

Perfilamento a LASER para detecção de construções clandestinas e determinação de altura de edificações.

Denise Rodbard Falat

ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A.
Rua Dr. Reynaldo Machado, 1151
80215-010 Curitiba – Paraná – Brasil
fone +55 41 3271-6000 – fax + 55 41 3332-3273
<http://www.esteio.com.br> – e-mail : info@esteio.com.br

RESUMO

Os Modelos de Elevação derivados de um perfilamento a LASER têm inúmeras aplicações. Uma delas é definição de volumes urbanos. Com estes volumes urbanos referenciados espacialmente e combinados com outros produtos cartográficos é possível a redução da intervenção humana na captação dos dados necessários para localização de construções clandestinas e determinação de altura de edificações. Como consequência, o direcionamento de investigações de campo fica facilitado e dirigido, possibilitando a obtenção de resultados mais rápidos e mais completos.

Palavras-chave: Volume Urbano, Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital de Terreno (MDT).

ABSTRACT

The Digital Elevation Models LASER scanning have countless applications. One of them is the definition of urban volumes. With these volumes spatially referenced and combined with other cartographic products it is possible to reduce the human intervention in the reception of necessary data for location of illegal constructions and determination of height of constructions. As consequence, the direction of field investigations is facilitated and driven, facilitating the obtaining of faster and more complete results.

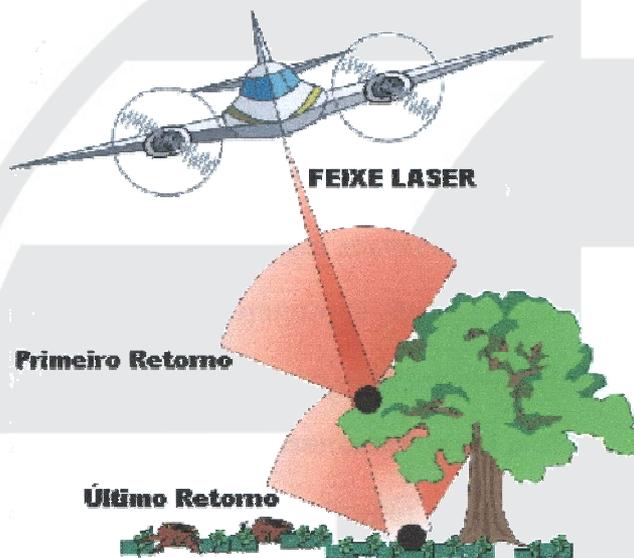
1 INTRODUÇÃO

Perfilamento a LASER é uma tecnologia relativamente nova no meio cartográfico, que possibilita a obtenção de informações altimétricas da cena, permitindo o reconhecimento de volumes que se projetam acima da superfície, como edificações, vegetação, torres, linhas de transmissão, etc.

Este sistema de sensoriamento remoto ativo utiliza plataformas aéreas (aeronave, helicópteros) para obter dados a respeito da altura dos objetos e da superfície do terreno utilizando feixes de LASER (LASER–Light Amplification by Stimulated Emission of Radiance).

As experiências iniciais com esta metodologia datam de 1993, realizadas por um grupo de pesquisa alemão da *Deutsche Forschungsgemeinschaft* que mais tarde, levaram à

criação da *TopScan GmbH*. Em conjunto com a empresa canadense *Optech Inc.*, a *TopScan GmbH* desenvolveu um método de Perfilamento a LASER considerado como o primeiro projeto demonstrativo da técnica. (WEVER *et al.*, 1999).



FONTE: Adaptado de IPF/TU, Viena (2003) por BRANDALIZE, M. C (2004)

FIG 1- Reflexão do primeiro e ultimo retorno

O princípio básico de funcionamento deste sistema é a obtenção de registros contínuos de coordenadas espaciais, as quais constituem os elementos primários para modelagem do terreno e geração de um mapa topográfico derivado destas informações.

Durante o levantamento, o sistema emite pulsos LASER em determinada frequência, que são dirigidos para o solo por meio de um conjunto ótico móvel. O sistema faz uma varredura da superfície do terreno abaixo da aeronave e registra a distância até o solo para cada um dos pulsos emitidos, sendo registrada também a posição inercial do conjunto, de modo a conhecer a inclinação de cada feixe em relação à vertical do lugar. Estes sistemas dependem basicamente da detecção de luz refletida em uma superfície natural ou artificial.

Uma das principais características do sistema é a medição do primeiro e do último retorno de cada pulso, além da detecção de reflexões múltiplas oriundas de objetos pequenos como fios e cabos suspensos acima do solo. Um mesmo pulso pode atingir vários objetos em seu trajeto até a superfície levantada. Sendo assim, o ponto mais próximo ocasionará um retorno mais rápido (first pulse). Já o ponto mais distante ocasionará um retorno mais demorado (last pulse) (fig.1).

Esta característica permite que se faça a distinção de objetos acima do solo, resultando na obtenção de dois produtos distintos: o Modelo Digital da Superfície (MDS) (fig.02), caracterizado pelo primeiro retorno e o Modelo Digital de Terreno (MDT) (fig 03), caracterizado pelo último retorno classificado.

