

Aplicação dos dados do sensor Laserscanner para modelagem do terreno visando projetos rodoviários

Alexandro Gularte Schafer¹
Ruth Emília Nogueira Loch¹

¹ Universidade Federal de Santa Catarina - Depto. de Eng. Civil
CEP 88040-900 Florianópolis SC
a.schafer@ig.com.br; renloch@cfh.ufsc.br

Abstract. This paper approaches the use of LIDAR products to obtain Digital Terrain Models (DTM) and Digital Elevation Models (DEM) in highway implantation projects. For so much, initially intends methodological proposal for treatment of LIDAR points cloud. The data referring to a test area were treated according to the methodology, coming reached results. Soon after, it was generated Digital Terrain Model and Digital Elevation Model of the test area with the LIDAR treated data treated. Finally, it was generated DTM and DEM with simulation of the highway in environment, being discussed about the quality of models and simulations obtained starting from the LIDAR points cloud as well as difficulties and problems found in working with this technology.

Palavras-chave: digital terrain model, highway engineering, remote sensing, modelo digital do terreno, engenharia rodoviária, sensoriamento remoto.

1. Introdução

O assunto modelagem do terreno vem crescendo continuamente nos últimos vinte e cinco anos devido ao explosivo desenvolvimento em tecnologia de computadores e na difusão do uso dos computadores pessoais. O avanço na aplicação de modelagem de terreno tem sido quase tão espetacular quanto o avanço da computação gráfica e das tecnologias de imageamento, e paralelo ao desenvolvimento de softwares usados para apresentação e visualização de modelos do terreno. Ao mesmo tempo, existe um aumento na velocidade com que os dados sobre a superfície de terreno podem ser adquiridos, devido ao desenvolvimento de equipamentos e sensores utilizados para este fim. Entre os sensores destaca-se o Laserscanner, também conhecido por tecnologia LIDAR (LIght Detection And Ranging).

O sistema Laserscanner aerotransportado é um sistema de Sensoriamento Remoto ativo, que utiliza uma técnica de varredura ótico-mecânico com pulsos laser para a coleta de informações. O pulso laser considera o intervalo de tempo entre a emissão e recepção para determinar a distancia entre o sensor e o objeto. O sistema Laserscanner gera coordenadas tridimensionais de pontos sobre uma superfície num curto período de tempo. Seu princípio de operação é bastante simples. Os pulsos de laser são gerados e emitidos pelo sistema com o auxílio de um espelho de varredura atingindo os objetos. Estes objetos refletem o pulso emitido e parte de sua energia volta para o sistema. Com isto, a medida da distancia entre o sensor e o objeto iluminado é determinado através do intervalo de tempo entre a emissão e a reflexão (retorno) do pulso. O posicionamento 3D destes pontos pode ser determinado caso a posição e a orientação do pulso enviado seja conhecida em relação ao sistema de referencia WGS 84. Para haver uma acurácia na determinação dos pontos é necessário haver uma boa sincronização entre os componentes envolvidos pelo sistema (Dalmolin & Santos, 2004). A varredura é feita no sentido transversal à direção da linha de vôo, com a divergência configurável pelo sistema permitindo a determinação da largura da faixa abrangida pelo perfilamento laser. Com a realização do vôo, o sistema fornece dados brutos com informações tridimensionais do terreno sobrevoado. Esses dados são de posição (GPS), orientação da

aeronave e de cada pulso emitido (SMI) e intervalos de tempo (medida laser). Os dados são posteriormente integrados, gerando um grande conjunto de pontos que devem ser processados para modelar a superfície do terreno tridimensionalmente.

O LIDAR vem sendo utilizado, em nível mundial, a mais de vinte anos e para uma variedade de aplicações. Mais recentemente, tem sido utilizado para gerar Modelos Digitais do Terreno (MDTs) em mapeamentos de escala grande e alta acurácia (Kraus e Pfeifer, 1998; Means et al., 2000; Berg e Ferguson, 2001). No Brasil, os primeiros mapeamentos foram realizados no ano de 2001 e atualmente existem três sensores Laserscanner no país (Loch e Schäfer, 2004).

