



# Sensoriamento Remoto II

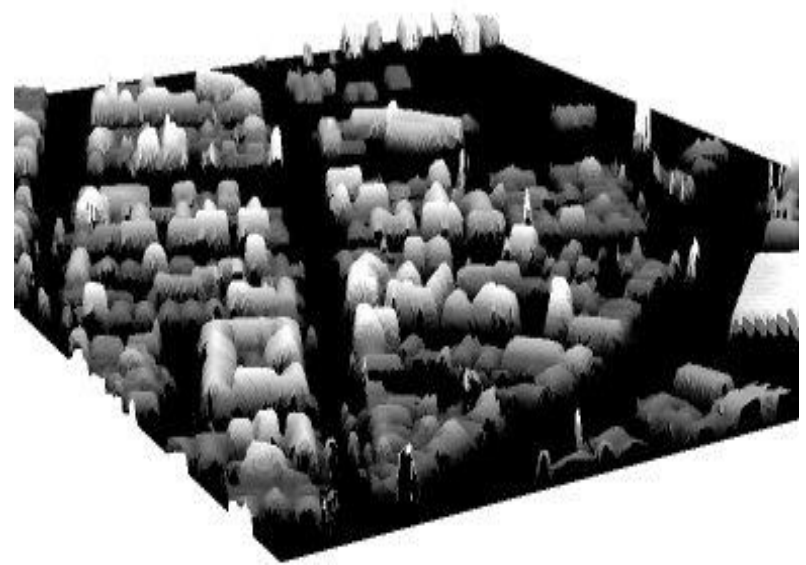
## Sensoriamento Remoto por LIDAR (LIDAR Remote Sensing)

Sistemas aerotransportados

UFPR – Departamento de Geomática  
Prof. Jorge Centeno  
2020  
copyright@ centenet

# Laser Scanner aerotransportado

Neste caso, o sistema é instalado em uma plataforma móvel, geralmente um avião, e carregado para sobrevoar superfície do terreno e assim obter uma imagem tridimensional da superfície.



**A aeronave deve ter condições para garantir o funcionamento do equipamento (Por ex. espaço e energia elétrica suficientes).**



**A posição e atitude (ângulos) do sistema são variáveis e dependem das condições do voo.**

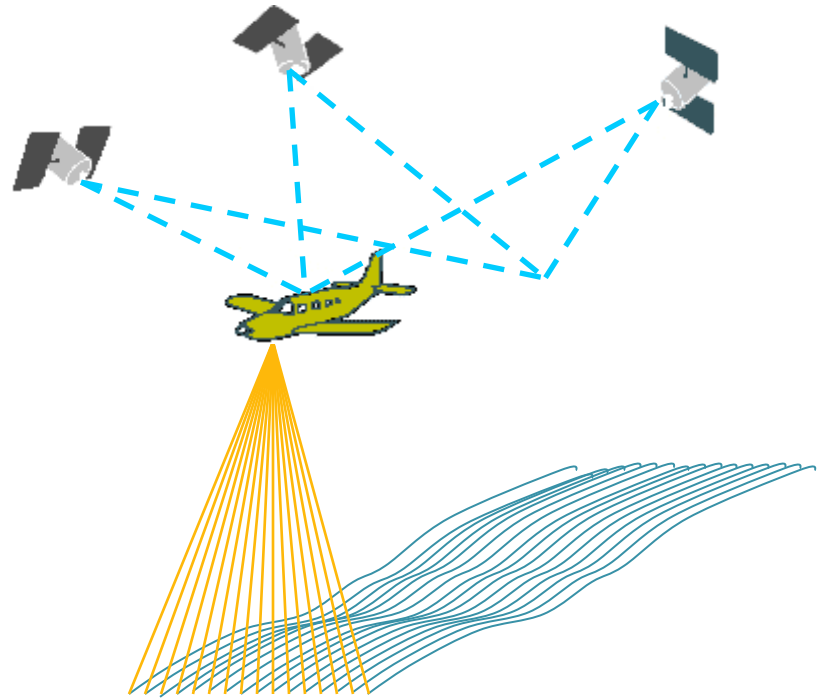


# A questão da posição

Quando o sistema é aerotransportado, a posição do sensor varia com o tempo. Uma alternativa consiste em determinar a posição instantânea com ajuda de receptores GPS.

Neste caso, a posição do avião é determinada a partir de sinais recebidos de satélites artificiais.

Como este processo não é isento de erros, a posição obtida é afetada pela precisão com a qual o sistema GPS opera.



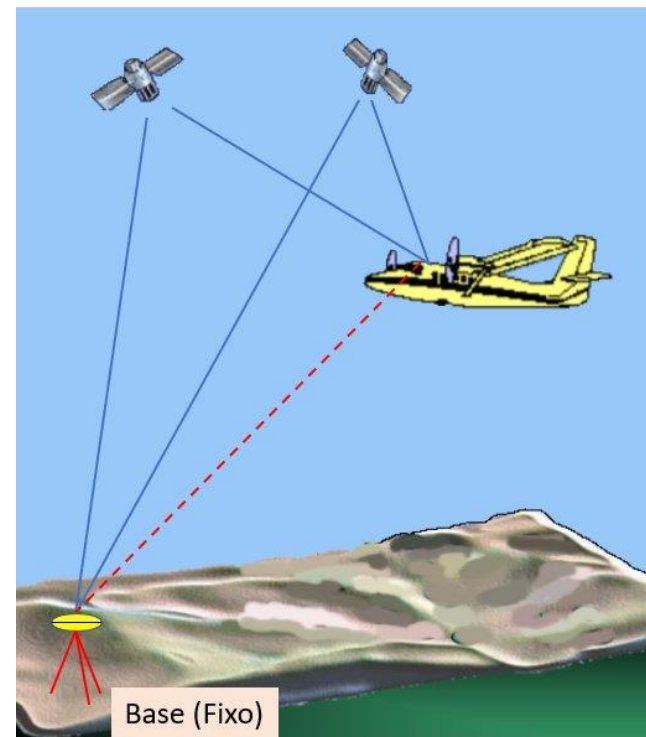
# GPS diferencial

- A solução mais adequada consiste em determinar a posição com ajuda de um sistema GPS diferencial (dGPS).

Neste caso é usado um segundo receptor fixo na terra.

Que sofre as mesmas distorções que o receptor a bordo do avião.

E permite efetuar as correções.





