



Sensoriamento Remoto II

Extração de Modelo Digital do Terreno MDT

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

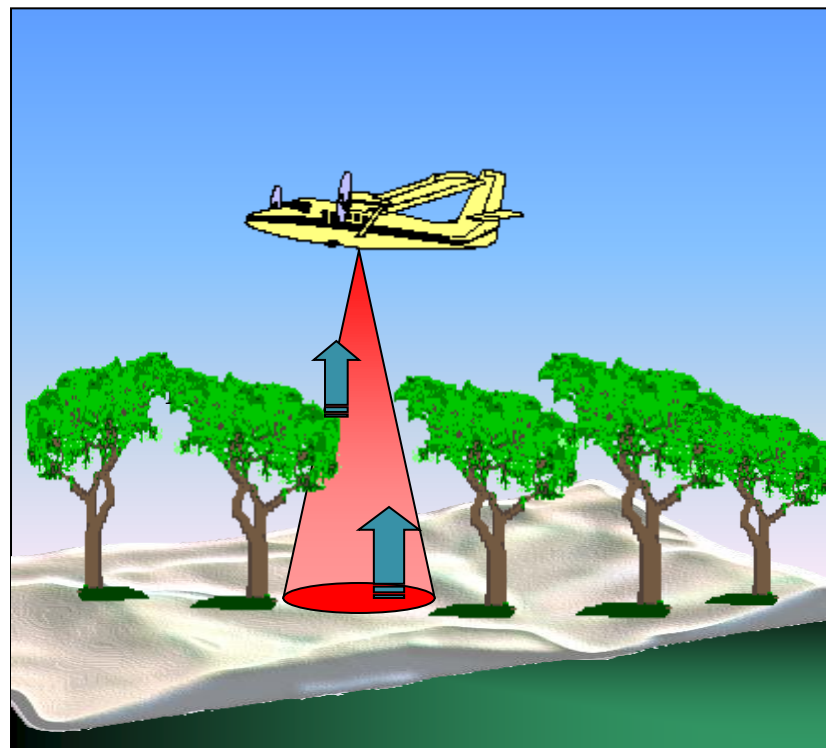
Motivação

Dado que os pulsos LiDAR podem penetrar parcialmente na floresta, e assim alguns pontos são coletados na superfície do terreno, mesmo em florestas...

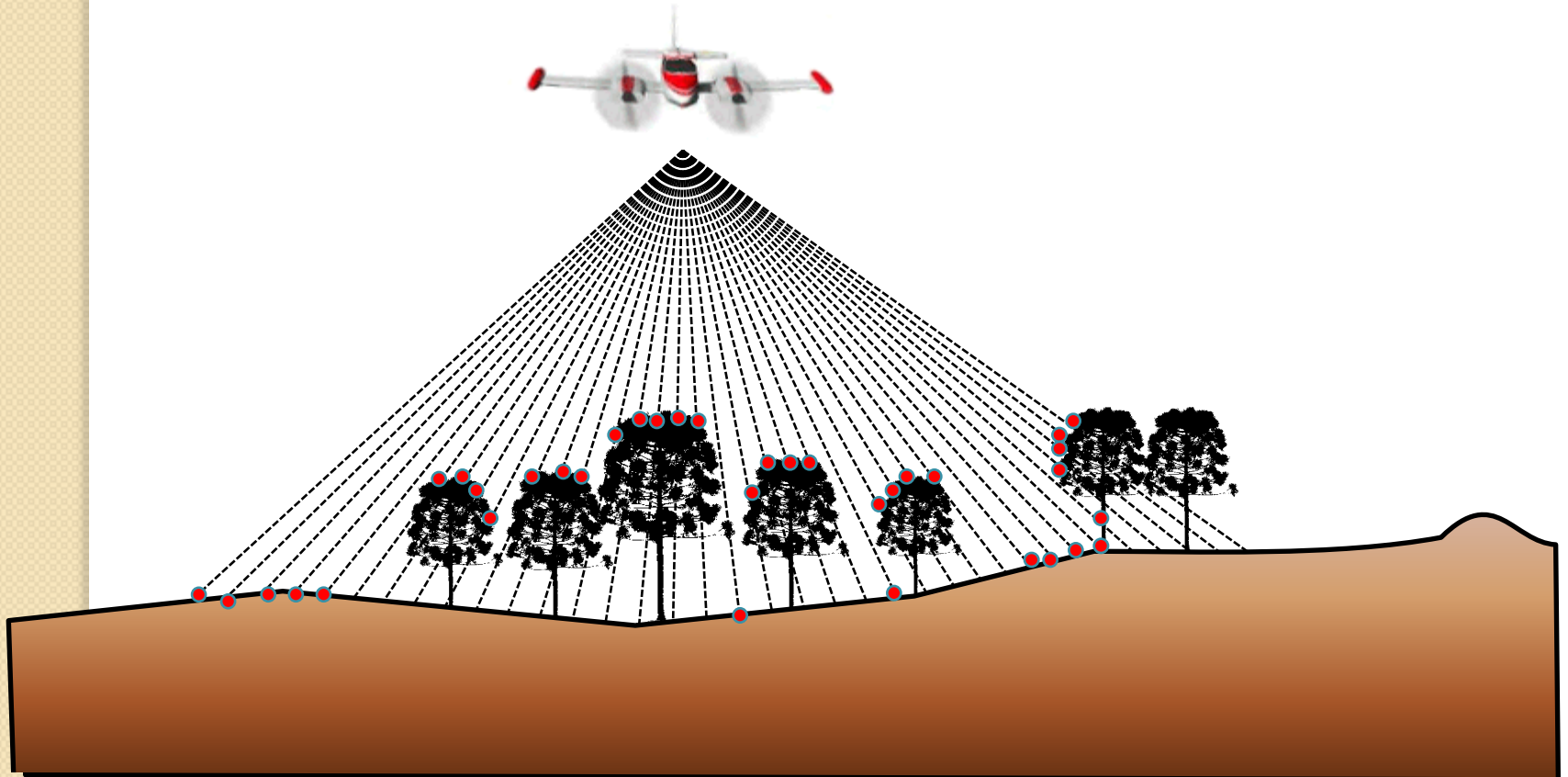
Então,...

É possível se obter um modelo digital do terreno mesmo em áreas cobertas por vegetação.

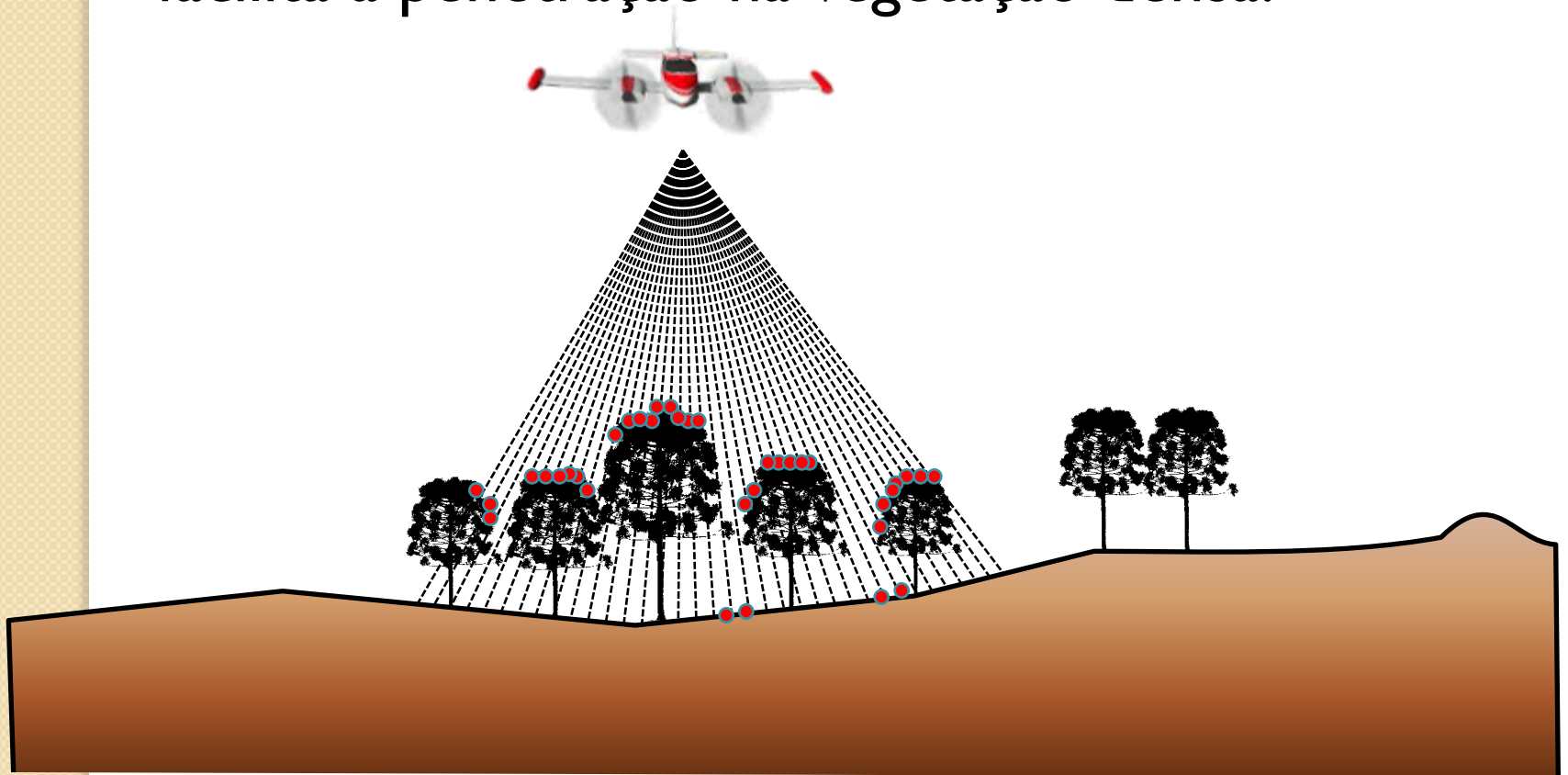
Mas... Como identificar os pontos do terreno?



Primeira questão: Como aumentar a taxa de pontos que incidem no terreno em uma região coberta por vegetação?



Usando um Ângulo de Varredura menor, os pulsos seguem trajetórias mais verticais, o que facilita a penetração na vegetação densa.



Um exemplo de bosque na UFPR



Remanescente da Floresta Ombrófila Mista no Centro Politécnico da UFPR.



Fonte: Schimalesky (UFPR), 2007

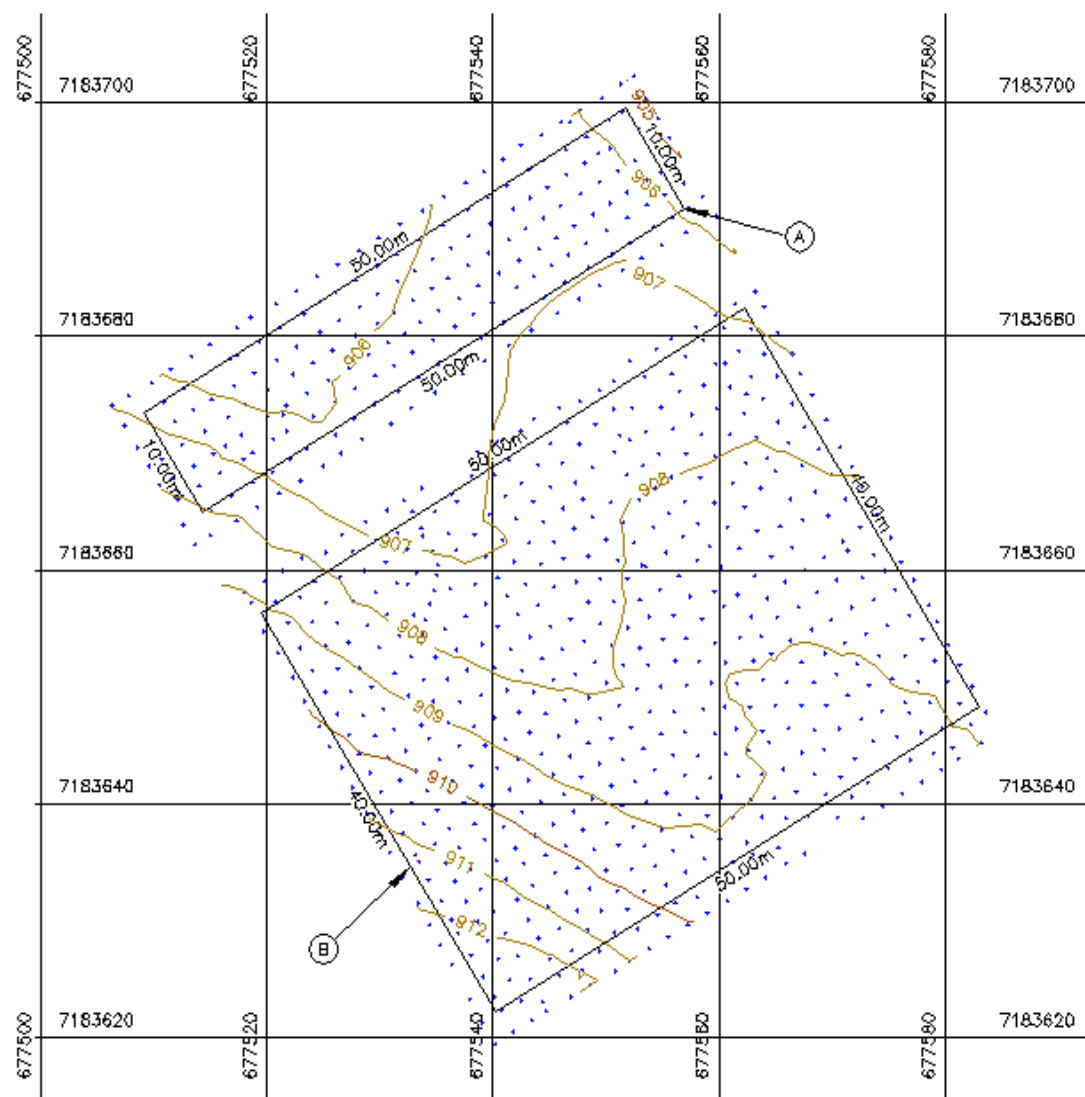
Camada vegetal arbórea:
Obstáculo à penetração do laser ao nível do solo.



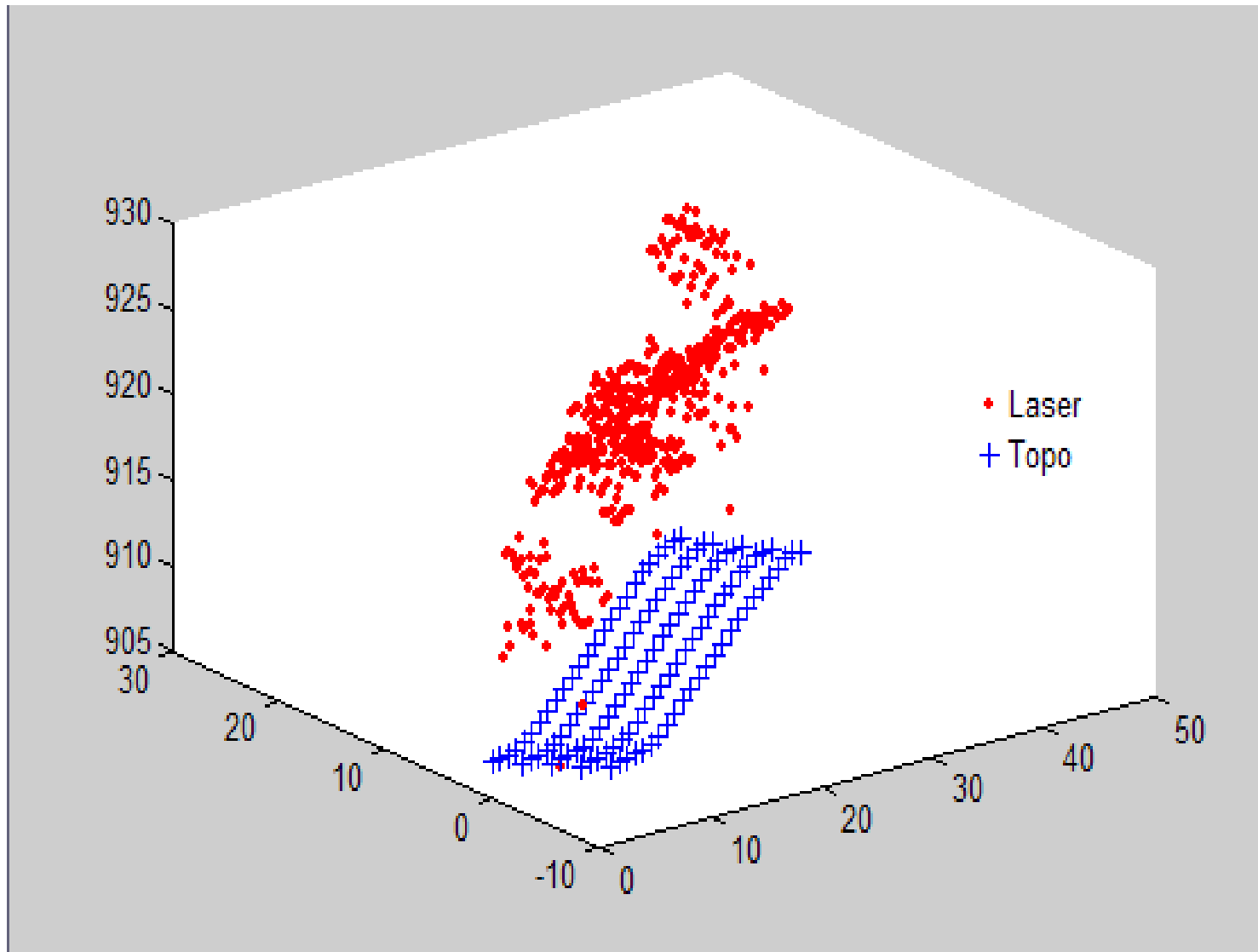
Possíveis fontes de erro na geração do MDT para a área de estudo.



