

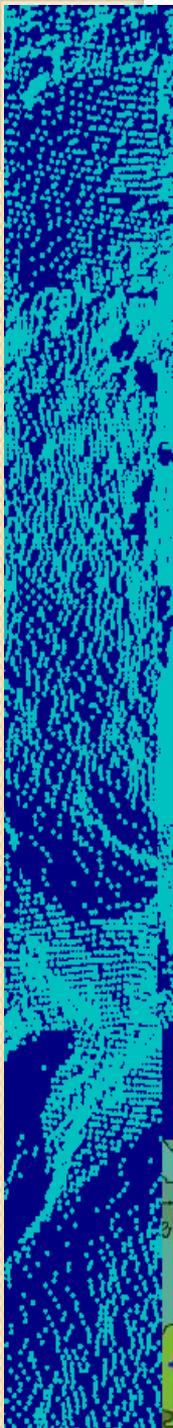


PROCESSAMENTO DE NUVEM DE PONTOS 3D CGEO- 7028

(LIDAR / laser scanner)

- Introdução
- LiDAR terrestre
- Airborne Lidar
- Aplicações

UFPR – Departamento de Geomática
Prof. Jorge Centeno
2023
copyright@ centenet



VARREDURA A LASER

- 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 denominação comuns:
- LIDAR (Light Detection And Ranging) : Detecção e medição de distância usando luz

LASER Classificação no Padrão IEC 60825-1:1993

Classe	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

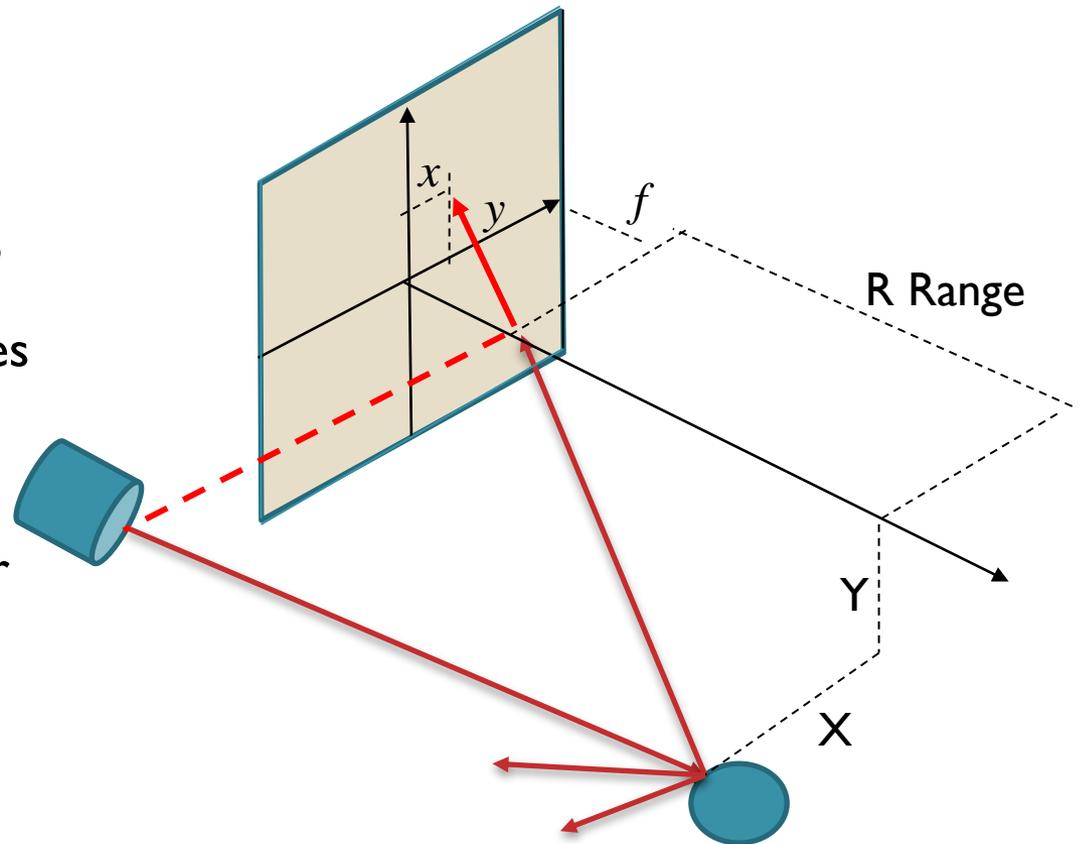
- Triangulação
- Time of flight

Triangulação

Estes utilizam um emissor laser e uma câmara para determinar a posição do ponto do laser.

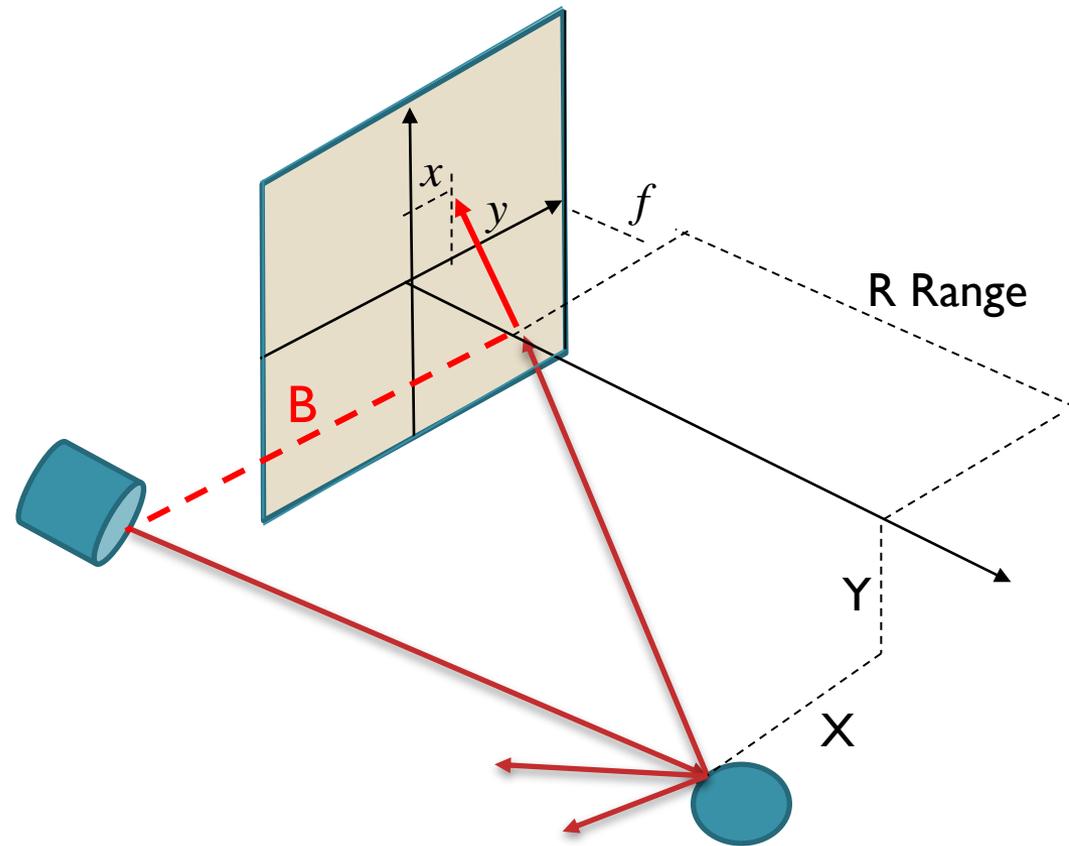
Dependendo da distância entre o sensor e o objeto, o pulso laser refletido pela superfície aparece em lugares diferentes no plano da imagem.