# Atitude

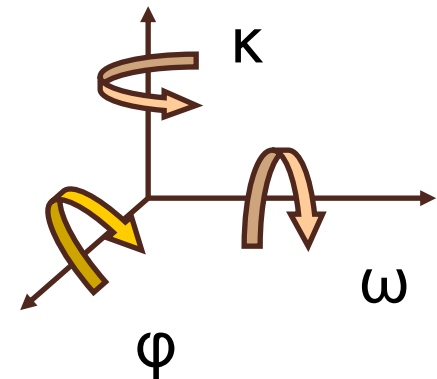
- A aeronave experimenta inclinações durante o voo, por exemplo por efeito do vento.



Por este motivo, é necessário determinar a “atitude” do avião a cada momento.

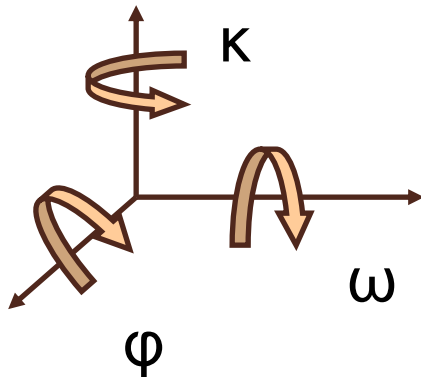
Atitude: inclinação nos três eixos.

O que é determinado usando uma unidade inercial



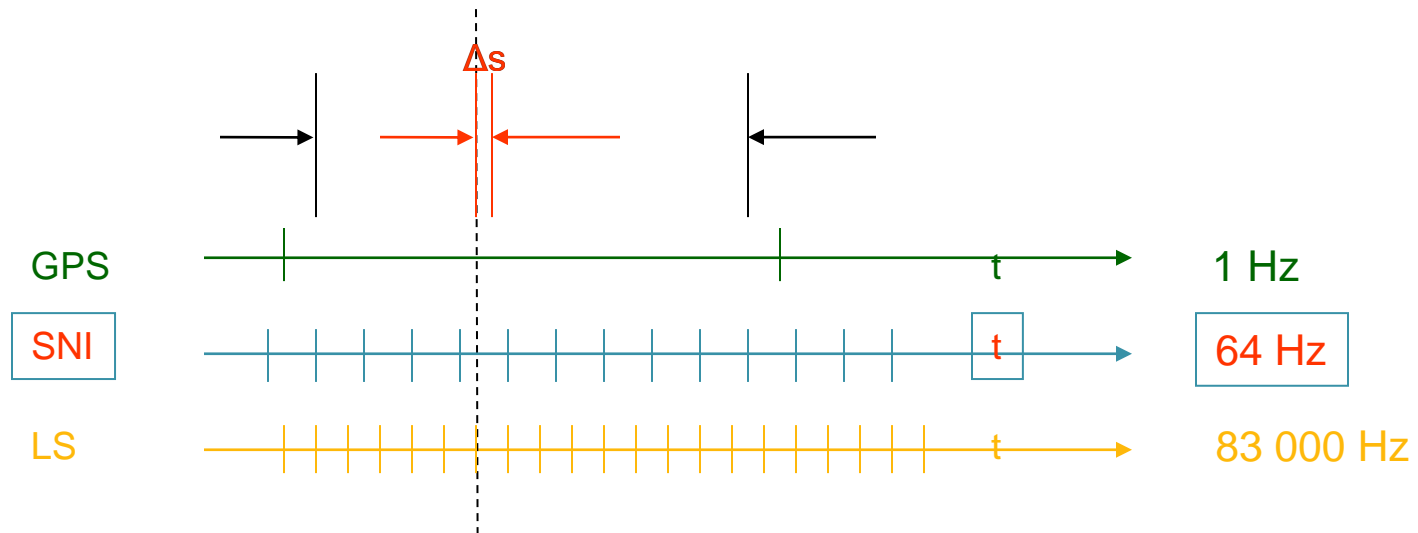
# INS = Inertial Navigation System

O sistema de Navegação Inercial (SNI) é um dispositivo capaz de medir a inclinação da aeronave em torno dos três eixos.



# Problema de frequência diferenciada

O varredor laser (LS), o sistema inercial (SNI) e o sistema GPS coletam dados em intervalos diferentes, logo, muitos valores devem ser interpolados. Por isso, a frequência de coleta é menor à frequência do varredor laser.



Exemplo do sistema Toposys

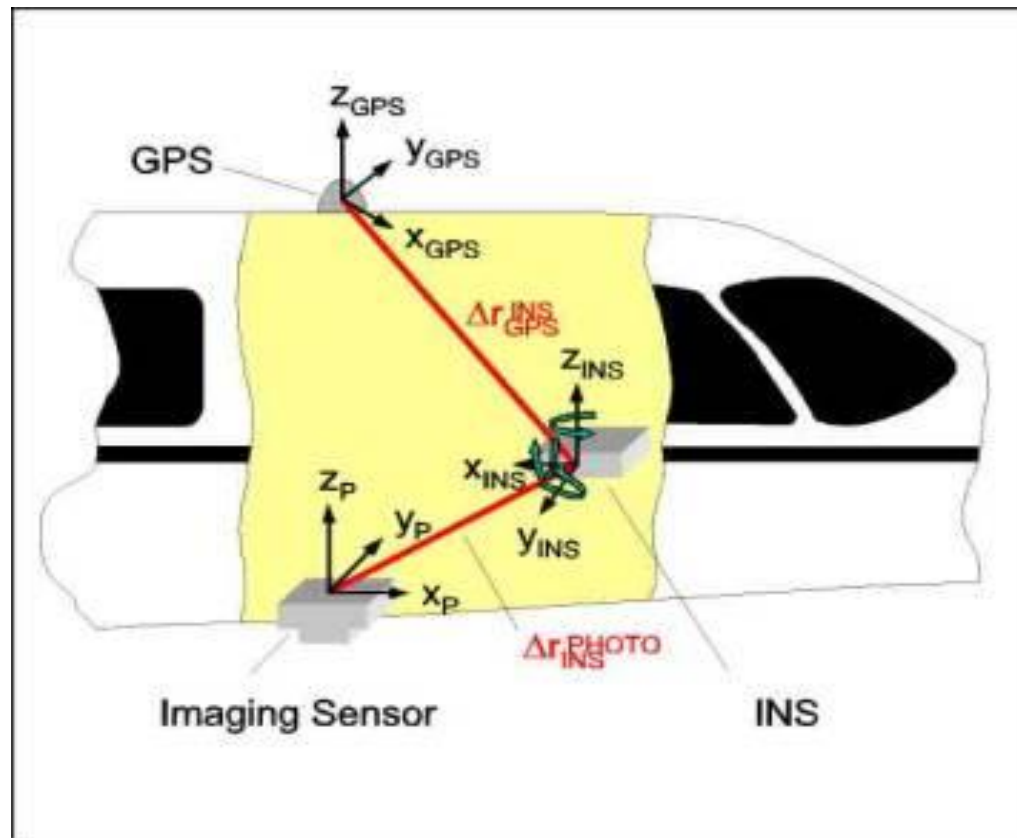
⇒ resulta em uma frequência de: 630 Hz

Schenk, 2001



## Determinação da posição do sensor

A posição relativa dos instrumentos deve ser cuidadosamente determinada e levada em conta na fase de processamento.



