

Filtragem e classificação de pontos LIDAR para a geração de Modelo Digital do Terreno

Márcio Geovani Tavares de Assunção^{1,2}
Mosar Faria Botelho²
Jorge Antônio Silva Centeno²
Admilson da Penha Pacheco³

¹ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/PPGCGTG
Rua Acadêmico Hélio Ramos s/nº - 50740-530 - Recife-PE
m.geovani@uol.com.br

² Universidade Federal do Paraná – UFPR/PPGCG
Caixa Postal 19.001 – 81.531-990 Curitiba, Paraná, Brasil
Mfbotelho@yahoo.com.br, centeno@ufpr.br

³ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/DECart
Rua Acadêmico Hélio Ramos s/nº - 50740-530 - Recife-PE
admpp@ufpe.br

Abstract: The use of airborne laser scanning for the derivation of terrain information in urban areas, for the production of building models in cities, and wooded areas, for the estimation of the terrain, is spreading. One necessary step for such applications is the generation of a digital terrain model (DTM) is also required. In this paper a method to filter and classify data according to the height is described. The methodology is tested using a laser scanner dataset collected in Curitiba, Brazil. The method is based on the detection of elevated points, comparing the altitude of the point to its neighborhood. The method is known as “minimal block method” and it works using a horizontal plane around the point, computed from the neighbors, to verify if the point belongs to the terrain or it is an object, such as a tree or a building. The result is compared to the result obtained using a well known filtering algorithm.

Palavras-chave: LIDAR, digital surface model – DSM, digital terrain model – DTM, LIDAR, modelo digital de superfície - MDS, modelo digital de terreno - MDT.

1 Introdução

Com o advento do sistema de varredura a *laser*, a geração automática de modelos digitais relativos à superfície da terra assistiu, nos últimos anos, a uma significativa evolução. O sistema *Laserscanning*, que neste trabalho será pontuado como LIDAR (*Light Detection and Ranging*), por ser assim comumente denominado na literatura especializada, baseia-se essencialmente na determinação da altura de pontos na superfície usando pulsos *laser* que são disparados na direção da mesma. O pulso, ao atingir a superfície, é refletido e uma parte dele retorna ao sistema. A partir do tempo decorrido entre a emissão e o retorno do pulso refletido é possível a distância entre o sensor e o objeto.

Como apenas a medição de distância não é suficiente para calcular a posição de cada ponto na superfície, o LIDAR é composto da unidade de medição *laser* e dois sistemas auxiliares: um Sistema de Medição Inercial (SMI) e um sistema GPS. O SMI é encarregado de calcular a inclinação do sensor nas três direções. Na fase de pós-processamento, as medidas de distância com seus respectivos ângulos, os dados de GPS e dados de navegação inercial são combinados para determinar a posição dos pontos varridos na superfície terrestre. Para garantir a boa qualidade do resultado, esses dados devem estar sincronizados (WEHR & LOHR, 1999).

O feixe associado a um pulso *laser* disparado desde um avião sofre uma pequena divergência e, por esse motivo, a área associada ao feixe depende da altura do voo. Assim, o feixe pode não atingir um único objeto podendo ser refletido por diferentes pontos localizados a diferentes distâncias do sensor. Desse modo, o ponto mais próximo ocasionará um pulso que retorna mais rapidamente e o ponto mais distante, um retorno mais demorado. Essa característica ganha relevância quando se leva em consideração a diferença de penetração que pode existir em um único pulso (BEHAN, 2000), pois permite a distinção de elevações.

2 Conceitos fundamentais

Com o sistema LIDAR, junto com a cota do terreno, a cota de outros objetos acima dele, como edificações e a vegetação, é registrada, prejudicando a medição de pontos no terreno. Isso motivou a necessidade de se estabelecer a diferença conceitual entre um Modelo Digital do Terreno e um Modelo Digital de Superfície. Segundo HAALA (1999), um Modelo Digital do Terreno (MDT) armazena apenas as altitudes dos pontos na superfície do terreno, ao passo que Modelo Digital de Superfície (MDS) é aquele que inclui outros objetos tais como árvores e edificações. Diferenciação também adotada por BURROUGH (1989).

