

# *Roteiro Aula sobre LiDAR*

## Momento 01

---

- O que é um sensor remoto?
- Qual a diferença fundamental de sensores remotos ativos e sensores remotos passivos?
- Qual a principal vantagem de sensores ativos?
- Por que usar sensores remotos?
- Vc conhece algum sistema de escaneamento laser?
- Vc já trabalhou com ALS ou TLS?

## Momento 02

---

O laser é um tipo de luz que possui características muito peculiares quanto à intensidade, concentração, comprimento de onda e organização.

Ao contrário da luz proveniente de uma lâmpada, o laser possui apenas um comprimento de onda, ou seja, apenas uma cor. Esta característica monocromática faz com que as ondas viagem praticamente em paralelo, organizadamente, resultando num pulso forte e cor marcante.

A escolha sobre qual comprimento de onda utilizar depende do objetivo do levantamento. Estudos de batimetria, que estudam a profundidade de rios, lagos e oceanos utilizam comprimento de onda próximo à escala do azul.

Já levantamentos de áreas urbanas e florestais utilizam laser com comprimento de onda próximo ao infravermelho (1064 nm), pois nesta faixa, o laser é inofensivo para os seres vivos.

Porém, por se tratar de uma região do infravermelho próximo, ela não assegura bons resultados diante condições climáticas adversas como chuva, nuvem, neblinas, fumaça e outros.

## Momento 03

---

Para que os pulsos lasers possam explorar a superfície durante um sobrevoo, o módulo laser possui um sistema de varredura que pode assumir três configurações básicas: espelho oscilante, polígono ou palma. O sistema de varredura redireciona o laser emitido pelo emissor para o solo, a medida que o avião se desloca.

A frequência de emissão é dada em hertz e indica a quantidade de pulsos por segundo que são emitidos pelo sensor em direção ao solo. Nos equipamentos atuais este valor pode chegar a 200 KHz, ou 200.000 pulsos por segundo. A frequência de escaneamento determina quanto padrões por segundo será registrado pelo equipamento.

### Pulsos por linha

Sabendo que o equipamento LiDAR utilizado possui frequência de emissão de 25kHz, o que equivale a 25.000 pulsos por segundo e que a frequência de escaneamento é de 50 linhas por segundo:

Cada linha terá 500 pulsos por linha.

### Faixa imageada

Suponha levantamento utilizando uma altura de voo ( $h$ ) de 500 metros, e um ângulo do feixe ( $\theta$ ) de  $40^\circ$ . Baseado nestes dois parâmetros é possível determinar a largura da faixa imageada pelo laser no solo.

Primeiro, é preciso lembrar que uma linha reta que sai o avião em direção ao solo divide o ângulo de escaneamento em duas partes formando um triângulo retângulo.

Assim, tangente de  $20^\circ$ , que é metade do ângulo de escaneamento neste exemplo, equivale à metade da faixa dividido pela altura do voo:

Isolando o termo com a Faixa de Escaneamento:

Calculando a tangente de  $20^\circ$  obtém-se 0,36 o que resulta em:

Então, para uma altura de voo (h) de 500 metros e um ângulo de varredura de  $40^\circ$ , a faixa de escaneamento será de 360 metros.

## Momento 04

---

O IMU (abreviação para inertial measurement units), ou o INS (abreviação para inertial navigation systems), consiste num equipamento eletrônico capaz de determinar a velocidade e orientação de um aeroplano. Quando combinado com um GPS, o computador de bordo consegue calcular a posição atual baseado na velocidade e tempo.

## Momento 05

---

Todo o levantamento é baseado na ideia de que após emitido, o laser poderá interceptar diversos objetos durante trajeto. Se durante seu caminho, parte da pegada é interceptada por uma folha de uma árvore, e outra parte é interceptada pelo solo, este laser emitido irá resultar dois retornos.

A captura do retorno do pulso laser é feito por um equipamento chamado de fotodetector, ou receptor. Este equipamento é capaz de registrar parte da energia que retornou após interagir com os objetos ao longo do trajeto.

A sensibilidade de detecção é um dos parâmetros que precisa ser calibrado. Quanto maior a sensibilidade do sensor, maior a probabilidade de algum sinal ser captado. No entanto, maior também será a incidência de ruído nos dados armazenados.

### Footprint

O pulso laser sai do avião com um diâmetro ( $D$ ) de 10 cm. No entanto, sabendo que há uma divergência ao longo do seu trajeto, e que ela é igual a 1 mrad (miliradiano = 0,001 rad), o footprint ( $D_c$ ) pode ser calculado.

Ao tocar o chão, o pulso terá um footprint de 60 centímetros.

### Intensidade

Durante a trajetória de um pulso laser, este pode interagir com diferentes objetos. Esta interação causa reflexão de parte da energia que o atingiu. Se este pico for superior ao limiar, o fotorreceptor entende como um retorno e armazena a informação.

A intensidade do retorno vem de uma complicada interação da energia eletromagnética com diferentes atores. Supondo que a energia transmitida ( $P$ ) seja de 2.000 W. A energia que incidirá sobre o objeto

depende do coeficiente de transmissão atmosférica (M). Sendo a transmissão atmosférica 80%, o valor da energia incidente sobre o objeto é de 1.600 W.