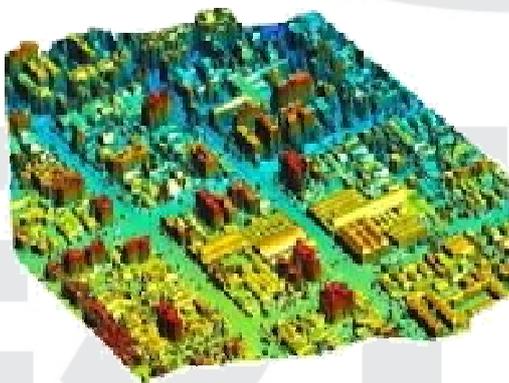


FIG. 02- Modelo Digital da Superfície - MDS

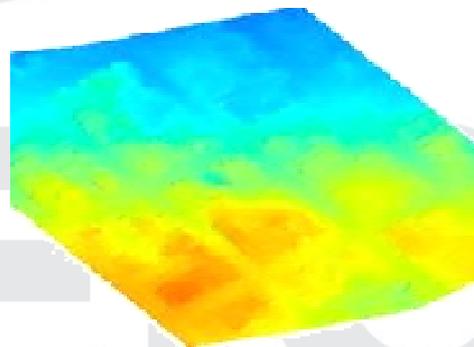


FIG. 03- Modelo Digital do Terreno - MDT

O primeiro objetivo para o uso do Perfilamento a LASER foi o mapeamento de áreas de vegetação. Uma segunda aplicação proposta para este sistema foi o mapeamento de áreas onde a Fotogrametria não era apropriada por não oferecer o contraste e textura necessárias, como por exemplo, em regiões costeiras contendo largas faixas de areia.

No entanto, com a difusão desta nova tecnologia em vários países, a aplicação inicialmente prevista para os dados LASER, hoje está bem diversificada. Uma delas é definição de volumes urbanos. Estes volumes, que compõem o MDS, podem ser facilmente distinguidos em um perfilamento a LASER com uso de algoritmos desenvolvidos para este fim, sem determinar um acréscimo significativo de tempo ou custo. A sua utilização, combinada com outros produtos cartográficos, possibilita a determinação de altura de edificações e localização de construções clandestinas.

Neste trabalho são apresentadas três aplicações práticas no âmbito municipal.

2 APLICAÇÃO: DEFINIÇÃO DE VOLUMES URBANOS

Conhecer a tendência de ocupação do processo de urbanização da cidade, quanto ao volume, densidade e qualidade do urbanismo, de modo a programar a expansão dos limites da área urbana e o planejamento da ocupação de novas áreas urbanizáveis é uma das necessidades da administração municipal.

O cadastro também tem fornecido as informações para subsidiar a administração municipal, porém a identificação de edificações clandestinas para manutenção do cadastro imobiliário, bem como a regularização e tributação, é imprescindível à gestão municipal apropriada. Para a identificação destas edificações, tradicionalmente, são realizadas investigações em campo, o que dispendem custo e tempo.

Aplicando a nova tecnologia, com a definição dos volumes urbanos derivados de um perfilamento a LASER, combinados com outros produtos cartográficos é possível a redução da intervenção humana na captação dos dados necessários para localização de construções clandestinas e determinação de altura de edificações. Como consequência, o direcionamento de investigações em campo fica facilitado e dirigido, possibilitando a obtenção de resultados mais rápidos e mais completos.

Para subsidiar a administração municipal, os volumes urbanos podem ser aplicados também na simulação de áreas de inundação, no cálculo de volumes de feições artificiais, no estudo de propagação de ruídos e poluentes, entre outros.

2.1 Prefeitura Municipal de Ibitaré

No Município de Ibitaré, situado na região metropolitana de Belo Horizonte/ MG, com aproximadamente 40 km² de área urbana, foi desenvolvido e implantado o Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os levantamentos aerofotogramétrico e LASER, para geração da base cartográfica foram realizados no período de 2003 a 2004.

2.1.1 Necessidade

Uma das necessidades do Município de Ibirité era a detecção de ampliações verticais clandestinas para fins de atualização cadastral. Neste Município as ampliações verticais são propiciadas pela acentuada declividade da região que favorece a construção de edificações “incrustadas” ou de edificações térreas com o aproveitamento parcial do “porão” muitas vezes formado naturalmente pela configuração do relevo.

Para atender a esta necessidade foi desenvolvida metodologia utilizando produtos combinados, originados da restituição aerofotogramétrica, dos dados LASER e das informações cadastrais. A integração de dados foi realizada com ferramenta SIG.

2.1.2 Dados disponíveis

- Perfilamento a LASER: MDT e MDS;
- Documentos cartográficos: Restituição Digital na escala 1:2.000, com a representação de todas as feições compatíveis com a escala da representação, armazenadas em *layers* distintos;
- Documentos Cadastrais: Plantas Cadastrais e Banco de Dados, disponibilizados pela Prefeitura.

2.1.3 Etapas desenvolvidas:

Para a determinação das alturas das edificações e apresentação dos resultados, foram desenvolvidas as seguintes etapas:

- Seleção do *layer* EDIFICAÇÃO;
- Geração de *grid* regular para uniformização do MDT;
- Determinação da altitude do MDT (H MDT) na área da edificação;
- Seleção dos pontos do MDS internos às edificações;
- Determinação da altitude do MDS (H MDS) selecionado;
- Determinação da altura da edificação ($h = H \text{ MDS} - H \text{ MDT}$);
- Determinação do número de pavimentos;
- Espacialização dos resultados utilizando ferramenta SIG.