As técnicas de modelagem de terreno têm sido amplamente aplicadas em ciências físicas e da terra. No mapeamento topográfico, representações digitais do terreno freqüentemente são um dos elementos do processo de mapeamento. A modelagem topográfica de escala grande é de particular importância, pois forma a base para a modelagem de projetos de engenharia civil (Petrie e Kennie, 1990).

Através dos produtos oriundos de levantamento Laserscanner, tem-se a possibilidade de gerar mapas tridimensionais acurados e atualizados para otimização de projetos e processos de construção (Dalmolin e Santos, 2004). Os MDTs de alta resolução provêm dados do terreno que podem servir como suporte a análises de características de interesse em projetos rodoviários tais como declividade, aspecto topográfico, e outras características de forma da terra. Tendo como base o MDT, os projetos de implantação de rodovias podem ser modelados e testados em um ambiente virtual antes da construção. O estudo do projeto em três dimensões pode influenciar nas fases de construção e manutenção de rodovias e pontes, e pode ser usado por projetistas e construtores para melhorar o planejamento de rodovias e a programação de operações de manutenção e administração. É possível ainda combinar o projeto e o modelo do terreno para criar uma visualização do impacto de projetos de engenharia no ambiente em que serão implantadas (Lu, 2001).

Além disso, depois que o mapeamento 3D é realizado, softwares podem ser utilizados para incorporar o modelo 3D com outras informações geográficas, possibilitando a análise conjunta dos dados (Luliang e Qingquan, 2004). Com o crescimento da utilização de dados em formato tridimensional, têm-se um vasto campo para pesquisas e desenvolvimento de métodos e procedimentos para armazenamento, manipulação, análise e apresentação desses dados em um ambiente tridimensional, de forma que venham a constituir importante ferramenta de auxílio no processo de tomada de decisão quando da implantação e ao longo da vida útil de uma rodovia.

Tendo em vista a importância da modelagem do terreno para projetos de engenharia, a potencialidade do sensor Laserscanner em gerar esses modelos do terreno com alta resolução e acurácia, e ainda a falta de conhecimento da tecnologia LIDAR, esse estudo foi realizado com o objetivo de contribuir para a) o conhecimento da tecnologia LIDAR, b) avaliação de sua aplicabilidade, fazendo uso dos produtos provenientes do LIDAR para estudos de simulação 3D de rodovias em ambiente digital.

2. Material e método

As etapas desenvolvidas durante a pesquisa foram as seguintes:

- 2.1 Tratamento da nuvem de pontos proveniente do levantamento Laserscanner;
- 2.2 Geração de Modelo Digital do Terreno (MDT) e Modelo Digital de Elevação (MDE);
- 2.3 Adição do projeto geométrico da rodovia e geração de MDT e MDE com a rodovia projetada;
- 2.4 Visualização dos modelos gerados em cenas tridimensionais.

Os materiais utilizados para o estudo foram: a) arquivo de pontos Laserscanner, altura de voo 1000 m, realizado em novembro de 2002 para o anteprojeto do projeto final da rodovia SC-414 realizado pela empresa ESTEIO S.A. e cedidos pelo DEINFRA/SC; b) Imagem de intensidade dos pontos Laserscanner; c) anteprojeto geométrico do projeto final da rodovia SC-414.

2.1 Tratamento da nuvem de pontos provenientes do levantamento Laserscanner

Para gerar um MDT que represente a superfície terrestre da forma mais próxima da realidade, a correta definição desta superfície na nuvem de pontos LASER é imprescindível. Isto faz do tratamento dos dados provenientes do sensor uma tarefa de grande importância e que influencia sobremaneira na qualidade final do MDT.

Os dados do Laserscanner depois de obtidos no aerolevanteamento são disponibilizados em três conjuntos: a) os dados de calibração e parâmetros de montagem (obtidos antes do voo), b) medidas de distâncias LASER com seus respectivos ângulos de escaneamento e c) os dados POS (Position and Orientation System). Esses dados são processados e integrados, obtendo-se ao final desta etapa uma nuvem de pontos Laserscanner, tradicionalmente apresentada em um conjunto de coordenadas tridimensionais no sistema WGS-84 e o registro de intensidade dos pulsos LASER. Para diferenciar quais informações correspondem ao relevo ou a qualquer outro fenômeno geográfico ou objeto presente na superfície estudada, é necessário realizar um tratamento dos dados. Este foi realizado em três etapas principais: filtragem, classificação e edição manual da nuvem de pontos Laserscanner.

