



AIRBORNE LASER SCANNING TO DETECT PIPELINE AREA INVASIONS

Falat. R. Denise¹, Sallem F. Silas²

Copyright 2009, Brazilian Petroleum, Gas and Biofuels Institute - IBP

This Technical Paper was prepared for presentation at the *Rio Pipeline Conference and Exposition 2009*, held between September, 22-24, 2009, in Rio de Janeiro. This Technical Paper was selected for presentation by the Technical Committee of the event according to the information contained in the abstract submitted by the author(s). The contents of the Technical Paper, as presented, were not reviewed by IBP. The organizers are not supposed to translate or correct the submitted papers. The material as it is presented, does not necessarily represent Brazilian Petroleum, Gas and Biofuels Institute' opinion, or that of its Members or Representatives. Authors consent to the publication of this Technical Paper in the *Rio Pipeline Conference Proceedings*.

Abstract

A ocupação da superfície, nas faixas de dutos, necessita de constante detalhamento e atualização. A velocidade das alterações nas áreas de vegetação e o crescimento irregular da urbanização colocam em evidência a necessidade de respostas rápidas para identificação de invasões e para a elaboração de relatórios técnicos que contenham elementos referenciados espacialmente. Neste contexto, este trabalho tem por objetivo identificar alterações na superfície utilizando dados derivados de perfilamentos com sensor LASER (LASER– Light Amplification by Stimulated Emission of Radiance) aerotransportado, realizados em épocas distintas em uma mesma faixa de estudo. Esta técnica vem sendo utilizada com êxito em inúmeras aplicações, porém na maioria delas são utilizados dados LASER combinados com produtos fotogramétricos digitais. Neste trabalho se propõe a identificação de alterações, na superfície de faixa de dutos, utilizando exclusivamente dados derivados de perfilamentos a LASER, realizados em épocas distintas. A partir do processamento das informações são gerados os MDS's (Modelo Digital da Superfície). A comparação automática entre os MDS's permite a identificação das alterações ocorridas entre os dois levantamentos. Com base na configuração das áreas alteradas espera-se distinguir os diversos tipos de alterações ocorridas, tais como: o surgimento de áreas edificadas, o avanço de vegetação sobre a faixa e de objetos. Para comprovação desta metodologia estão sendo utilizadas imagens fotográficas da região, obtidas por fotogrametria na mesma época dos perfilamentos a LASER.

1. Introduction

A ocupação da superfície necessita de constante detalhamento e atualização. A velocidade das alterações nas áreas de vegetação e o crescimento irregular da urbanização colocam em evidência a necessidade de respostas rápidas para identificação de invasões nas faixas de dutos, e para a elaboração de relatórios técnicos que contenham elementos referenciados espacialmente.

Neste contexto, este trabalho tem por objetivo identificar alterações na superfície utilizando dados derivados de perfilamentos com sensor LASER (LASER– Light Amplification by Stimulated Emission of Radiance) aerotransportado, realizados em épocas distintas, em duas áreas de estudo, uma no Terminal de Cabiúnas, em Macaé, no estado do Rio de Janeiro e outra no município Jeceaba, no estado de Minas Gerais, que abrange parcialmente uma faixa de dutos, além de outros elementos.

2. Referencial Teórico

2.1. Sistema de Perfilamento a LASER

Sistema de perfilamento a LASER (ALS - Airborne Laser Scanning) é um sistema de sensoriamento remoto ativo para obtenção de coordenadas tridimensionais de pontos sobre uma superfície. Durante o levantamento, o sistema emite pulsos LASER em determinada frequência, que são dirigidos para o solo por meio de um conjunto ótico móvel.

¹ Cartographic Engineer - ESTEIO

² Cartographic Engineer - ESTEIO

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, conforme o esquema de funcionamento apresentado na figura 1.

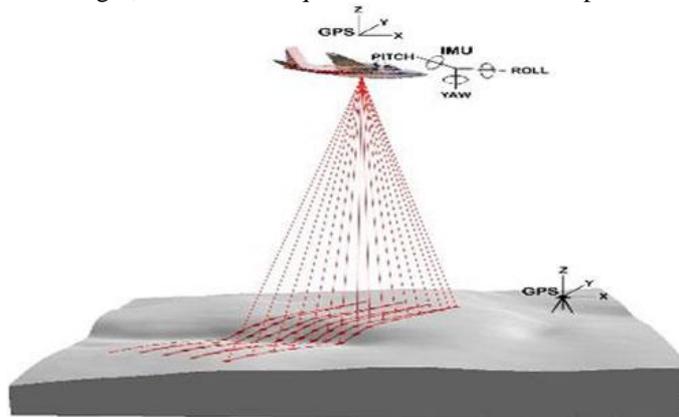


Figure 1. Esquema de Funcionamento

Brandalize, A. (2001) comenta que normalmente, o conjunto de pontos apresenta-se como uma nuvem cuja distribuição depende do padrão de varredura utilizado.

