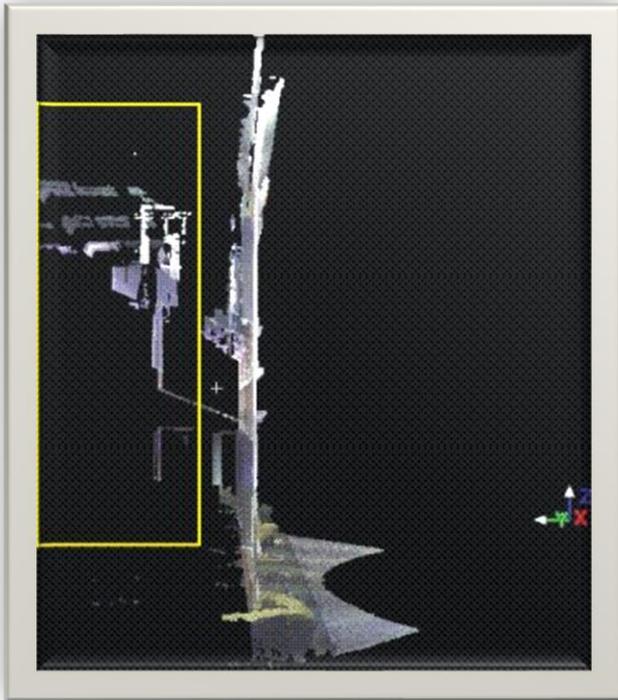
- Inclusão de outros objetos



A Sociedade Garibaldi, fundada em 1883. Alex Medina

Levantamento do Dados

- Vidros



Vista lateral



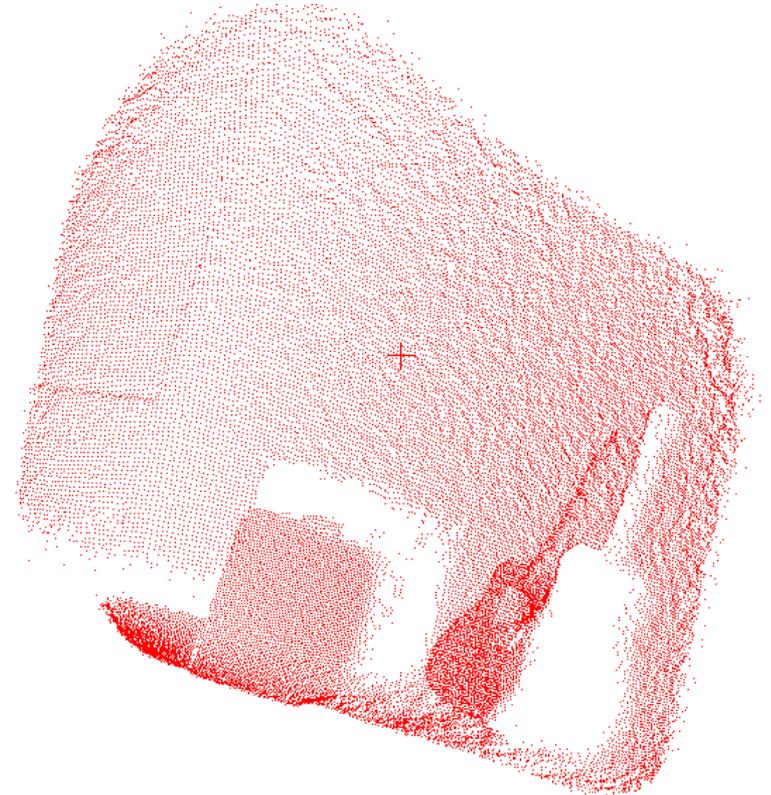
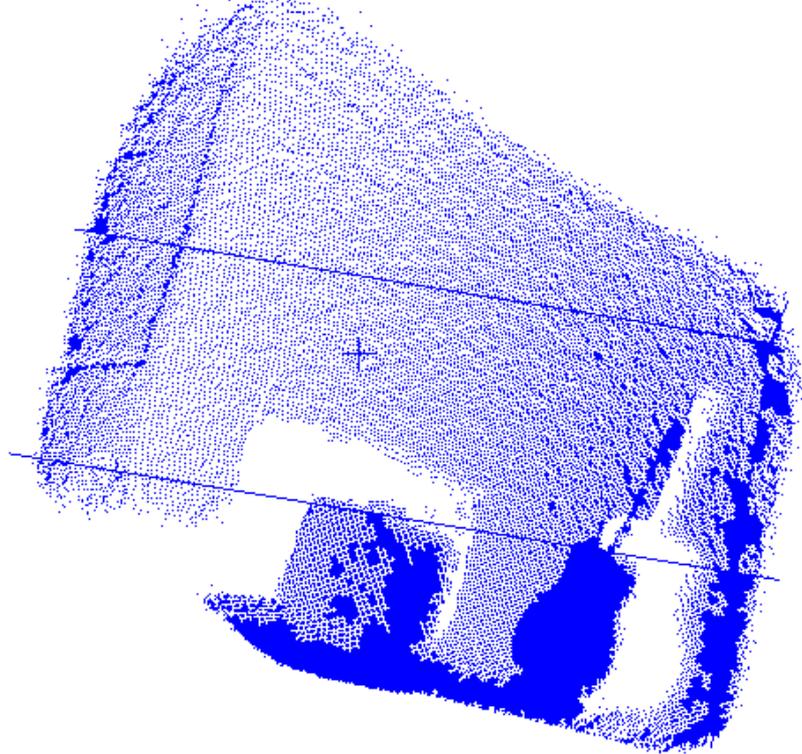
Vista de cima