2.1 Modelo Digital de Terreno (MDT)

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) também conhecido como *Digital Terrain Model – DTM* representa a variação do relevo em uma região da superfície terrestre. A representação mais comum de um MDT está associada à altimetria, embora possa representar outras grandezas que variam continuamente no espaço como, por exemplo, unidades geológicas ou teor de minerais (BURROUGH, 1986, p. 17). O MDT é fundamental para projetos relacionados a cartografia tridimensional, para cálculo de volumes num projeto de estradas, apoio aos projetos de drenagens, base para projetos realizados em Sistemas de informações Geográficas (SIG's) como, por exemplo, estimativas de distância na alocação de pontos de ônibus onde a inclinação do terreno tem grande importância, na geração de mapas de declividade e afins. Os MDT's podem ainda ser representados por grades regulares e/ou irregulares, similares às matrizes utilizadas para a representação de imagens digitais.

2.2 Métodos de Filtragem de dados LIDAR

A obtenção de MDT's a partir da filtragem de Modelos Digitais de Superfícies (MDS's) tem, nos últimos anos, impulsionando os principais centros de pesquisa nessa área do conhecimento a desenvolver métodos cada vez mais aprimorados e eficazes em se tratando da geração automática de Modelos Digitais de Terreno. Segundo Sithole e Vosselman (2003), atualmente os conceitos que envolvem essa questão permitem dividi-los nos seguintes principais métodos:

- Método da Declividade: Essencialmente a idéia desse filtro é a de que, para uma das diferenças de altura entre dois pontos, a probabilidade de o ponto mais alto não pertencer ao terreno aumenta com a diminuição da distância linear entre eles (Vosselman, 2000).
- Método da Superfície: Vosselman (2000) definiu, ainda, que um ponto p_1 pertence ao terreno (T) se, para qualquer ponto p_1 , pertencente ao terreno, a diferença de altura entre esses pontos é menor que a diferença máxima permitida, calculada em função da distância entre esses pontos.
- Método da segmentação – Neste caso, o conjunto de dados é inicialmente segmentado e depois classificados, considerando que os pontos de um segmento (cluster) não pertencem ao terreno se a altura do segmento estiver acima do segmentos na vizinhança. Thuy e Tokunaga (2002) utilizaram a transformada Wavelet para realizar a segmentação de dados lidar, a fim de verificar que a imagem segmentada foi utilizada para detecção de edificações e outros objetos não pertencer ao terreno.

3 Material e métodos

3.1 Área de estudo

Como áreas de estudo foram escolhidas duas regiões distintas do Campus III da UFPR – (Centro Politécnico), onde se utilizou, para levantamentos feitos pelo Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC – UFPR), o sistema OPTECH / INS GPS APPLANIX. O levantamento foi realizado com um vôo a uma altura de 1000 metros. A densidade de pontos é de 1 ponto a cada 66 cm em média, tanto em x como em y. A largura da faixa foi de 350 metros com 6 faixas disponíveis.

A primeira área abrange a região do Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE) e foi escolhida por apresentar baixa variedade de feições e relevo pouco acidentado a serem identificados pelo sistema LIDAR. A segunda corresponde às mediações das quadras esportivas do campus, onde, diferentemente da primeira, o relevo oferece acentuados declives e aclives, além de apresentar variadas feições, cujo comportamento pode ser melhor observado na aplicação do método proposto.

3.2 Metodologia

Essencialmente o presente trabalho consiste na obtenção de um MDT de qualidade, a partir da aplicação de um dos principais filtros de dados LIDAR que caracterizam um MDS. O método em questão é o dos blocos mínimos.

3.2.1 *Block-Minimum*: Método do Bloco Mínimo.