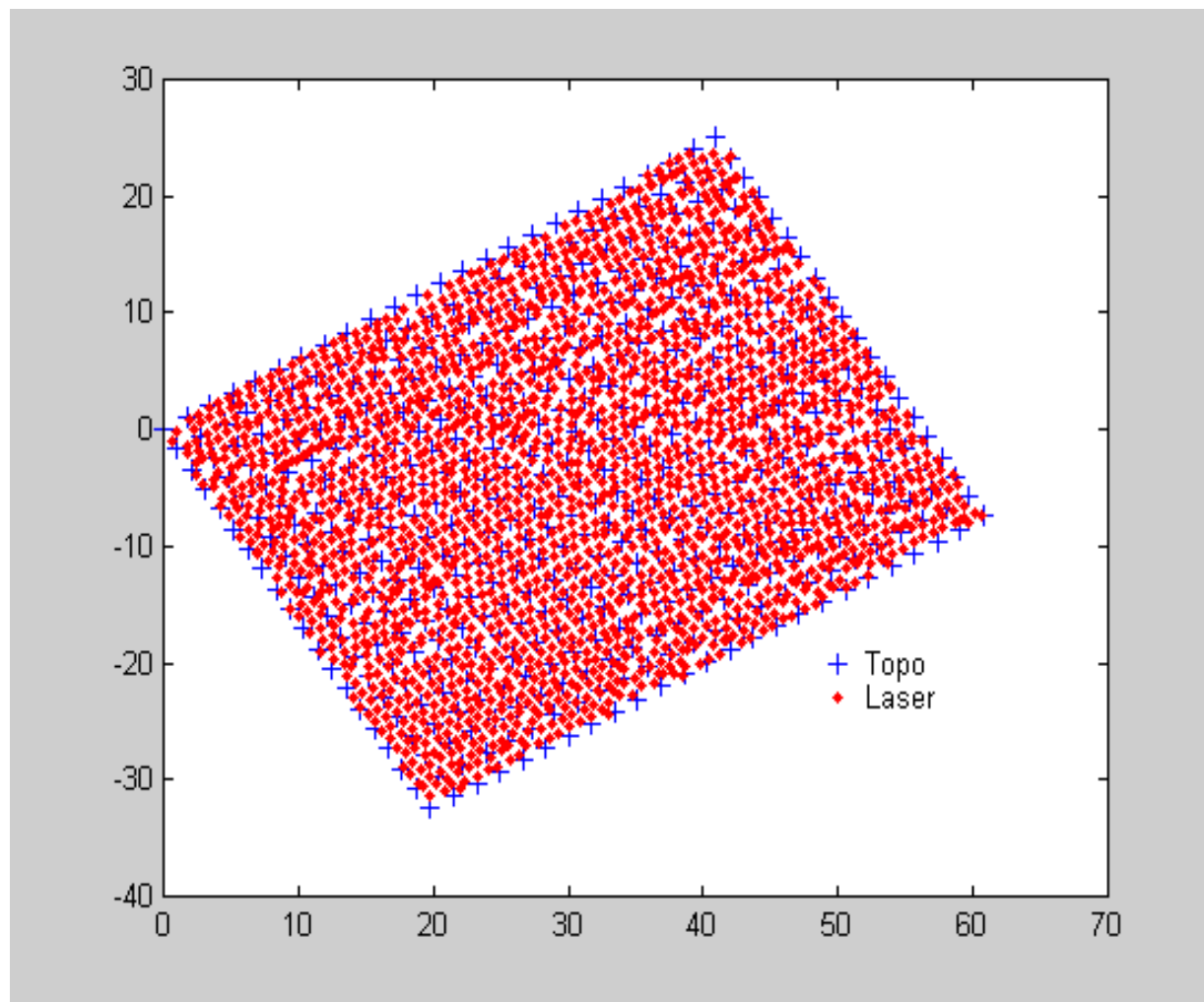
Levantamento topográfico e Curvas de nível das Áreas de Teste A e B.



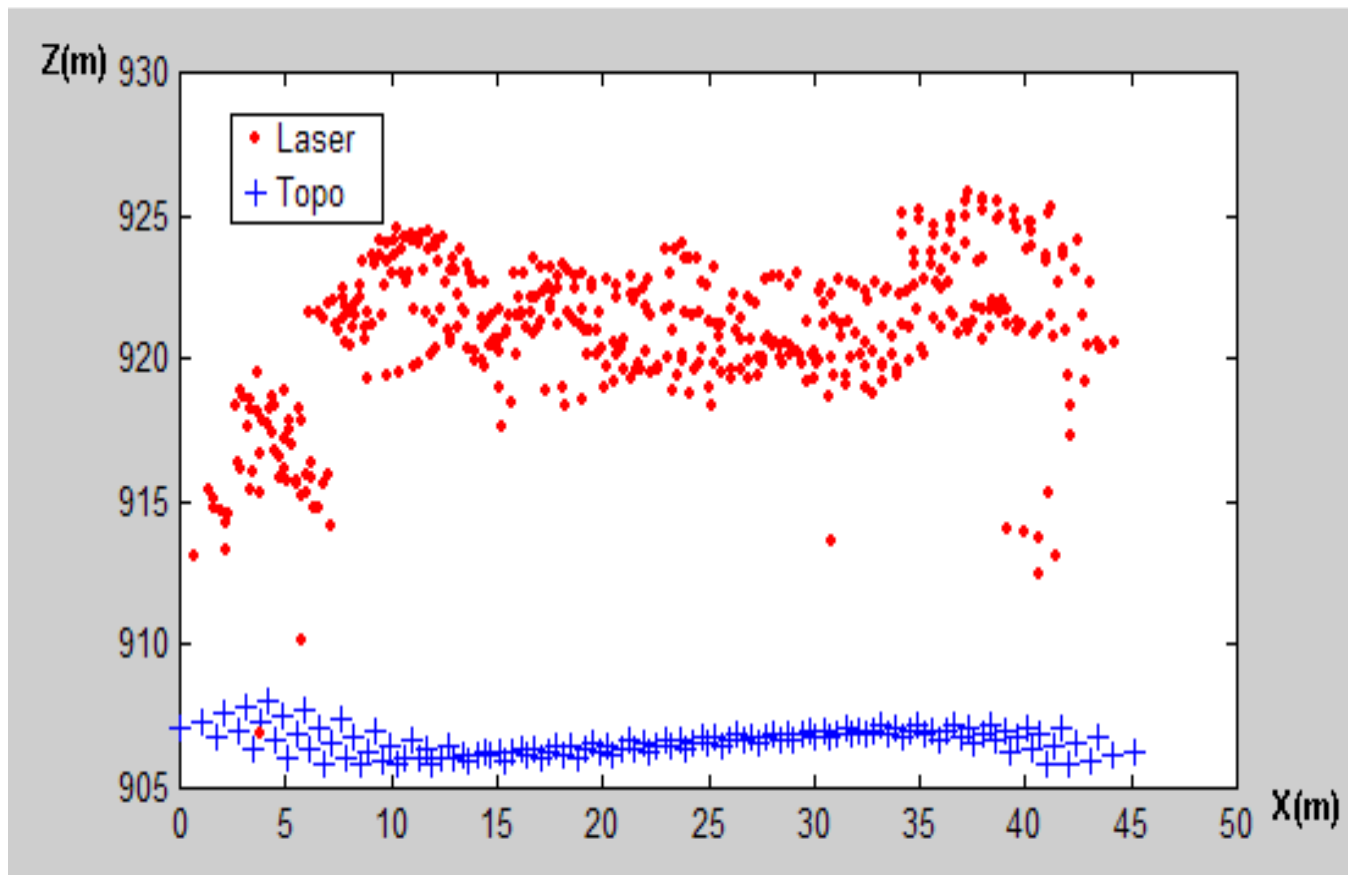
Área A, vista tridimensional.



Área B, sobreposição dos pontos laser e topográficos.

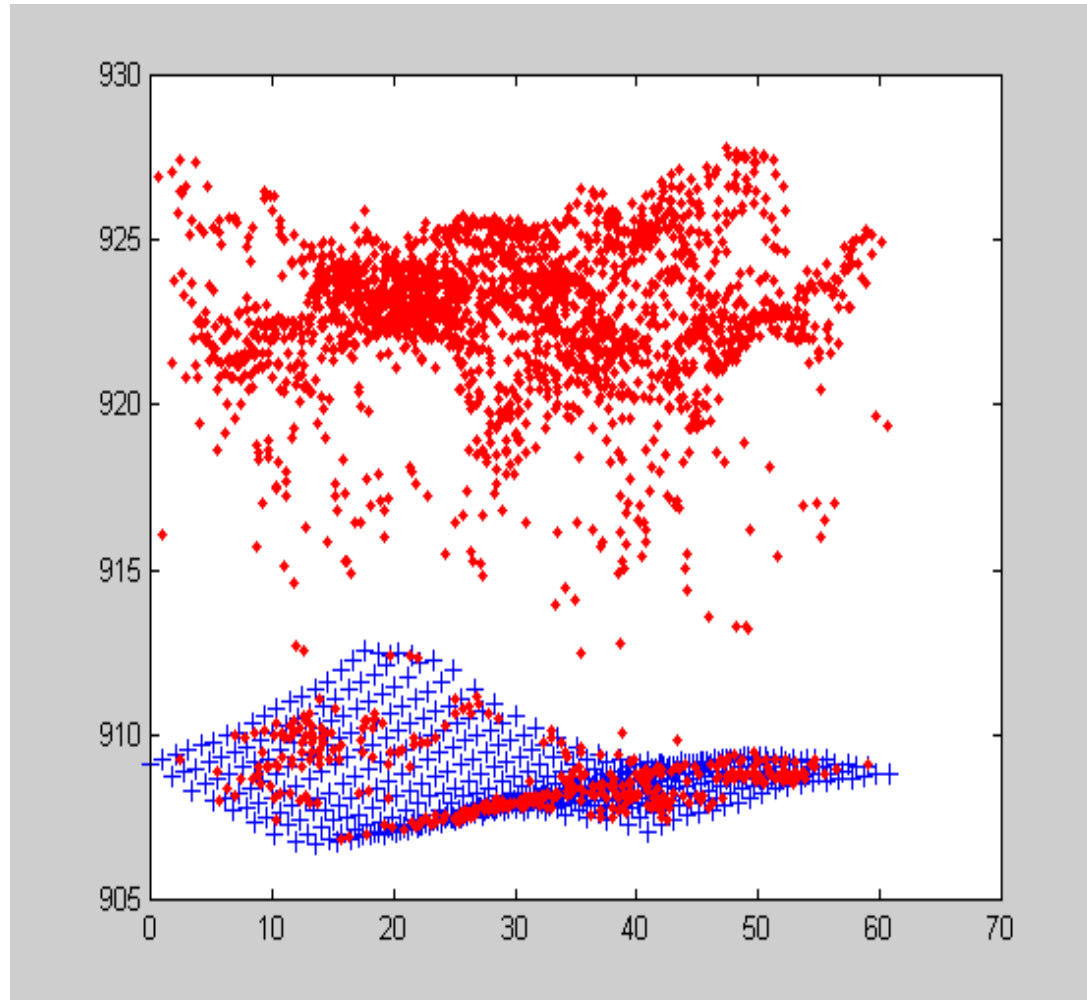


Área A, vista lateral.



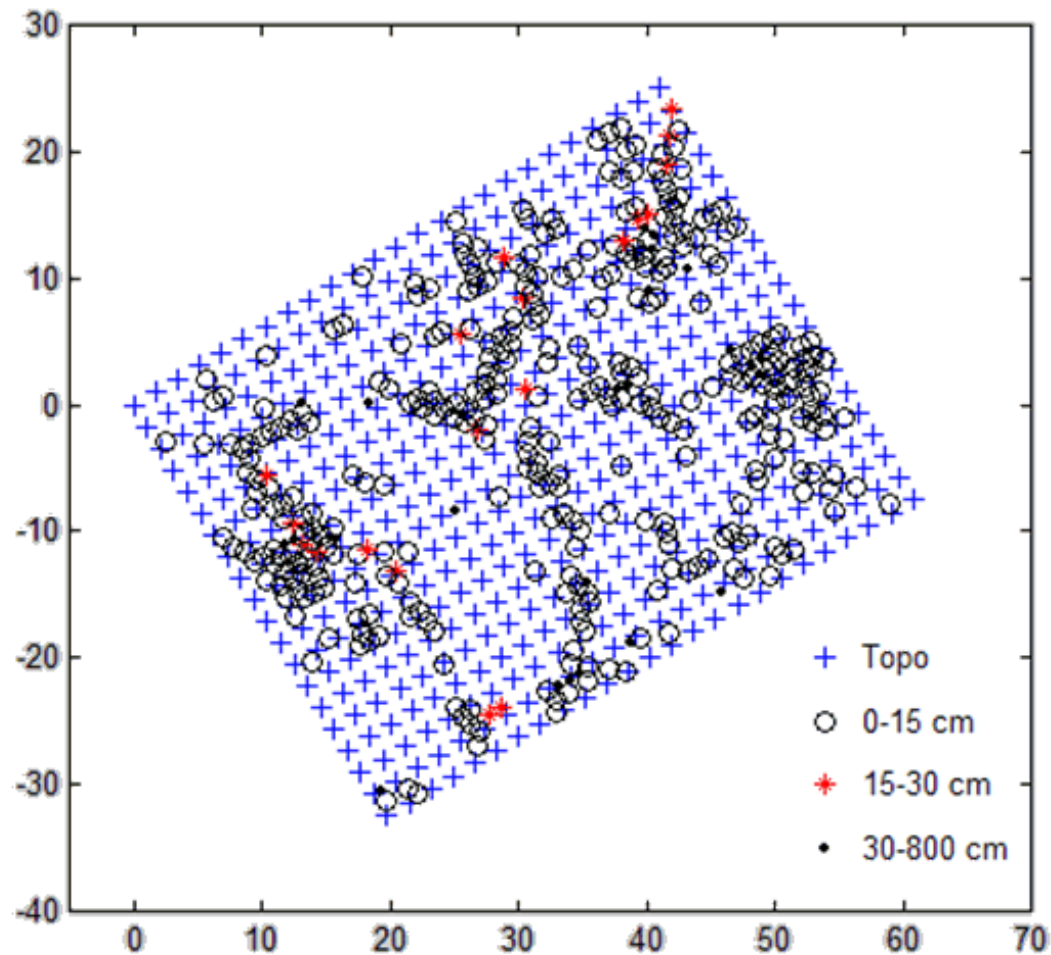
Devido à densidade da vegetação, muitos pulsos foram refletidos pela vegetação e poucos atingiram o terreno.

Vista em perspectiva dos pontos da Área B.



- Maior quantidade de pontos no terreno
- Distribuição irregular.
- Pontos “intermediários”.

Distribuição dos pontos próximos aos do terreno dentro da Área B.



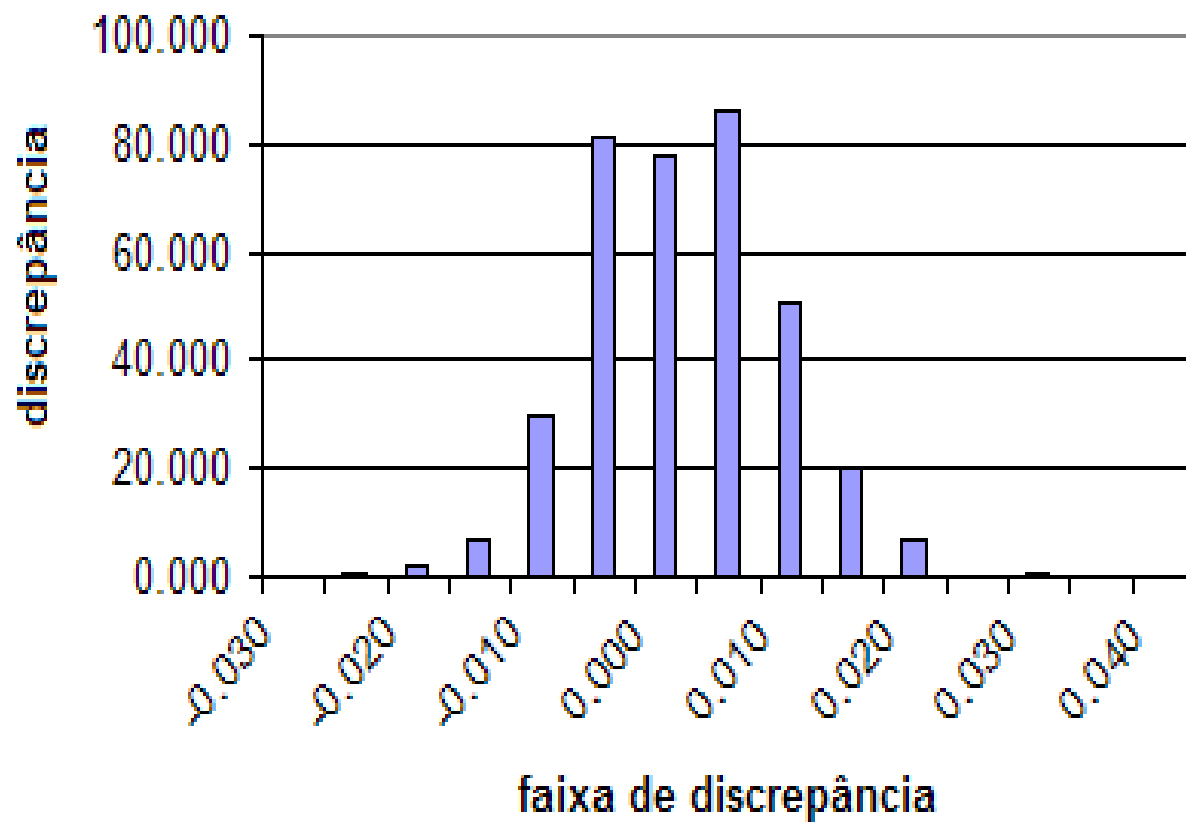
Pontos incidentes próximos do terreno.