Registro de nuvens

Duas nuvens cobrem aproximadamente a mesma área mas...

Desde pontos de vista diferentes

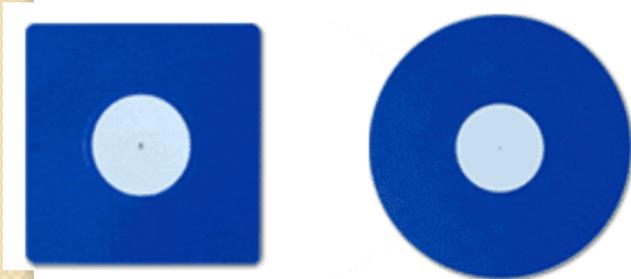
- (origem diferente)
- (orientação diferente)
- Estão na mesma escala



Alvos

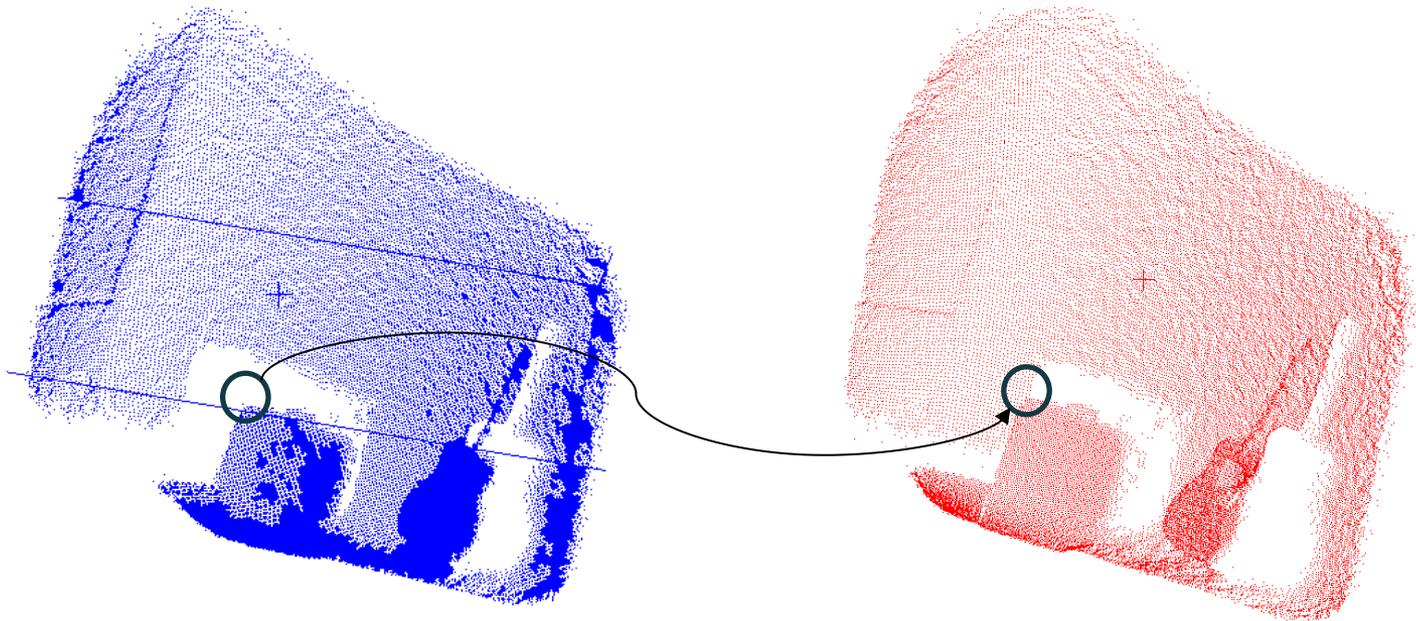
Podem ser usados alvos para determinar pontos em comum.