A câmara, o ponto na superfície, e o emissor laser formam um triângulo (triangulação).



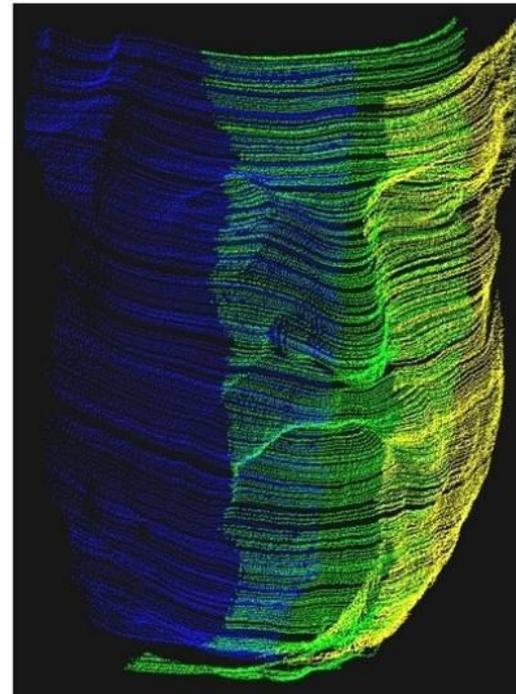
Triangulação

- São conhecidos:
- B: distância entre a câmara e o emissor laser.
- ângulo de emissão = 0.
- ângulo de incidência na câmara, conhecendo o ponto de incidência no plano da imagem (x,y) e os parâmetros de orientação interior da câmara (f , e ponto principal).
- Com isto, a posição relativa do ponto pode ser calculada.
- $(X,Y,R) = f(x,y,f,B)$



Scanner comercial

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

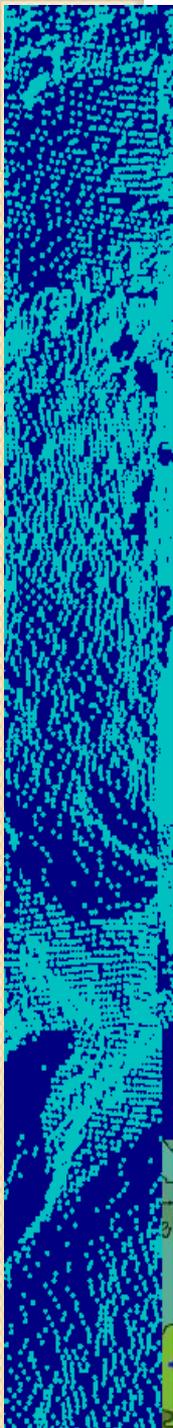


NIKON: LCI 5Dx

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)

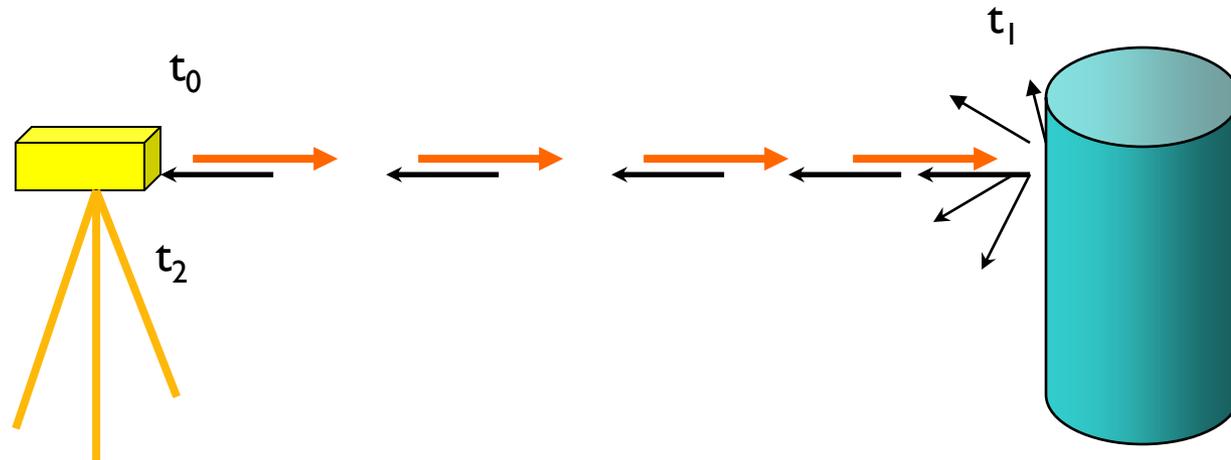


<http://www.nikonmetrology.com>

- 
- 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?

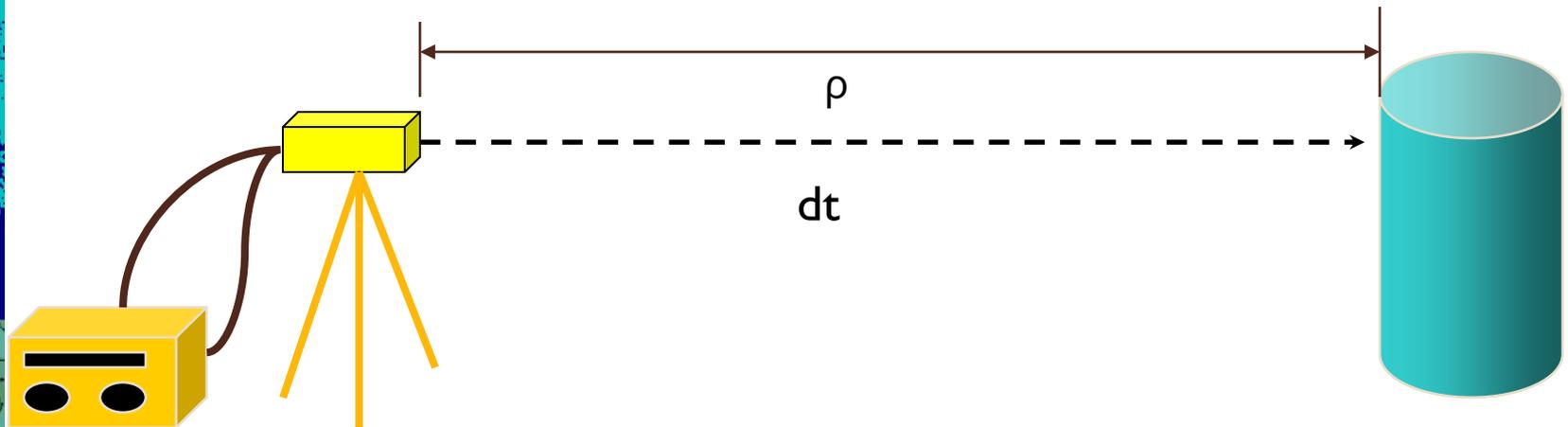
- A distância entre o sensor e o objeto pode ser calculada a partir do tempo decorrido entre a emissão e o registro do retorno.