Área B, relacionamento dos pontos entre laser e topografia.

- Estatísticas

Faixa de diferença (cm)	0-15	0-30
Pontos	345	364
Diferença média (cm)	0,96	1,44
Desvio padrão da diferença (cm)	6,59	7,68
Diferença mínima (cm)	-13,89	-23,08
Diferença máxima (cm)	14,02	28,02

Histograma das diferenças para a faixa de 0 a 30 cm.



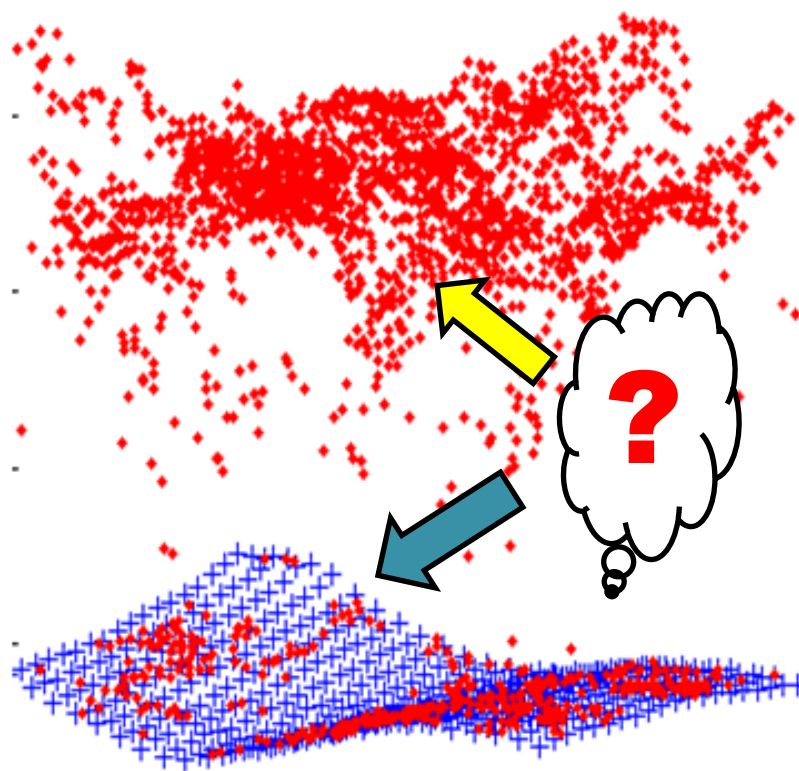
A distribuição se aproxima de uma distribuição normal com média zero. Valores de até 10cm são encontrados com frequência. Acima de 10 cm são menos frequentes.

Desafio

É possível, analisando a nuvem de pontos, identificar os pontos que incidem no terreno?

Etapas:

- a) Classificar os pontos em terreno /não terreno
- b) Com os pontos do terreno, interpolar o modelo digital do terreno DTM



Um exemplo: UFPR (LAGEH)

Grade interpolada com a nuvem de pontos original

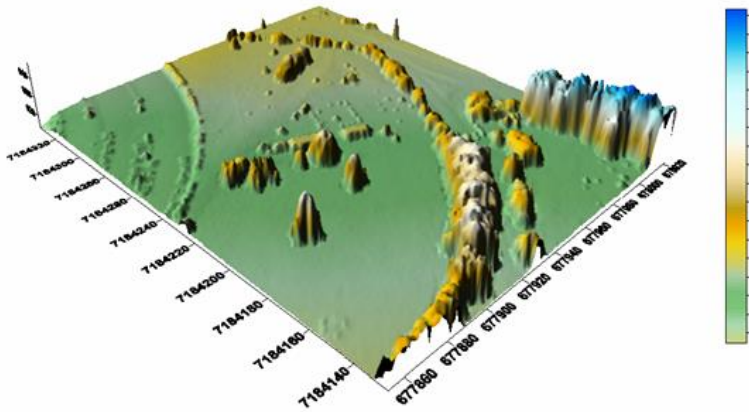


Figura 22 – Região 1: MDS Tridimensional

Grade interpolada com os pontos classificados como terreno

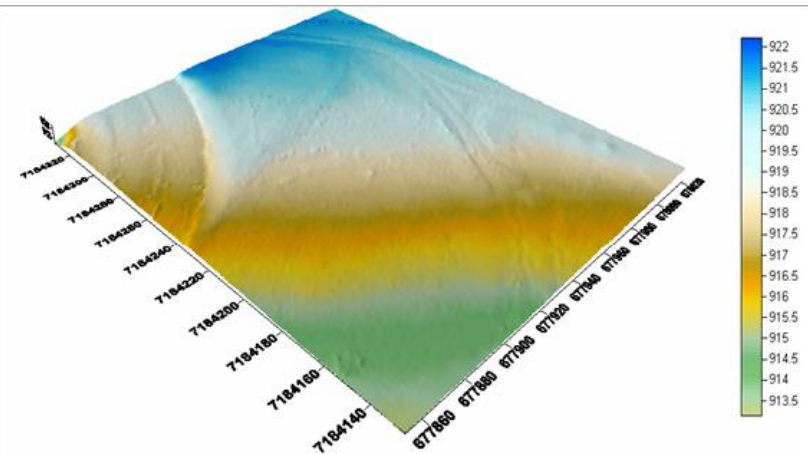
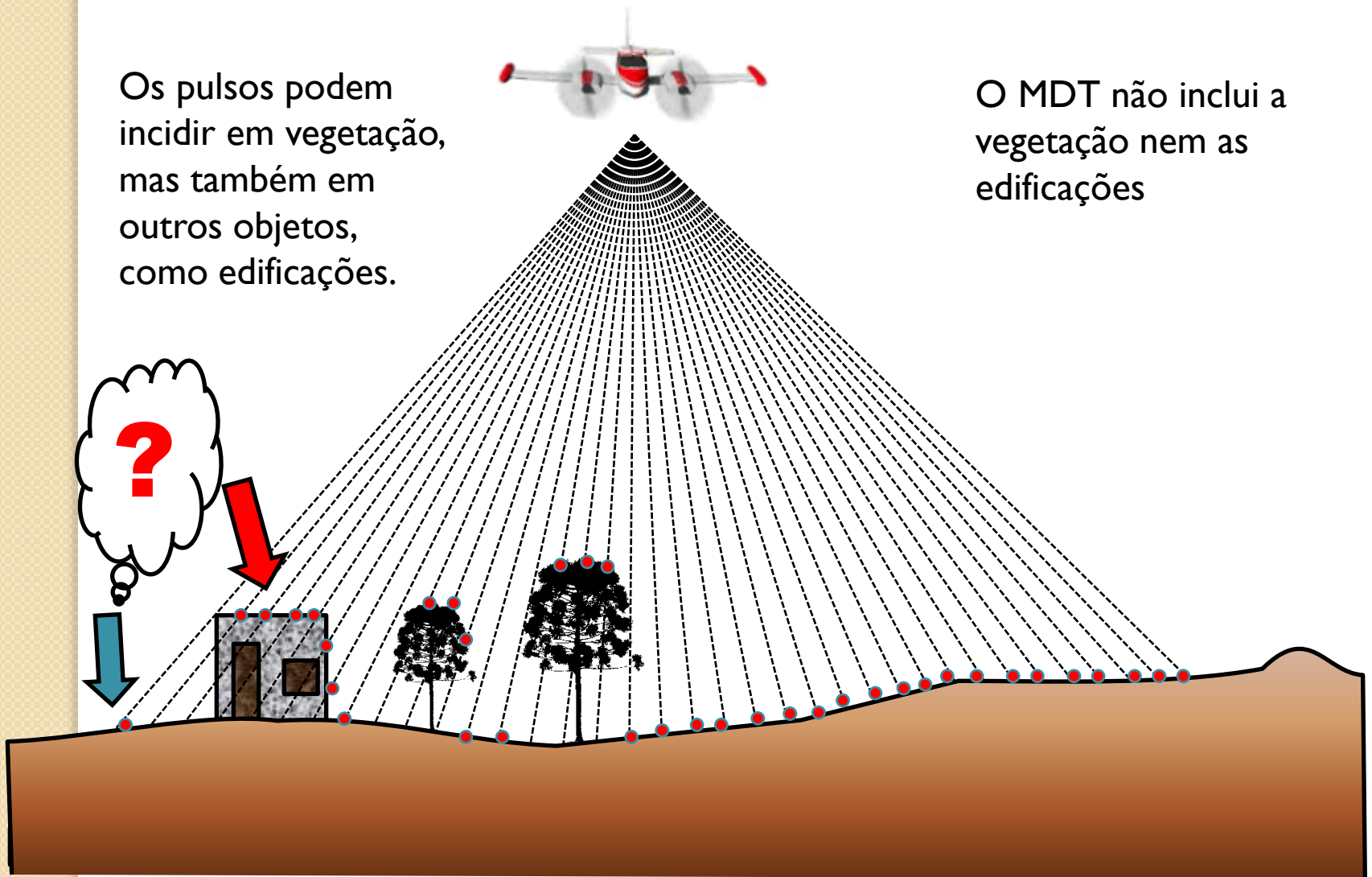


Figura 23 – Região 1: MDT Tridimensional (Melhor resultado obtido a partir da janela móvel)

Os pulsos podem incidir em vegetação, mas também em outros objetos, como edificações.

O MDT não inclui a vegetação nem as edificações



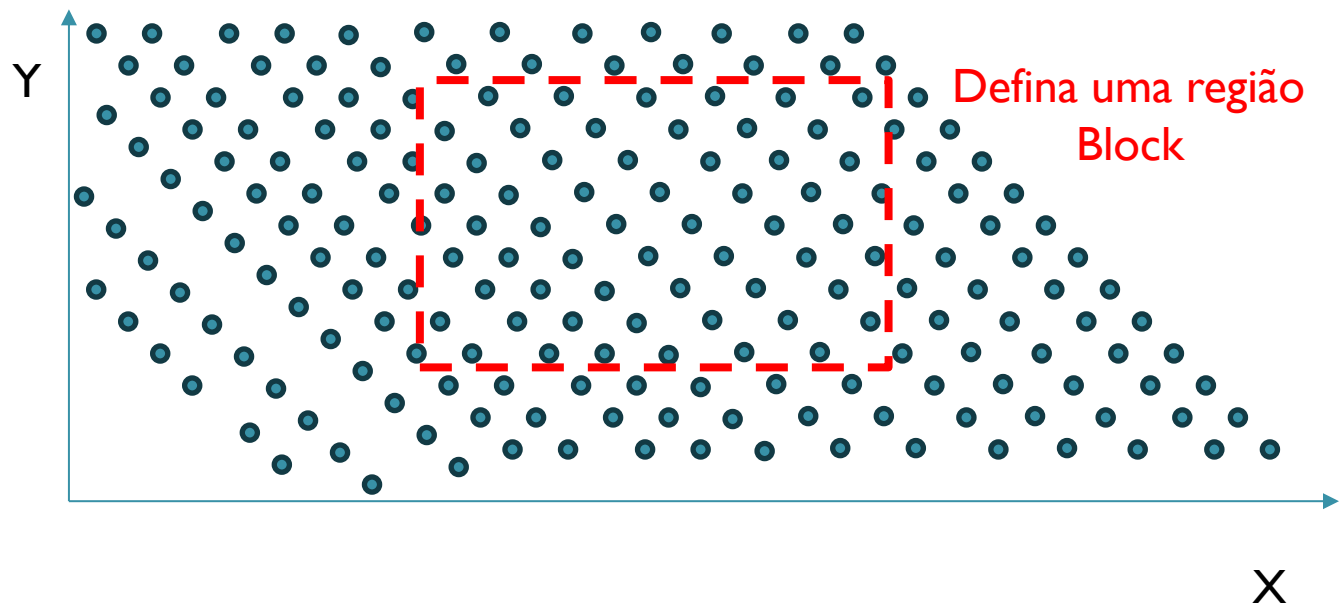
MÉTODOS

- Block minimum: mínimo do bloco
- Declividade
- Adensamento progressivo

Mínimo do bloco

Dado um conjunto de pontos com coordenadas X, Y, Z , (um bloco dentro da nuvem)... Se um ponto atingiu o terreno, esse ponto é

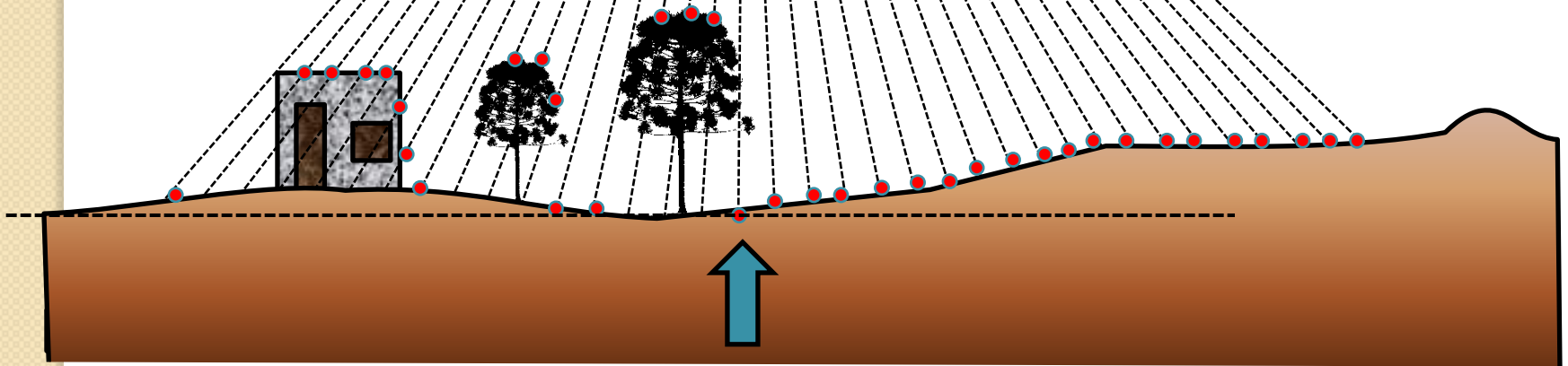
Se se conhece pelo menos um ponto no terreno, é possível identificar outros pontos do terreno nas proximidades?