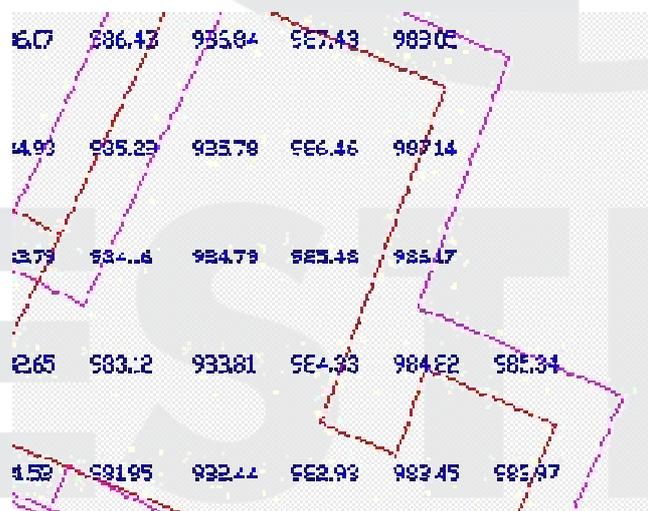


FIG. 4 – Polígono da edificação em vermelho, *offset* externo em rosa e pontos do MDT.

Após a extração dos polígonos das edificações da base cartográfica na escala 1:2.000, foi gerado *grid* regular a partir dos pontos classificados como MDT. Foi definido o espaçamento do *grid* igual a 2m para uniformização do modelo, de forma a garantir a existência de pontos no interior da edificação. Como o objetivo do trabalho era evidenciar as alturas das edificações, foi gerado *offset* externo aos polígonos das edificações, com largura de 1m, (fig. 4) e selecionado o ponto de menor altitude no interior do novo polígono.

Em seguida, foram selecionados os pontos do MDS internos ao polígono do lote, que correspondem aos pontos refletidos do telhado (fig.5). Para evitar que pontos refletidos das paredes externas da edificação, devido à inclinação do feixe LASER ou que pontos refletidos do solo, na projeção do beiral, fizessem erroneamente parte da amostra, foi gerado *offset* interno ao polígono da edificação com largura de 1m, correspondente ao beiral e descartados os pontos situados nesta área (fig.6). Foi determinada a altitude da edificação (altitude do MDS) resultante de análise estatística na amostra.

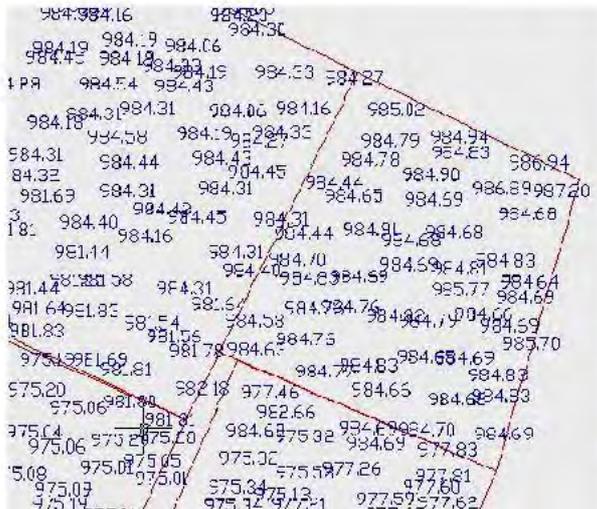


FIG. 5 - Pontos do MDS internos aos polígonos das edificações



FIG. 6 - Pontos do MDS considerados na determinação da altura da edificação

2.1.4 Particularidades

Com base nas características predominantes das edificações do bairro Piratininga, baixas e com coberturas com pouco desnível, foi estabelecido que a altura de um pavimento corresponde a 3m. Na prática, como as características das edificações variam de um bairro para outro, o usuário pode indicar a altura do pavimento adequada à região de interesse para o cálculo do número de pavimentos.

As edificações com área inferior a 4m² foram desconsideradas por não configurarem uma moradia.

2.1.5 Apresentação dos Resultados

As alturas resultantes da diferença entre os modelos da superfície e do terreno foram representadas no centróide do polígono de cada edificação (fig. 7) e em tabelas relacionando a posição dos centróides, definidos pelas coordenadas E e N, com as respectivas alturas média e mediana.

Utilizando ferramenta SIG, foram especializadas as edificações, classificadas pelo número de pavimentos (fig 8).

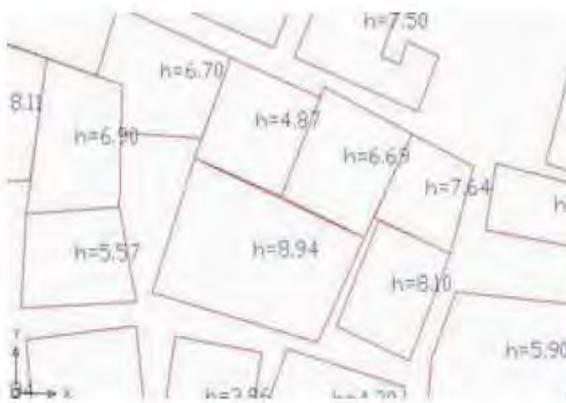


FIG. 7 - Polígono das Edificações com altura resultante (metros).