A remoção de pontos indesejados (como a tarefa de separar os pontos laser que tocam a superfície terrestre dos demais pontos) é considerada uma operação de filtragem. Já a tarefa de encontrar uma estrutura geométrica ou estatística específica, como edificações ou vegetação, é definida como classificação (Axelsson, 1999). A etapa de edição manual foi adicionada ao tratamento dos dados levando-se em consideração que o método automático de filtragem e classificação por algoritmos próprios para este fim não foi capaz de alcançar resultados satisfatórios.

Na **figura 1**, apresenta-se o fluxograma desenvolvido para o Tratamento dos Dados Laserscanner e na seqüência a explicação de cada etapa.

Tratamento da nuvem de pontos Laserscanner

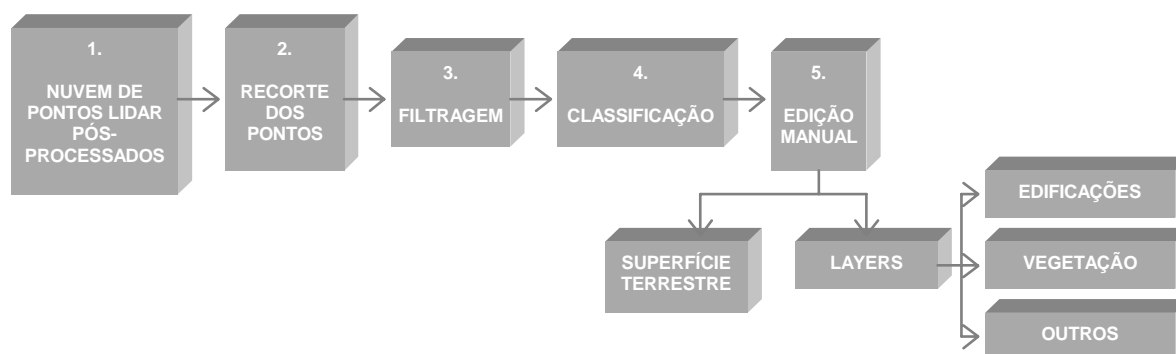


Figura 1. Fluxograma de tratamento de dados derivados do sensor Laserscanner

Tratamento da nuvem de pontos Laserscanner:

1. Nuvem de pontos Laserscanner pós-processados: são considerados todos os dados LIDAR pós-processados devidamente georreferenciados sem filtragem ou análise adicional.
2. Recorte da área de estudo: inicialmente, o arquivo de pontos Laserscanner foi recortado resultando em uma área de teste com 582.407 pontos LASER. Este procedimento foi adotado visando a diminuição do tempo de processamento para geração e visualização dos modelos.
3. Filtragem: foi realizada uma filtragem automática da nuvem de pontos LASER com o objetivo de separá-los em pontos que tocaram à superfície terrestre e pontos que tocaram outros alvos terrestres. A filtragem foi feita no software TerraScan (da Terrasolid Limited), que possui uma ferramenta específica para esta tarefa.
4. Classificação: na classificação da nuvem de pontos definida na filtragem como não pertencente à superfície terrestre foram criados três *layers* separando os principais elementos encontrados na área de estudo: vegetação, edificações e outros (linhas e torres de transmissão). O objetivo principal da classificação foi auxiliar a encontrar pontos pertencentes à superfície terrestre que foram definidos erroneamente como objetos no processo de filtragem.
5. Edição manual: nesta etapa, o conjunto de pontos filtrados e classificados automaticamente foi analisado no ArcView. Os pontos LASER foram sobrepostos à imagem de intensidade Laserscanner para identificar possíveis pontos filtrados e classificados erroneamente que deveriam ser corrigidos. Essa foi a etapa que consumiu maior tempo no tratamento dos dados do Laserscanner. Ao final desta etapa, dispôs-se do arquivo de pontos que tocaram à superfície terrestre e os arquivos de pontos dos *layers* (vegetação, construções e “outros”) completamente editados e revisados.