Estes alvos possuem alta reflectância e permitem identificação automática. São disponíveis com base adesiva, magnética e giratória.



FONTE: [HTTP://HDS.LEICA-GEOSYSTEMS.COM](http://HDS.LEICA-GEOSYSTEMS.COM)

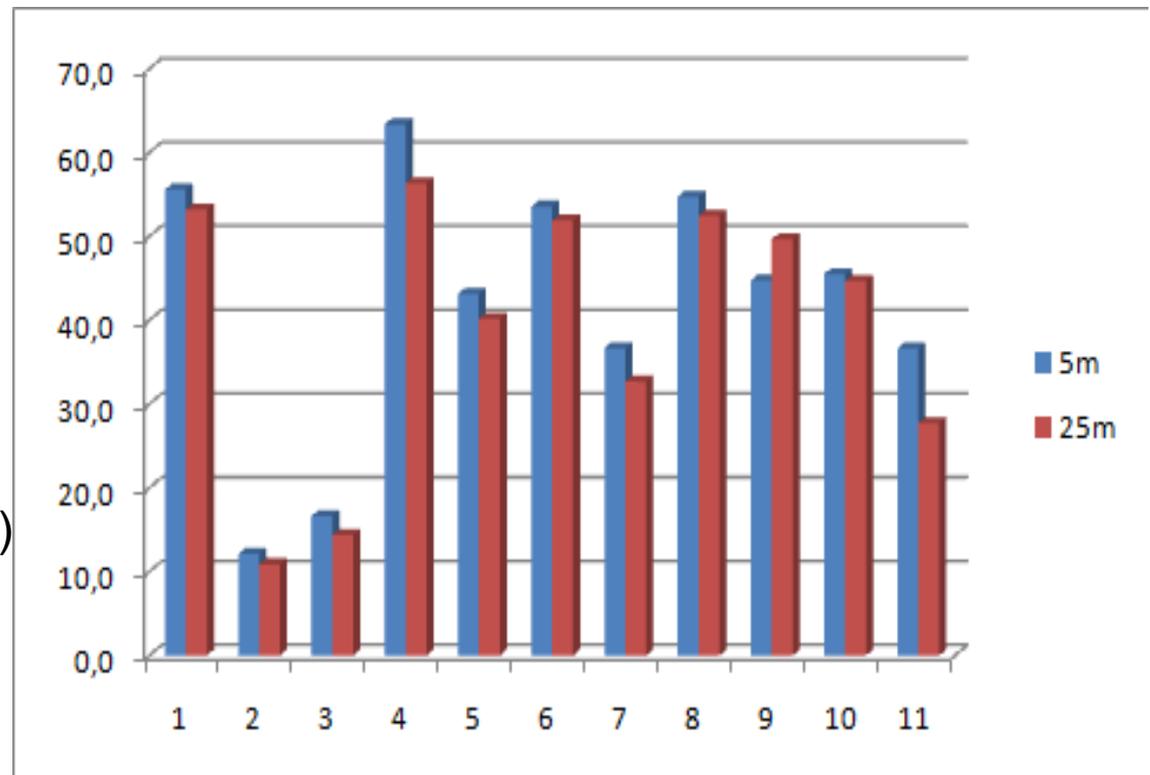
- Ou podem ser identificados pontos homólogos manualmente
- Ou usando métodos automáticos



Intensidade medida para diferentes materiais (rochas) 5 e 25m.