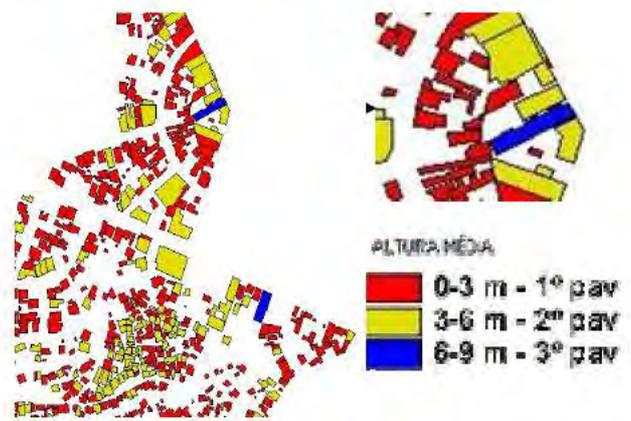


FIG. 8 - Espacialização dos Resultados.

2.2 Prefeitura Municipal de Santa Luzia

No período abril de 2004 até março de 2005, no Município de Santa Luzia, próximo a Belo Horizonte/MG, com aproximadamente 56 km² de área urbana, foram realizados levantamentos aerofotogramétrico na escala 1:8.000 e perfilamento a LASER para geração de plantas e ortofotocartas digitais, na escala 1:2.000.

2.2.1 Necessidade

Uma das necessidades da Prefeitura de Santa Luzia era a determinação das alturas das edificações para futura utilização em SIG.

2.2.2 Dados Disponíveis

- Perfilamento a LASER: MDT e MDS;
- Documentos cartográficos: Restituição Digital na escala 1:2.000, com todas as feições compatíveis com a escala de representação, armazenadas em *layers* distintos.

2.2.3 Etapas Desenvolvidas

Foram desenvolvidas as mesmas etapas apresentadas no item 2.1.3, exceto a espacialização dos resultados devido aos dados cadastrais não terem sido disponibilizados para esta etapa.

2.2.4 Particularidades

Como em Santa Luzia o objetivo era a determinação das alturas das edificações de forma mais abrangente, sem evidenciar ampliações verticais clandestinas, para o cálculo da altura foi considerado o valor da altitude média do MDT, em torno da edificação, diferindo do procedimento adotado em Ibitaré, onde foi selecionado o ponto de menor altitude do MDT.

Para esclarecimento de dúvidas apresentadas pela Prefeitura, quanto à altura de algumas edificações, foram gerados os perfis das mesmas para análise da situação e comprovação dos resultados. Os perfis dos pontos que compõem o MDS são gerados automaticamente por programas desenvolvidos para este fim, sendo necessário apenas a definição do alinhamento de interesse, por parte do operador. Este alinhamento pode ser definido no eixo longitudinal ou transversal da edificação, em qualquer uma de suas faces ou em outro local que permita a visualização da área de interesse.

O programa utilizado classifica primeiro a superfície do chão, representada na cor laranja, em seguida classifica as edificações, representadas em vermelho e o restante é classificado como vegetação (fig 9). As cores são arbitradas pelo operador.

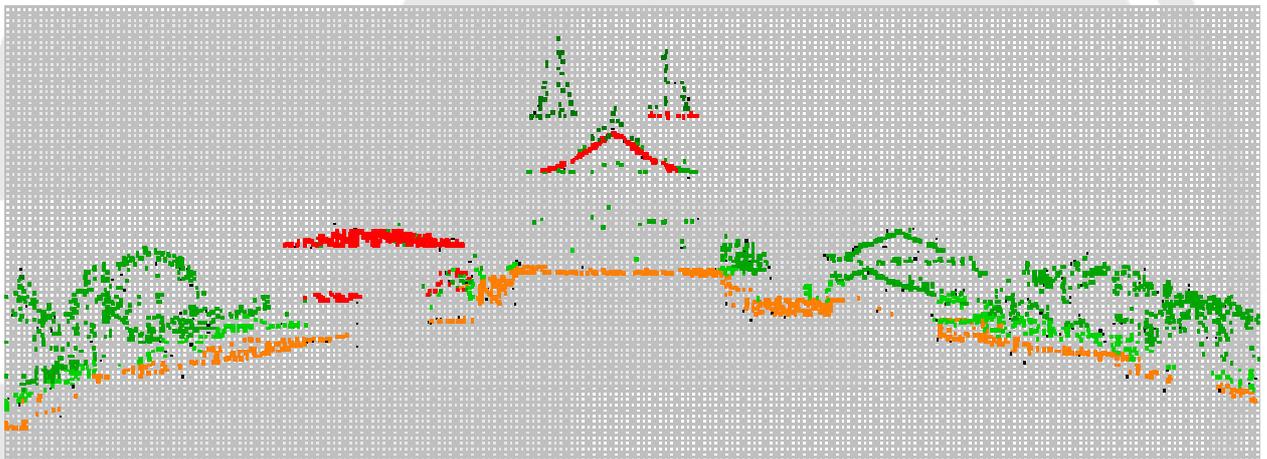


FIG. 9 - Perfil da Igreja de Santa Luzia e adjacências

Na prática observa-se que a eficiência da primeira classificação, o chão, é de aprox. 90%.

