

## Analysis of Laserscanning Derived DEMs for Town Monitoring Análise de modelos numéricos de elevação derivados de laser scanner para o monitoramento urbano

<sup>1</sup> Jorge Silva Centeno

<sup>2</sup> Eberhard Steinle

<sup>3</sup> Thomas Vögtle

<sup>1,2</sup> Departamento de Geomática - UFPR  
C.P. 19001 - Centro Politécnico - 81.531.990 Curitiba

<sup>3</sup> IPF - Universität Karlsruhe  
Englerstrasse 7 D-76131 Karlsruhe - Germany

<sup>1</sup> ✉ centeno@geoc.ufpr.br

<sup>2</sup> ✉ steinle@ipf.bau-verm.uni-karlsruhe.de

<sup>3</sup> ✉ voegtle@ipf.bau-verm.uni-karlsruhe.de

<b>Conteúdo</b>	<p><b>1 Introdução</b></p> <p><b>2 Laser scanning</b></p> <p><b>3 Definição do problema</b></p> <p><b>4 Metodologia</b></p> <p><b>5 Resultados</b></p> <p><b>6 Conclusões</b></p> <p><b>7 Referências Bibliográficas</b></p>
-----------------	--

**Resumo:** Até recentemente o uso de imagens de satélite para o estudo de áreas urbanas era limitado em função da baixa resolução espacial dos sensores. Recentemente foram desenvolvidas novas formas de sensoriamento remoto que possibilitam a aquisição de imagens com alta resolução e natureza diferente. O presente trabalho descreve a aplicação de uma destas novas ferramentas para o estudo do ambiente urbano. A atenção se concentra na detecção de construções irregulares, e as alterações das construções existentes que infringem as restrições impostas pelas leis de uso do solo.

**Palavras chave:** Laser scanning, sensoriamento remoto, monitoramento urbano

**Abstract:** The urban environment experiences rapid changes due to new constructions and alteration of existing buildings. Illegal settlements and disregard planning by-laws are possible concomitant phenomena that a municipality has to cope with. The rapid changes make it difficult to keep an spatial database to get information about the building sizes and construction types in order to monitor adapted construction activities and to have a basis for fair taxation. Updating the database implies to identify changes and revising the herewith linked information in a systematic manner, which is an extensive labour. Automated approaches for the extraction of building features and change detection using remote sensing imagery would reduce the efforts in this task. This study aims therefore at the use of one specific remote sensing technique, the airborne laser scanning, to detect changes in buildings. Since laser altimetry leads directly to the height distribution of the terrain relief and the objects on the Earth's surface, estimating the geometry of buildings from laser scanner data becomes possible. A comparison between the estimated building models and building information acquired earlier do reveal changes and help identify new constructions.

### 1 Introdução

O ambiente urbano é caracterizado pela dinâmica de seu desenvolvimento e o aprimoramento da qualidade de vida de seus habitantes e é fortemente afetado pelo êxodo rural, que é responsável pelo surgimento de novas áreas habitadas. A ocupação urbana infringe drásticas alterações na paisagem natural, sendo a alteração das condições da cobertura do solo uma das principais e mais perigosas.

As conseqüências destas alterações aparecem freqüentemente nas manchetes dos jornais, pois afetam diretamente à população da própria cidade e de outras regiões próximas. Enchentes, deslizamentos e erosão são alguns exemplos de suas conseqüências.

As condições de vida do cidadão estão associadas ao uso do solo e à disponibilidade de infra-estrutura, fatores que devem ser monitorados e, se possível, otimizados. A ONU, através de declarações como a "Habitat Agenda" (UN, 1999) e a Declaração de Istambul se compromete na luta pela melhora da qualidade de vida humana nas cidades, sendo um temas centrais a necessidade de garantir "abrigo adequado para todos" e o direito da população de "ter acesso a moradias adequadas". Isto vem aliado ao "desenvolvimento sustentável das concentrações urbanas", para o que são necessários "serviços básicos, proteção ambiental, transporte, energia e melhores oportunidades para o desenvolvimento". Uma das estratégias propostas por estes documentos é o acompanhamento sistemático do desenvolvimento urbano, mediante a utilização de indicadores e ações adequadas para a troca de informações e o uso de tecnologia para a obtenção e troca de informações.