O princípio fundamental desse método, mais comumente conhecido nas literaturas internacionais como *block-minimum*, considera uma zona de *buffer* acima de um plano horizontal, onde se espera que residam os pontos pertencentes ao terreno. Com o intuito de

permitir o uso de métodos de processamento mais eficientes, a análise foi efetuada considerando uma grade regular, como proposto por Wack e Wimmer (2002). Esta grade é preenchida calculando a posição linha/coluna de cada ponto do conjunto de medições LIDAR, a partir de suas coordenadas (E,N,H):

$$\begin{aligned} \text{lin} &= (\text{Nmax}-\text{N})/\text{resolução} \\ \text{col} &= (\text{E}-\text{Emin})/\text{resolução} \end{aligned} \quad (1)$$

Quando a resolução da grade é grosseira, mais de um ponto pode corresponder à mesma célula da grade e, nesses casos, adota-se o menor valor associado ao terreno, quando no conjunto de pontos pelo menos um deles atingiu o solo. Quando o elemento da grade é muito pequeno, a ocorrência de células sem dados pode ocorrer.

Em se tratando de células maiores que o espaçamento entre pontos da varredura, pelo menos um ponto é registrado em cada célula e esse, teoricamente, pertence ao terreno. Os demais podem ser outros pontos do terreno, se a altura desses for próxima a do mínimo encontrado, ou pontos de outros objetos mais elevados, se essas alturas forem consideravelmente superior a esse mínimo. Isto permite propor a seguinte lei de classificação:

$$\begin{aligned} \text{SE } H(i) - H_{\text{min}} < \text{Tolerância} \quad \text{ENTÃO} \quad i \text{ pertence ao terreno} \\ \text{CASO CONTRÁRIO } i \text{ não pertence ao terreno} \end{aligned} \quad (2)$$

Para que fosse possível a eliminação de pontos não-pertencentes ao terreno do MDS oriundo dos dados LIDAR, seguindo os princípios de filtragem de *laser* sugerido pelo método do bloco mínimo adaptado por Wack e Wimmer (2002), a definição da região de análise dos mínimos locais foi definida de duas formas: Uma janelas fixa ou uma móvel.

O conceito de janela fixa consiste em dividir a região de estudo em células grosseiras e classificar todos os pontos 3D dentro dessa célula em função de seu valor mínimo. Nesse caso, cada ponto pode pertencer a apenas uma célula.

Quando a janela é móvel, o processo é similar ao de filtragem pela janela fixa, mas a região de análise se desloca ao longo da área de estudo e, para cada ponto, o mínimo local é identificado e os pontos do terreno classificados.

4 Resultados

As duas opções propostas foram implementadas em linguagem de programação C++ e, como forma de avaliação do desempenho do método descrito, aplicou-se o algoritmo nas áreas de estudos. Como resultados relevantes foram obtidas as seguintes situações:

As Figuras 01 e 02 ilustram a classificação dos pontos na primeira região (LAGE). Os pontos em amarelo correspondem a objetos acima do MDT. A janela utilizada é de 13x13 metros e a tolerância altimétrica de 0,80 m.

Os testes realizados indicam que a classificação de pontos considerando a janela móvel retrata mais precisamente a superfície terrestre do local, uma vez que esta possibilita a exclusão de pontos que, em princípio são caracterizados como não-pertencentes ao terreno, sem que haja perda de informação que comprometa visualmente o produto final, de modo a caracterizá-lo como inapropriado para os fins propostos.

A seguir, as Figuras 05 e 06 ilustram respectivamente o MDS e MDT da região do LAGE e as de número 07 e 08 tratam-se dos mesmos produtos referentes à área esportiva do Campus III, ambas caracterizadas no tópico 3.1 deste trabalho.