Nas demais classificações automáticas a eficiência cai para aproximadamente 70%. Para melhorar os resultados é necessária a edição manual dos pontos.

Outra fonte de esclarecimento de dúvidas é a representação tridimensional dos pontos do MDS (fig. 10). A classificação dos pontos, nesta forma de apresentação, também é automática, porém subclasses de vegetação podem ser definidas pelo operador em função da altura da mesma, como por exemplo:

- Vegetação baixa: de 0 a 1m
- Vegetação média: de 1 a 5 m
- Vegetação alta: maior que 5m

Cada subclasse pode ser representada com diferente tonalidade.

As áreas da imagem não representadas por cor referem-se às sombras LASER, caracterizadas pela ausência de pontos.

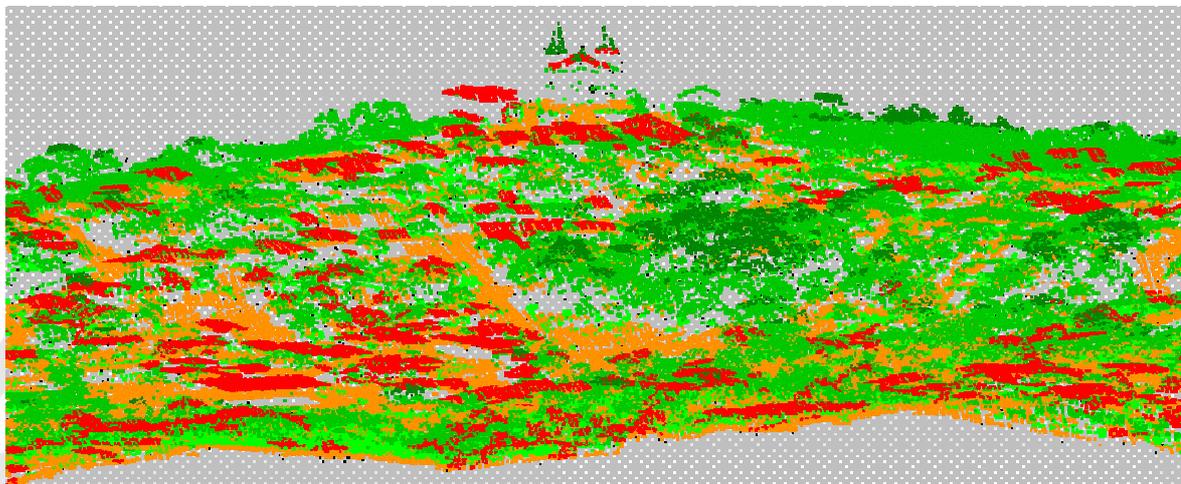


FIG.10 - Imagem tridimensional gerada a partir dos pontos do MDS

2.3 Prefeitura Municipal de Uberlândia

No Município de Uberlândia, situado no Triângulo Mineiro, com aproximadamente 219 km² de área urbana, foi desenvolvido e implantado Sistema de Informação Geográfica (SIG). Os levantamentos aerofotogramétrico e LASER, para geração da base cartográfica foram realizados no período de 2004 a março de 2005.

2.3.1 *Necessidade*

Uma das necessidades da Prefeitura era a detecção de edificações clandestinas a partir da classificação cadastral do lote, predial ou territorial, utilizando ferramenta SIG para otimização das investigações em campo.

2.3.2 *Dados disponíveis*

- Perfilamento a LASER: MDT e MDS;
- Documentos cartográficos: restituição digital simplificada, na escala 1:2.000. Em 95% da área não foram restituídas as edificações.
- Documentos Cadastrais: Plantas Cadastrais e Banco de Dados, disponibilizados pela Prefeitura.

2.3.3 *Etapas desenvolvidas*

A partir das informações cadastrais disponibilizadas pela Prefeitura quanto à área predial do lote, foram identificados e espacializados os lotes prediais, com área cadastral maior que zero e os lotes territoriais, com área cadastral igual a zero. A figura 11 apresenta em vermelho os lotes territoriais e em azul os lotes prediais, classificados no SIG.

Diante da existência de dados LASER, foram testadas combinações de métodos para a identificação dos lotes prediais e territoriais.

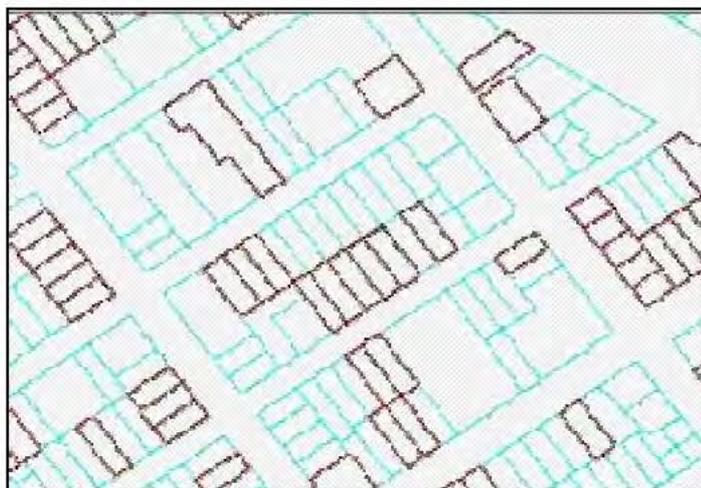


FIG.11 – Lotes Prediais X Territoriais

Para a identificação de edificações internas aos polígonos dos lotes, foram desenvolvidas as seguintes etapas:

- Seleção do *Layer* LOTE;
- Geração de *grid* regular para uniformização do MDT;
- Determinação da altitude do MDT (H MDT) na área do LOTE;
- Seleção dos pontos do MDS internos aos LOTES;
- Determinação da altitude do MDS (H MDS) no LOTE selecionado;
- Determinação da altura do LOTE ($h = H \text{ MDS} - H \text{ MDT}$);

Devido às características das edificações da região, foi estabelecido que a altura média de uma edificação térrea corresponde a 4m. Portanto, os lotes com altura de até 4m foram considerados como territoriais. As alturas inferiores a 4m correspondem às alturas das vegetações internas aos lotes.

Considerando a grande variação do valor da altura de um lote para outro, foram determinadas classes de altura representadas por cores. Além da representação por classe, a altura de cada lote está armazenada em tabelas e pode ser facilmente resgatada.

A figura 12 apresenta os lotes cadastrados como territoriais, com as respectivas classes de altura, obtidas pelos dados LASER. Os lotes que não possuem o código de cor correspondem aos lotes prediais, classificados com base nas informações cadastrais.



FIG.12 – Associação das informações Cadastrais e LASER

2.3.4 Comparação resultados SIG com resultados LASER

Os lotes classificados como territoriais, pelos dois métodos, foram comparados com a ortofotocarta. As imagens confirmam os resultados obtidos pelo LASER.

A figura 13 apresenta lotes classificados como territoriais pelo cadastro, com as respectivas classificações de altura definidas pelos dados LASER, representadas por cores.

Os lotes em sépia, são classificados como territoriais (altura até 4m). Os lotes representados pelas demais cores são classificados como prediais (altura maior que 4m). A figura 14 confirma os resultados do LASER: os lotes que estavam indicados em sépia na figura 13 não possuem edificação e os lotes representados pelas demais cores, de fato possuem edificação.

Estas imagens, além de confirmarem o resultado do LASER, indicam a necessidade da atualização cadastral.

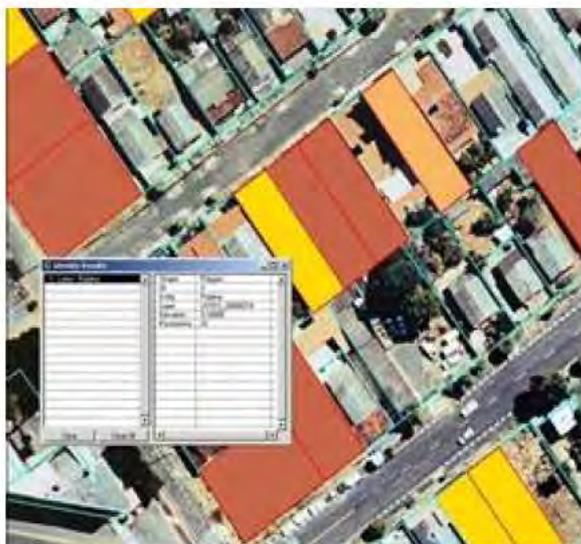


FIG.13 – Ortofotocarta com a associação das informações Cadastrais e LASER



FIG.14 – Indicação de Edificações detectadas pelo LASER em lotes cadastrados como territoriais

2.3.5 Outra necessidade: Esclarecimento de Dúvidas

Somente no Setor Central, correspondente a aproximadamente 5% da área urbana de Uberlândia, foram restituídas as edificações. Como a edificação é restituída pela projeção da cobertura, o valor da área do polígono corresponde à área da projeção.

Apesar dos valores das áreas da edificação, cadastral e calculada com base na restituição, estarem compatíveis com os métodos de obtenção, os valores divergentes geraram alguns questionamentos. Para exemplificar esta situação, é apresentado um caso em que o valor da área cadastral da edificação corresponde a 1.881,62 m² e o valor da área calculada corresponde a 290,64 m².

Para o esclarecimento deste tipo de dúvida foram determinadas as alturas das edificações, conforme as etapas desenvolvidas no item 2.1.3.

A altura determinada para a edificação foi de 20 m. Apesar do valor da altura de cada pavimento ser desconhecido, é possível constatar que este exemplo trata-se de um edifício, com aproximadamente 6,6 pavimentos. O número de pavimentos fracionado indica que a distribuição de área não é homogênea, podendo apresentar um pavimento térreo com área maior que a projeção da torre. Para a visualização da situação com maior detalhamento é recomendado a geração do perfil do edifício.

2.3.6 Sub-Produtos derivados do LASER

Outros produtos do perfilamento a LASER podem ser utilizados também para esclarecimentos de dúvidas, tais como:

- **Mapa de Intensidade:** Esta imagem é formada por uma matriz de pontos cujas posições são determinadas pelas suas coordenadas 2D geo-referenciadas (E,N). Em cada ponto é atribuído um valor de cor (normalmente numa escala de 256 tons de cinza) que corresponde à quantidade de luz LASER refletida por cada ponto amostrado sobre a superfície do terreno (BRANDALIZE, 2004). Esta imagem não substitui a foto, mas na falta desta pode auxiliar na interpretação das feições.
- **Mapa Hipsométrico:** A imagem hipsométrica tem como principal objetivo representar as diferenças altimétricas entre as feições.
- **Mapa de Composição:** É a fusão das imagens de intensidade e hipsométrica. Esta imagem é de visualização mais agradável que as imagens isoladas que a compõem, uma vez que os detalhes aparecem realçados.