2.2 Geração de Modelo Digital do Terreno (MDT) e Modelo Digital de Elevação (MDE)

Um Modelo Digital do Terreno que descreva o local de implantação o mais próximo possível da situação real é de grande importância para os estudos que envolvem um projeto de implantação de rodovia (Schafer e Loch, 2004)

Para gerar os MDTs e MDEs de alta resolução optou-se por utilizar estrutura TIN (Triangular Irregular Network), pois seus segmentos são sempre definidas como bordas de triângulos que compõe o TIN. Isto é bastante útil já que propicia a adição no MDT ou MDE (o MDE é o modelo que contém informações de altura e elevação de todos os objetos presentes sobre a superfície terrestre - vegetação, construções, linhas de transmissão de energia, etc) de características do terreno que não são captadas pelo sensor Laserscanner por meio de elementos vetorizados. Além disso, facilitaria a etapa posterior do estudo proposto que era a inserção da rodovia nos modelos do terreno. Para a construção do MDT foram utilizados todos os pontos laser definidos como superfície terrestre (143.470 pontos). Já para a construção do MDE utilizou-se todos os pontos laser, eliminando os referentes a corpos d'água e linhas de transmissão para evitar erros na construção do MDE. O número total de pontos utilizados para a construção do MDE foi de 579.852.

2.3 Adição do projeto geométrico da rodovia e geração de MDT e MDE com a rodovia projetada;

Para fazer a simulação da rodovia projetada na área de estudo, necessitava-se inicialmente de uma planta com informações planialtimétricas da rodovia e das linhas de *offset* que seriam incorporadas ao TIN e visualizadas em formato tridimensional. A planta do anteprojeto do projeto geométrico da rodovia em formato digital não continha essas informações. Elas estavam disponíveis somente no corte transversal do anteprojeto. Elas foram definidas no CAD como *polylines* contendo coordenadas X, Y, Z e após incorporadas ao TIN. As

estruturas TIN para os MDTs e MDEs foram gerados de forma semelhante a descrita no item 2.2, obtendo-se assim o MDT e o MDE com a simulação da rodovia projetada.

2.4 Visualização dos modelos gerados em cenas tridimensionais

A visualização em cenas tridimensionais do MDT e do MDE demonstra relações espaciais, além de oferecer a possibilidade de ilustrar grande quantidade de informações para o planejamento de projetos rodoviários.

O software escolhido para a visualização das cenas tridimensional foi o ArcView GIS, devido a facilidade de manipulação deste tipo de cena, além de propiciar ferramentas para fazer modificações de cores, alteração de temas representados e forma como estes são associados. O software permite representação tridimensional do terreno em projeção paralela. Nesta projeção, a distância entre o plano de projeção e o centro de projeção é infinita. As linhas que são paralelas no modelo continuam paralelas, uma vez que a distância do observador à superfície é infinita. Além disso, tem-se também a possibilidade de sobrepor temas que não contenham informação altimétrica na representação tridimensional do TIN.

3. Resultados

3.1 Tratamento da nuvem de pontos proveniente do levantamento Laserscanner

A **figura 2** ilustra o resultado obtido após a filtragem, classificação e edição manual dos pontos LASER de parte da área de estudo. Os pontos definidos como superfície terrestre foram representados na cor laranja, os definidos como edificações na cor vermelha, pontos referentes a linhas e torres de transmissão estão representados na cor roxa e os definidos como vegetação na cor verde. Observa-se que foram definidos como superfície terrestre 143.470 pontos, como edificações 5.840 pontos e como vegetação 430.515 pontos, o que representa 24,69%, 1,01% e 74,10% do total de pontos laser da área de teste respectivamente.

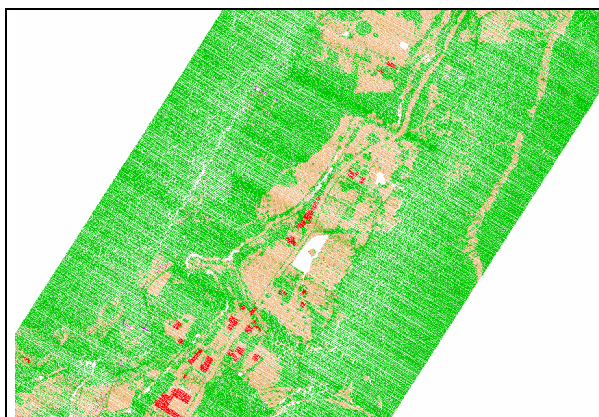


Figura 2: Pontos Laserscanner após edição manual.