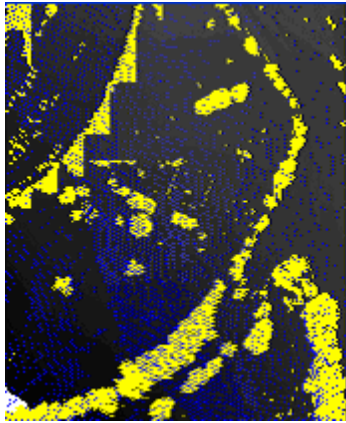


Figura 01
MDT – Região LAGE – UPFR
(Janela Fixa)

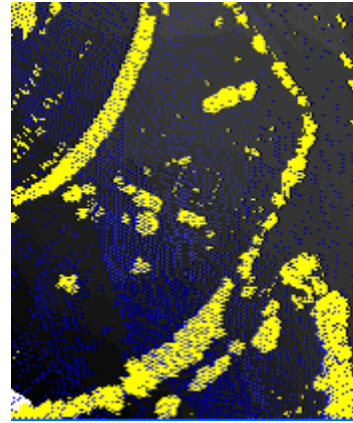


Figura 02
MDT – Região LAGE – UPFR
(Janela Móvel)

Em se tratando da região esportiva do campus (Figuras 03 e 04), os parâmetros foram definidos em janela de mínimos locais de 30x30 metros e tolerância altimétrica de 2,90m.

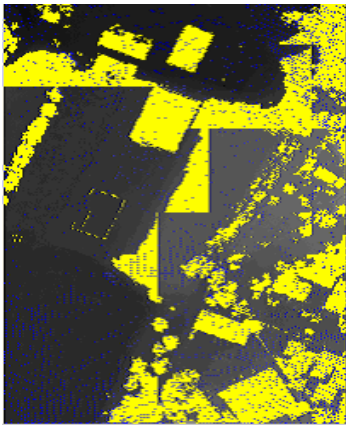


Figura 03
MDT – Região Esportiva – UPFR
(Janela Fixa)

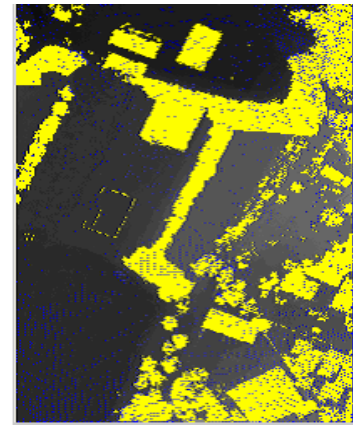


Figura 04
MDT – Região Esportiva – UPFR
(Janela Móvel)