Mínimo do bloco



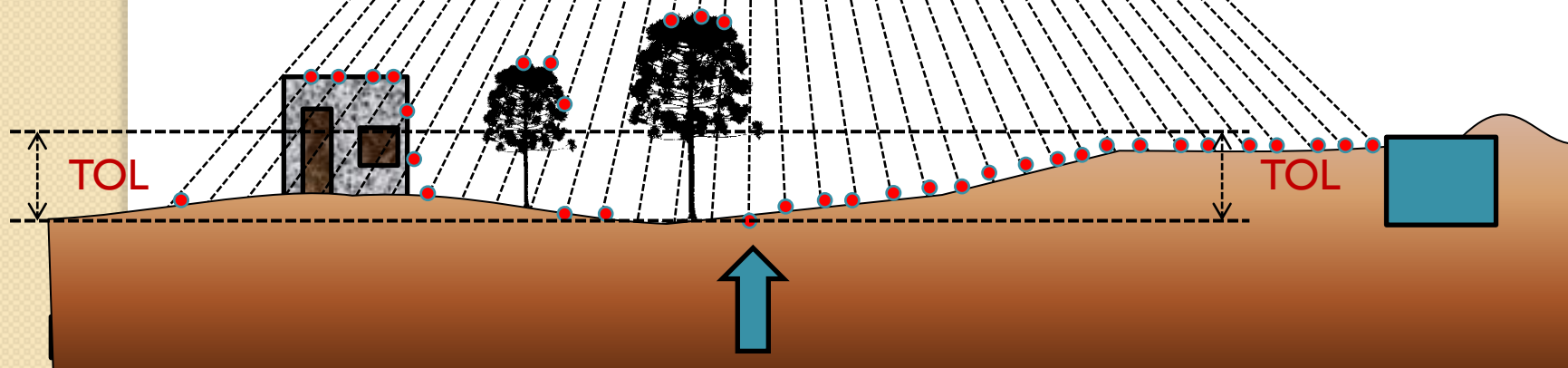
Identificar, dentro do bloco, o ponto de menor cota e assumir que ele faz parte do terreno



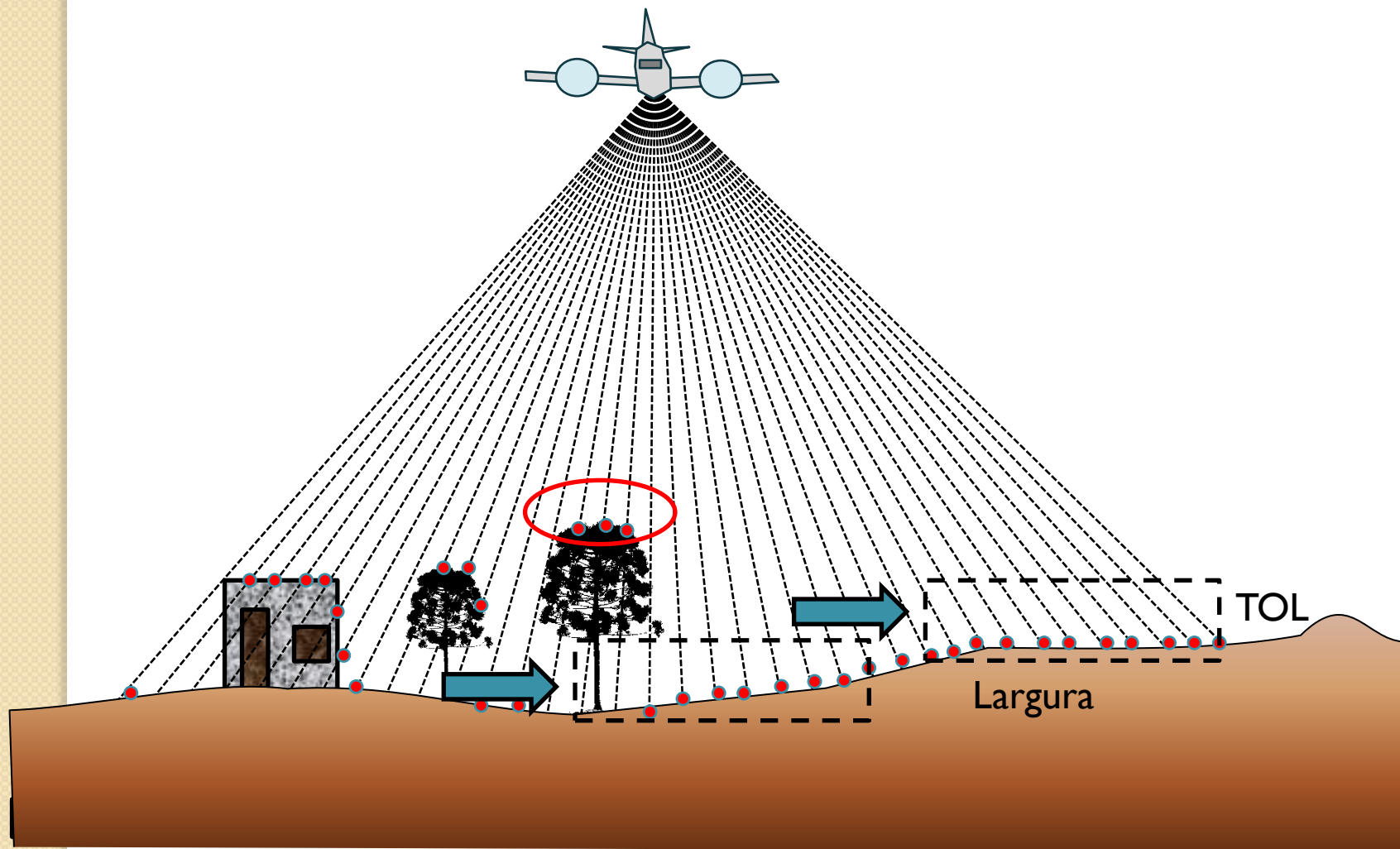
Analisar os pontos na vizinhança. Se a cota de um vizinho está próxima da cota do ponto mínimo, pode-se assumir que este vizinho também faz parte do terreno.



Para isto, é necessário fixar um limiar TOL

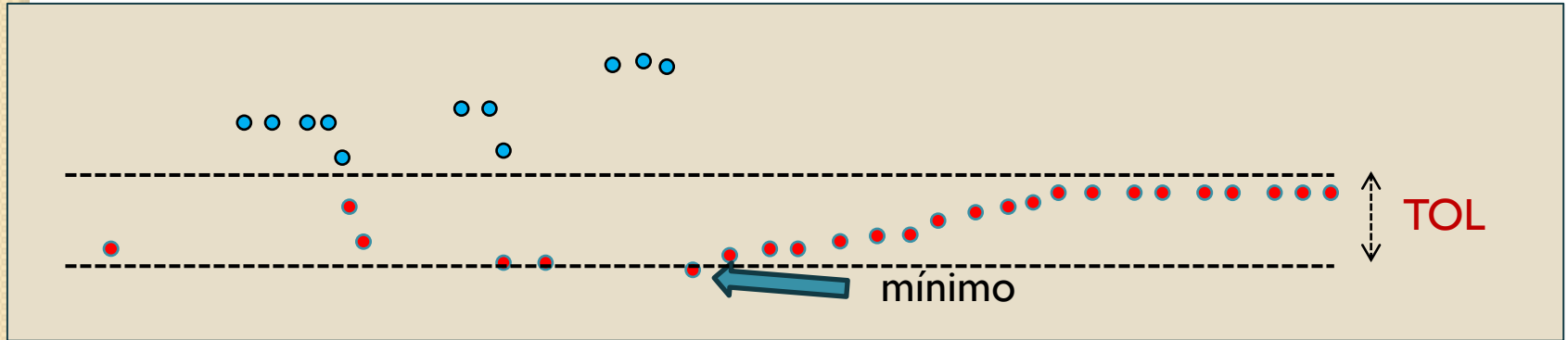


Deslocando o bloco, o processo se adapta às variações de cota

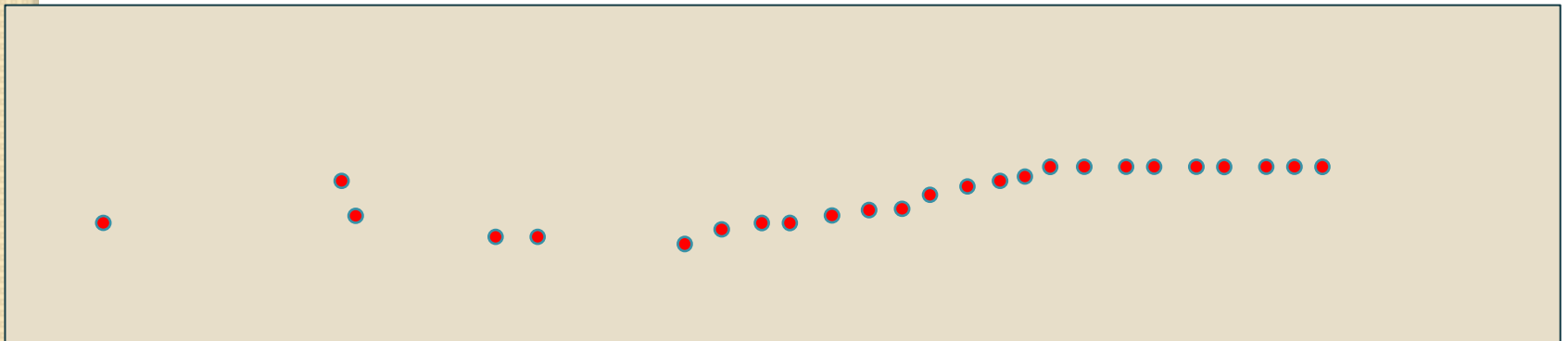


Classificação:

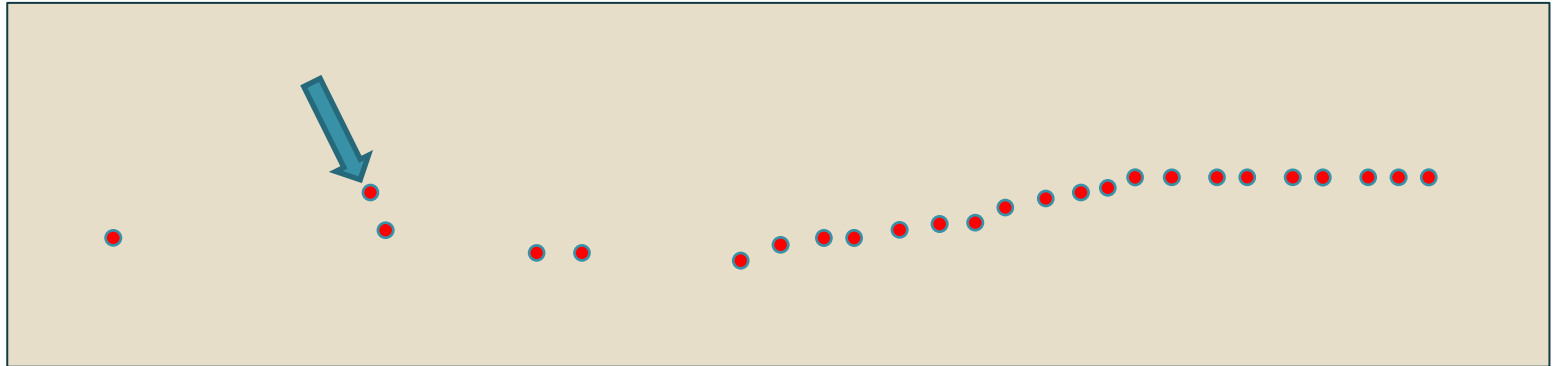
- Os pontos com distância abaixo da tolerância são considerados terreno;
- Os outros não/terreno (vegetação/prédios)



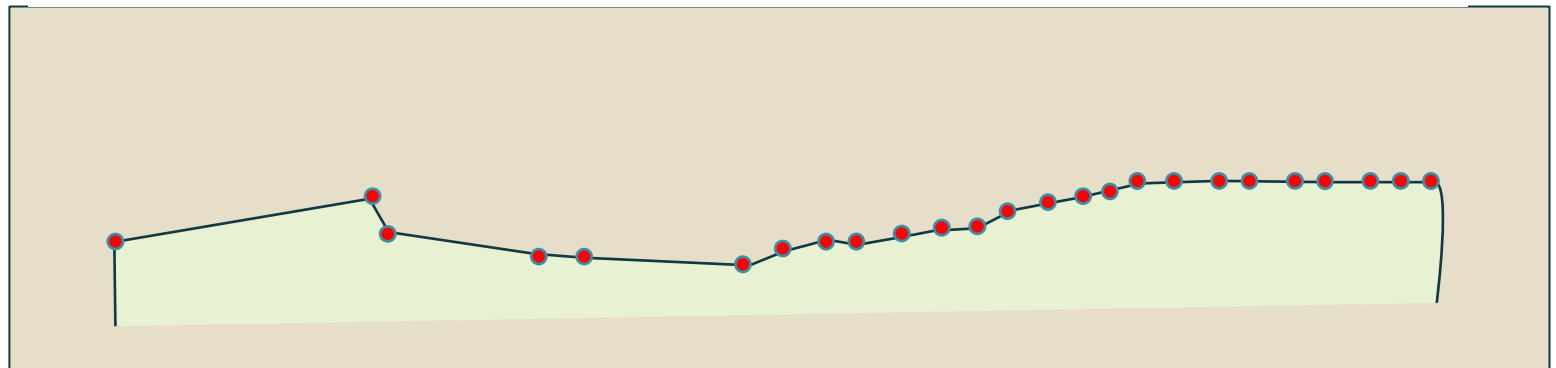
Remover os pontos não/terreno (vegetação/prédios)



Embora a hipótese seja razoável, podem ocorrer pontos que não são do terreno, incidente em objetos baixos...



Com estes pontos é possível interpolar o DTM



3 CONCEITOS

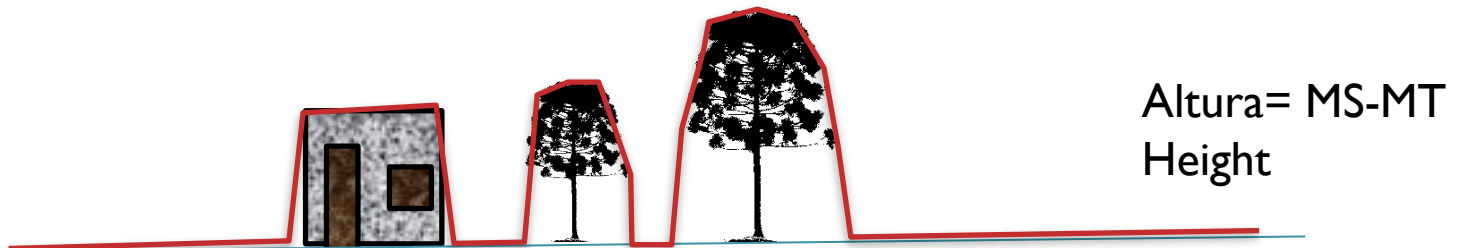
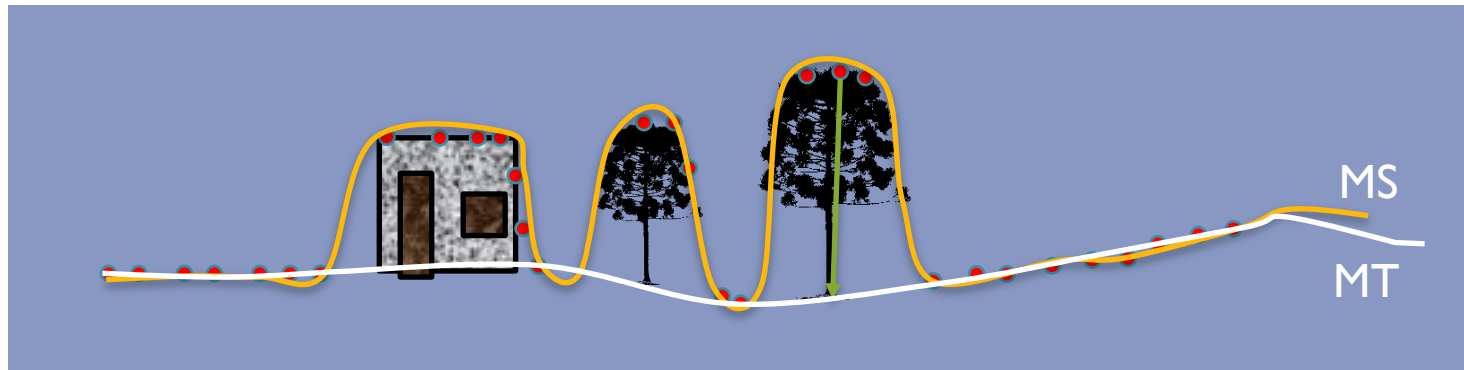
Modelos digitais que podem ser interpolados ou calculados

MS : Modelo digital de SUPERFÍCIE

MT: Modelo digital do TERRENO

Altura:

$$H: MS - MT$$



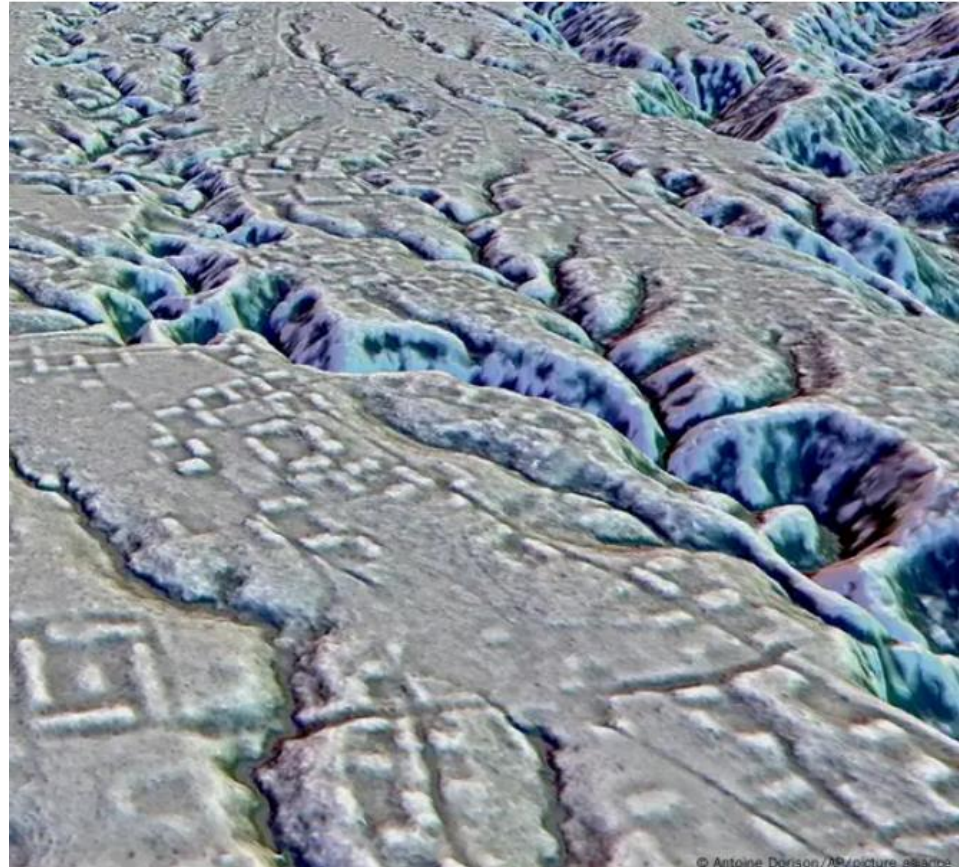
Ciudades de hace 2.500 años son descubiertas en la Amazonía