Outros sub-produtos derivados do perfilamento a LASER também podem ser obtidos, tais como:

- Imagem de Intensidade: Esta imagem é formada por uma matriz de pontos cujas posições são determinadas pelas suas coordenadas 2D georreferenciadas (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 para cada ponto amostrado sobre a superfície do terreno. Esta imagem não substitui a imagem fotográfica, mas pode auxiliar na interpretação das feições.
- Imagem Hipsométrica: A imagem hipsométrica tem como principal objetivo representar as diferenças altimétricas entre as feições, a partir de uma escala de cores correlacionadas às diferenças altimétricas.
- Imagem de Composição: É a fusão das imagens de intensidade e hipsométrica. Esta imagem permite a melhor identificação das feições do que as imagens isoladas que a compõem, uma vez que os detalhes aparecem realçados.

De acordo com Maas (2003), a precisão nominal do sistema é de cerca de 10 a 20 cm/EMQ (erro médio quadrático) para altimetria e o fator $h/2.000$ (onde h é a altura de voo em metros) para planimetria, ou seja, para altura de voo de 1.000 m, o EMQ para planimetria esperado é de 50 cm.

Atualmente, os fabricantes determinam uma qualidade planimétrica de $h/5.000$ até $h/10.000$, com o EMQ esperado entre 10 e 20 cm para a mesma altura de voo. Contudo, Sallem (2007) comenta que o mercado de LASER aerotransportado apresenta uma grande agilidade em suas inovações tecnológicas, aperfeiçoando cada vez mais a precisão e a capacidade de emissão de pulsos LASER.

2.2. Aplicações

“O primeiro objetivo para o uso do Perfilamento a LASER foi o mapeamento de áreas de vegetação” (Werner, 1999). 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 necessários, como por exemplo, em regiões costeiras contendo largas faixas de areia. Hoje o uso de sensores laser aerotransportados, para levantamentos de dados altimétricos, é voltado para as mais diversas aplicações e já está consolidado em todo o mundo.

Os dados LASER vem sendo utilizados principalmente na geração de Modelos Digitais da Superfície (MDS) ou Modelos Digitais de Elevação (MDE) e de Modelos Digitais do Terreno (MDT), componentes fundamentais na elaboração de projetos de engenharia, estudos de gerenciamento de risco, estudos florestais, cálculos de biomassa, e em levantamentos de corredores lineares, como faixas de domínio, entre outras.

Neste trabalho se propõe uma aplicação específica, a identificação de alterações na superfície do Terminal de Cabiúnas e em outra área com características rurais, utilizando exclusivamente dados derivados de perfilamentos a LASER, realizados em épocas distintas.

3. Terminal de Cabiúnas

Apresenta-se a seguir as características dos dados LASER referentes aos levantamentos realizados no Terminal de Cabiúnas em 2002 e em 2007, e as etapas desenvolvidas, até a identificação dos elementos que sofreram modificação por meio da comparação visual das imagens LASER, geradas a partir dos distintos modelos digitais. Em seguida são apresentados os perfis, que comprovam os resultados.

3.1. Características dos Dados Disponíveis

No levantamento de 2002, o modelo do sensor LASER utilizado foi o ALTM 2025, da empresa canadense Optech Inc.. No levantamento de 2007, o modelo do sensor LASER utilizado foi o ALS50-II, da empresa americana Leica Geosystems Inc.. A tabela 1 apresenta os parâmetros dos distintos levantamentos.

Table 1. Parâmetros dos levantamentos

Ano do Levantamento	Equipamento	Pontos / m ²	Largura da faixa (m)	Abertura do feixe LASER (°)	Altitude (m)
2002	ALTM 2025	0,35	950	30	1800
2007	ALS50-II	0,35	1900	36	3000

Em função da utilização de diferentes modelos de equipamentos, bem como dos planejamentos de voos terem características diferentes, a distribuição e a densidade das informações coletadas são distintas.

3.2. Processamento dos Dados

Os dados LASER resultantes do processamento realizado por um conjunto de programas e equipamentos que processam os dados brutos do LASER, do GPS e da medição do sistema inercial, podem ser classificados de acordo com a elevação, distinguindo os pontos situados sobre o terreno dos demais pontos, situados sobre objetos acima do terreno tais como vegetação e edificações.

Os pontos situados sobre o terreno compõem o Modelo Digital do Terreno (MDT) e a “nuvem de pontos” (*all points*) compõem o Modelo Digital da Superfície (MDS).