Para isto, são necessárias transformações entre sistemas de coordenadas

## Equação geral

$$X_G = X_{0GPS} + M_{atitude} P + M_{atitude} M_{alinhamento} M_{scanner} R$$

$X_G$  : coordenadas do ponto no terreno

$X_{0GPS}$  : posição dada pelo GPS

$M_{atitude}$  : rotação da plataforma

$P$  : deslocamento GPS-laser

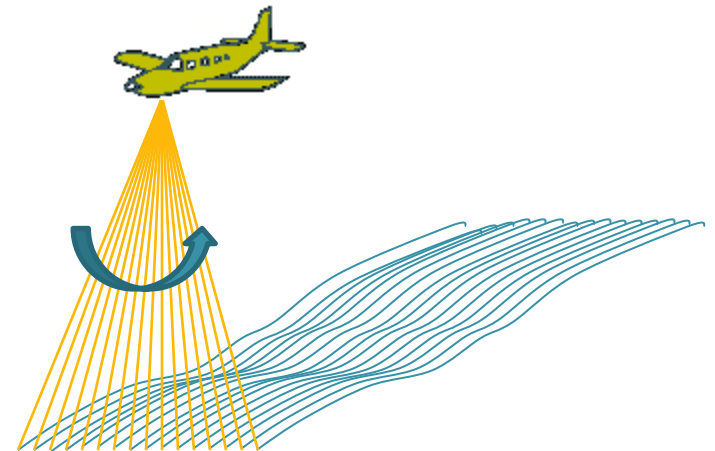
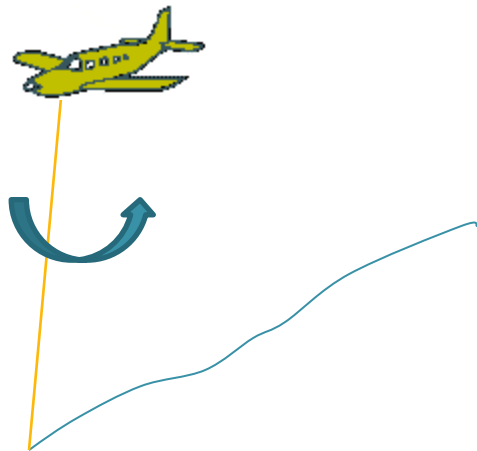
$M_{alinhamento}$  : rotação entre IMU-laser

$M_{scanner}$  : ângulos de emissão do laser

$R$  : distância

# Mecanismos de varredura

- O feixe laser é redirecionado na direção perpendicular à direção e voo (varredura).