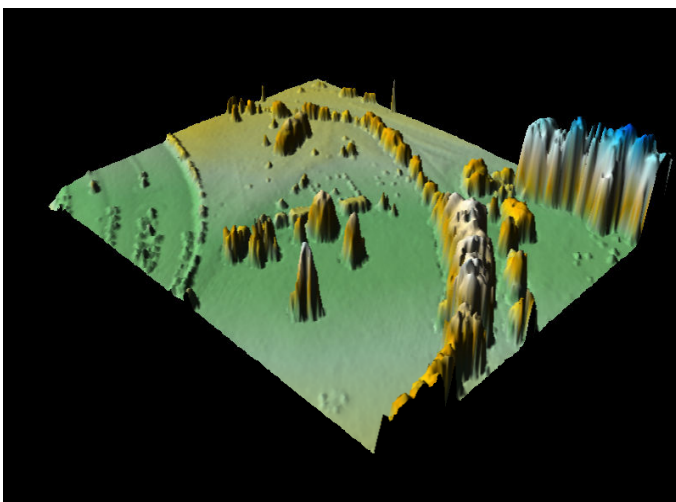


Figura 05
MDS em 3D – Região LAGE – UPFR

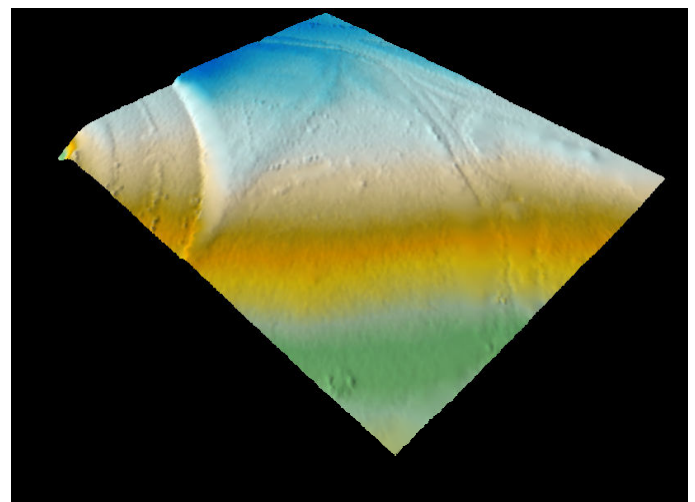


Figura 06
MDT em 3D – Região LAGE – UPFR

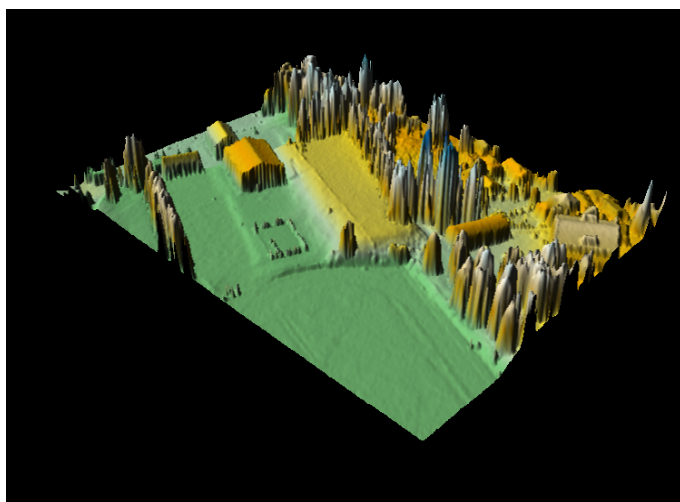


Figura 07
MDS em 3D – Região Esportiva – UPFR

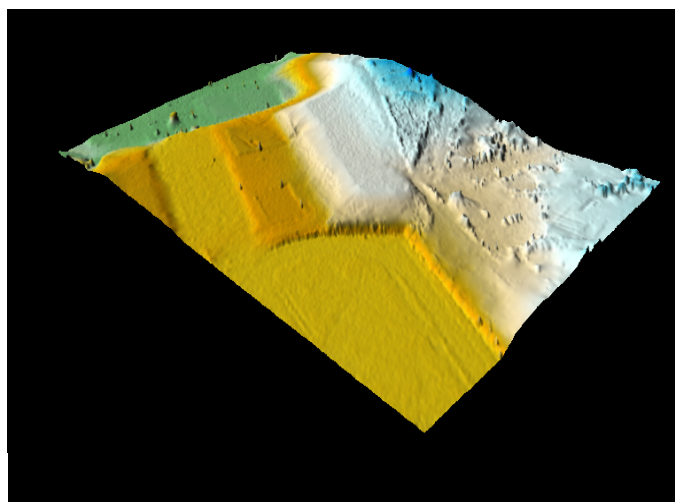


Figura 08
MDT em 3D – Região Esportiva – UPFR

4.1 Análise Comparativa

Para melhor qualificar o produto gerado, foi realizada uma subtração entre o MDT oriundo pelo software TerraScan 2.0 fornecido pelo LACTEC e o melhor MDT gerado (janela móvel). Para tanto, uma grade regular tornou-se necessária; assim foi realizada uma interpolação pelo método da *Krigagem*. O resultado desse processo pode ser visualizado pelas Figuras 09 e 10. Em uma análise quantitativa, foi verificado cada ponto do MDT selecionado pelo TerraScan na grade interpolada, por meio de uma subtração das altitudes. O resultado dessa avaliação pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 01 – Resíduos da diferença entre grades – Área LAGE

	LAGE	Área Esportiva
Numero de Pontos verificados	34197	48472
Menor diferença	-0,680052803	-2,31542667
Maior diferença	0,581489862	2,824927909
Média	-0,021855217	-0,004737219
Desvio Padrão	0,061331019	0,2276763

Para a região do LAGE, como pode ser observada no Quadro 01, a menor diferença se refere ao valor de $-0,68\text{m}$, sendo este próximo à superfície de verificação, do mesmo modo como a maior diferença com um valor de $0,58\text{m}$. A média e o desvio padrão para esta região também estão dentro da tolerância da precisão do equipamento que é de $0,2\text{ m}$ para a altimetria. Já para a região esportiva, a menor e maior diferença ficaram acima de dois metros, caracterizando o afastamento dos pontos para a superfície de verificação, apesar da média e desvio padrão estarem dentro da precisão do equipamento.