O sensoriamento remoto tem comprovada utilidade na coleta de informações e sua fácil integração com outras ferramentas, como

SIG, o tornaram um ramo fundamental da pesquisa do meio ambiente, principalmente quando se trata de extensas áreas da superfície da Terra. Até recentemente o uso de imagens de satélite em estudos do ambiente urbano era limitado, principalmente em função da baixa resolução espacial dos sensores. No entanto, este quadro tende a mudar. Nos últimos anos, inovações no sensoriamento remoto, como as imagens de alta resolução e laser scanner, abriram novas possibilidades da aplicação de sensoriamento remoto para a solução de problemas urbanos.

O presente trabalho descreve a utilização de uma destas técnicas, o laser scanner, para o estudo das alterações em cidades. A atenção concentra-se na detecção de construções irregulares, aquelas que não obedecem ao plano diretor que restringe a geometria de cada construção em função das condições toleradas pela região e serve para o dimensionamento da infra-estrutura. Pretende-se com isto contribuir para a prevenção de catástrofes naturais decorrentes da alteração excessiva da cobertura superficial do solo, fornecendo uma metodologia de obtenção desta informação de maneira automática, através do processamento digital de imagens de satélite.

## 2 Laser scanning

A seguir é apresentada uma descrição do funcionamento do laser scanning baseada no artigo de Wehr e Lohr (1999). É recomendado que o leitor interessado em maiores informações consulte esta referência.

O laser scanner é um sistema de sensoriamento remoto ativo usado para medir a distância entre o sensor e a superfície dos objetos. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um feixe de laser (LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiance) que é disparado em direção dos objetos, refletido por eles e novamente captados pelo sistema. A partir do sinal de retorno e o tempo decorrido entre a emissão e o registro do eco, informações como a distância entre o sensor e o objeto podem ser calculadas. Este tipo de sistemas também são chamados de LIDAR (Light Detection And Ranging) ou LADAR (Laser Detection And Ranging).

O sistema usa um feixe ótico de alta potência e bem direcionado, coerente no espaço e no tempo, para medir esta distância. Uma faixa estreita do espectro é utilizada, sendo comum a faixa operacional entre 800 a 1600nm. A faixa do espectro a ser utilizada é condicionada por questões de segurança, pois devido à alta potência da energia utilizada, o feixe pode ser nocivo para os olhos humanos.

O sistema Laser scanner pode ser dividido em 3 componentes principais: a unidade de medição laser propriamente dita, encarregada de emitir e receber o sinal laser, um sistema de varredura optomecânica e uma unidade de registro de medições de apoio.

A unidade Laser-scanner pode ser instalada em diferentes plataformas, como aviões sobrevoando uma cidade. Ela serve apenas para medir a distância entre os objetos na superfície e o sensor, do qual não é possível deduzir a posição do objeto sem informação adicional. Para determinar a posição dos pontos no terreno com exatidão o sensor deve contar com apoio de um sistema de posicionamento com precisão compatível. A posição do sensor na hora da medição de cada ponto é possível graças ao uso de um sistema de GPS diferencial (dGPS), encarregado de calcular a posição (X,Y,Z) do avião/sensor no espaço. Um segundo sistema de apoio, uma unidade de medição de inércia (IMU: Inertial Measurement Unit) é encarregada de calcular a inclinação do sensor nas três direções. A precisão do laser está em torno de 0,1m, por isso os sistemas de apoio devem ter uma precisão igual ou maior. Na prática, conta-se com sistemas com precisão menor a 0,1m e menor a 0.02graus (Wehr e Lohr, 1999).