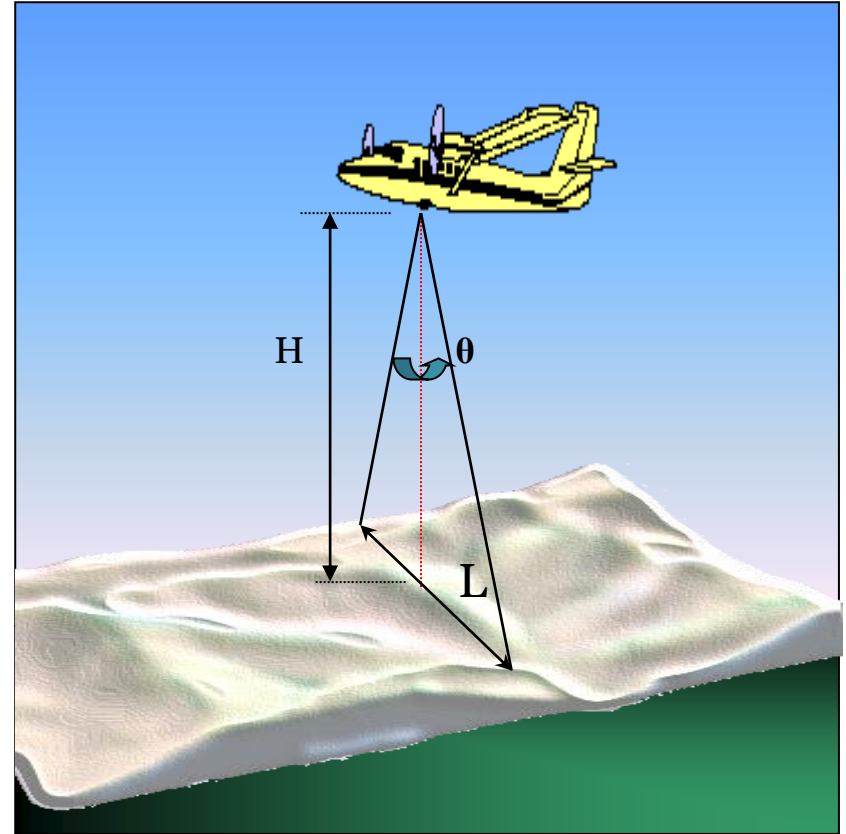


# Largura da faixa varrida

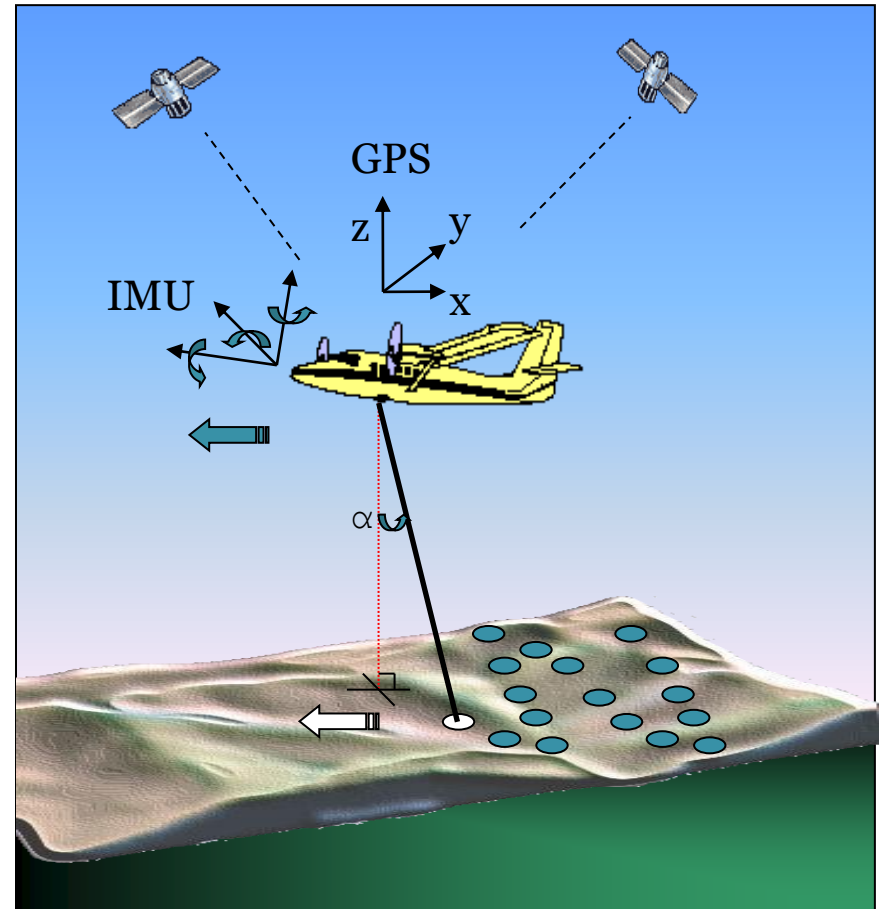
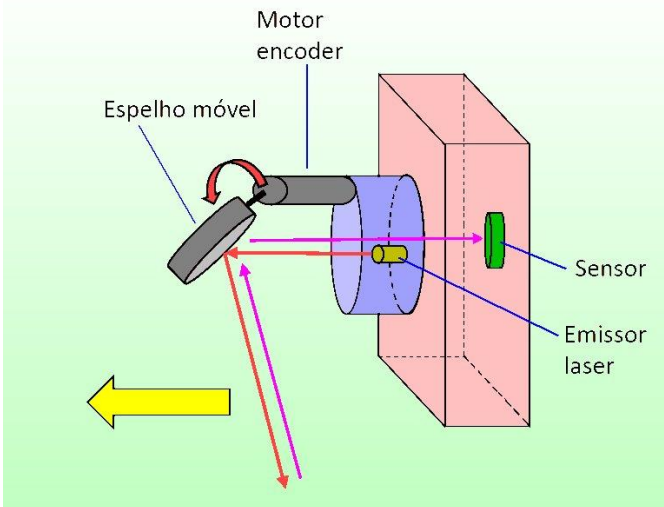
- O feixe é apontado na direção perpendicular à linha de vôo até um ângulo máximo,  $\theta_{\text{máx}}$  na figura.
- Combinando este ângulo com a altura de vôo (H), a faixa varrida no terreno é definida.

- $L = 2 * H \tan(0,5 * \theta_{\text{máx}})$

- 

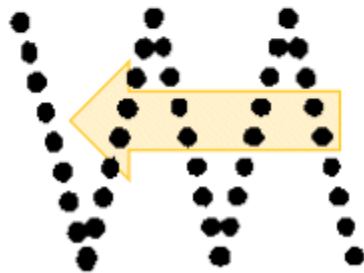


Devido ao deslocamento do avião e ao movimento oscilante do espelho, um padrão produzido no terreno é de zig-zag.

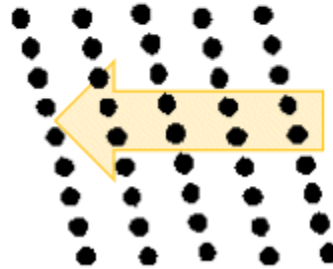
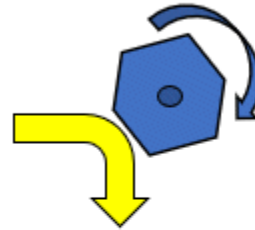


# Sistemas de varredura diferentes

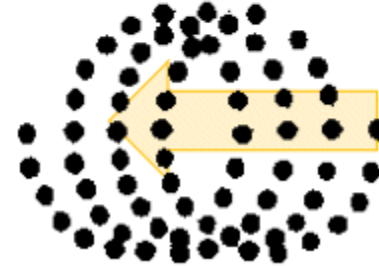
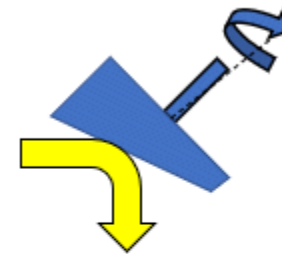
Espelho oscilante