Material

1. Arenito
2. Carvão
3. Diabásio
4. Filito
5. Gnaisse
6. Mármore
7. Mármore/ltambe
8. Quartzito
9. Rocha Falha (paral.)
10. Rocha Falha (perpn.)
11. Siltito



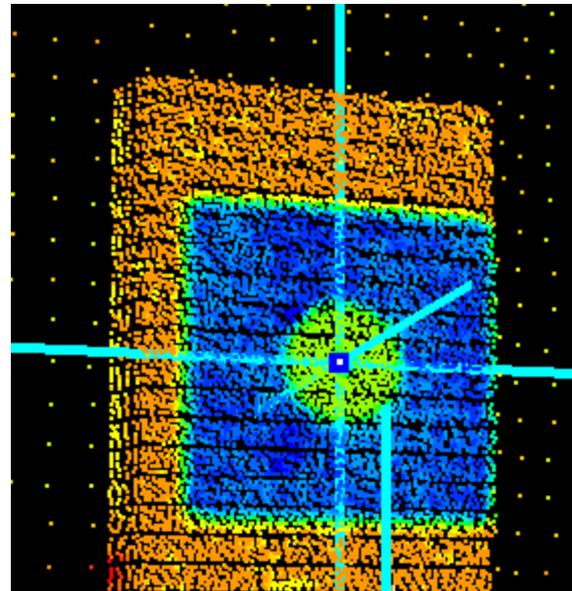
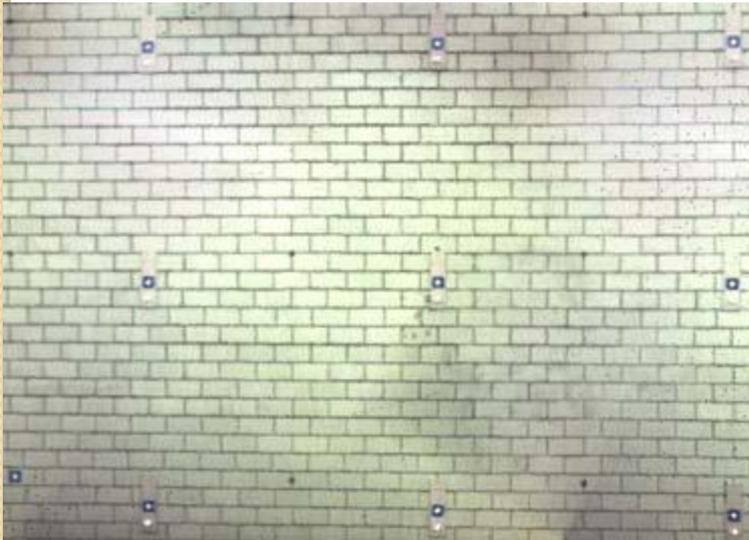
Acurácia