3.2 Geração de MDT e MDE

A **figura 3** ilustra o MDT de parte da área de estudo obtido a partir de pontos derivados do Laserscanner e a **figura 4** uma cena tridimensional desse MDT. Uma das principais características do MDT é a alta plasticidade devido a alta densidade de pontos do Laserscanner. Por outro lado, apresenta depressões artificiais (devido a pontos filtrados e/ou classificados erroneamente pelos algoritmos como superfície terrestre) e “breaklines” naturais tendem a ser suavizadas ou não aparecem no modelo.

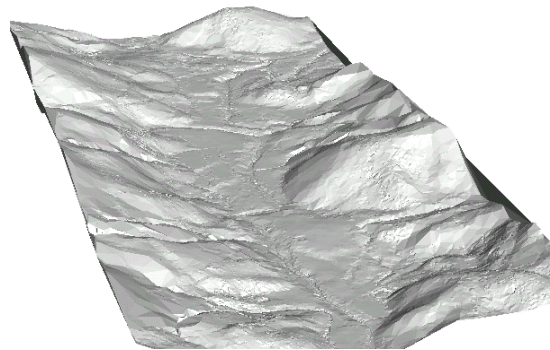
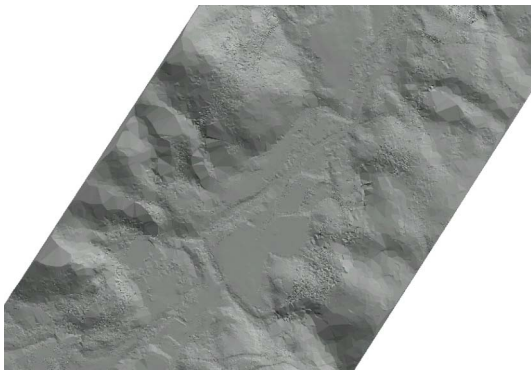


Figura 3: Parte do MDT gerado a partir dos pontos Laserscanner. Figura 4: Cena 3D do MDT da fig. 3.

Medindo-se a quantidade média de pontos que tocaram a superfície terrestre na área de teste, constatou-se que o MDT obtido a partir dos pontos Laserscanner não apresenta qualidade uniforme em toda sua extensão. Em áreas de coberturas fechadas (por exemplo, em capoeiras), a densidade de pontos definidos no processo de tratamento dos dados como os que tocaram a superfície terrestre foi de 0,021 a 0,099 pontos/m², enquanto os definidos como solo exposto ou vegetação rasteira alcançaram 0,359 a 0,50 pontos/m², o que evidencia a não uniformidade da qualidade do MDT. É possível a utilização de filtros próprios para gerar uma malha de pontos LASER homogênea e assim uniformizar a qualidade do MDT.

3.3 Geração de MDT e MDE com simulação da rodovia no ambiente

O MDT e o MDE gerados com a simulação da rodovia feita através da adição do seu projeto geométrico à nuvem de pontos Laserscanner pode ser visualizada nas **figuras 5 e 7**. Nas **figuras 6 e 8** têm-se cenas tridimensionais do MDT e do MDE respectivamente.