Velocidade = distância/tempo

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

Logo,

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



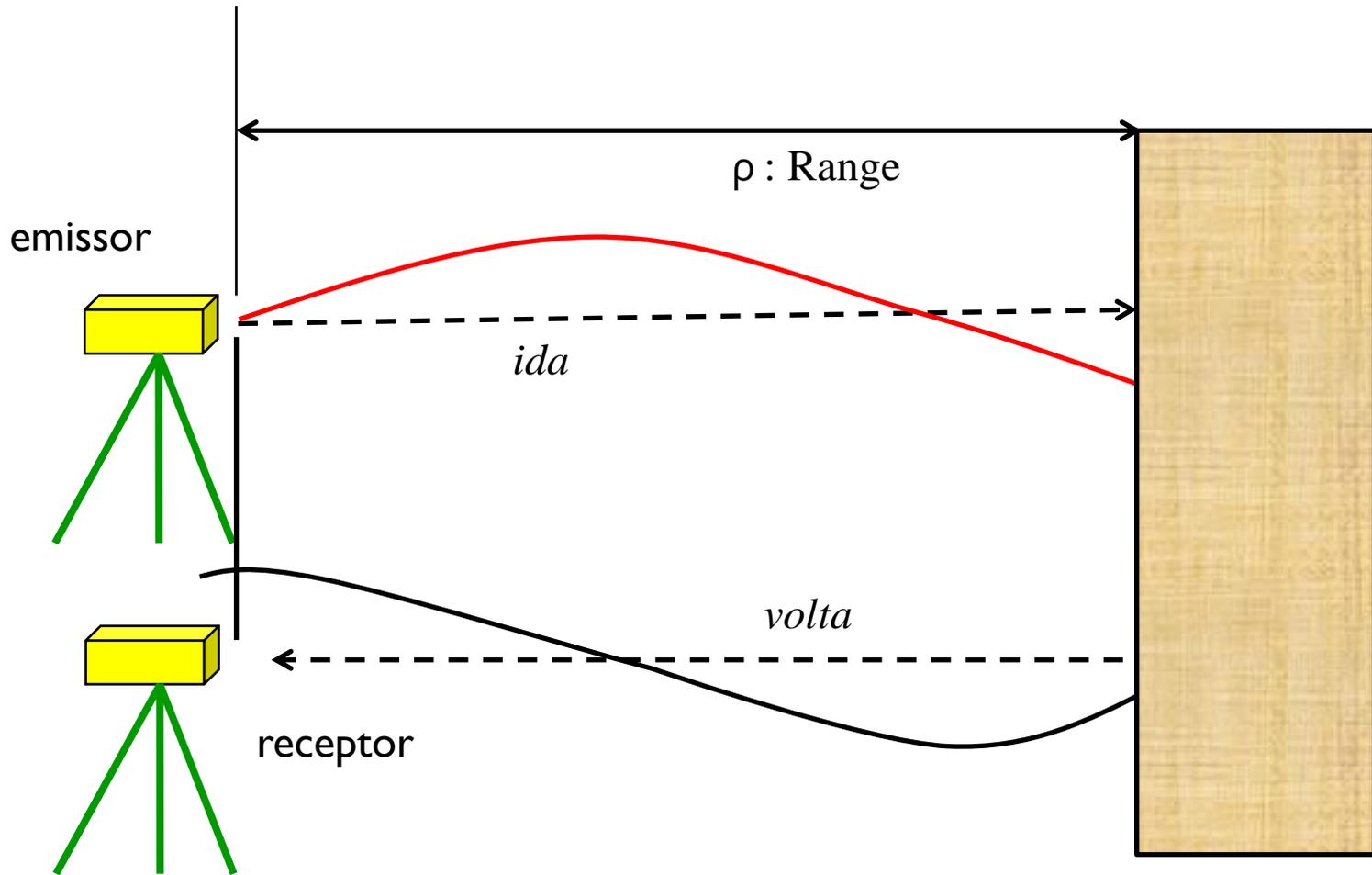
Como medir o tempo?

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

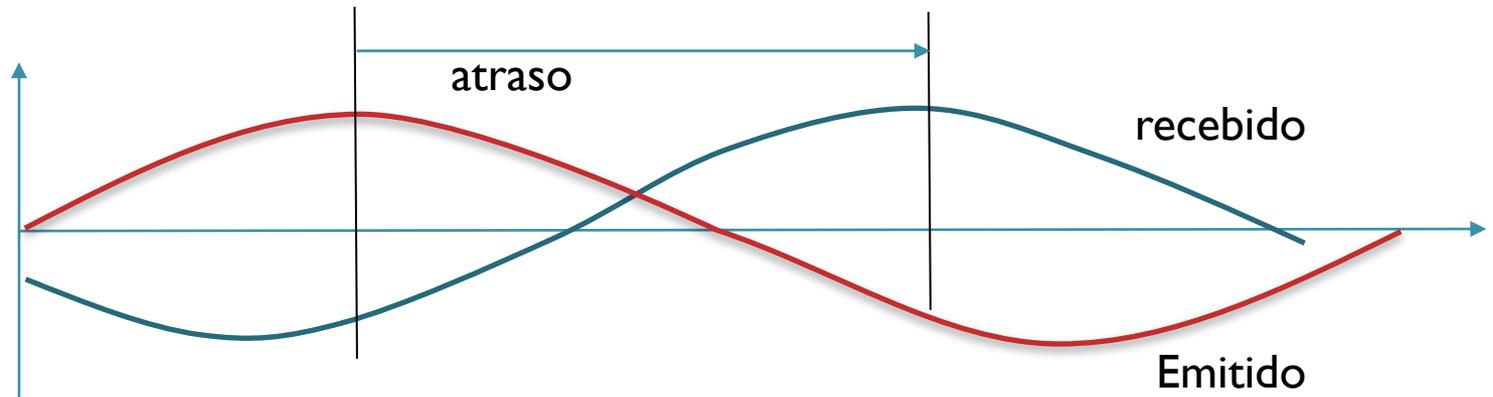
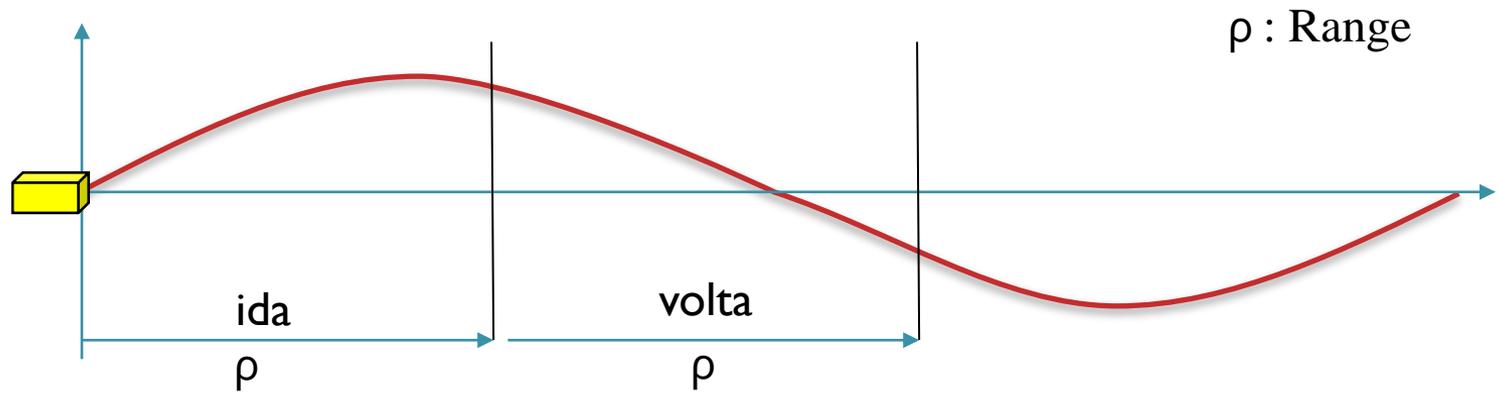
Pulsed laser scanning

Continuous wave laser scanning

Onda contínua



Ida e volta



Sistema de onda contínua

O tempo de propagação da onda é 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

então:

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

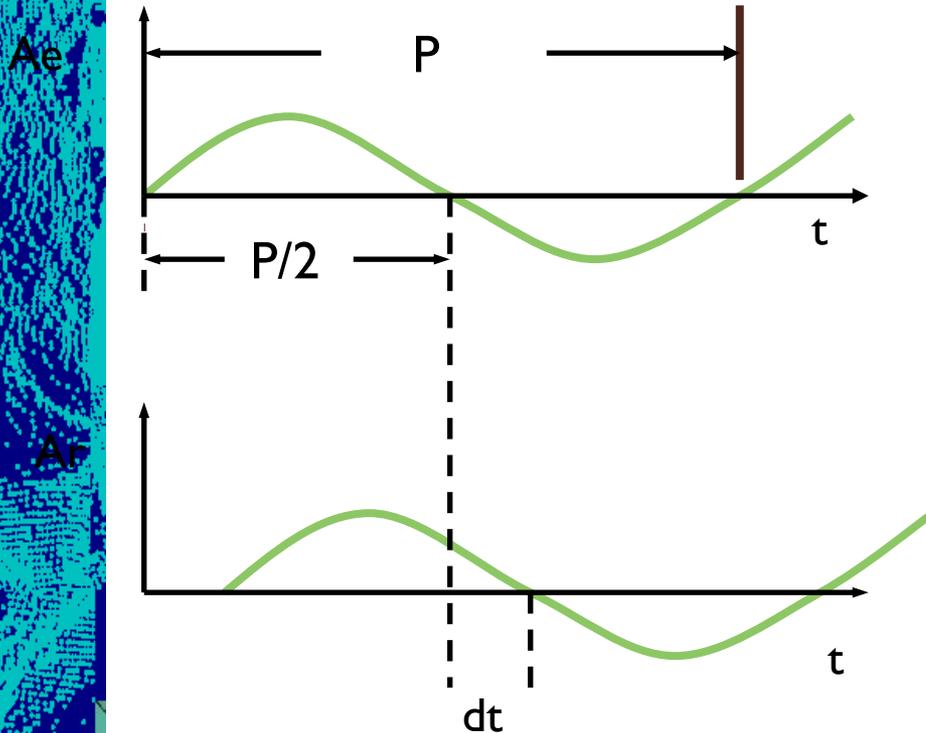
ou, em termos de frequência (f):

$$dt = \frac{\Phi}{2\pi f}$$

como Range é: $\rho = \frac{c t}{2}$

logo:

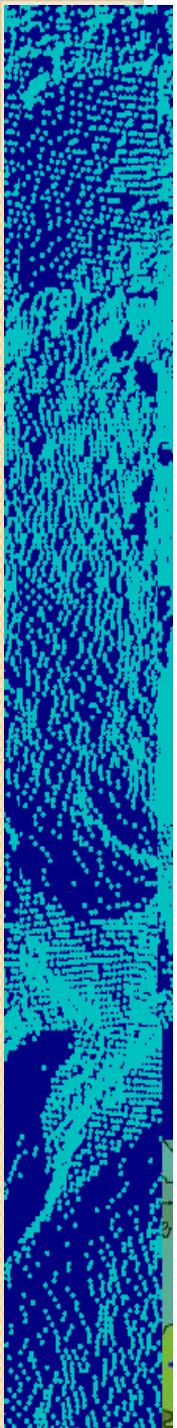
$$\rho = \frac{c \Phi}{4\pi f}$$



Resolução

- A resolução do sistema é proporcional à resolução em termos de diferença de fase $\Delta(\Phi)$:

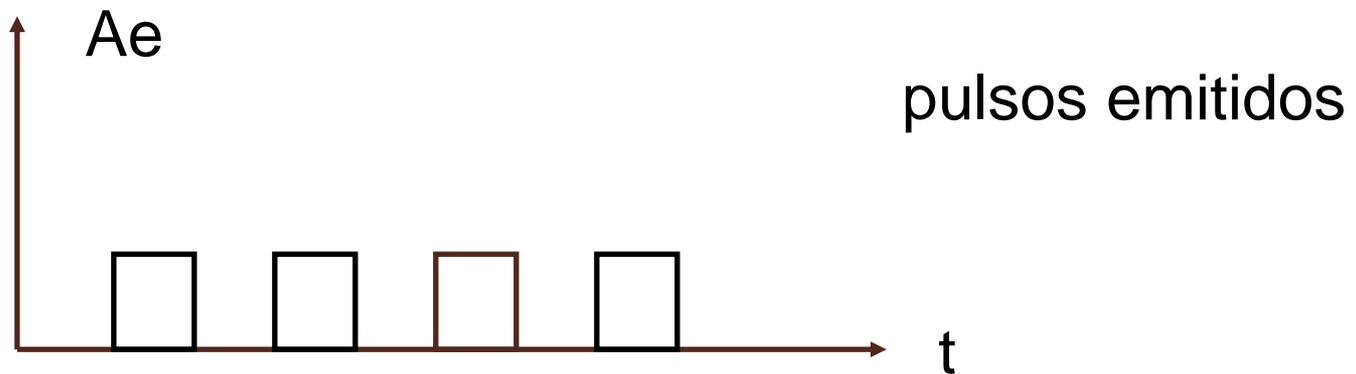
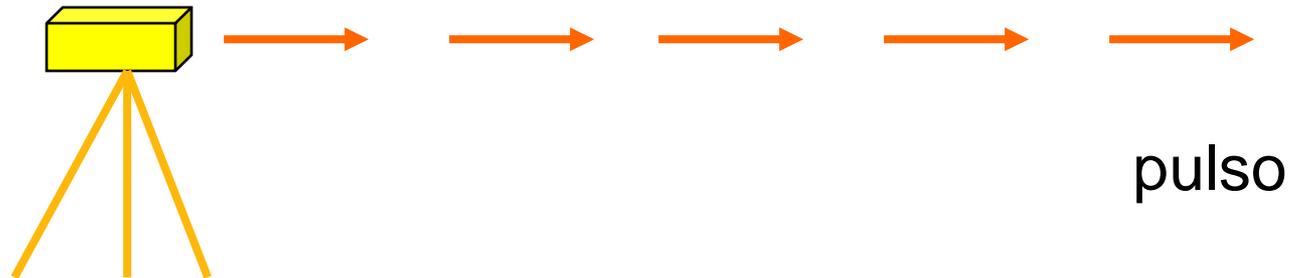
$$\Delta(\rho) = \frac{c \Delta(\Phi)}{4\pi f}$$