- Testes para avaliar a acurácia dos levantamentos podem ser executados

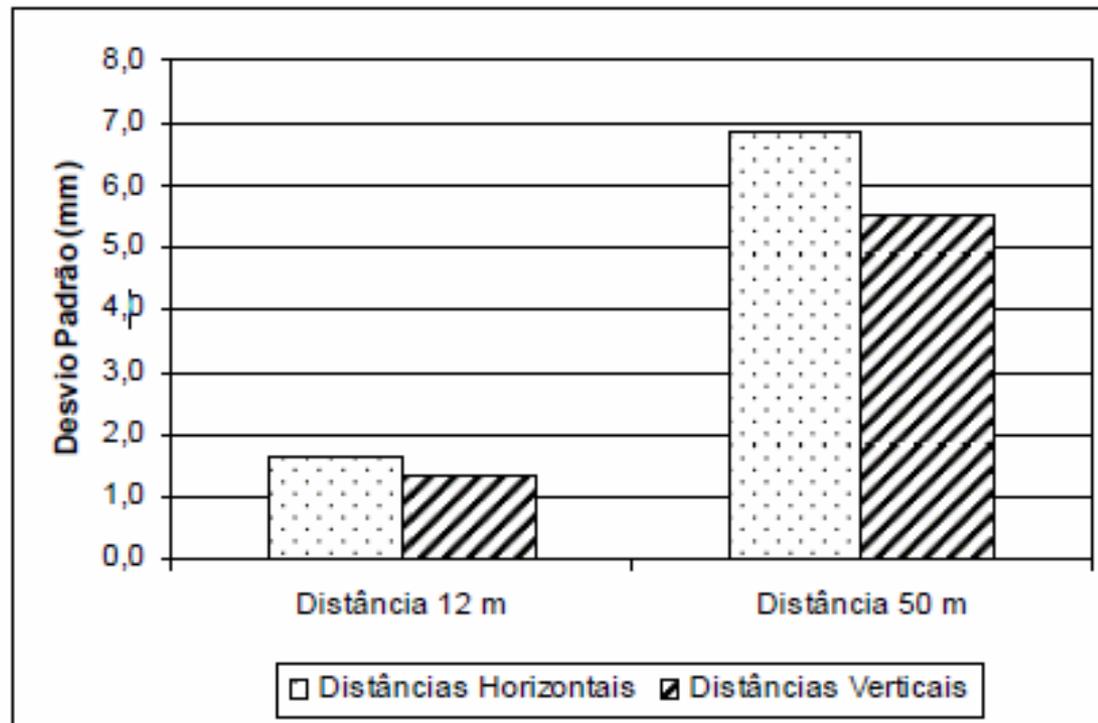


Avaliação: acurácia planimétrica

Comparação de medidas de distâncias horizontais e verticais entre alvos dispostos em uma parede.



- A acurácia planimétrica depende da distância

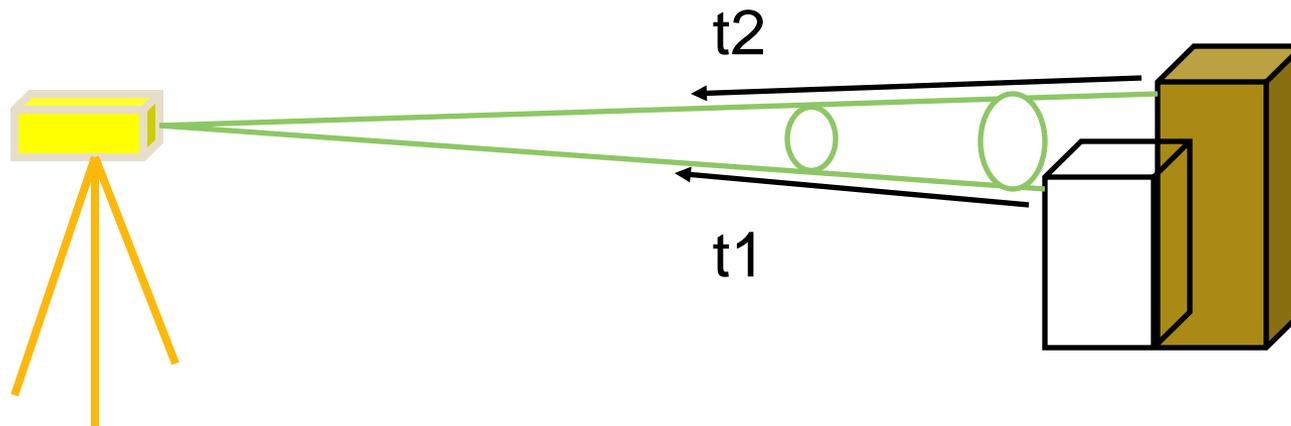


resolução

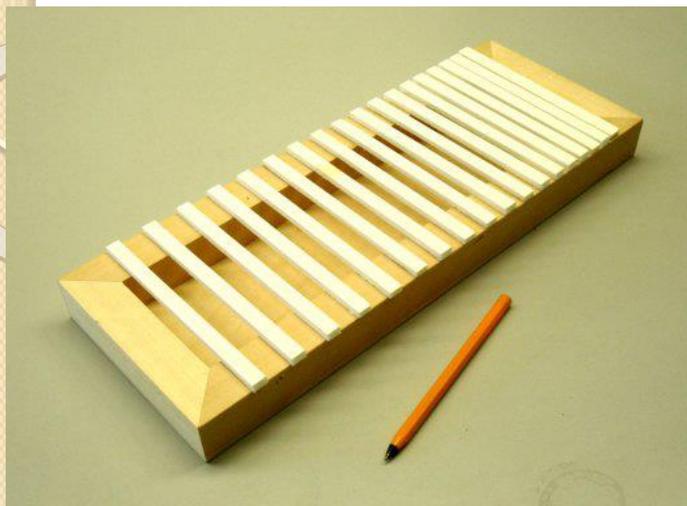
- Qual é o tamanho do *footprint*?
- Como varia o tamanho com a distância?