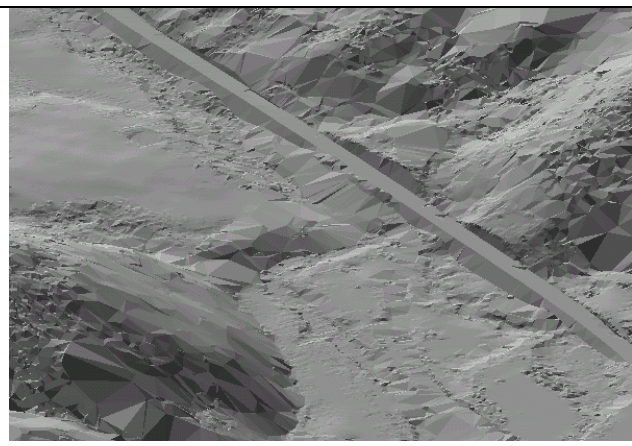
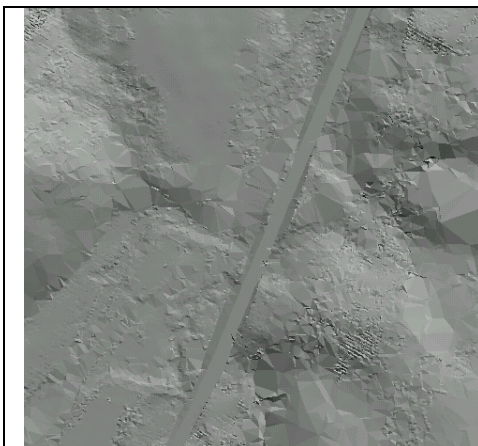


Figura 5: Parte do MDT gerado a partir dos pontos Laserscanner e dos dados do projeto geométrico da rodovia.

Figura 6: Cena 3D do MDT da figura 5 permitindo uma visão geral da rodovia que atravessará a área de estudo.

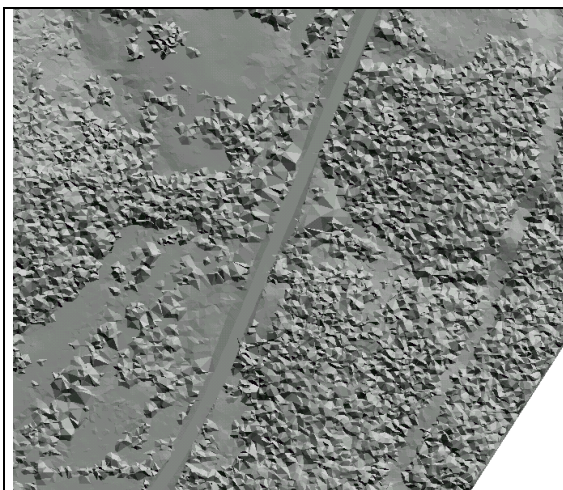


Figura 7: Parte do MDE gerado a partir dos pontos Laserscanner e dos dados do projeto geométrico da rodovia.

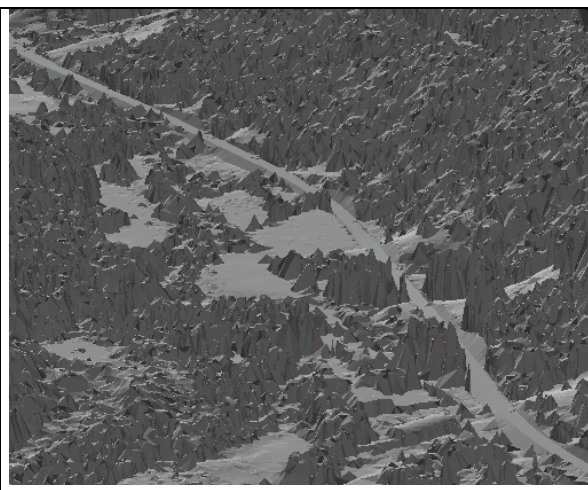


Figura 8: Cena 3D do MDE da figura 7 permitindo uma visão geral da rodovia que atravessará a área de estudo.

Um dos maiores problemas encontrados tanto na modelagem do terreno quanto na obtenção de cenas tridimensionais foi a exigência de alto poder computacional ou de memória de processamento, já que dispunha-se de arquivos com grande quantidade de pontos medidos no decorrer da cobertura aérea do Laserscanner. Deve-se observar que essa é apenas uma parte da área de implantação da rodovia em análise. Considerando toda a rodovia essa quantidade de pontos deve ser da ordem de milhões, o que exigirá que já se tenha processos mais ou menos padronizados para o tratamento de níveis de pontos de forma a agilizar o tratamento dos dados. A geração do MDT, com 143.470 pontos e sobretudo do MDE, com 579.825 pontos em uma área de aproximadamente 1,02 km², por vezes tornou o sistema lento. O mesmo problema ocorreu quando eram geradas cenas 3D no programa ArcView. Para os diversos testes realizados com cenas 3D, a solução encontrada foi gerar no TerraScan arquivos MDT e MDE com menor quantidade de pontos, o que interfere na qualidade e resolução final do MDT e MDE.