DW: CIENCIA ECUADOR

Isabella Escobedo cm informação
de AFO e Science

12/01/2024

Cientistas acham uma grande rede de ciudades de 2.500 anos de antiguidade na floresta Amazônica, revelando uma civilização agraria até hoje desconhecida



<https://www.dw.com/es/ciudades-de-hace-2500-a%C3%B1os-son-descubiertas-en-la-amazon%C3%ADa/a-67969207>

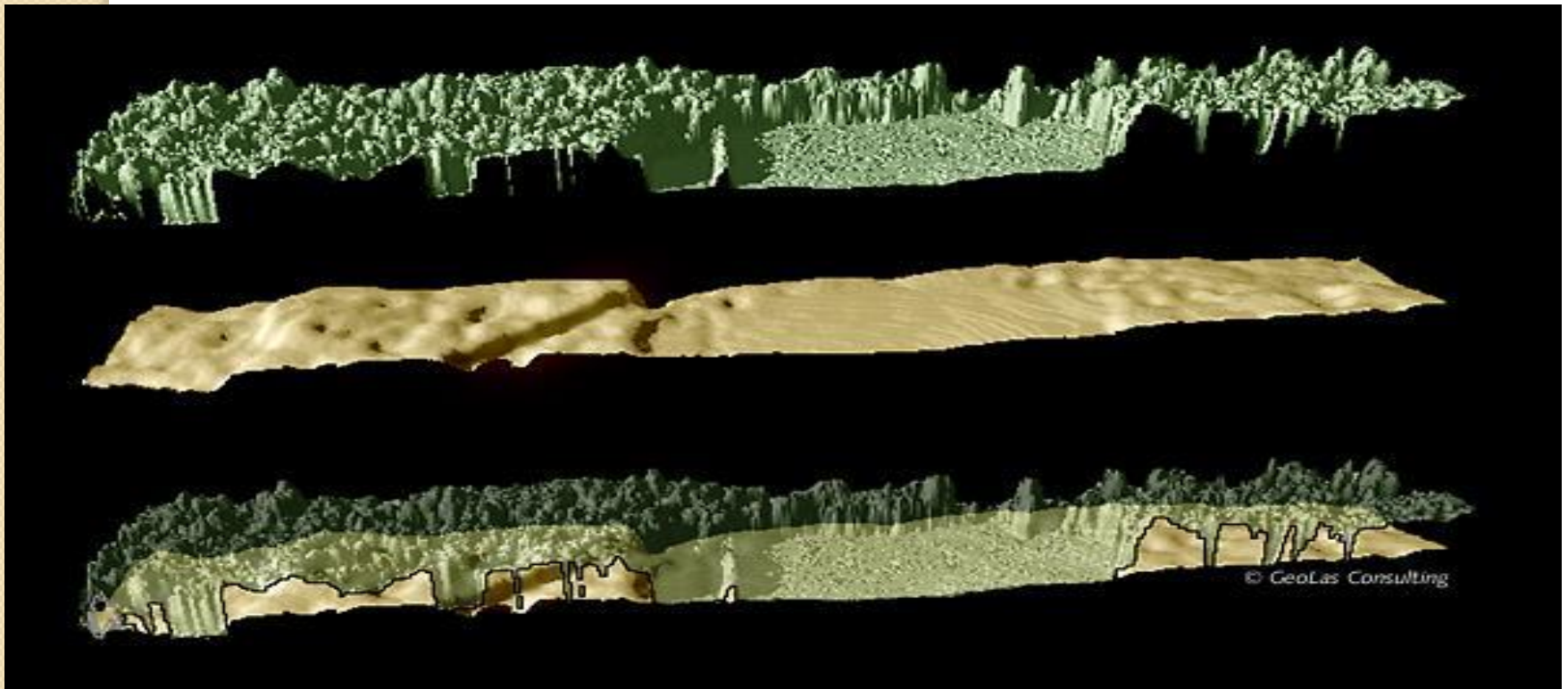
3 CONCEITOS

Modelos digitais que podem ser interpolados ou calculados

MS : Modelo digital de SUPERFÍCIE

MT: Modelo digital do TERRENO

Altura: $H: MS - MT$



[GeoLas Consulting, 2001]

Análise da declividade local

Hipótese:

SE a variação do relevo é suave,

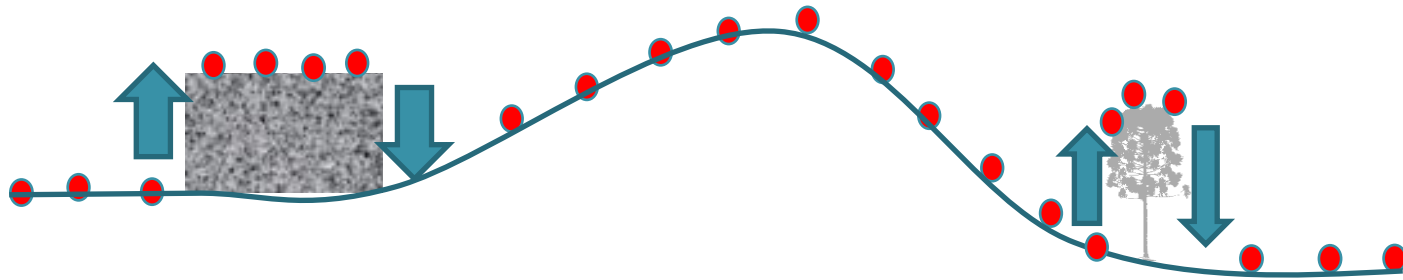
ENTÃO a ocorrência de objetos (vegetação, prédios) é caracterizada por uma grande diferença de altura.

Considerando dois pontos próximos, pode-se dizer que:

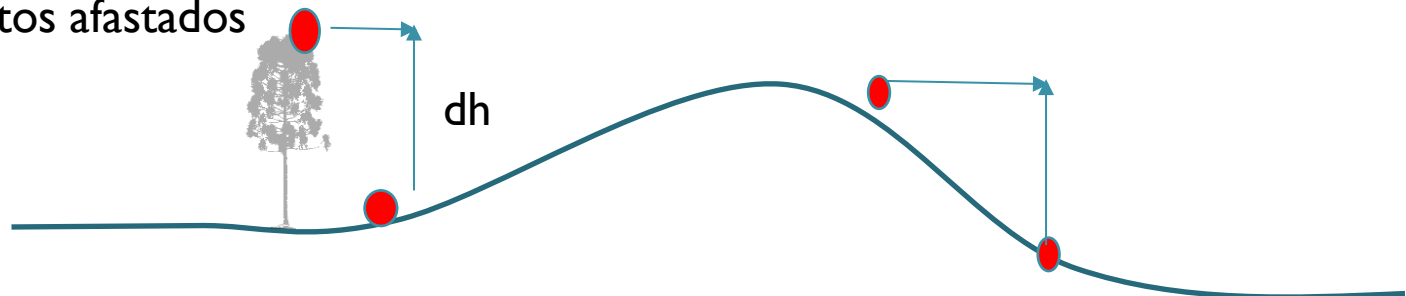
- a) Se são do terreno a declividade da linha que liga estes pontos é baixa
- b) Se um deles atingiu a copa de uma árvore, a declividade é alta.

Análise da declividade local

SE a variação do relevo é suave, ENTÃO a ocorrência de objetos (vegetação, prédios) é caracterizada pela diferença de altura...

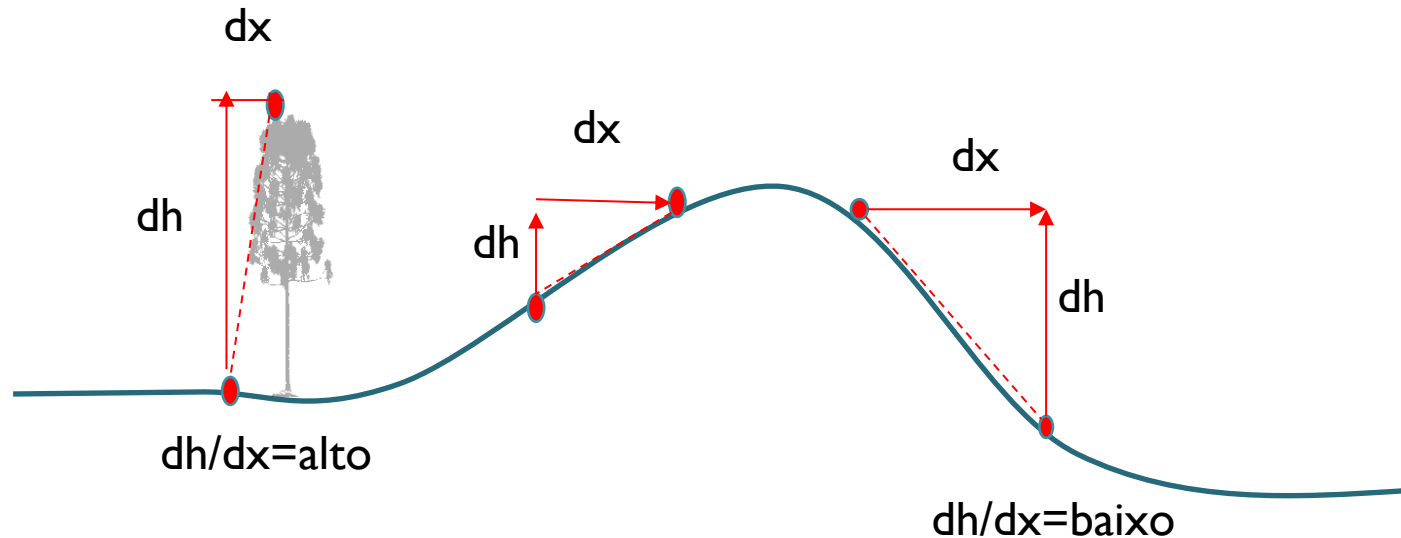


Mas... Se os pontos do terreno estiverem afastados, então podem ocorrer que o terreno tenha variações de altura significativas, porém considerando pontos afastados



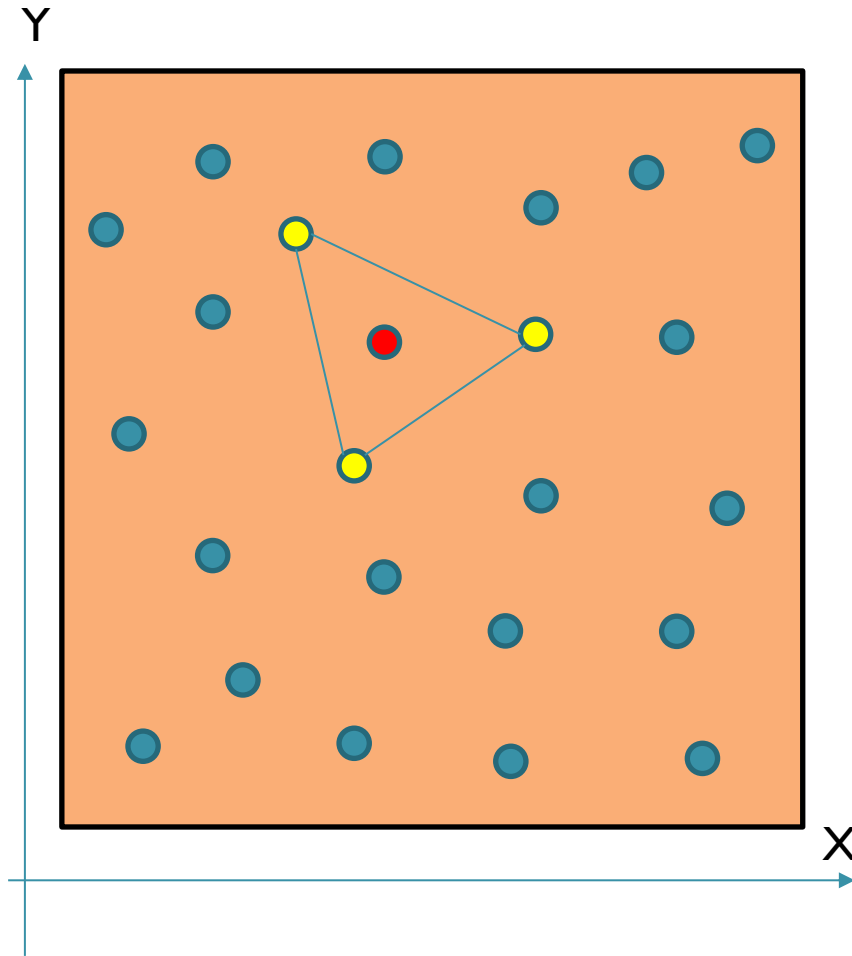
Análise da declividade local

Como os pontos estão irregularmente espaçados, em lugar de considerar a diferença de altura, considera-se a declividade.

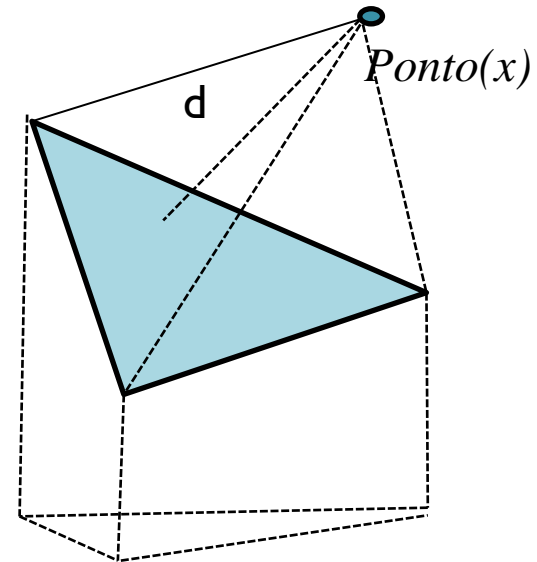


Em 3 dimensões

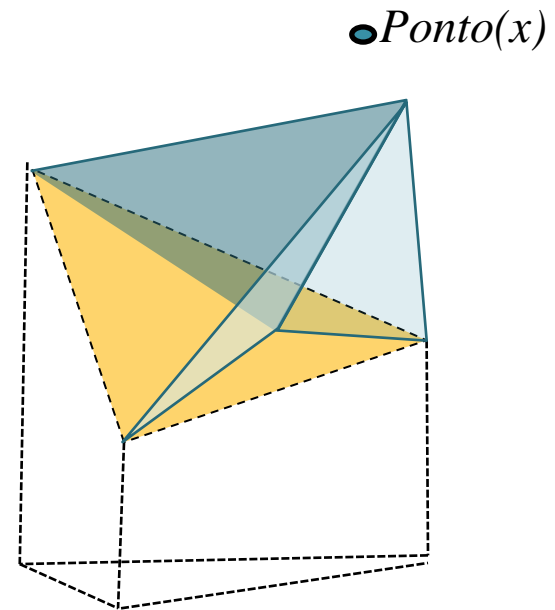
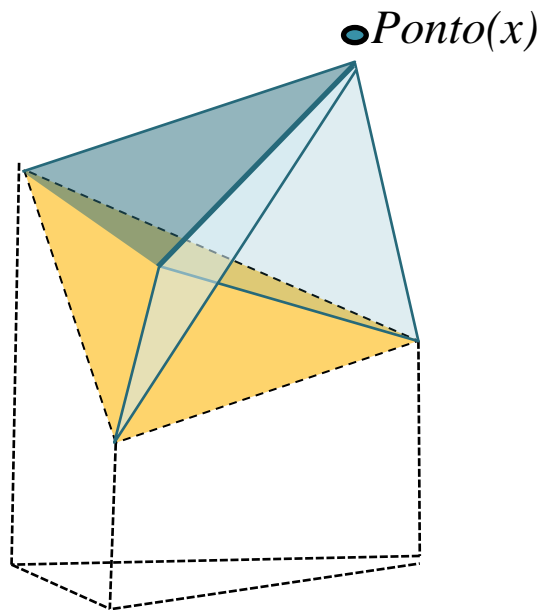
Considere um conjunto de pontos com coordenadas X, Y, Z



O ponto em vermelho está próximo do plano definido pelos seus três vizinhos?



Neste caso, se avalia a declividade em relação aos três vértices do triângulo.



Adensamento progressivo

Hipótese:

Se se dispõe de uma grade triangular (TIN) grosseira que represente o terreno, é possível melhorar esta representação inserindo progressivamente novos pontos (da nuvem de pontos) desde que eles estejam próximos deste modelo.