RESOLUÇÃO

- O pulso utilizado apresenta uma pequena divergência. Quando o feixe atinge a superfície, sua projeção não é pontual, mas forma uma circunferência cujo diâmetro depende da distância entre o sensor e o objeto.
- Esta área de projeção (footprint) pode registrar a distância a mais de um objeto.



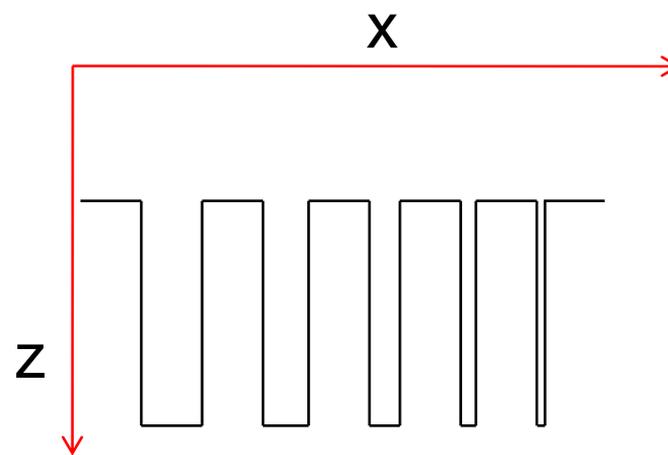
Box



Avaliar a capacidade do laser atravessar fendas de diferente espaçamento.