Desse modo, para a região do LAGE o processo de filtragem foi extremamente bem sucedido no que se refere a uma avaliação quantitativa. Observando-se a Figura 09 nota-se que uma região de aclive foi localizada pelo algoritmo ocasionando um ruído, este pode ser visualizado na Figura 09a, mais a esquerda da Figura como uma região mais elevada. A segunda área de teste pode ser visualizada na Figura 10. Nela, pontos escuros correspondem a pontos não-excluídos pela metodologia proposta, mas eliminados no MDT de referência.

Nestes locais, foi constatado em campo que se tratam de edificações com altura inferior ao limiar estipulado, como no caso da entrada de um vestiário, em destaque com um círculo amarelo na figura supracitada. Tal explicação se repete para a casa de força, destacada com um círculo azul na mesma figura. As regiões mais claras representam pontos que foram excluídos do MDT e que estão presentes no MDT de referência. Elas referem-se a áreas com aclives e declives acentuados. Nestes casos, o método de classificação de pontos não é eficiente, pois não consegue diferenciar objetos acima do terreno de terrenos acidentados, com alta declividade. Tal situação aponta para uma deficiência prática no método em questão.

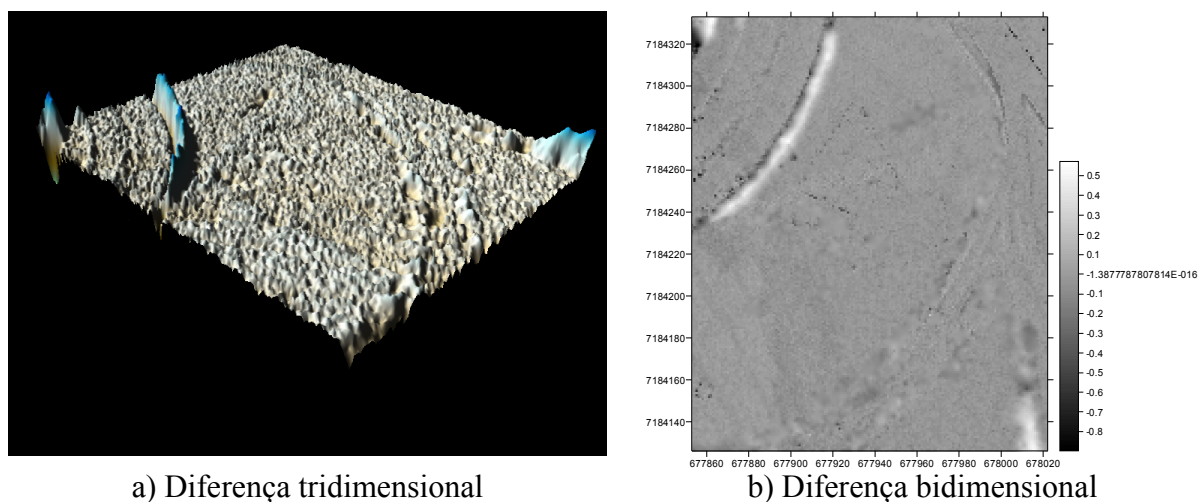


Figura 09 – Resultado da subtração MDT/TerraScan 2.0 pelo MDT/Proposto - LAGE

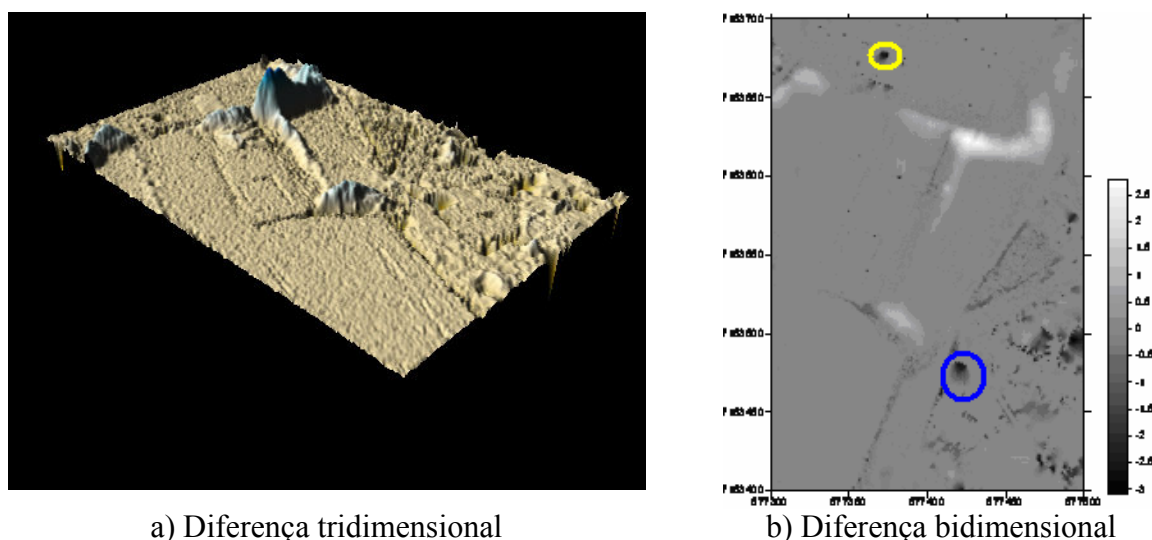


Figura 10 – Resultado da subtração MDT/TerraScan 2.0 pelo MDT/Proposto – Ed.Fisica

Com a realização dos experimentos observou-se, que o método baseado na janela móvel produz um modelo que apresenta características mais coesas com a realidade do terreno observada em campo.

5 Conclusões