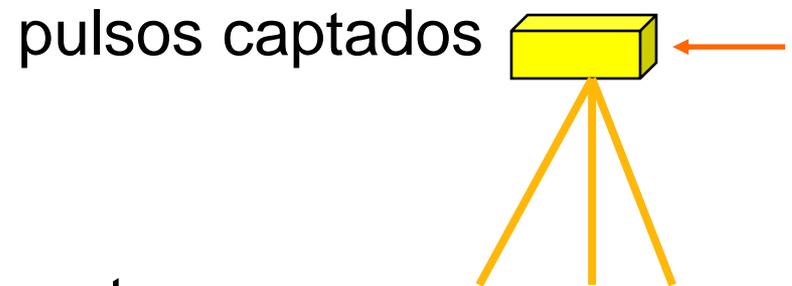
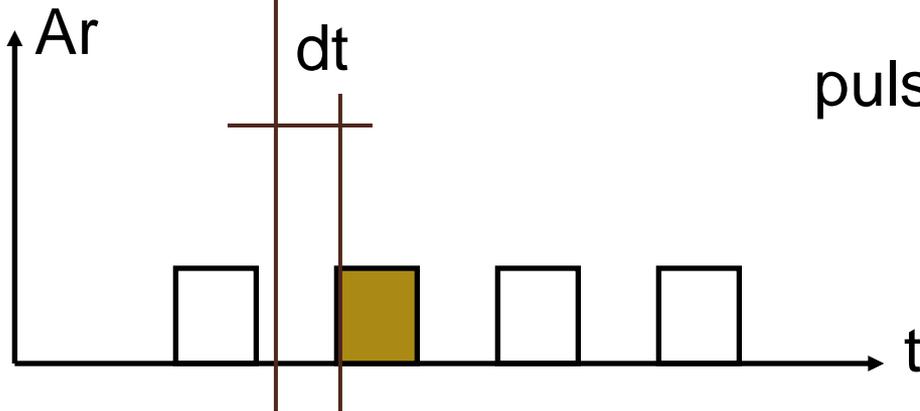
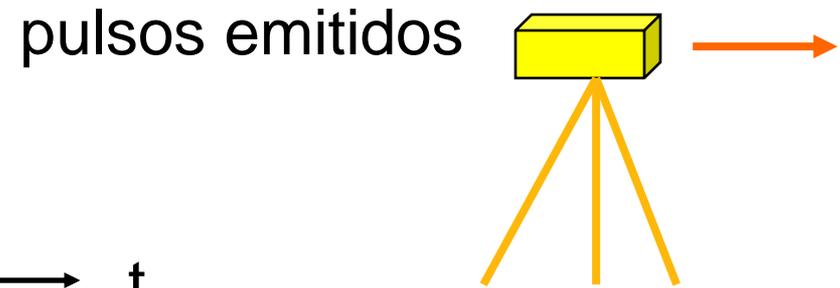
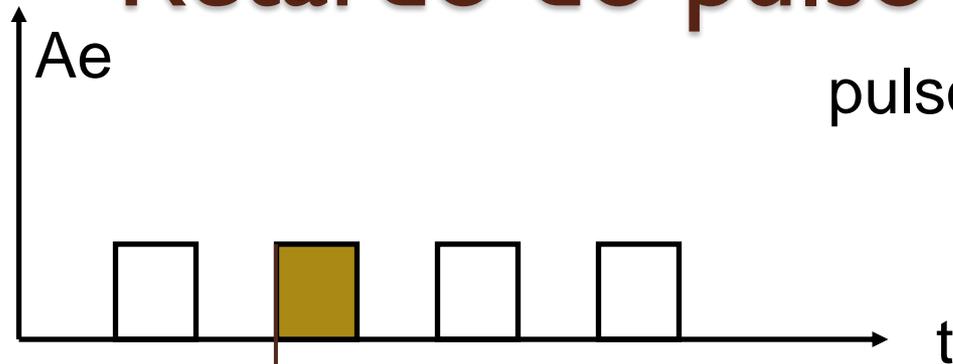
- Pulsed Lidar
- Sistema de pulsos