Polígono rotatório



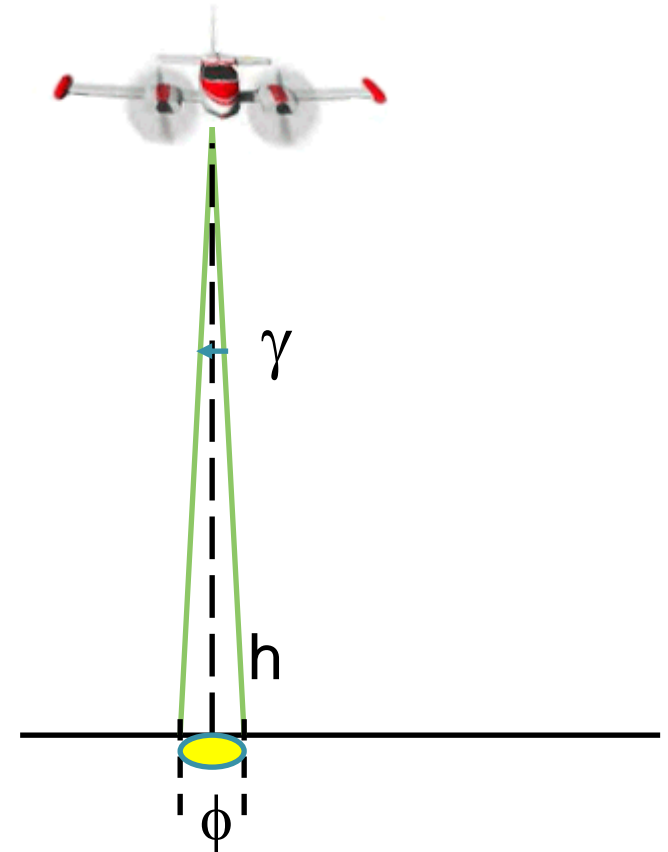
Palmer





# Diâmetro do pulso (Footprint)

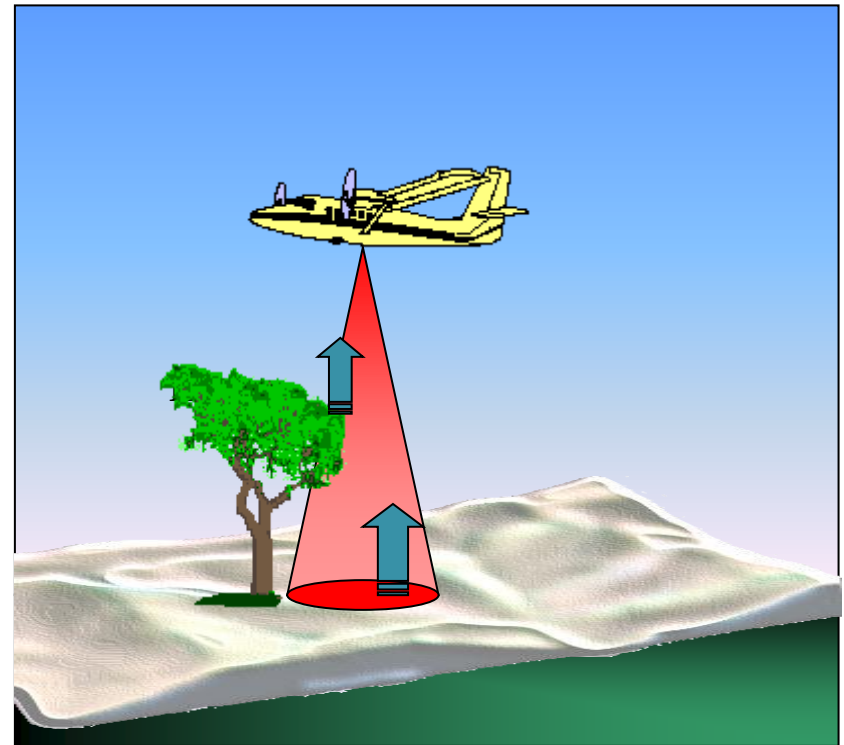
- O diâmetro da região coberta pelo pulso na superfície do terreno ( $\phi$ ) pode ser calculado em função da:
  - altura de vôo ( $H$ ),
  - o ângulo de divergência ( $\gamma$ ) e
  - a largura da abertura do sistema ( $D$ ).
- Quando a abertura é muito menor em relação à altura de vôo, ela pode ser desprezada, sendo considerada uma fonte pontual.



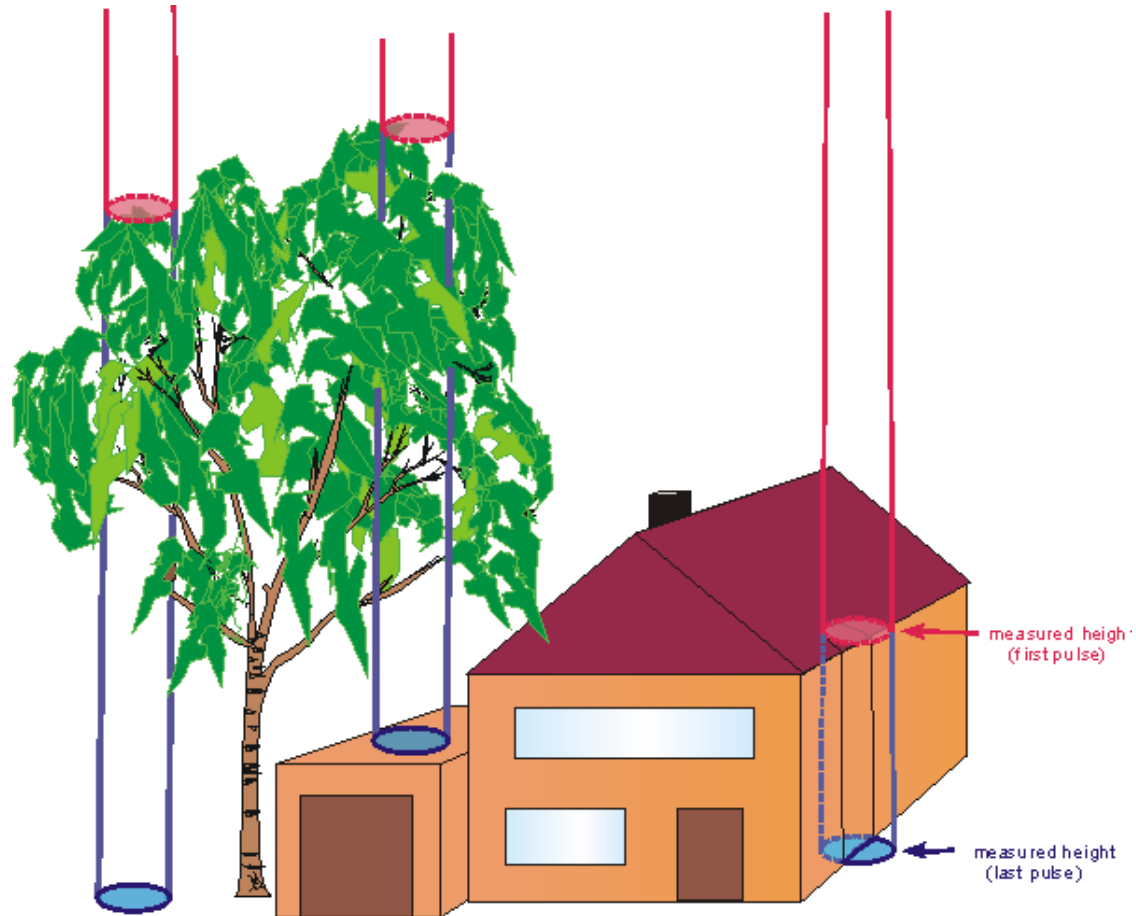
A projeção do feixe na superfície é chamada de footprint.