O conjunto de medições de apoio, os dados do IMU e do GPS diferencial são medidos e armazenados simultânea e paralelamente à medição da distância pelo sistema laser. Numa etapa posterior, as séries de dados coletados são sincronizadas e a posição exata de cada ponto que forma a imagem calculada.

A unidade de medição de laser é responsável pelas emissão e recepção do sinal, que pode ser um pulso ou um sinal contínuo. O sistema de onda contínua funciona a partir da medição da diferença de fase entre o sinal emitido e o recebido. O sistema de pulso é o mais usado e se baseia na emissão e recepção de curtos pulsos de energia.

Uma imagem laser scanner é obtida sobrevoando a região e redirecionando o feixe laser na direção perpendicular ao vôo, de maneira a obter uma cobertura bidimensional da área. O processo é similar ao utilizado em sistemas orbitais de sensoriamento remoto, sendo um sistema de varredura optomecânica o responsável por esta tarefa.

Existem diferentes opções para efetuar o redirecionamento do feixe laser, como por exemplo o uso de espelhos móveis. Entre as opções disponíveis estão o uso de um espelho oscilante, que produz linhas paralelas ou em zig-zag, o Palmer Scanner, que utiliza um espelho que gira em torno de seu centro e produz um padrão elíptico e o espelho em forma de polígono rotatório, que produz linhas paralelas.

A alternativa é o uso do sistema "Fiber scanner". Este sistema consiste num arranjo de fibras óticas usado tanto para emitir como para medir o sinal. Neste caso, o redirecionamento do feixe é feito usando um espelho rotativo que possibilita registrar a energia proveniente de uma linha inteira com o arranjo de fibras óticas no plano montadas no focal da emissão ou recepção.

Alguns sistemas podem medir diferentes ecos do sinal emitido, refletido por diferentes objetos dentro da projeção do feixe no terreno (footprint). É possível medir o primeiro e o último eco do pulso (first/last pulse), ou até pode-se medir toda a variação do eco, se for necessário. Esta característica é interessante, quando se leva em consideração a diferença de penetração que podem existir dentro de um único "footprint". O feixe, ao incidir na superfície da Terra, não atinge um único objeto e pode ser refletido por diferentes pontos localizados a diferentes distâncias do sensor. Sendo assim, o ponto mais próximo ocasionará um eco que retorna mais rapidamente. Já o ponto mais distante origina um eco mais demorado.

O registro dos diferentes ecos permite penetrar em certos tipos de cobertura, como por exemplo bosques, onde uma primeira camada de objetos (o topo das arvores) produz um primeiro eco e uma porção do feixe é refletida pelo solo. A partir da informação do segundo

eco é possível selecionar pontos correspondentes ao solo em bosques e interpolar um modelo digital do terreno mesmo em áreas cobertas por vegetação. Um exemplo desta técnica é apresentada em Von Hansen e Vögtle (1999).

Também existe a possibilidade de registrar a intensidade do sinal de retorno, embora esta opção seja pouco usada, para derivar informação a respeito da natureza da superfície do objeto de maneira similar ao imageamento por RADAR.

### 3 Definição do problema

Dois tipos básicos de irregularidade podem ser consideradas: ampliações irregulares horizontais e verticais. A primeira se refere à construção de novos compartimentos clandestinos que desatendem a restrição da projeção da área construída de cada imóvel. Este caso é muito freqüente e dificilmente verificado, pois os novos compartimentos podem ser construídos na parte posterior do terreno. No entanto, o aumento da área construída é facilmente observado em imagens verticais, como é o caso do laser scanner. Sendo que tais alterações envolvem uma área relativamente extensa quando comparada com a resolução disponível do laser scanner, sua verificação torna-se viável.

O segundo tipo de irregularidade é o aumento da altura da construção, decorrente do incremento de novos andares. Esta alteração não é visível em uma imagem vertical normal, mas ela pode ser verificada mediante o processamento digital de imagens de laser scanner, pois este sistema permite calcular a altitude de cada ponto.