3 OUTRA APLICAÇÃO: ATUALIZAÇÃO DE PLANTAS

A densificação urbana ocorre não só em áreas destinadas à expansão, como também em áreas centrais, porém nestas, em menor proporção. A simples comparação de imagens aéreas ou até mesmo de plantas planimétricas antigas, com imagens resultantes de perfilamento a LASER recente permite identificar áreas de atualização.

Se o objetivo do trabalho for de planejamento ou apoio à administração municipal, em que o rigor geométrico da edificação não é fundamental, a atualização das plantas poderá ser realizada a partir da vetorização das novas edificações registradas nas imagens resultantes do perfilamento a LASER. Evidentemente, para esta atualização, ambos os produtos devem estar referenciados ao mesmo Sistema Geográfico de Referências e no mesmo Sistema de Projeção.

As imagens apresentadas na figura 15 referem-se a uma ortofotocarta gerada em 1999, no bairro da Água Verde, em Curitiba e a uma imagem de Composição dos dados LASER, do mesmo local, obtidos em 2003. Pela comparação visual destas imagens constata-se a existência de duas novas expressivas edificações.

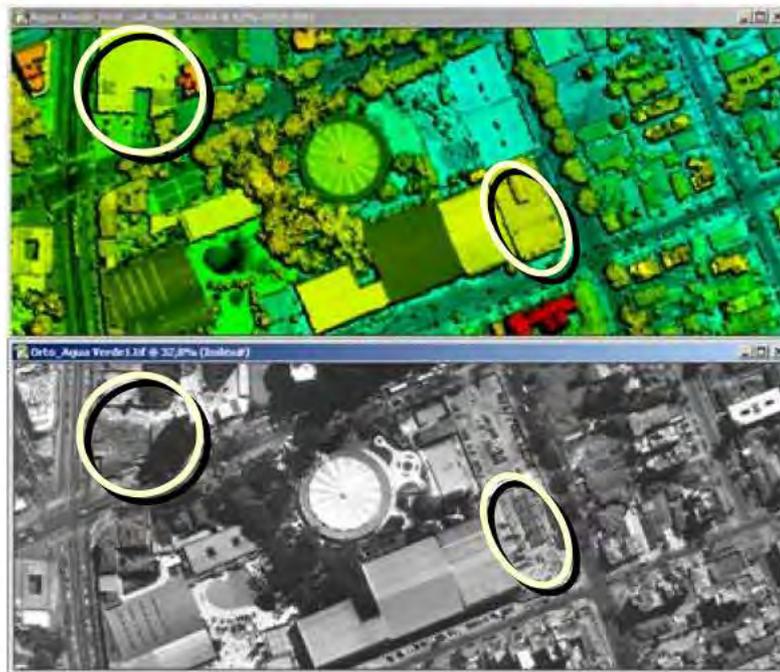


FIG.15 – Imagem LASER 2003 X Ortofotocarta 1999 com indicações de atualização

4 VANTAGENS DO MÉTODO

Em comparação com outros métodos de detecção de ampliações clandestinas, são apresentadas as seguintes vantagens:

- Rapidez na obtenção dos resultados dados altimétricos: Praticamente, os sistemas de Perfilamento a LASER operam em qualquer horário, diurno ou noturno. As únicas obstruções para o levantamento são físicas, como chuva ou nuvens entre o local perfilado e a aeronave. Os resultados altimétricos são obtidos de forma mais rápida e precisa em relação ao método aerofotogramétrico convencional, pois é possível eliminar as atividades de voo fotogramétrico, apoio de campo, aerotriangulação e restituição altimétrica, nos casos em que o interesse do levantamento for apenas altimétrico.
- Resultados altimétricos mais completos: A quantidade de pontos que configura os volumes é significativamente maior que a quantidade de pontos altimétricos restituídos. Usualmente, para determinar a altura de uma edificação, o fotogrametrista registra apenas um ponto no topo do telhado. São registrados mais de um ponto nas coberturas com mais de um nível.
- Menor intervenção humana: Além do menor tempo de execução, erros de interpretação, por parte do operador, são inexistentes.
- Esclarecimento de dúvidas facilitado: Os pontos dos modelos digitais do terreno ou da superfície podem ser facilmente analisados mediante a indicação da coordenada de interesse ou mediante a geração do perfil.
- Detecção dos volumes urbanos parcialmente automatizada: Em comparação com outros métodos de detecção de edificações clandestinas, em que é necessária a investigação em campo por área geográfica de atuação, percorrendo os endereços

de forma incerta ou em que a planta cadastral é comparada visualmente com uma imagem fotográfica para identificação de edificações, a utilização deste método combinado permite o direcionamento das investigações em campo de forma semi-automatizada.

- Redução de custos do cadastro: Como consequência do direcionamento das investigações, o custo com equipes de fiscalização em campo, veículos, uso de equipamentos para medição e registro dos dados é reduzido, comparado com o método tradicional.