# Primeiro / Último pulsos

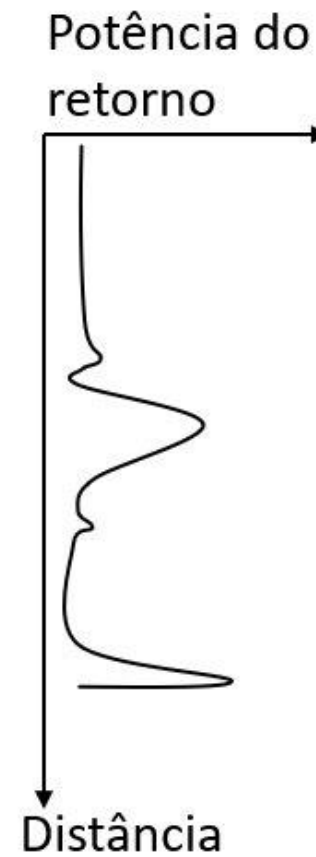
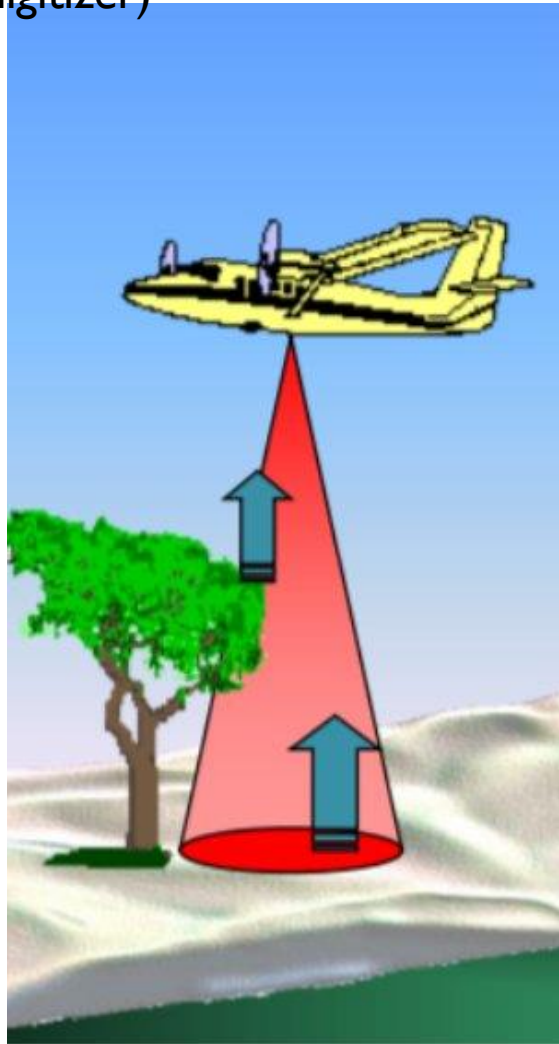
- Quando o feixe incide em superfícies que permitem a passagem de parte do feixe, ou cantos de objetos, como edificações, o reflexo captado pode ser múltiplo.
- Em geral, capta-se o primeiro e o último pulso refletido, pois a partir deles pode-se obter informação do topo do objeto e do solo ou sua base.



# Exemplo de múltiplos retornos



Full wave - Novos sistemas fornecem um perfil dos objetos encontrados ao longo de sua trajetória medindo vários retornos. (digitizer)

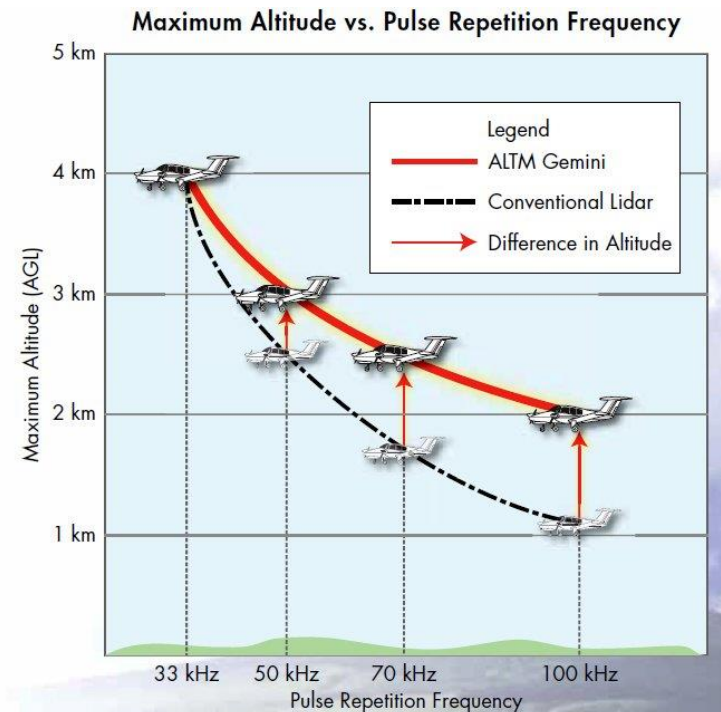


# Multi-pulse

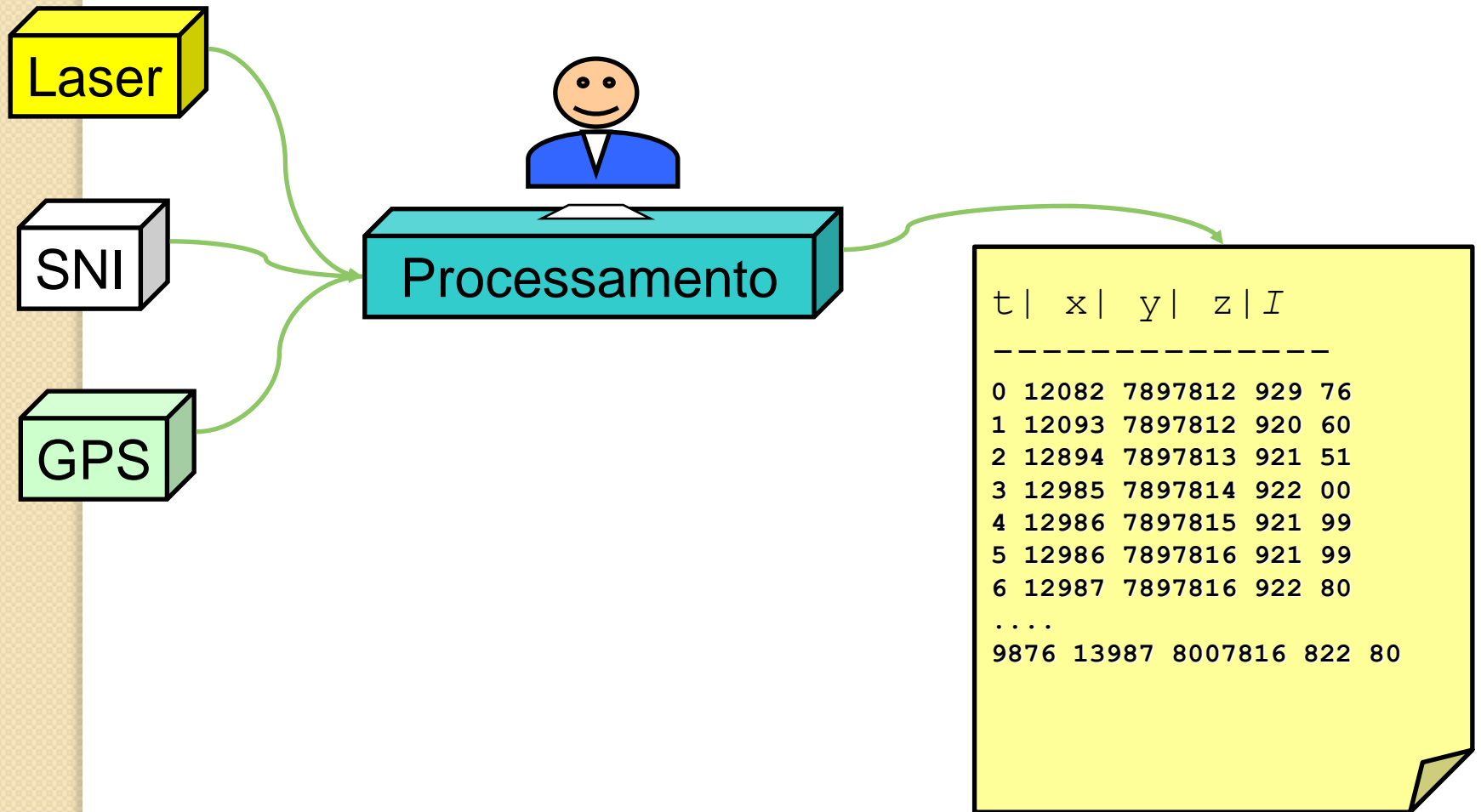
Os novos sistemas podem operar em modo multipulso (ex: Gemini Optech). Neste caso, o sistema continua disparando pulsos mesmo quando o primeiro ainda está em voo para o receptor.