### 4 Metodologia

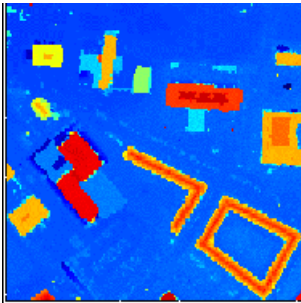


Fig. 1 Exemplo de dados laser scanner

O primeiro passo consiste em identificar as elevações da matriz de altitudes derivada do laser scanner que podem ser caracterizadas como construções. Isto é fácil em regiões planas onde as construções são as únicas elevações significativas. Lastimosamente este não é o caso mais geral. A principal dificuldade deriva da natureza da medição do laser scanner. Este sistema não mede a altura dos objetos, se não sua altitude. Logo, é necessário calcular, ou pelo menos estimar, a elevação de cada objeto em relação à topografia do terreno. A figura 1 mostra uma pequena área de uma imagem obtida usando laser scanner na cidade de Karlsruhe. Os níveis de cinza foram coloridos usando uma paleta que vai de azul a vermelho.

Para a estimativa da altura dos prédios, um modelo digital do terreno (a topografia) é necessário. Este modelo pode ser obtido a partir de mapas topográficos ou do próprio conjunto de dados do laser scanner, pois a elevação do terreno é parcialmente visível na imagem de altitudes (Von Hansen e Vögtle, 1999). O modelo digital da superfície do terreno descreve a altitude associada a cada ponto da imagem sem as construções. A diferença entre os dados do laser scanner e este modelo representa a elevação dos objetos acima da superfície do terreno. Esta metodologia foi usada com sucesso por Haala e Brenner (1999) para identificar objetos em terrenos

acidentados. A figura 3 mostra um exemplo do cálculo da elevação dos objetos acima da superfície para o conjunto de dados da figura 1.

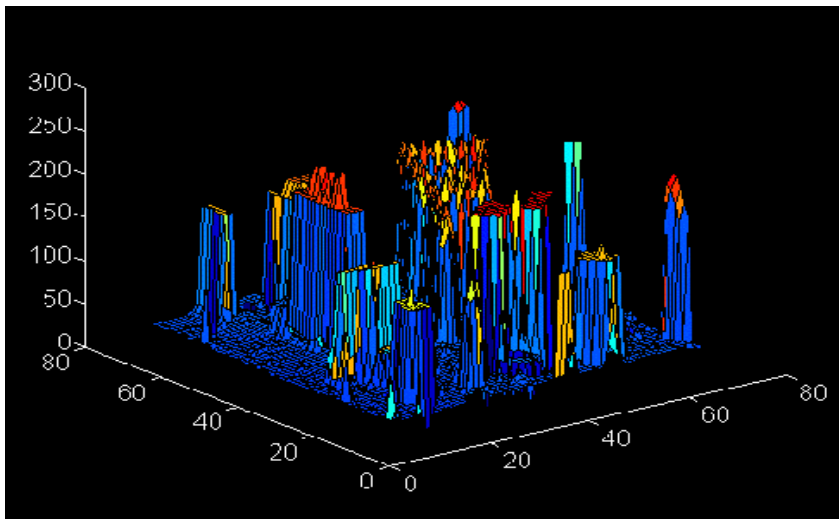
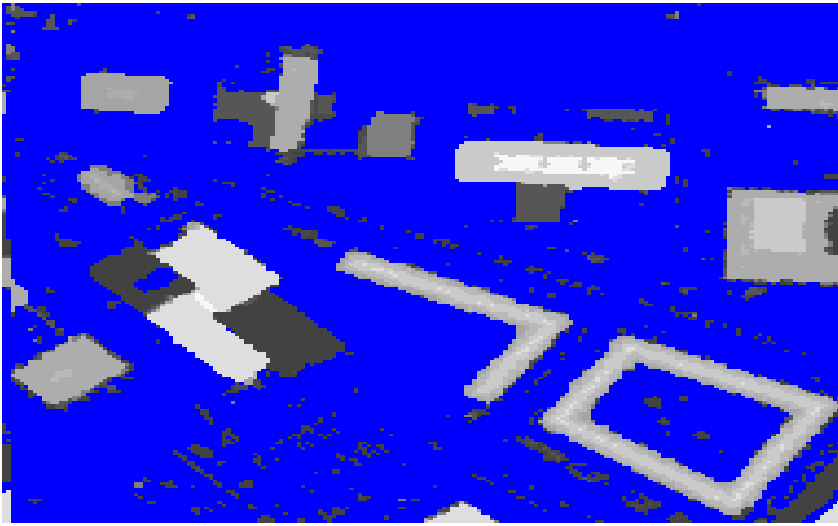