4. Conclusões

Modelos Digitais do Terreno e de Elevação de alta resolução gerados a partir dos pontos laser tem grande potencialidade de aplicação em projetos de implantação de rodovias. A simulação de rodovias em MDTs e MDEs a partir da nuvem de pontos Laserscanner confere novas possibilidades aos projetos de implantação de rodovias. Permite um estudo mais aprofundado do projeto, no qual podem ser considerados (além dos elementos de praxe), a densidade da vegetação, relevo com 15 cm a 30 cm (acurácia vertical) e MDT e MDE totalmente digital, sem que seja preciso utilizar os métodos fotogramétricos ou topográficos. Aliás, a combinação dos dados Laserscanner e processos fotogramétricos pode agilizar a obtenção de produtos como ortofotos, as quais são de grande utilidade em projetos rodoviários. Outra característica desse sensor é a possibilidade de criar mapas temáticos como de declividade e facilitar a geração de mapas de uso e cobertura da terra, devido a classificação de vegetação em classes de altura. Esses mapas são necessários para estudos de impacto ambiental.

Ressalta-se que os trabalhos realizados com produtos derivados do sensor Laserscanner necessitam de equipe altamente especializada e treinada, isto tanto na aquisição dos dados LIDAR (planejamento e execução de vôo, processamento dos dados), tratamento (filtragem, classificação), confecção de produtos (MDT/MDE, mapas hipsométricos, etc) e aplicação

destes produtos para as mais diversas finalidades, caso contrário corre-se o risco de produzir dados incoerentes com a realidade. Entretanto vê-se que a tecnologia LIDAR deve em curto espaço de tempo como um sensor capaz de atender as necessidades em projetos de implantação de rodovias.

Referências

Artigo em Revista:

Axelsson, P. Processing of laser Scanner Data – Algorithms and Applications. **ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing**, (54)2-3 pp. 138-147. july, 1999.

Berg, R.; Ferguson, J. Mapping Ontario's highways with LIDAR. **Gim International**, Canadá, v. 15, n. 11, p. 44 a 47, nov. 2001.

Kraus, K., and Pfeifer, N., 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Vol. 53, pp. 193–203.

Lu, W. Digital terrain models. **Gim International**, Canadá, v. 15, n. 12, p. 28 a 31, dec. 2001.

Means, J.E., Acker, A.A., Fitt, B.J., Renslow, M., Emerson, L., and Hendrix, C., 2000. Predicting forest stand characteristics with airborne scanning LIDAR. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Vol. 66, No.11, pp. 1367–1371.

Livros:

Dalmolin, Q.; Santos, D. R. **Sistema Laserscanner: conceitos e princípios de funcionamento**. (3ª edição). Curitiba, UFPR, 2004.

Petrie, G., Kennie. T.J.M. **Terrain modelling in surveying and civil engineering**. Londres: Editora Whittles, 1990.

Tese:

Schäfer, A. **Aplicação de produtos fotogramétricos e do sensor Laserscanner em projetos rodoviários. Estudo de caso: Trecho da SC-414**. Florianópolis, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. 112 pg.

Eventos:

Coulter, E.D., Chung W., Akay, A., and Sessions J., 2001. Forest road earthwork calculations for linear road segments using a high resolution digital terrain model generated from LIDAR data. **Proc. First Precision Forestry Symposium**, University of Washington, College of Forest Resources, Seattle, Washington. pp.125-129.

Loch, R.; Schafer, A. Airborne Laserscanning in the Brazilian Market In: XXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), **Anais**. commission 6, 2004. p.33 – 36

Luliang, T.; Qingquan, L. The research of transect-based three-dimensional road model. In: XXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Istanbul. **Anais**, commission 2, 2004. p.36 - 41.

Schäfer, A.; Loch, R. Application of Airborne Laserscanning in highway engineering in Brazil In: XXth Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Istanbul. **Anais**, commission 3, 2004. p.290 - 295.