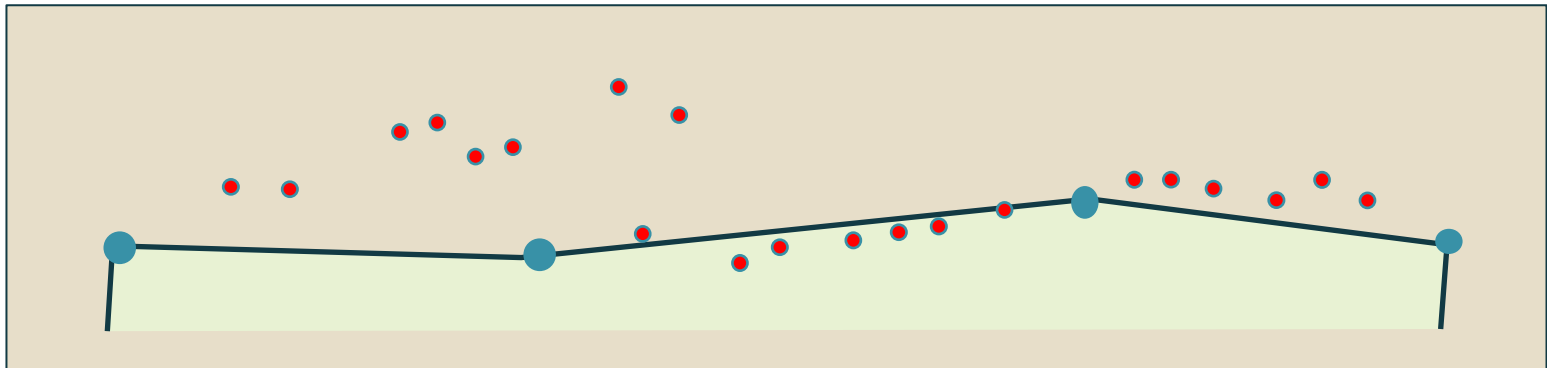
Problemas:

- a) Como definir o modelo inicial
- b) Como identificar pontos próximos

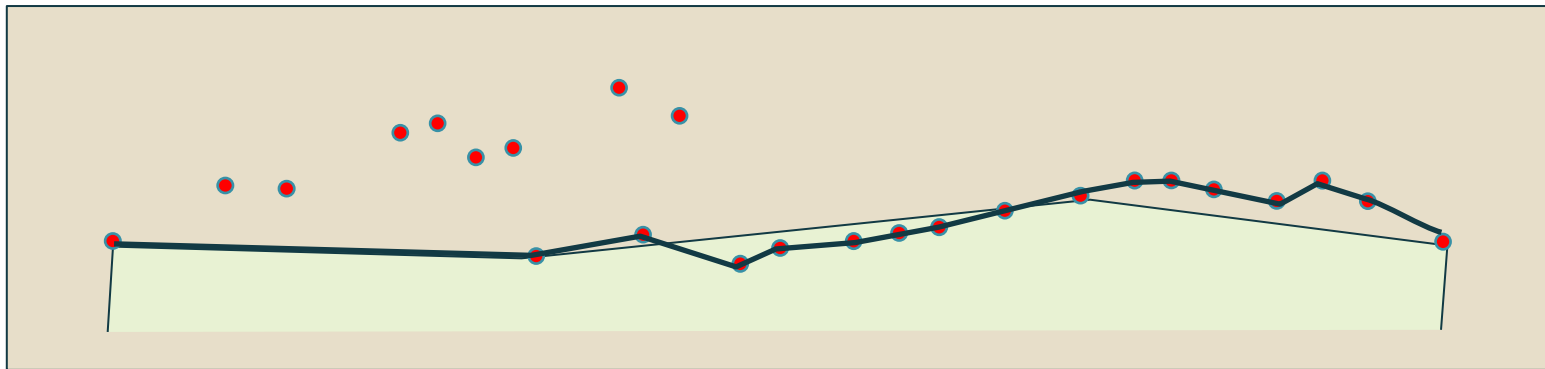
Axelsson, P.E. (2000). DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. International Archives of the Photogrammetry and Remote Sensing, 33, 110-117.

Adensamento

Modelo inicial (grosseiro)

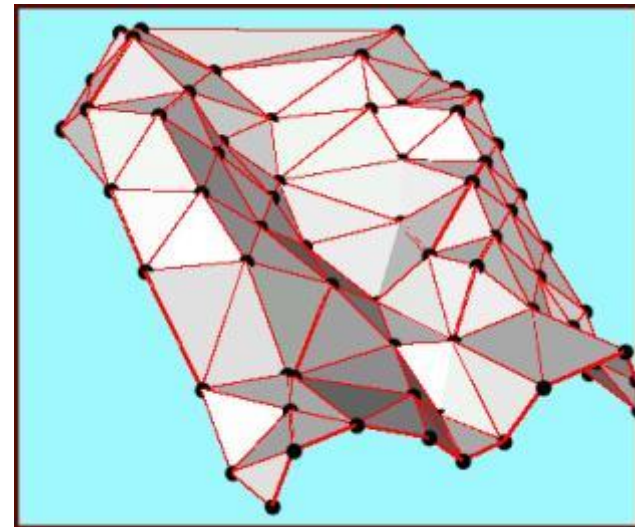


Modelo após a inserção de novos pontos



Adensamento progressivo. Passos

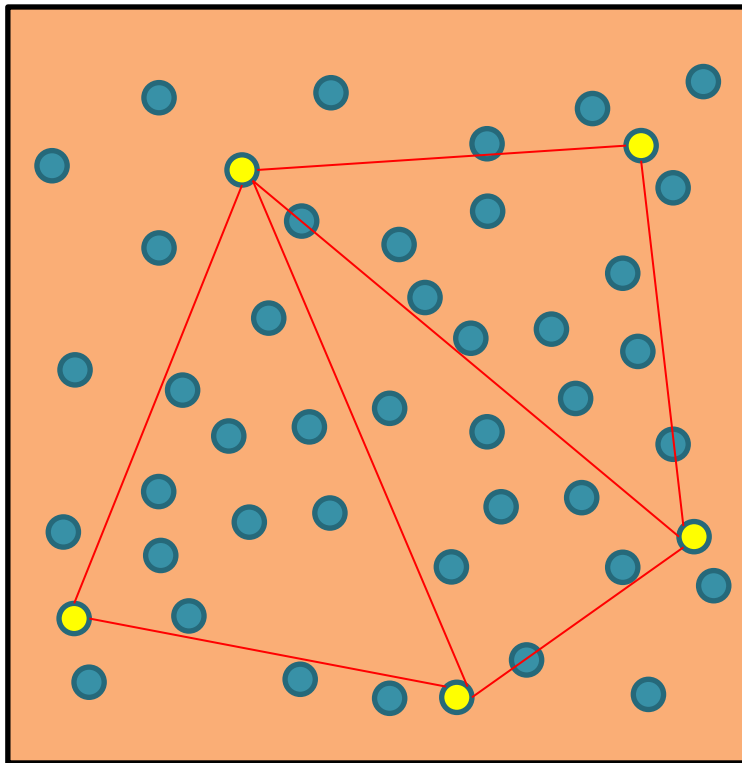
- a) Identificar pontos que são do terreno com certeza. Uma boa opção são os mínimos locais.
- b) interpolar uma aproximação de superfície sob forma de uma grade TIN.
- c) Verificar todos os pontos restantes. Avaliar se encontra pelo menos um que esteja “perto” desta triangulação. Caso positivo, este ponto é do terreno e ele é somado ao conjunto.
- d) Se não tem novos pontos, acabou, encontrou todos os pontos do terreno.
- e) Se pontos foram adicionados, o TIN foi modificado, voltar ao passo b.



TIN triangulated irregular network

Passo I

Identificamos mínimos locais. E criamos uma triangulação com estes pontos.



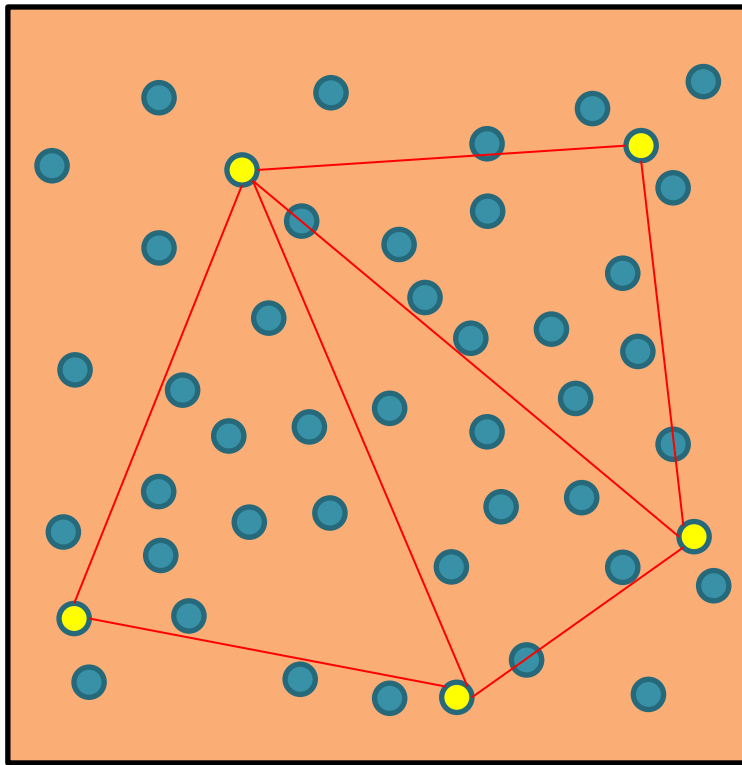
pontos iniciais (sementes) são selecionados dentro de uma grade definida pelo usuário (50-100m é recomendado).

Pode-se adotar o critério do mínimo do bloco para escolher sementes.

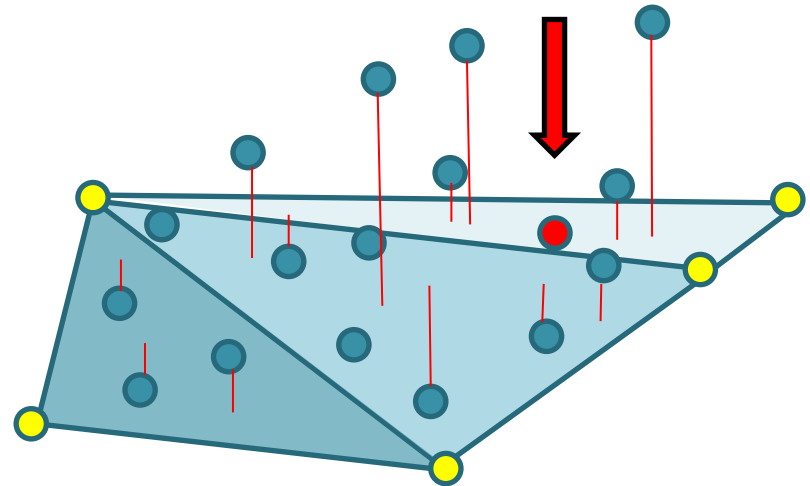
Esta é uma primeira aproximação, grosseira, do terreno.

Passo II

Agora, verificamos se existem outros pontos próximos deste modelo.

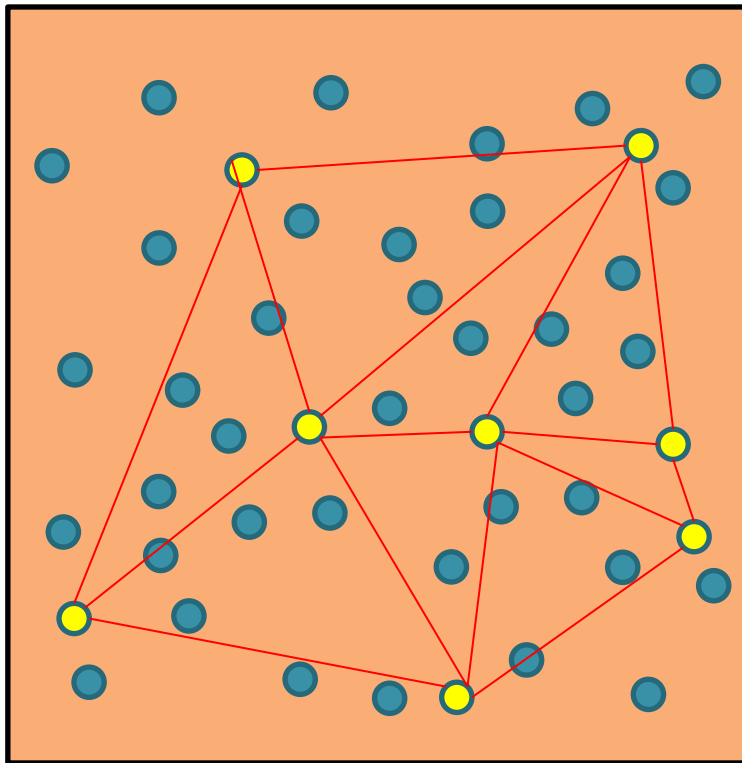


Assim, novos pontos são adicionados.

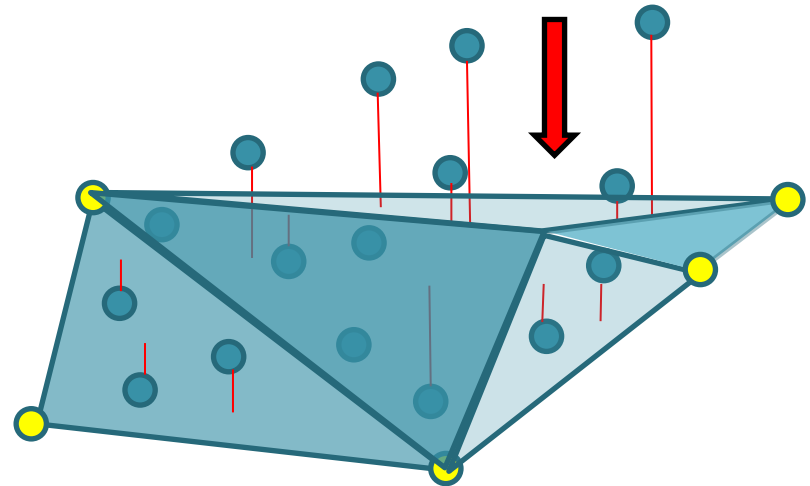


Passo III

Como tem novos pontos, a grade foi alterada. Repetir a análise.

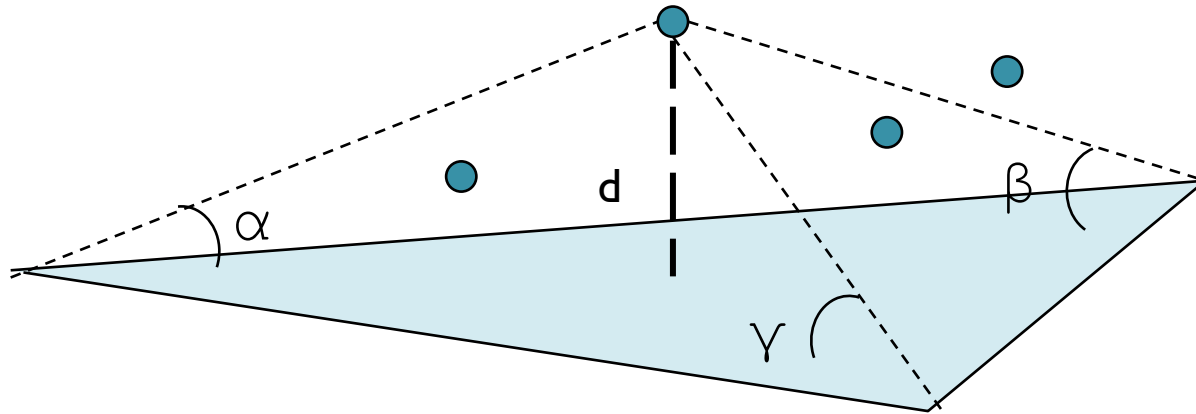


Verificamos se existem outros pontos próximos deste novo modelo.



Repetir até que não existam mais pontos próximos.

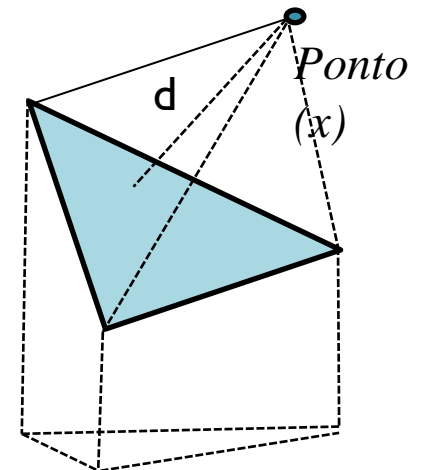
Critérios



em cada iteração, um ponto é adicionado se satisfaz o critério de proximidade.

para isto são analisadas:

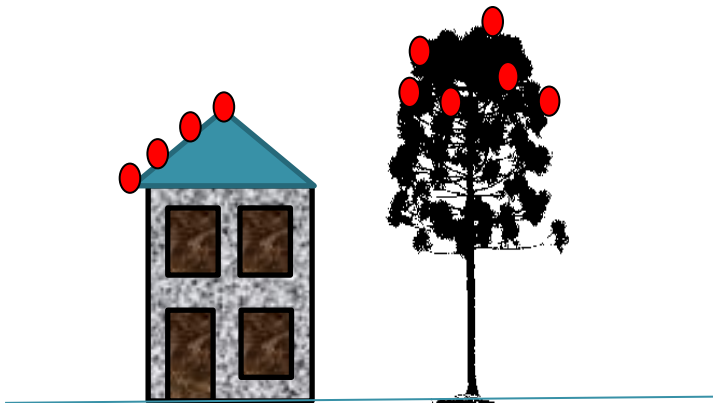
- a) a distância do ponto ao plano mais próximo do TIN.
- b) o ângulo entre o plano e a reta que une o ponto a cada vértice.