Fig. 2 Matriz de elevação dos objetos acima do nível do terreno

Nem todas as elevações obtidas correspondem a construções, pois outros objetos também são capazes de refletir o feixe laser. Alguns objetos, como por exemplo alguns tipos de vegetação, podem ser eliminados usando o último eco do laser. No entanto é impossível eliminar por completo os objetos não desejados e ficar apenas com as construções. Uma análise da variação das alturas no conjunto de dados deve ser feita para identificar prováveis construções, levando em consideração a geometria mínima de uma residência ou prédio comercial (Centeno et al., 1998).

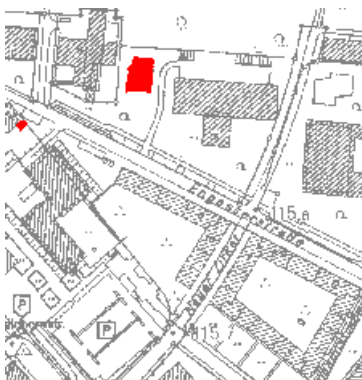
A partir dos dados do laser scanner de uma região urbana, os valores dos pixels podem ser separados em pixel "baixos" ou aqueles que não tem a altura mínima para corresponder a um prédio, e os "altos", ou seja aqueles com altura suficiente para poder desconfiar da existência de uma construção. A figura 3 mostra um exemplo deste tipo de análise. As áreas azuis correspondem a pixels muito baixos. Os valores dos níveis de cinza foram reduzidos a 16 níveis para facilitar sua visualização.



**Fig. 3** Dados do laser scanner classificados segundo a altura dos objetos

Os pixels considerados com altura suficiente para ser parte de construções foram agrupados em regiões conexas através da análise dos componentes conexos (Haralick e Shapiro, 1997). As regiões extremamente pequenas foram eliminadas através de um limiar de área e o resultado comparado com um banco de dados dos contornos dos prédios.

## 5 Resultados



**Fig. 4** Discrepância entre os levantamentos existentes e os dados do laser scanner. Áreas vermelhas mostram possíveis novas construções.

A comparação revelou situações onde eventuais alterações da área construída poderiam ser verificadas, como é mostrado na figura 4. O trabalho de verificação tornou-se muito mais simplificado, visto que uma quantidade menor de locais teve que ser visitada. Uma grande quantidade de prédios pode ser descartada, prédios onde não foram detectadas prováveis alterações da área construída.

A figura 4 mostra duas situações típicas. Na primeira nota-se uma região grande que poderia ser uma nova construção. A Segunda, menor, mostra uma pequena área adjacente a um prédio existente, que poderia ser uma ampliação do mesmo.

Uma visita a estes locais possibilitou verificar a existência de uma nova construção no primeiro caso. O prédio pode ser visto na figura 5. Já no segundo caso, a suspeita não foi confirmada, pois a região delimitada nos dados do laser scanner corresponde a uma árvore muito densa, que não foi penetrada pelo feixe em nenhum ponto e por conseguinte aparenta uma área sólida e compacta nos dados captados (figura 6).