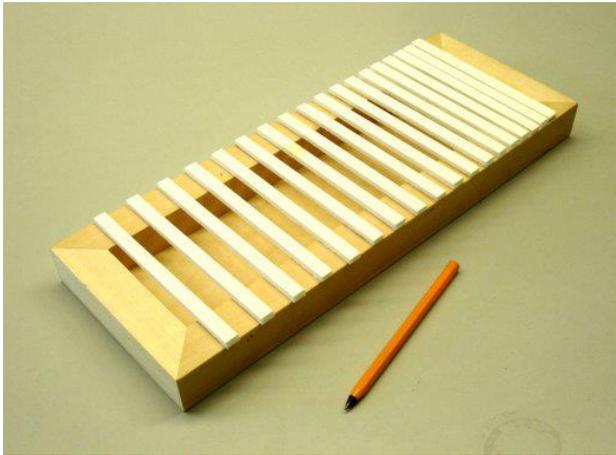


Corte longitudinal

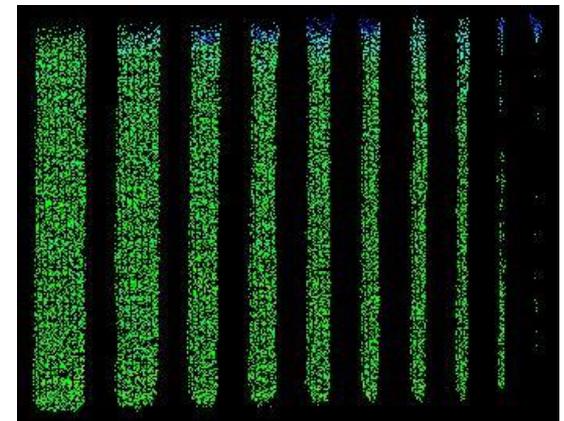


Resposta esperada

varredura



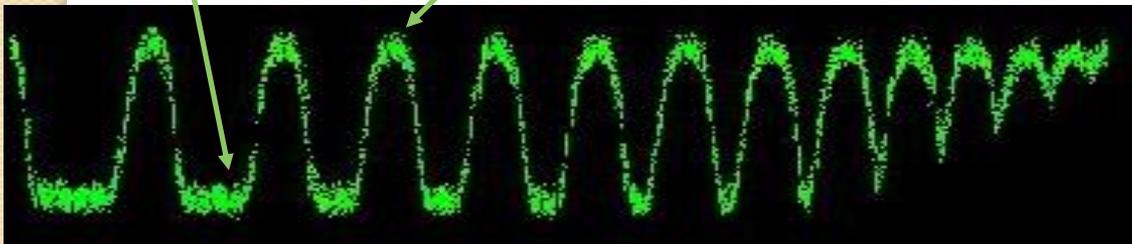
Caixa: vista frontal



Vista frontal: Fundo

fundo

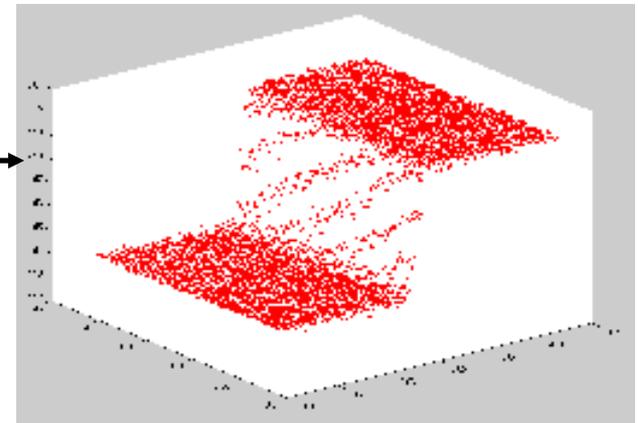
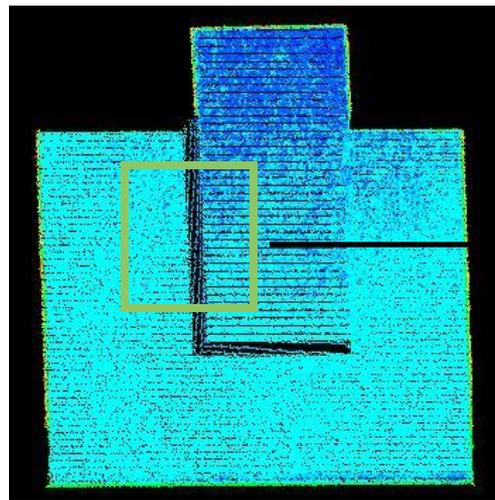
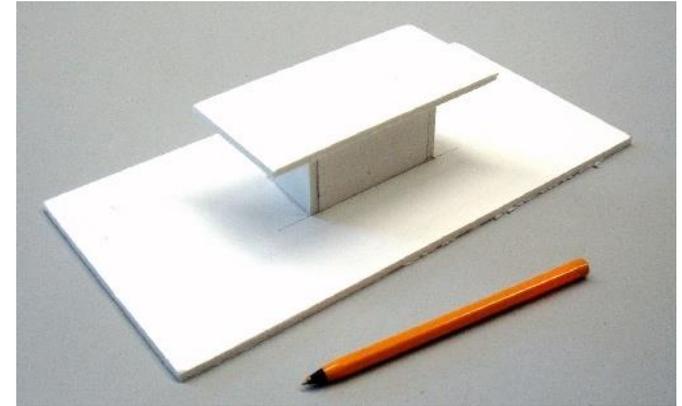
grade



Corte longitudinal

EFEITO DE BORDAS

- Nas bordas dos objetos, o feixe laser atinge duas superfícies localizadas a distâncias diferentes, gerando pontos irrealis (erros)



Características importantes:

- Alta densidade de pontos coletados e alta redundância na descrição discreta dos objetos;
- É possível realizar o controle de qualidade durante a coleta e refazer a varredura, caso necessário;
- É possível combinar vários modelos numéricos gerados de diferentes posições, o que permite cobrir quase toda superfície visível dos objetos;
- Operação remota, o que significa que o objeto não precisa ser tocado;

Vantagens em relação a fotogrametria

- A tomada de dados é mais simples, pois não é exigida a superposição necessária para a geração do estereopar. Os dados lidos pelo varredor laser em uma única tomada já são tridimensionais.
- Não são necessários pontos homólogos para a geração do modelo tridimensional, somente para registrar nuvens de pontos obtidas de diferentes estações de medição.
- Pode operar a noite (sensor ativo)
- Rapidez

Alguns problemas

- Necessidade de registrar nuvens de pontos depende da definição de detalhes
- Altíssima quantidade de pontos a serem processados
- O laser é absorvido por água (valor, chuva)
- Depende da reflectância da superfície dos objetos
- Alcance limitado pela potência do laser
- Não recomendado para cenas dinâmicas

Desafios

- Registro de nuvens de pontos
- Detecção e extração automática de objetos
- Integração de dados LiDAR com fotografias