Sistema de Pulso

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



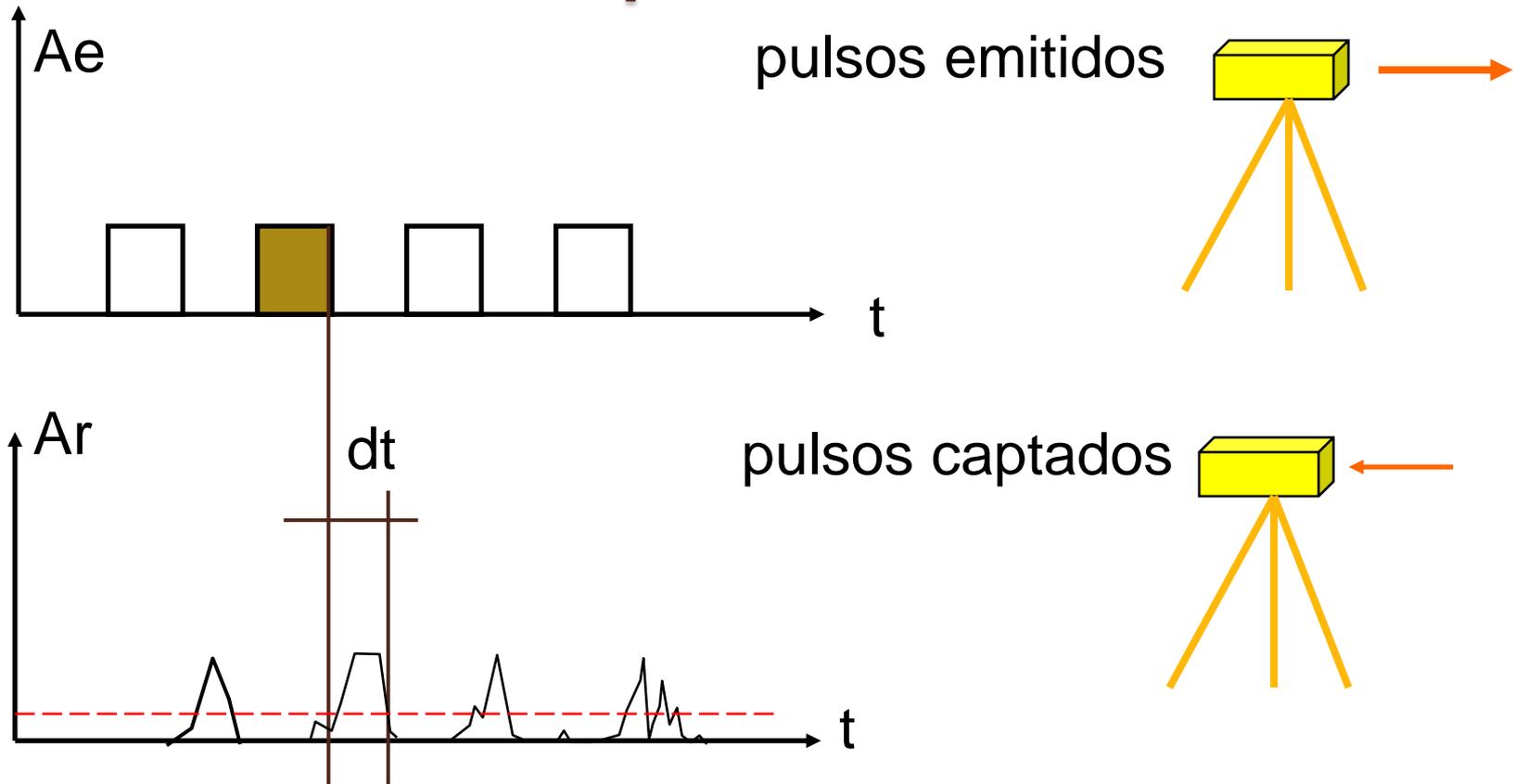
Retardo do pulso refletido



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

$$\rho = \frac{c t}{2}$$

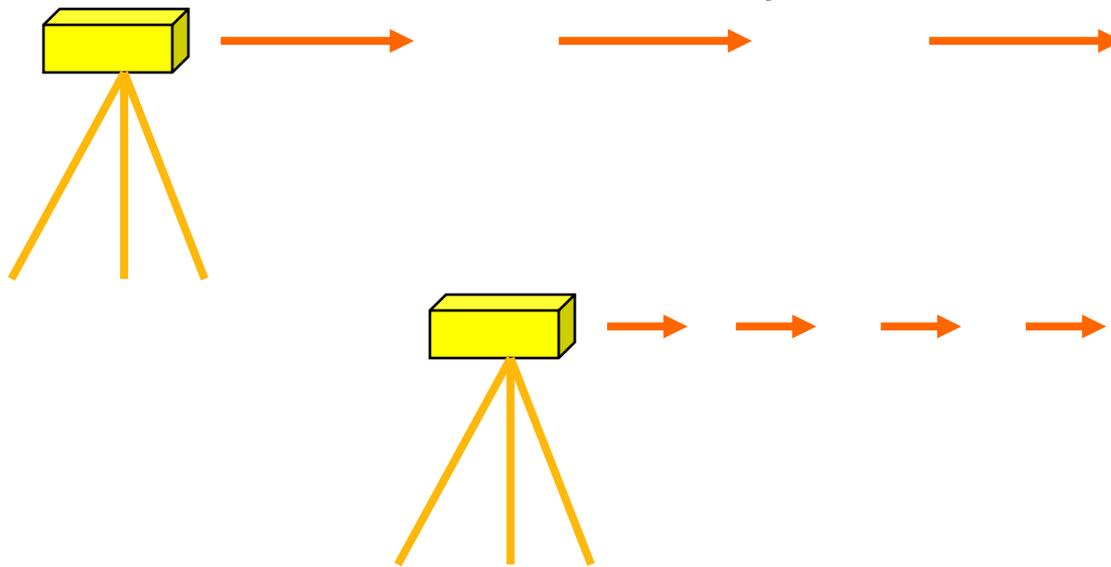
Retardo do pulso refletido

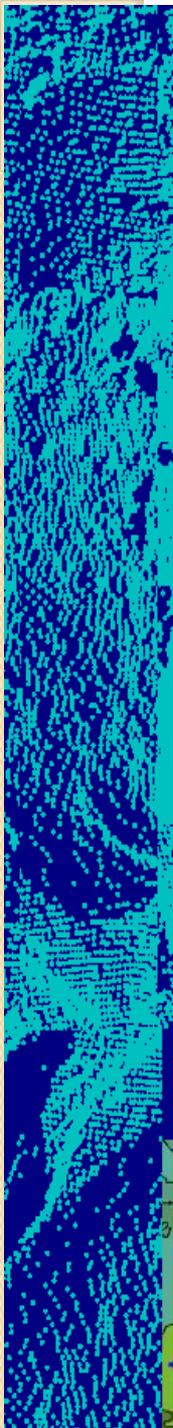


Resolução em distância

- 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:

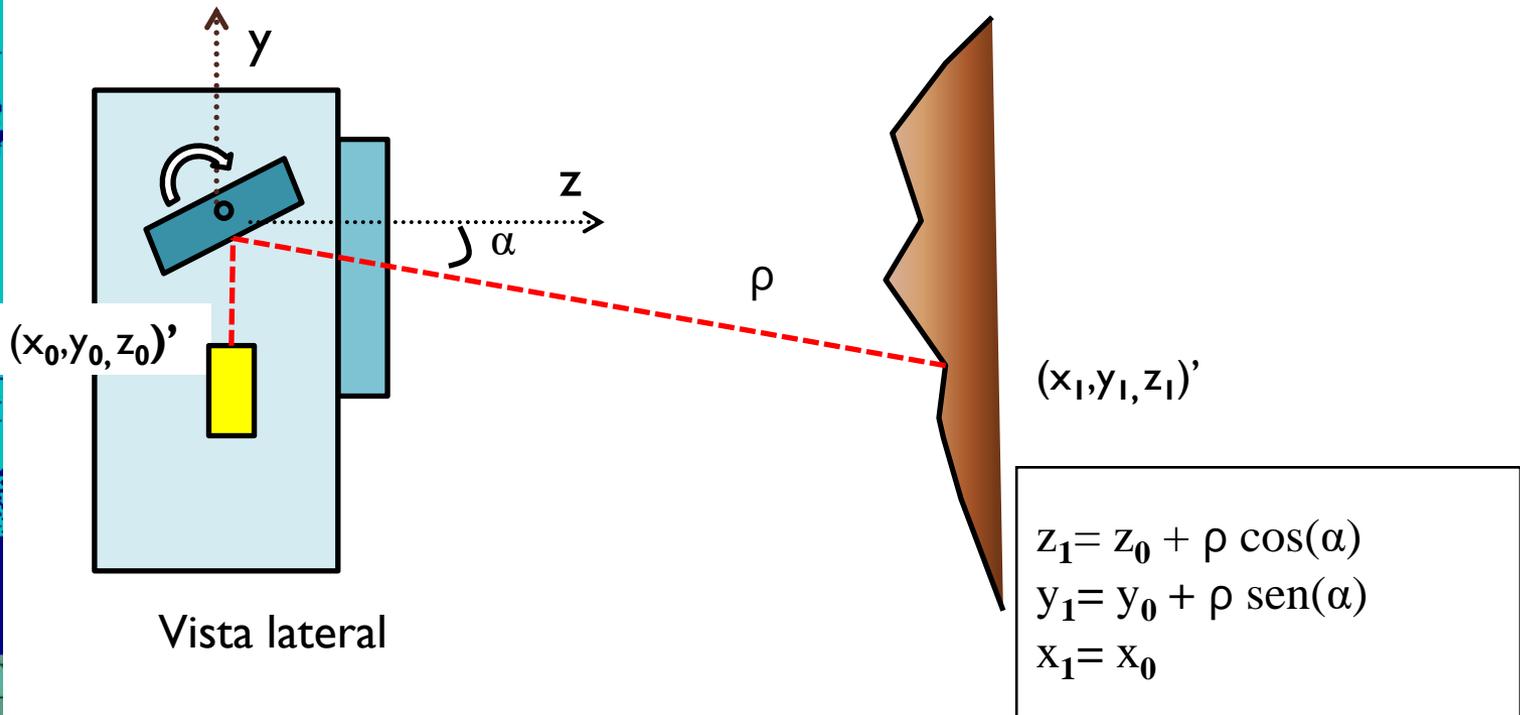
- $\Delta(\rho) = 0.5 * c * \Delta(dt)$



- 
- Cálculo da posição do ponto
 - VARREDURA

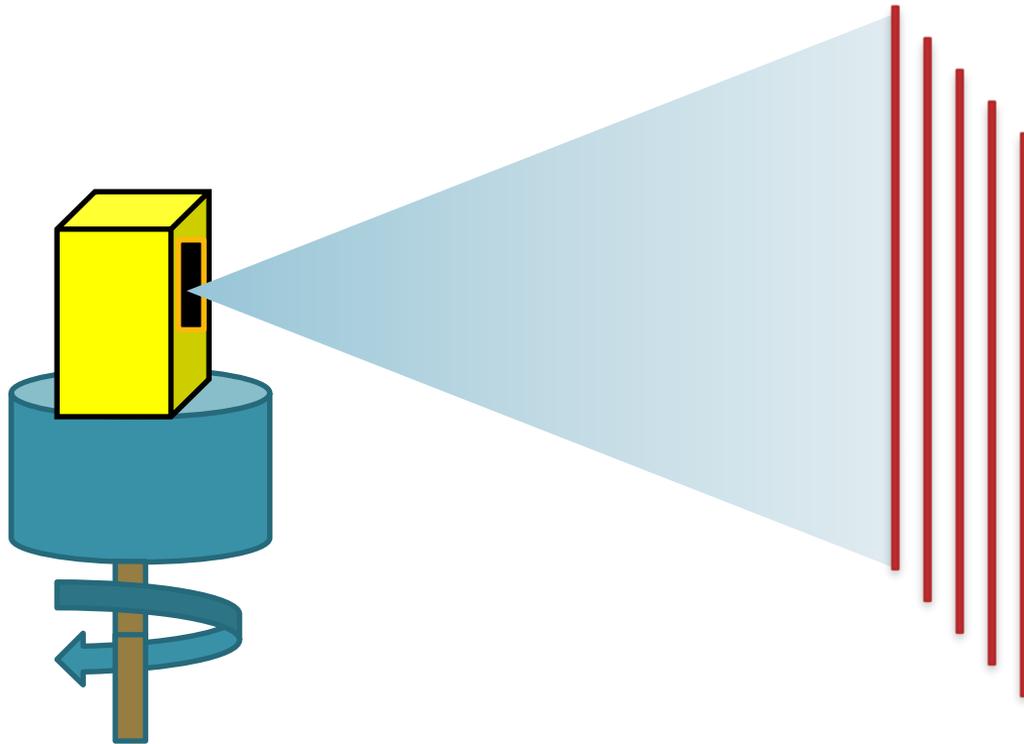
Posição do Ponto atingido

- 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



Varredura transversal

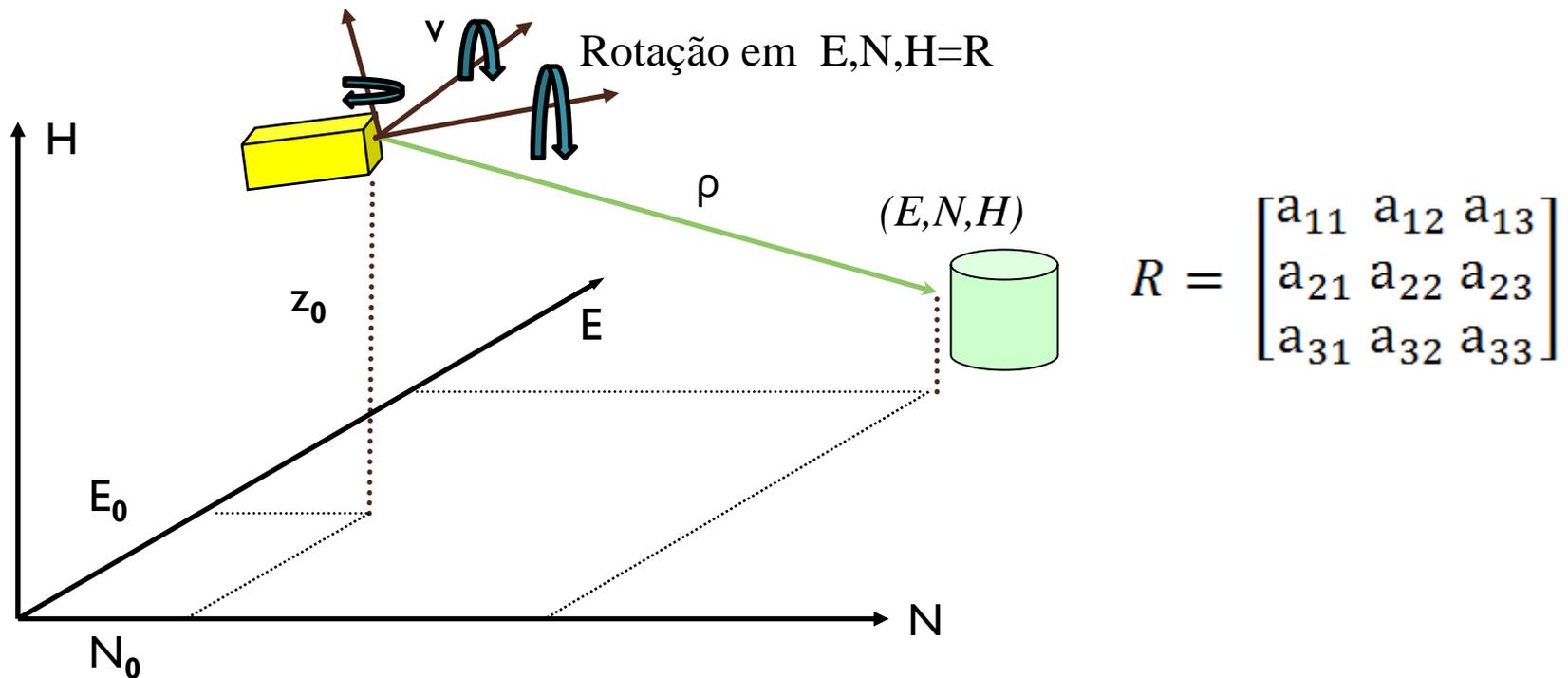
Um segundo sistema pode girar o varredor no plano horizontal (em torno de Z) para cobrir uma área varrendo linhas consecutivas.



As coordenadas calculadas estão no sistema local do sensor.

Orientação: caso geral

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



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

laser scanner terrestre

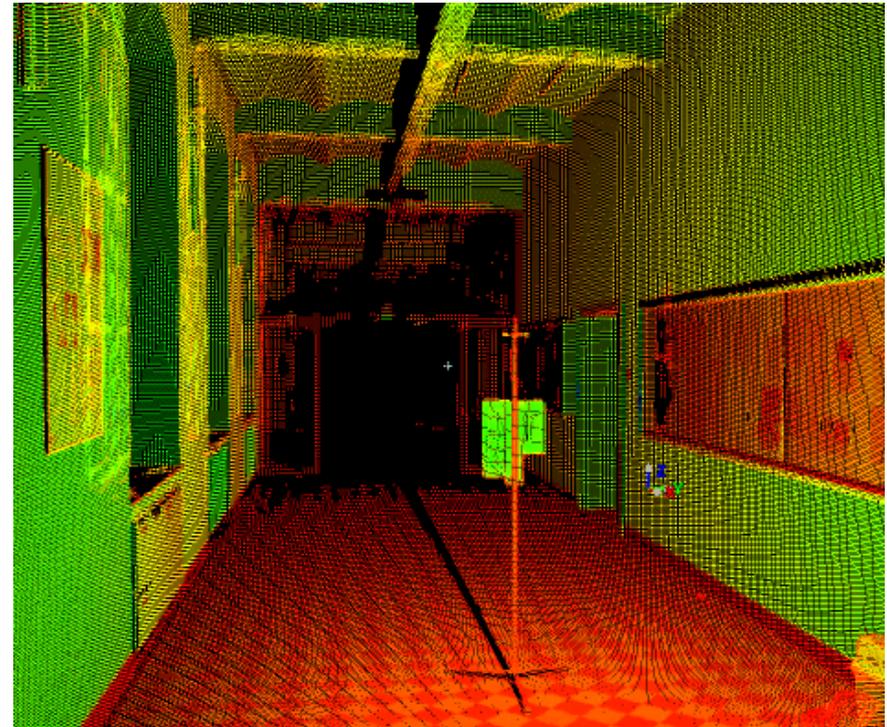


A questão da posição

O sistema pode ser instalado em tripés.

As Rotações dos espelhos de varredura e a distância (Range) são medidas.

O Levantamento é relativo.



Exemplo: TRIMBLE GX 3D SCANNER

- distância (tipicamente sob boas condições)
- **350 m com 90% reflectância na superfície**
- 200 m com 35% **reflectância**
- 155 m com 18% **reflectância**
- Velocidade de varredura. até **5000 pontos/s**
- Acurácia de um ponto.
- **posição = 12 mm @ 100 m:**
- **distância = 7 mm @ 100 m**
- Resolução footprint: **3 mm @ 50 m**
- Espaçamento entre pontos: até 3.2 mm @ 100 m
- varredura horizontal (hz): 200,000 pontos
- Varredura vertical (vt): 65,536 pontos