Classificação de pontos não terreno

Uma vez identificados os pontos do terreno, é possível calcular a altura dos outros objetos acima do terreno

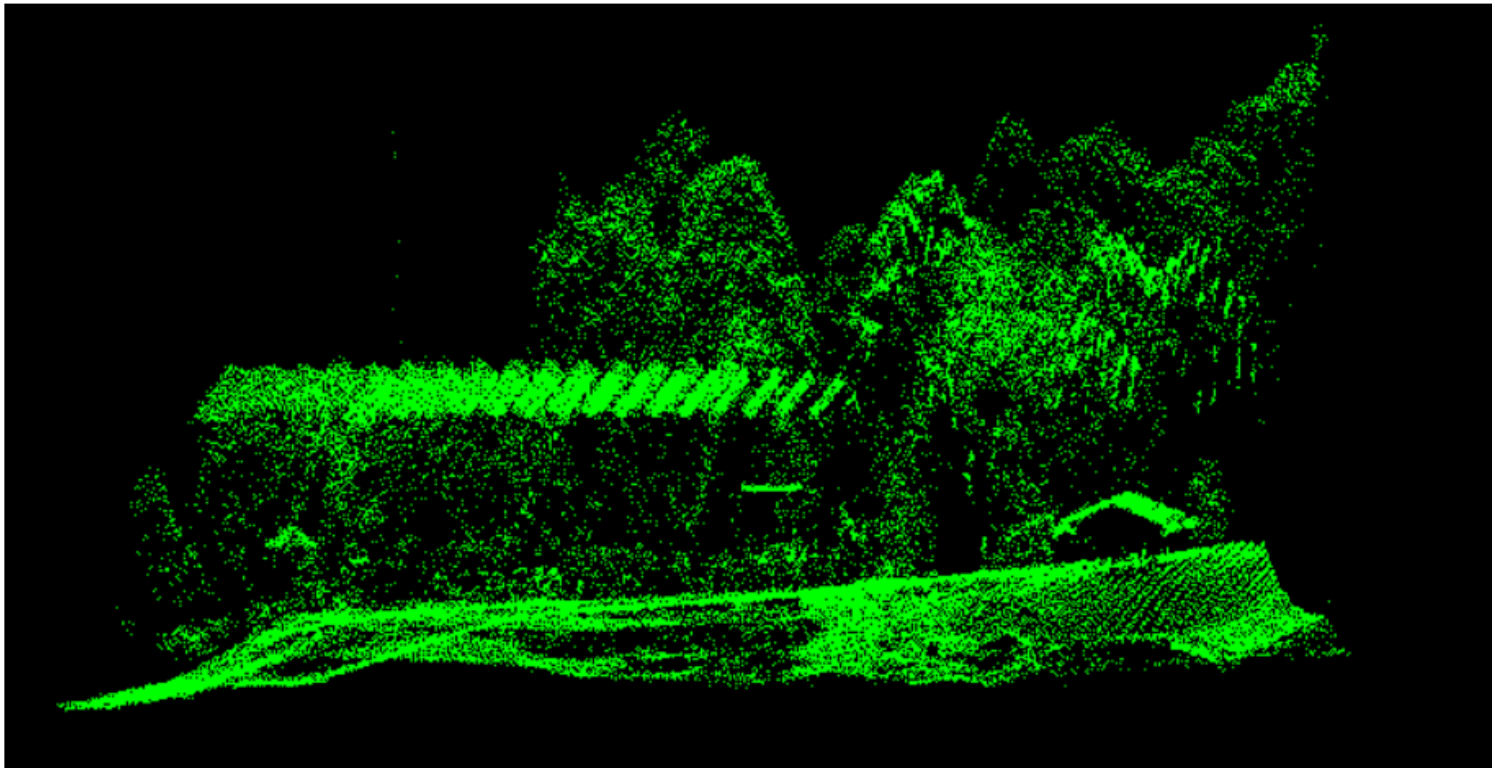
$$H = MS - MT \quad (\text{Height})$$



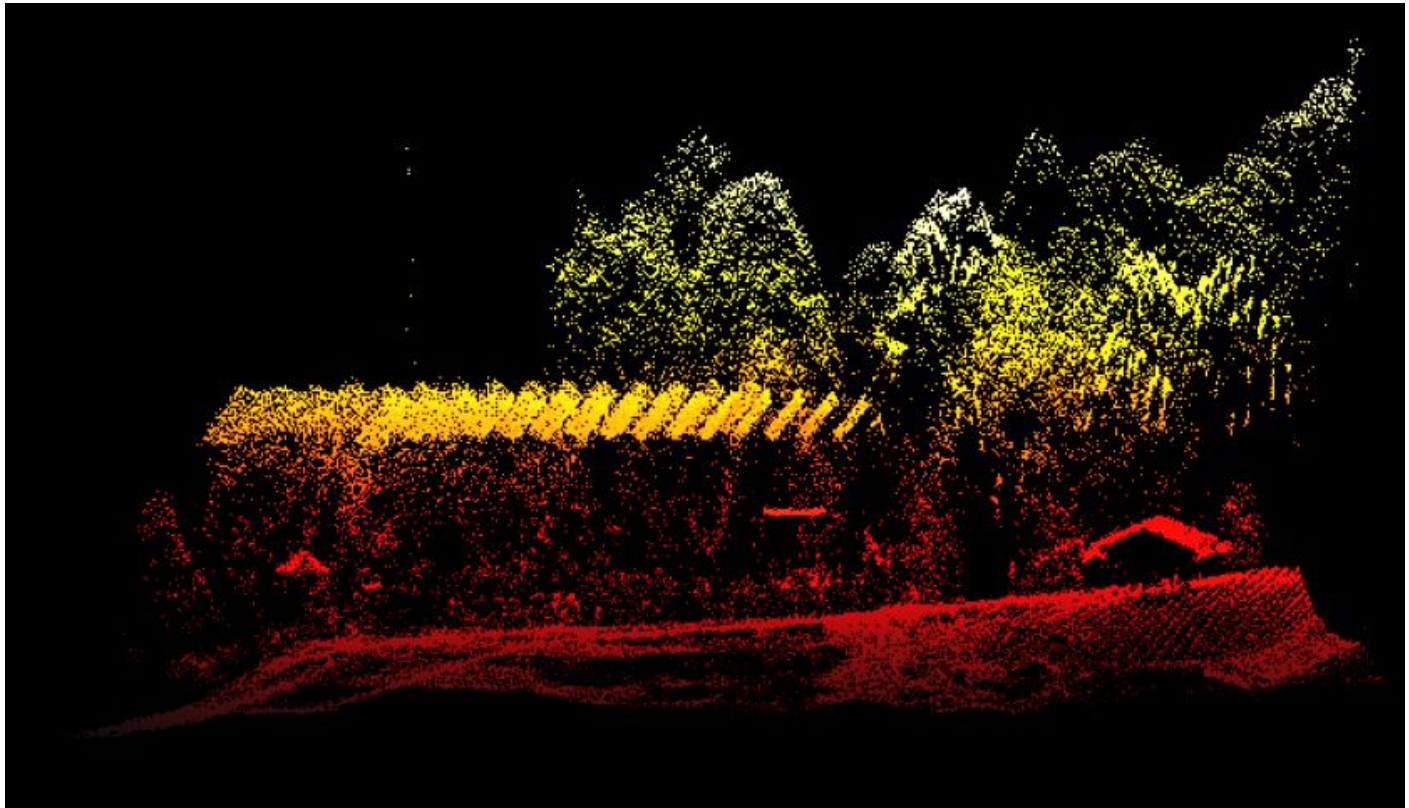
Avaliando a textura do topo dos objetos pode-se inferir se:

- É vegetação (Textura rugosa)
- É telhado (Textura lisa)

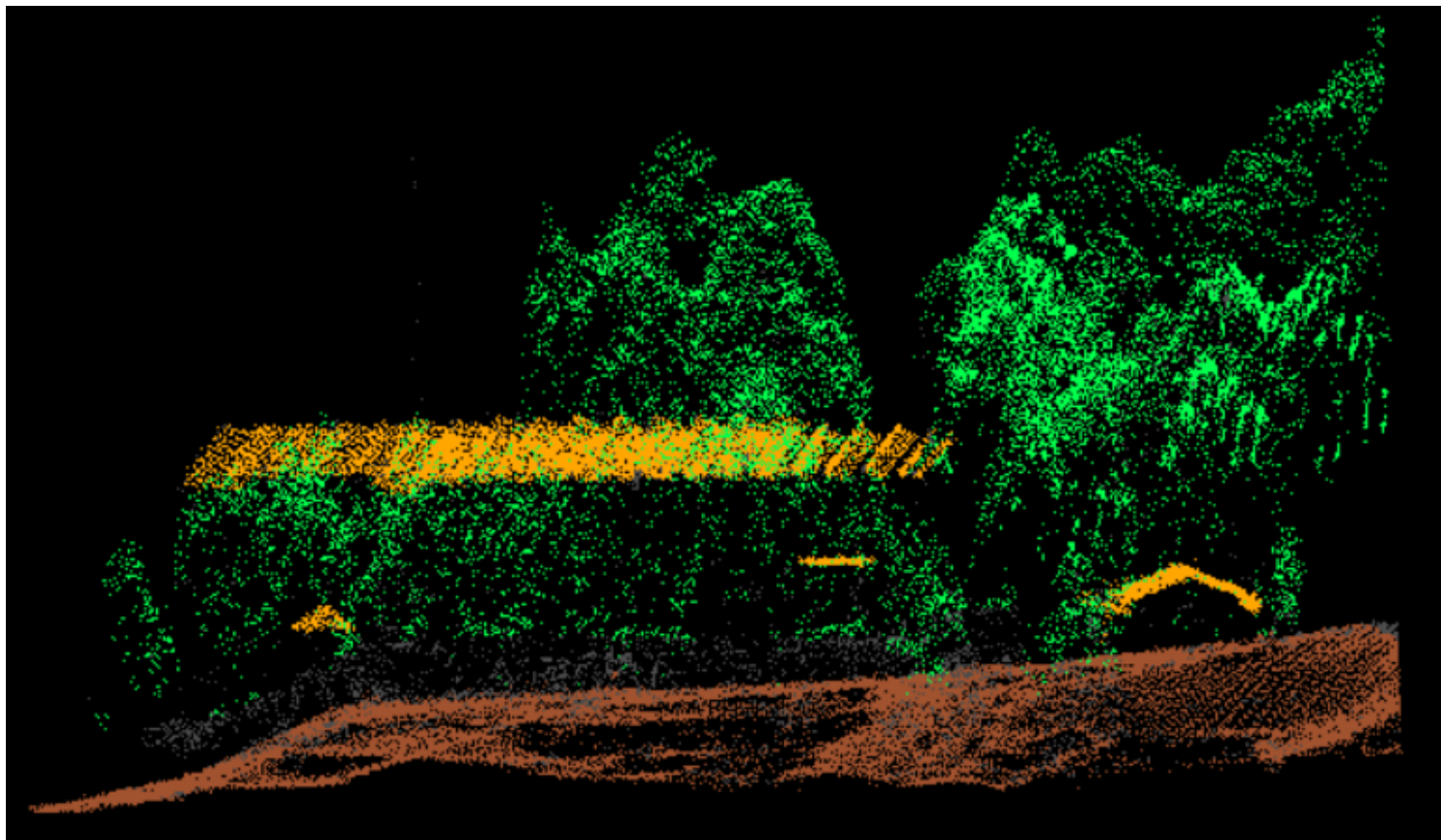
Exemplo: dados brutos



Colorido por altura



Classificação



 Vegetação

 Terreno

 Telhado

Vantagens/problemas

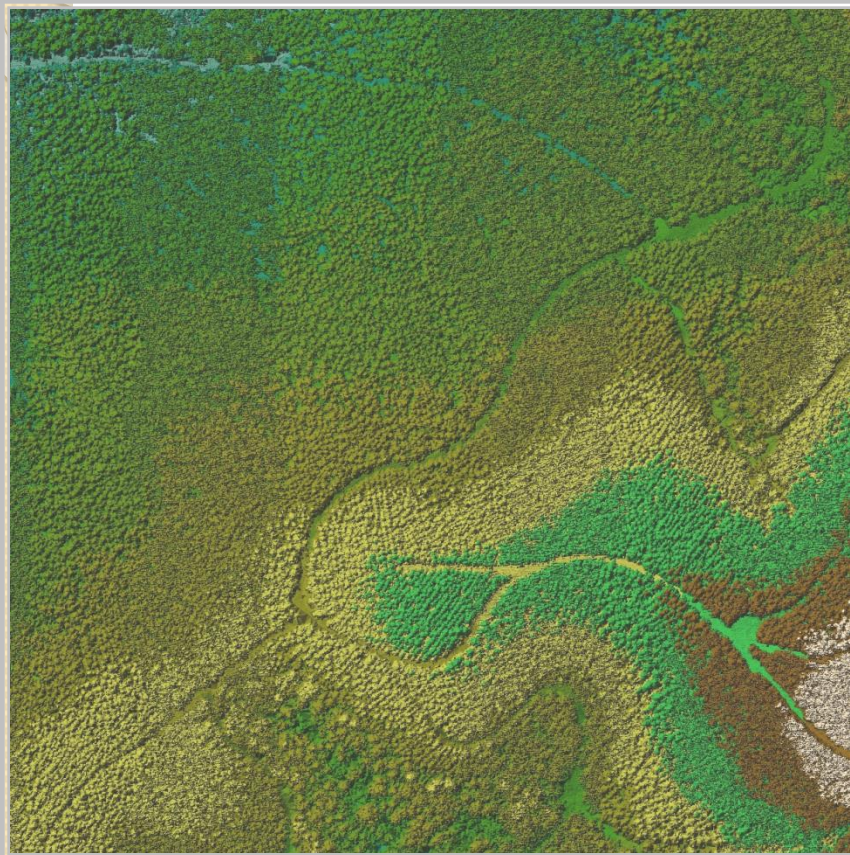
- Vantagens:

- alta velocidade na obtenção de malhas densas (≥ 4 pontos / m²)
- pode atingir alta acurácia (< 0.3 m posição, ~ 0.1 m altitude
- independe das condições de iluminação (pode operar à noite)
- demanda relativamente pouco pós-processamento
- Baixo tempo de obtenção do produto final
- Compatível com SIG e CAD

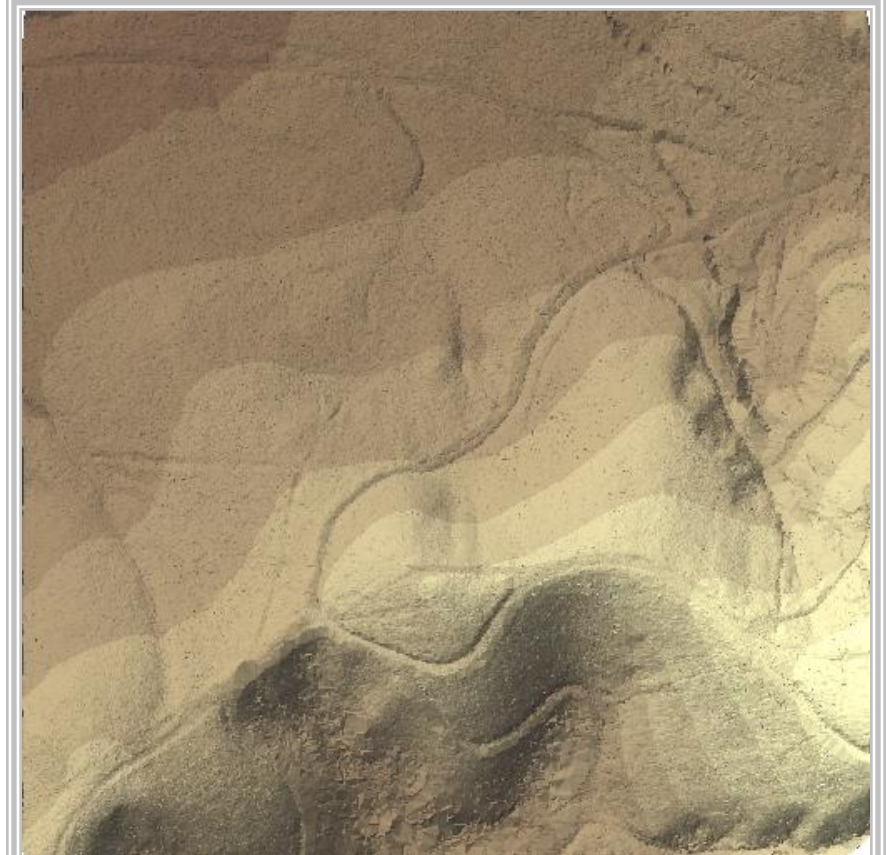
- Problemas:

- Áreas cobertas por água dificultam a obtenção de dados
- Materiais com reflexão especular (ex. telhados de cobre)
- Materiais que absorvem todo o sinal (como asfalto)
- Materiais transparentes (como vidro)
- Erros nos sistemas de apoio (GS/SNI) prejudicam todo o levantamento