Isto permite ainda elevar a altura de coleta de dados. Porém é necessário aumentar a potência da emissão do laser.

Outra vantagem é a possibilidade de obter um levantamento mais denso (mais pulsos).



# Pós-Processamento





# OPTECH – Pegasus ALTM



Parameter	Specification
Laser wavelength	1064 nm
Horizontal accuracy	1/5,500 x altitude, 1 $\sigma$
Elevation accuracy	<5-20 cm, 1 $\sigma$
Effective laser repetition rate Programmable,	100-500 kHz
Scan width (FOV) Programmable,	0-75°
Scan frequency (5) Programmable,	0-140 Hz (effective)
Beam divergence	0.25 mrad (1/e)
Range capture	Up to 4 range, including 1,2,3,4 return
Full waveform capture Waveform Digitizer (optional)	12-bit Optech IWD-2 Intelligent

## Resumo dos sensores mais típicos

diâmetro do footprint:	0.3 - 1.4 m
largura da faixa:	0.25*h - 1.5*h
distância ao longo do da linha de vôo:	0.06 - 10 m
distância no sentido perpendicular à linha de vôo:	0.1 - 10 m
Frequência dos pulsos:	5 - 83 kHz
Frequência da varredura:	20 - 630 Hz
Acurácia em posição:	± 0.1 - 3.0 m
Acurácia em altitude:	± 10 - 60 cm

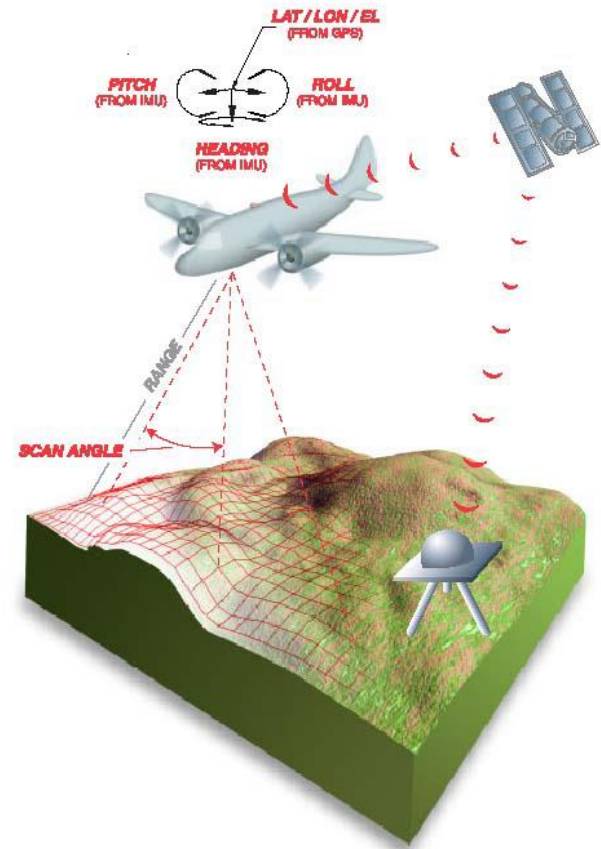


# Variáveis e planejamento de voo

# Parâmetros Configuráveis / Calculados

são conhecidos:

- Altura de vôo ( $h$ )
- Velocidade da aeronave ( $v$ )
  
- $\theta$  - Ângulo de varredura (quanto gira o varredor na direção perpendicular ao voo)
- $r$  - Frequência de varredura (q cada quanto é efetuada uma varredura transversal)
- $f$  - Taxa de amostragem: intervalo entre medição de pontos consecutivos
  
- Podemos calcular:
  - Largura da faixa;
  - Quantidade de Pontos por linha;
  - Distância entre pontos ao longo da varredura;
  - Distância entre linhas de varredura;