A capacidade de refletir a energia depende de diversos fatores e segue modelo Lambertiano, e pode ser calculado pela fórmula:

Onde  $A$  = footprint,  $h$  = altitude de voo e  $\rho$  = reflectância.

Considerando que 100% do pulso atingiu um objeto com reflectância de 50%, dos 2000 W emitidos, apenas 6518 nW (ou  $6,52 \times 10^{-6}$  W) serão recebidos pelo fotorreceptor.

Cada objeto terá uma reflectância diferente para cada comprimento de onda. Para um comprimento de onda de 900 nm, é possível encontrar objetos como a neve que reflete 85% da energia incidente, até o asfalto que reflete somente 17%.

Os primeiros equipamentos LiDAR eram capazes de armazenar apenas um retorno por pulso. Com o desenvolvimento tecnológico o primeiro e o último pulso passaram a ser armazenados. Geralmente o primeiro retorno está relacionado ao ponto mais alto de um objeto (ex: topo de uma árvore) e o último retorno normalmente está relacionado ao solo.

Atualmente os equipamentos são capazes de armazenar além do primeiro e último retorno, também os retornos intermediários. A quantidade de pulsos intermediários capazes de serem armazenados depende de cada equipamento, podendo variar de um a muitos. Sendo muito frequente o armazenamento de 3 a 5 retornos intermediários.

### Altura

Para obter a elevação o princípio é bastante simples. Sendo a velocidade da luz conhecida e o tempo entre a emissão e recepção também, através da fórmula de velocidade é possível saber a distância. Esta distância é então facilmente transformada em elevação baseando-se na altitude do avião.

em que  $R$  = distância,  $t$  = tempo e  $c$  = velocidade da luz.

O intervalo entre a emissão e a recepção é usado para computar a distância percorrida entre a unidade laser e o solo. O cálculo é bastante simples. Sendo a velocidade da luz conhecida ( $c = 299.792.458$  m/s) e o tempo entre a emissão e recepção também ( $t$ ), através da fórmula de velocidade é possível saber a distância ( $d$ ):

$$d = c * (t/2)$$

em que  $d$  = distância,  $t$  = tempo e  $c$  = velocidade da luz. A divisão por dois vem do fato do tempo ser registrado para o caminho de ida e volta do laser.

Supondo que o tempo que um pulso laser levou da aeronave até tocar em um objeto e parte da sua energia retornar ao sensor (emissão/recepção) tenha sido de 0.0032 milissegundos (0.0000032 s). Assim, a distância percorrida durante o trajeto de emissão (avião-objeto) pode ser calculado por:

$$d = 299.792.458 * (0.0000032/2)$$

Resultado: 480 metros

Sabendo que o avião voava a uma altitude de 500 metros acima do solo, o objeto imageado estava a 20 metros acima do solo.

## Momento 06

O arquivo binário de extensão `'.las'` foi criado pela Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing – ASPRS). Este tipo de formato foi desenvolvido principalmente para padronizar e facilitar a troca de arquivos entre provedores de serviço, desenvolvedores de software e usuários. Os arquivos de extensão `'.las'` podem armazenar maior diversidade de informações do que arquivos de texto ASCII (`'.xyz'` e `'.txt'`).

Atualmente, existem 5 versões (original e 4 revisões) de arquivos com extensão `'.las'` sendo a versão mais atual a de número 1.4 (15 de Julho de 2013). De acordo com ASPRS (2013), o arquivo combina dados provenientes de GPS, unidade de medição inercial (UMI) e as

informações provenientes do emissor/receptor a laser, para compor a nuvem tridimensional de pontos.

i) cabeçalho: contém dados como a assinatura do arquivo, versão do arquivo, software gerador, data de criação, limite da área amostrada, número total de retornos, densidade média de pontos e outras informações genéricas quanto ao aerolevanteamento e os arquivos gerados.

## Momento 07

---

ii) informações complementares ("Variable Length Records - VLRs): são opcionais e podem conter informações como sistema de projeção (em GeoTIFF ou Well Know Text - WKT), metadados, informações sobre pacotes para tratamento de retornos laser do tipo contínuo ("full waveform") e outros dados específicos de interesse.

## Momento 08

---

iii) registros dos retornos laser: armazenam coordenadas x, y e z, intensidade do retorno, número do retorno, direção do escaneamento, classificação do retorno, ângulo de varredura, tempo de coleta do GPS, valores RGB e infravermelho próximo (informações provenientes de câmeras espectrais), entre outras informações.

iv) informações complementares adicionais ("Extended Variable Length Records" - EVLRs): são iguais aos VLRs (também opcional), porém, possuem maior capacidade de armazenamento de informações e possuem a função de possibilitar a inclusão de informações genéricas no arquivo sem precisar reescrever a parte existente.

## Momento 09

---

Os produtos básicos derivados do LiDAR podem ser divididos em três grupo: nuvens de pontos, superfícies, planilhas de dados.

## Momento 10

---

O instalador do FUSION pode ser acessado na página <http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/fusionlatest.html>. Caso seja de interesse, na mesma página existem bases de treinamento que podem ser baixadas e trabalhadas. O software funciona na plataforma Windows e roda tanto no ambiente de 64 bits quanto no de 32 bits. Não é necessário baixar o manual, pois já este já vem incluído no instalador.