A aplicação do método descrito no presente trabalho, embora proporcione resultados relativamente menos precisos quanto aos obtidos a partir do software TerraScan 2.0, representa uma sugestão acessível e satisfatória para obtenção automática de MDT's, sendo a sua utilização não restrita, mas aplicável principalmente em regiões planas ou áreas cujo relevo não seja demasiadamente acidentado, onde o método computacional adotado apresentou melhor eficácia. A qualidade dos MDTs gerados para as áreas de estudo propostas, constatada em campo, caracterizam a solução como sendo relevante para a evolução dos estudos nessa área do conhecimento.

6 Referências Bibliográficas

Behan, A., On the Matching Accuracy of Rastering Scanning Laser Altimeter Data. *ISPRS – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXIII, Part B3, Amsterdam, 2000.

Burrough, P. A. Principles of Geographic Information System for Land Resources Assessment. New York, Oxford University Press, 194 p., 1986

Haala, N. & Brenner, C., Interpretation of urban surface models using 2D building information. Computer Vision and Image Understanding. Vol 72, nº 2 November, pp 204-214, 1999.

Sithole, G. e G. Vosselman. 2003. Comparison of Filter Algorithms. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. 34, Part 3/W13, pp. 71-78.

Thuy, V. e M. Tokunaga, 2002. Wavelet-Based Clustering Method to Detect Building in Urban Area from Airborne Laser Scanner Data. Conference Proceedings of Map Asia. Bangkok, Thailand.

Wack, R. e A. Wimmer. 2002. Digital Terrain Models from Airborne Laser Scanner Data – A grid Approach. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing. Vol. 34, Part B3, Graz. Pp. 293-296.

Wehr, A. e U. Lohr. 1999 Airborne laser scanning – an introduction and overview. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. Vol. 54. pp. 68-82.