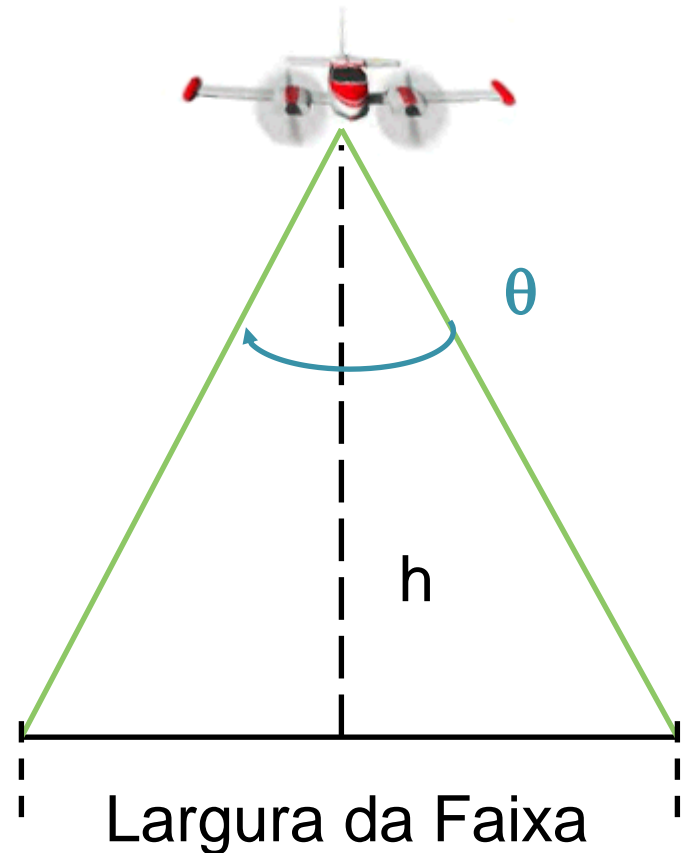


# Parâmetros Configuráveis / Calculados

Largura da faixa:

$$L = 2 * h * tg(\theta / 2)$$

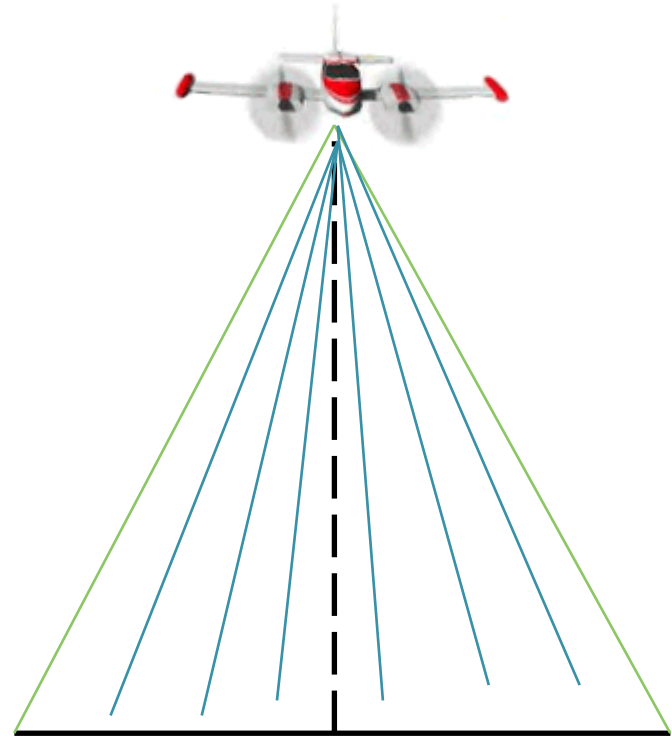
- Ângulo de varredura ( $\theta$ )
- Altura de vôo ( $h$ )



# Parâmetros Configuráveis / Calculados

Pontos por linha (N):

$$N = \frac{f}{2 * r}$$



- f: Taxa de amostragem (kHz). Taxa ou frequência de repetição do pulso ( $f$ ).
- r: Frequência de varredura (*scan rate*), em Hz. Número de linhas varridas por segundo.

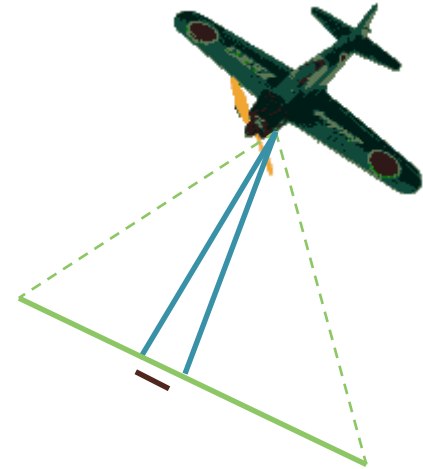


# Distância entre pontos

ao longo de uma linha varrida (perpendicular à linha de vôo):

$$Dp = L/N$$

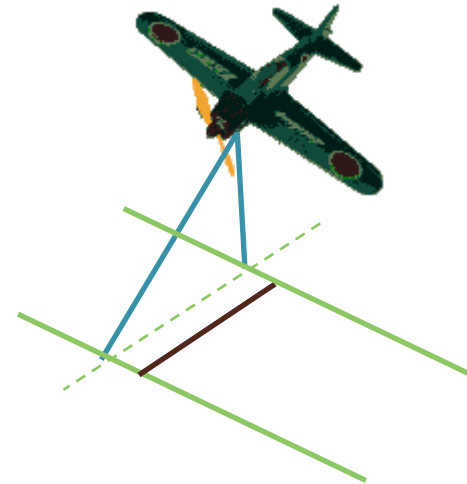
L: Largura da faixa  
N: Pontos por linha.



Distância entre pontos ao longo da linha e vôo:

$$Dl = \frac{v}{f}$$

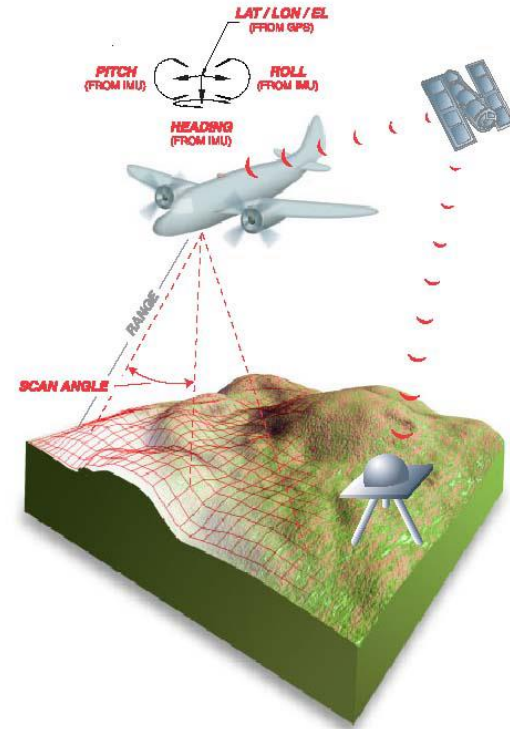
$v$ : velocidade da aeronave  
 $f$ : Taxa de amostragem



# Distância entre pontos

Distância entre pontos no terreno:

$$d = \sqrt{Dl^2 + Dp^2}$$



$$d = \sqrt{\frac{v^2}{f^2} + \frac{(4 * h * r * \text{tg}(\theta / 2))^2}{f^2}} = \frac{\sqrt{v^2 + (4 * h * r * \text{tg}(\theta / 2))^2}}{f}$$