Remoção Virtual da Vegetação



MDE



MDT

Modelagem 3D: telhados

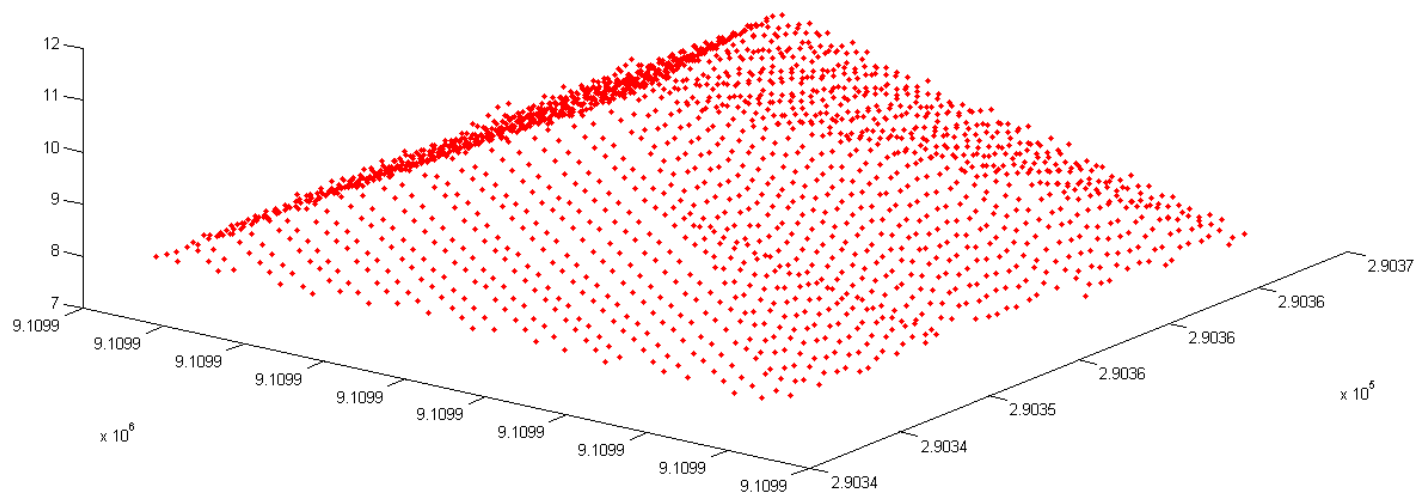
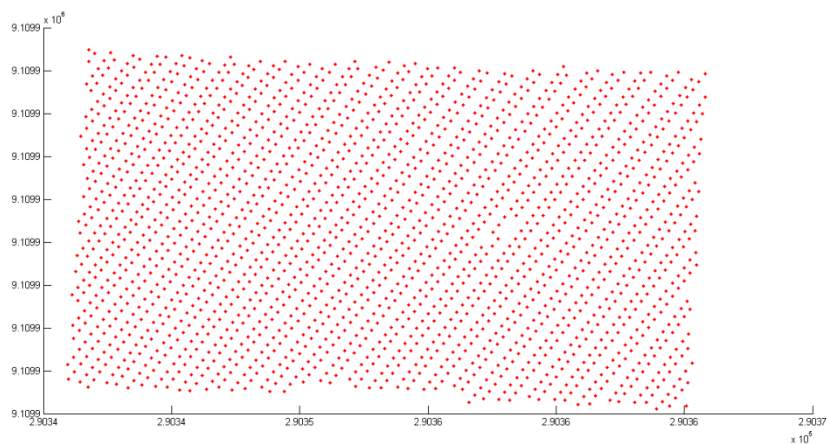
Exemplo: energia solar?

Potencial

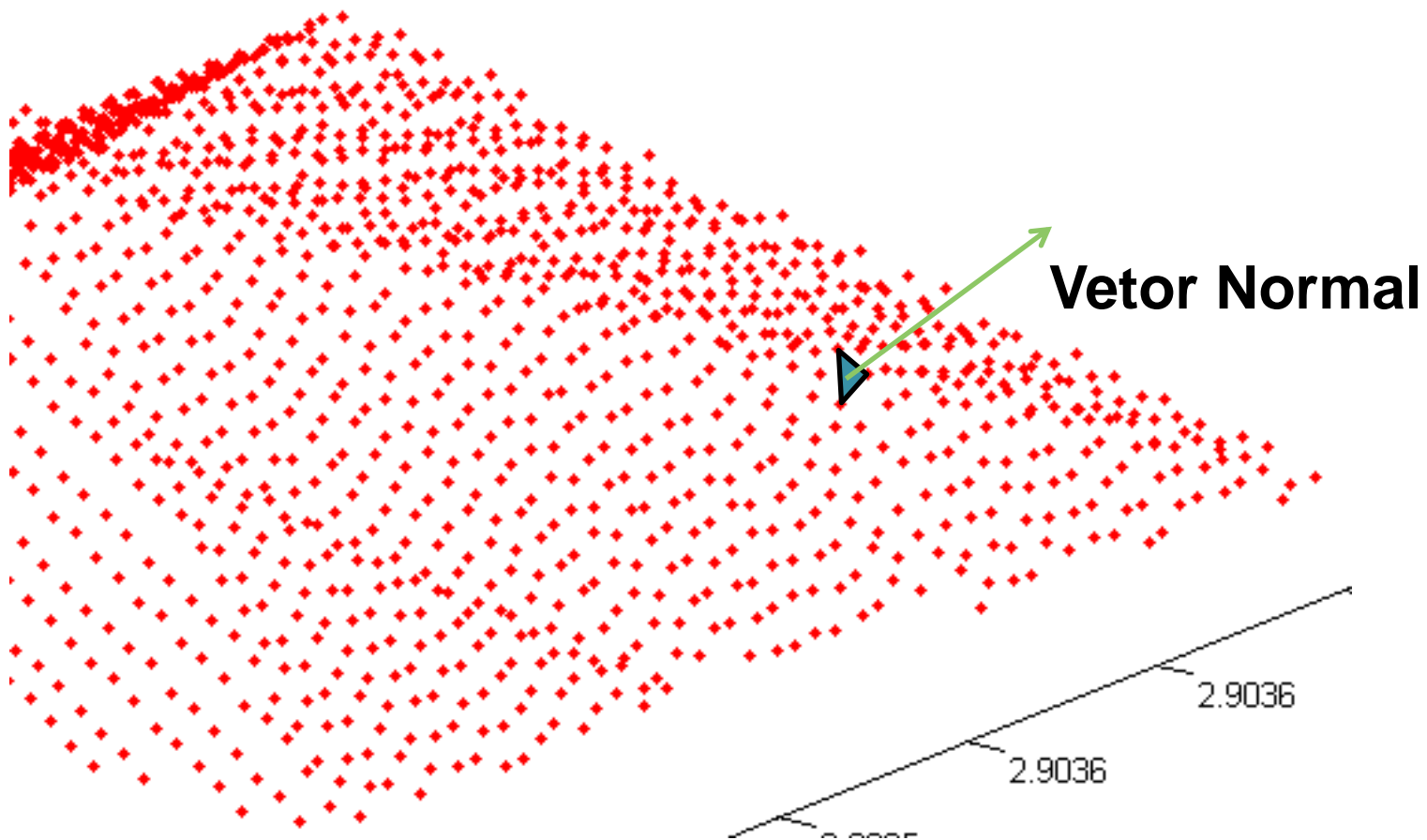
Fotovoltaico de
telhados

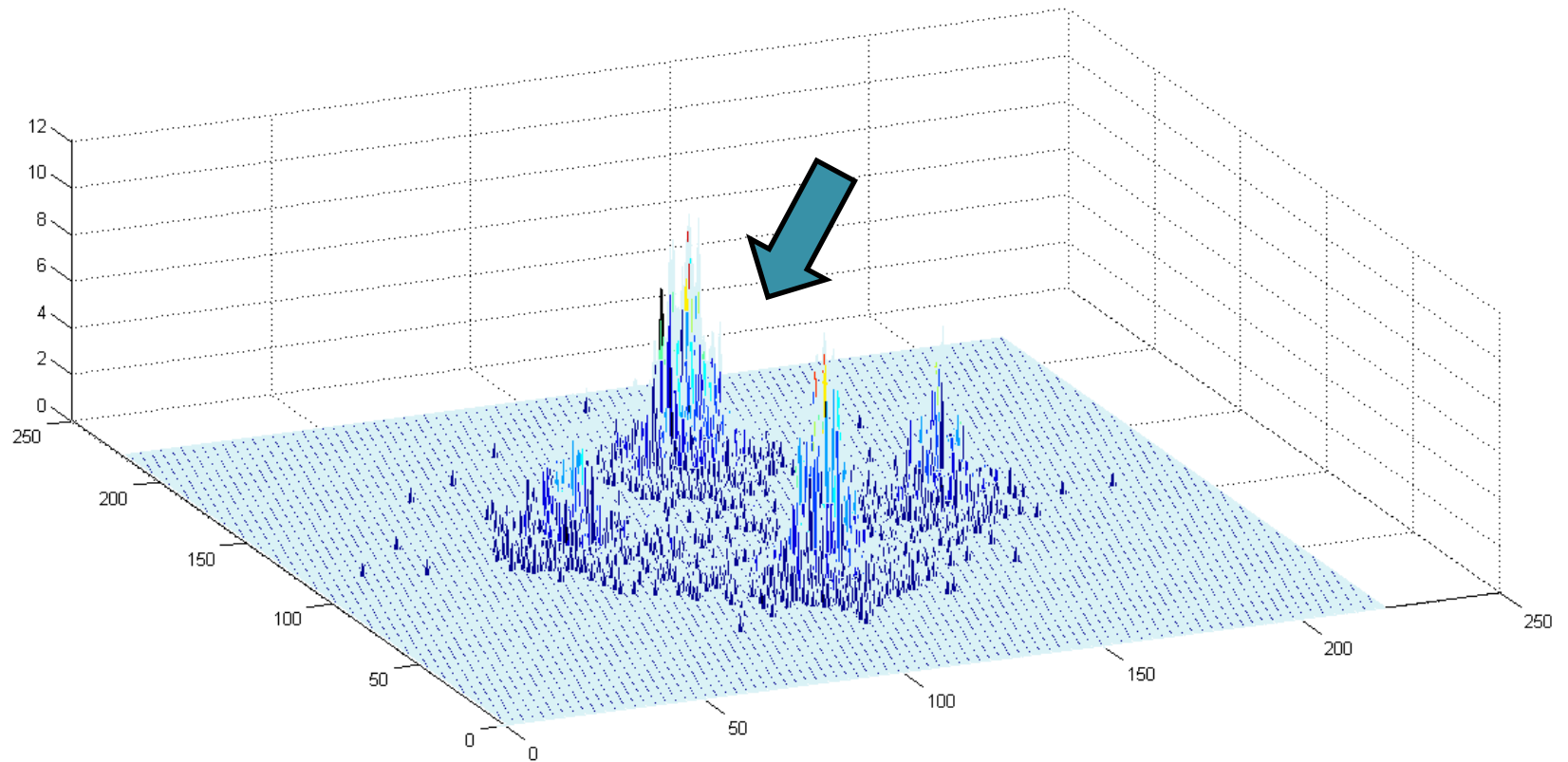


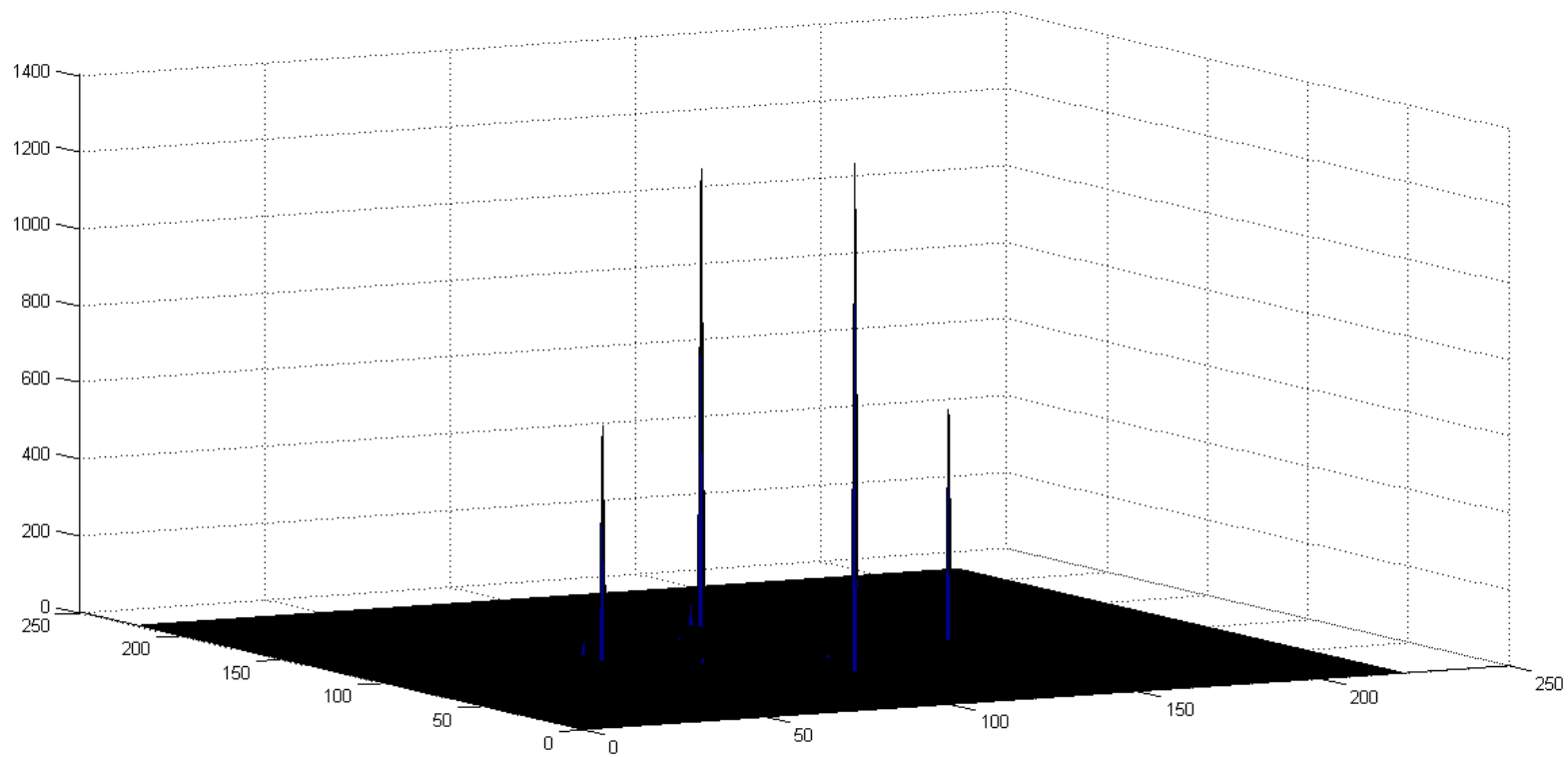
www.blom-uk.co.uk



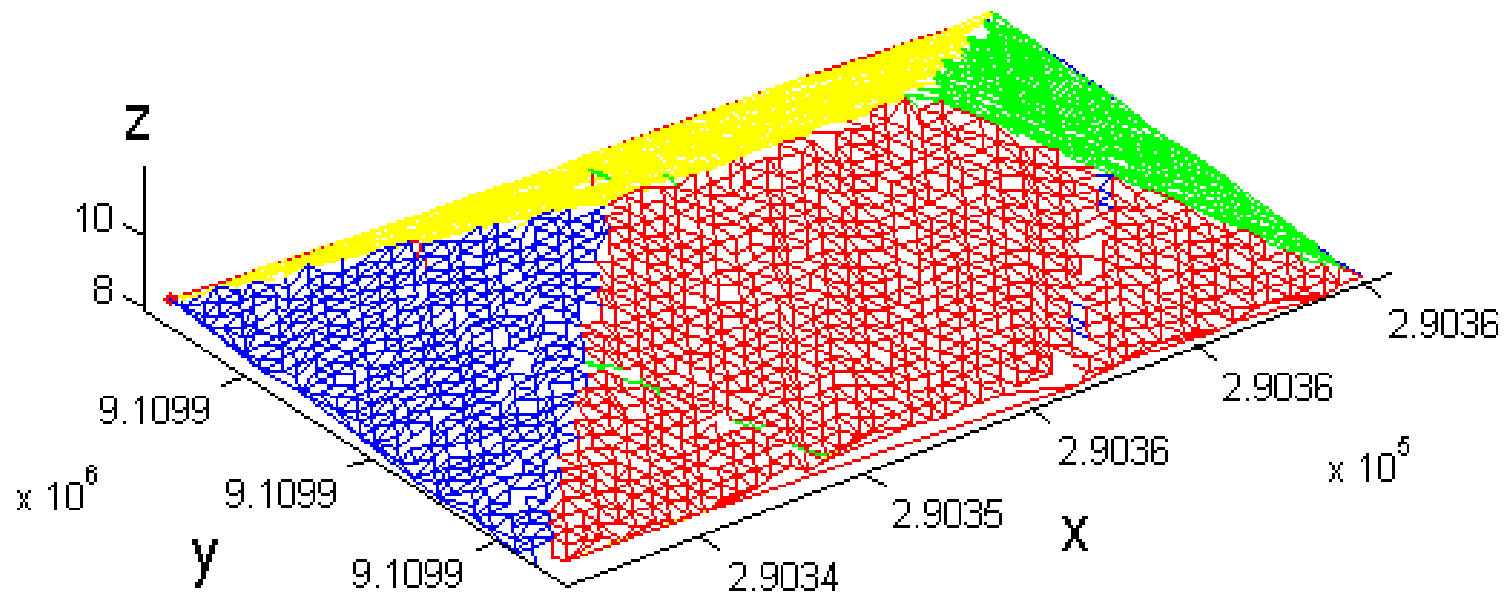
**Uso de nuvem de pontos lidar como subsídio à
estimativa de potencial fotovoltaico
Mitishita , Centeno (2014)**







Agrupar os vetores normais para detectar planos com orientações diferentes



Exercício