5 LIMITAÇÕES

A determinação das alturas dos lotes e das edificações é dificultada com a existência de vegetação densa encobrindo as áreas de interesse, principalmente quando o objetivo é a identificação de edificações clandestinas. Lotes em que a altura da vegetação é equivalente ou maior que a altura de uma edificação podem ser mal classificados.

Embora a classificação automática dos pontos do MDS, com distinção de pontos sobre edificações e sobre vegetação já tenha sido realizada com algoritmos de filtragem, uma pequena parte dos pontos não é classificada corretamente pelo filtro.

Para evitar estas situações de dúvidas é necessário:

- Maior intervenção humana para edição manual de pontos discrepantes com a utilização de estereoscópio, caso existam fotos.
- Análise morfológica da configuração do conjunto de pontos para distinguir a vegetação.

6 RECOMENDAÇÕES

A execução de um plano de vôo LASER varia de acordo com o objetivo do serviço. Além do tipo de terreno e do tipo e densidade da cobertura vegetal, para a definição de volumes urbanos devem ser levados em conta a densidade e o tipo das edificações.

Os seguintes parâmetros de varredura devem ser considerados para área urbana de média densidade:

Altura de vôo / ângulo de abertura:

- Tratamento dos resultados na escala 1:2.000: Altura de vôo até 1000m / ângulo de abertura do feixe LASER deve ser reduzido de 40° para 20°.
- Tratamento dos resultados na escala 1:1.000: Altura de vôo até 700m / ângulo de abertura do feixe LASER deve ser reduzido de 40° para 20°.
- Recobrimento das Faixas: 40%

Para área com volume urbano muito alto e denso, além da redução do ângulo de abertura é recomendada a varredura em dois sentidos transversais, norte-sul, seguido de leste-

oeste, de forma a garantir a inexistência de áreas de sombra LASER, apesar da quantidade de dados aumentar significativamente.

Para a determinação da altura das edificações é recomendado:

- Análise estatística dos pontos: a consideração do valor de maior altitude do MDS, interno ao polígono da edificação, para a determinação da altura das edificações pode resultar em erros. Apesar das coordenadas planimétricas de antenas e chaminés pertencerem ao polígono que define a edificação, as altitudes das mesmas não podem ser consideradas na amostra de pontos que configuram o telhado da edificação. Para a correta determinação da altura das edificações devem ser realizadas análises estatísticas apropriadas de forma a desconsiderar pontos discrepantes.

7 QUALIDADE DOS PRODUTOS LASER

Os fabricantes de sistemas de Perfilamento a LASER, especificamente do ALTM 2025, estabelecem como tolerâncias aceitáveis para a qualidade planimétrica dos pontos LASER, após processamento, valores na ordem de $1/1.000 \times H$ a $1/2.000 \times H$ onde H é a altura de vôo. Assim, a qualidade planimétrica esperada para uma altura de vôo de 750 m seria de 0,38 a 0,75 m e para uma altura de vôo de 1.200 m, seria de 0,60 a 1,20 m., sendo estes valores válidos para 68% (1σ) dos pontos testados. (BALTSAVIAS, 1999a)

Alguns fabricantes estabelecem que as condições de qualidade nominal para seus produtos são obtidas em condições normais de operação e para superfícies planas onde a reflexão do pulso LASER não é comprometida.

Estudo recente conclui que, na prática, a qualidade do perfilamento é influenciada por alguns fatores, tais como, tipo do relevo, tipo e densidade de vegetação e até época do ano. Contudo, BRANDALIZE (2004) afirma que os resultados do perfilamento laser aerotransportado atendem às especificações de qualidade cartográfica impostas pelo PEC (planimétrico e altimétrico).

8 CONCLUSÕES

A aplicação dos dados LASER, tanto na modelagem do terreno quanto na identificação e classificação de objetos, combinados com outros processos ou produtos cartográficos, permite que os resultados sejam obtidos com mais eficiência e rapidez.

Os dados LASER ainda têm um alto potencial a ser explorado, especialmente nos algoritmos de geração dos modelos digitais da superfície. Com futuros desenvolvimentos, espera-se que a identificação de edificações clandestinas, ora realizadas com produtos combinados, possam ser realizadas de forma independente da fotogrametria.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALTSAVIAS, Emanuel P., 1999a - *Airborne LASER Scanning: existing systems and firms and other resources* - ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, pp. 164-198

BORROUGH, P.A. 1986. "*Geographic Information Systems.*" Chap. 1 in *Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford: Oxford University Press.

BRANDALIZE, A. A., 2001- *Perfilamento a Laser: Comparação com métodos Fotogramétricos*. ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A

BRANDALIZE, M. C. B., *A qualidade cartográfica dos resultados do laserscanner aerotransportado*. Florianópolis: UFSC,2004.

CENTENO *et al.*, 1998. *Uso integrado de Mapas e Dados de Laser Scanner para o Reconhecimento Automático de Áreas Construídas*. IPF-Karlsruhe University

HAALA, N. and Brenner, C., 1999b - *Extraction of Buildings and Trees in Urban Environments* - ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54, pp. 130-137

WEVER, Christian & J. Lindemberger, 1999 - *Experience of 10 years of LASER Scanning* - Schriftenreihe des Institute für Photogrammetrie der Universität Stuttgart, pp. 125-132

ESTEIO