- 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

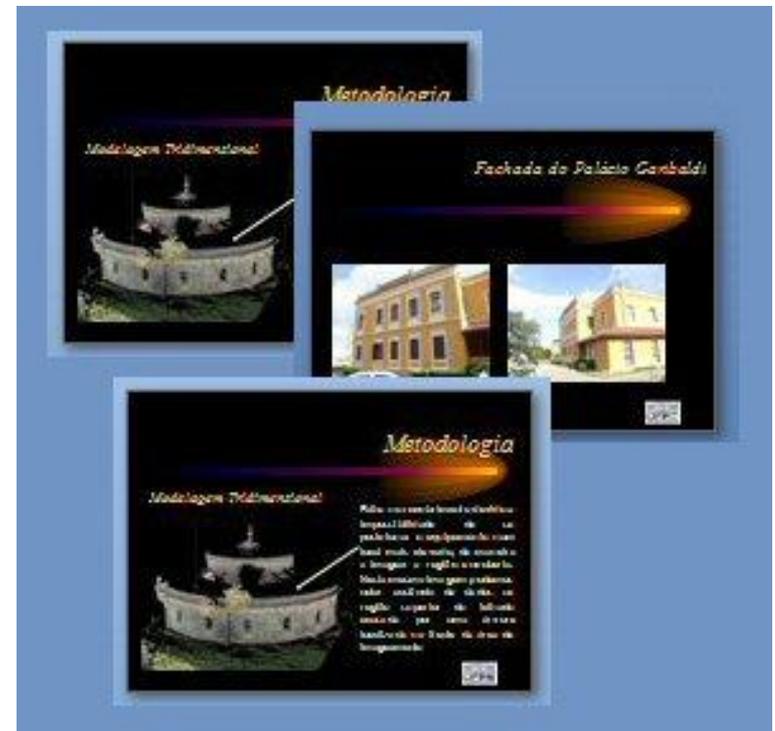
ILRIS



Parameter	ILRIS-HD	ILRIS-HD-ER	ILRIS-LR
Range 80% reflectância	1250 m	1800 m	3000 m
Range 10% reflectância	400 m	650 m	1330 m
Mínimo range	3 m		
frequência	10,000 Hz		
Acuracia média	7 mm @ 100 m		

exemplo

- Em Curitiba



Teatro do Paiol - Curitiba

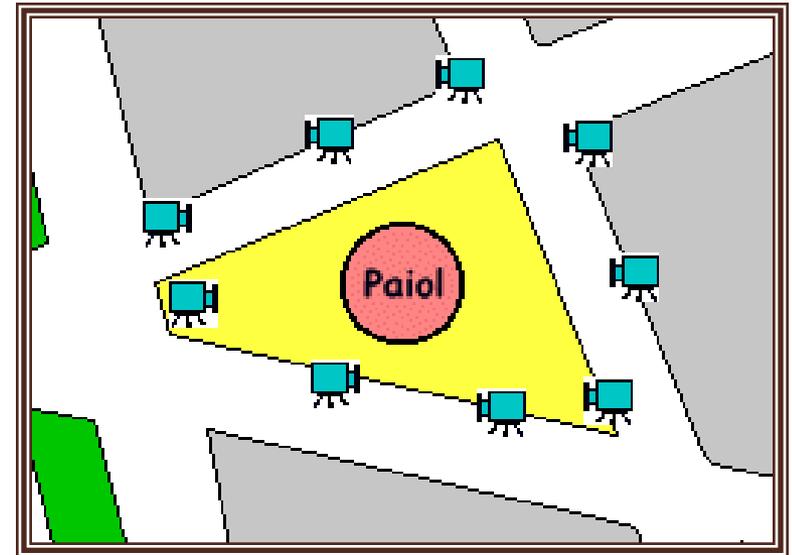
Neste exemplo é aplicada a varredura a laser terrestre com a finalidade de se obter uma descrição geométrica da fachada de um prédio circular, difícil de ser levantado utilizando fotografias convencionais a curta distância.



- 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 visão) .



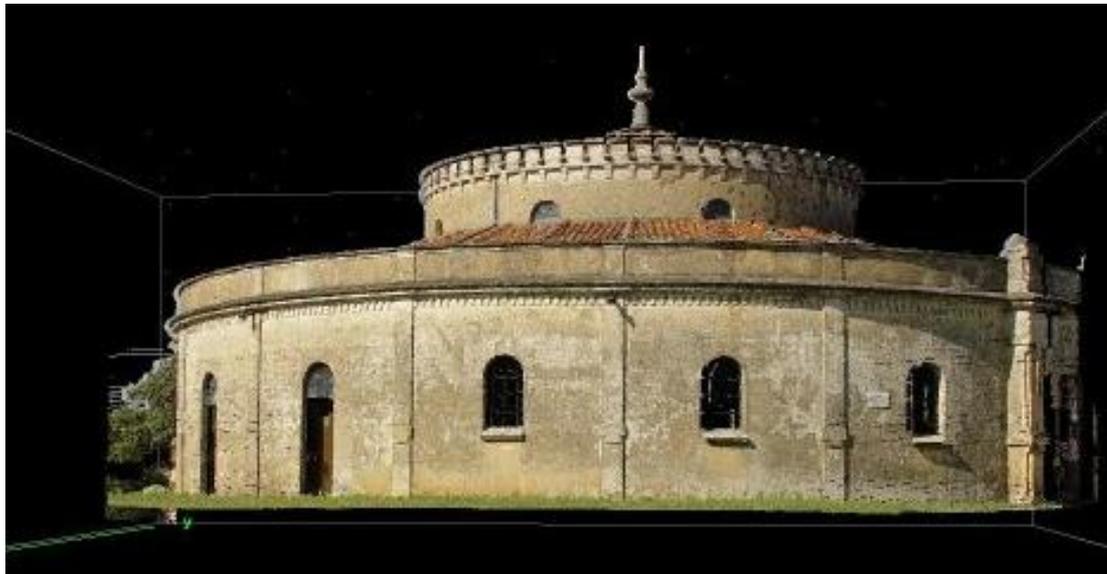
fotografias

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.



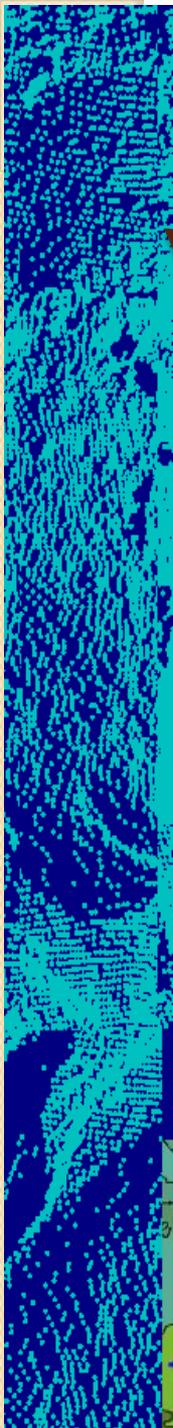
Modelagem tridimensional

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



Oclusões

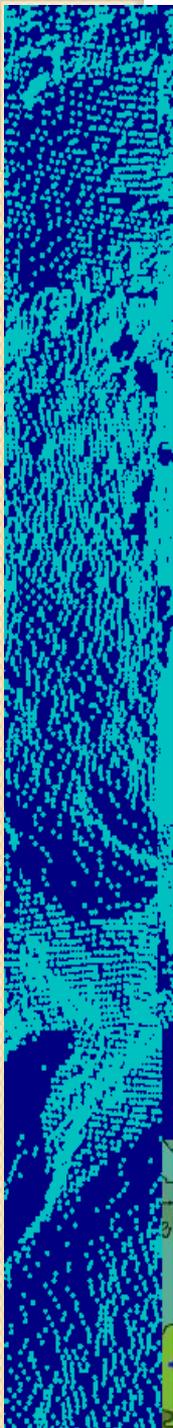




Vantagens

Uma das grandes vantagens da varredura a laser em comparação com métodos convencionais de fotogrametria terrestre é o fato da tomada de dados ser 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 amarrar os dados obtidos de diferentes estações de medição. Este fato se torna relevante no caso de construções, como o teatro do paiol, cujas fachadas são curvas e lisas, que dificultam a identificação de pontos e aumentam a quantidade de pontos necessários.



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;