**Fig. 5** Prédio identificado nos dados do laser scanner.

O erro que pode ser visto na figura 6 é originado nas hipóteses assumidas para a identificação dos objetos, pois é considerado que a altura e a projeção no chão dos objetos é suficiente para caracterizar uma construção. A ocorrência de vegetação mais densa, ou outros objetos diferentes, como por exemplo containers ou caminhões, pode levar a conclusões erradas, se são considerados apenas estes dois critérios. Uma análise mais criteriosa deve ser realizada, por exemplo através da inclusão de imagens aéreas ou de satélite de alta resolução, que poderiam contribuir com outro tipo de informação. Esta informação pode ajudar identificar a vegetação e com

isto reduzir a taxa de erros.



**Fig. 6** Exemplo de erro na identificação de prédios.

## 6 Conclusões

O estudo conduzido mostra a viabilidade do uso de dados laser scanner para o monitoramento urbano. No presente artigo foram apresentados alguns conceitos básicos da tecnologia por trás de laser scanner e um exemplo de aplicação destas imagens para a identificação de prováveis construções novas, aquelas que não constam no banco de dados disponível pelo planejador. O resultado obtido é um mapa temático, que pode ser superposto a um mapa convencional para apontar os locais suspeitos que devem ser verificados em campo. Este produto torna-se uma ferramenta útil para os profissionais encarregados do planejamento e controle do desenvolvimento urbano, pois facilita a tarefa ao descartar muitos prédios aparentemente regulares. Os resultados apresentados neste artigo podem ser estendidos a áreas maiores. A vantagem do método é a facilidade alcançada através do processamento digital.

A natureza dos dados captados usando este sistema é diferente dos métodos tradicionalmente utilizados em sensoriamento remoto e por conseguinte torna-se uma ferramenta complementar muito e significativa. A possibilidade de combinar laser scanner com imagens de sensores de alta resolução ganha neste contexto grande importância e pode ser apontada como uma alternativa viável e promissora.

Existe ainda a possibilidade, não explorada neste artigo, de analisar a altura de cada construção a partir da grade de elevação dos objetos acima do terreno. Como um novo pavimento é significa um incremento na altura em torno de 2 a 3 metros, sua verificação é viável. Este tipo de estudo não foi efetuado aqui, mas é um dos objetivos do grupo envolvido na pesquisa.

## 7 Referências Bibliográficas

Bähr, H.-P. and Vögtle, T. (1998). *Digitale Bildverarbeitung*. Wichmann Verlag. Heidelberg.

Centeno, J.S.; Bähr, H.-P.; Kishi, R.T.: *Uso Integrado de Mapas e Dados de Laser Scanner para o Reconhecimento Automático de áreas Construídas*. 3º COBRAC, Florianópolis outubro, 1998.

Haala, N. e Brenner, C. (1999). *Extraction of buildings and trees in urban environments*, *Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing* (54)2-3 pp. 130-137.

Haralick, R. e Shapiro, L. : *Computer and Robot Vision*. Vol.1, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1997.

Steinle, E. e Bähr, H.-P. (1999). *Laserscanning for change detection in urban environment*. In: Altan & Gründig (eds.): *Third Turkish-German Joint Geodetic Days "Towards A Digital Age"*, Volume I, pp 147 - 156, Istanbul, Turquia.

UN (1992). *Implementation of the Habitat Agenda: Guide for local authorities and their associations*. United Nations Centre for Human Settlements (Habitat). World Association of Cities and Local Authorities Coordination (WACLAC).

Von Hansen, W. e Vögtle, T. (1991) *Extraktion der Geländeoberfläche aus flugzeuggetragenen Laserscanner-Aufnahmen*.

Wehr, A. e Lohr, U. (1999). *Airborne laser scanning---an introduction and overview*, *Isprs Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing* (54)2-3 pp. 68-82.