3.3. Identificação das alterações - Comparação visual de imagens LASER

A figura 2 apresenta uma imagem de composição tridimensional dos pontos LASER, que compõem o MDS, obtidos em 2002. A figura 3 apresenta também uma imagem de composição tridimensional dos pontos LASER, que compõem o MDS, obtidos em 2007.

A simples comparação visual das imagens LASER já permite a identificação de alterações significativas ocorridas entre os distintos levantamentos.

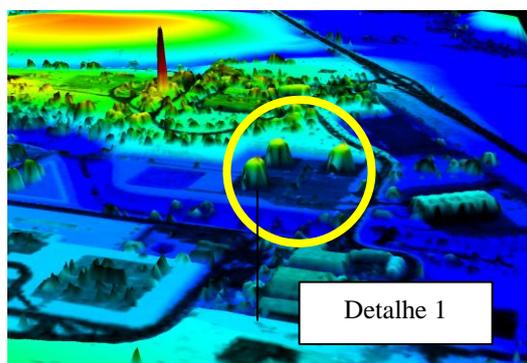


Figura 2. Imagem de Composição tridimensional obtida em 2002



Figura 3. Imagem de Composição tridimensional obtida em 2007

As figuras 4 e 5 apresentam detalhes das figuras 2 e 3, referentes aos levantamentos LASER de 2002 e 2007, respectivamente, que permitem a identificação de um novo elemento edificado.

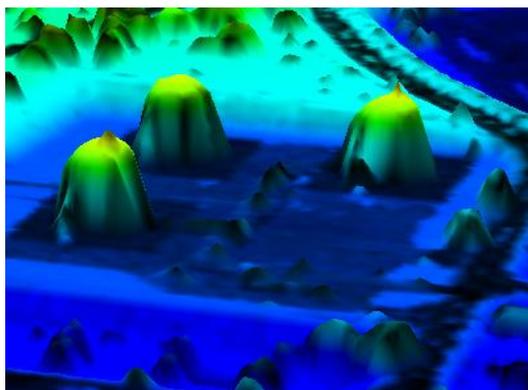


Figura 4. Detalhe 1 da imagem tridimensional LASER obtida em 2002

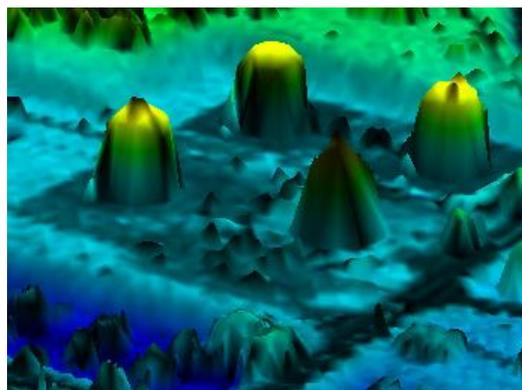


Figura 5. Detalhe 2 da imagem tridimensional LASER obtida em 2007

A figura 6 apresenta a imagem de composição bidimensional LASER de 2002, detalhe 1, e figura 7 apresenta a imagem fotográfica de 2007, que registra o novo elemento edificado, comprovando o resultado do perfilamento LASER.

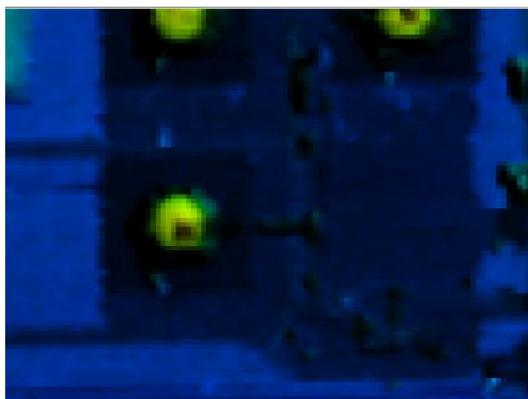


Figura 6. Imagem de composição LASER obtida em 2002 (Detalhe 1)



Figura 7. Imagem fotográfica obtida em 2007 (Detalhe 2)

3.4. Quantificação da alteração – Análise do Perfil

Um dos métodos para a determinação da variação de altura de um elemento de interesse consiste na subtração das coordenadas altimétricas de pontos dos distintos modelos digitais da superfície, planimetricamente coincidentes ou muito próximas.

A tabela 2 apresenta a coordenada altimétrica mediana dos pontos dos distintos modelos digitais da superfície, na área do elemento edificado, e o resultado da subtração:

Table 2. Determinação da variação altimétrica

Ano	H (m)
2007	27,501
2002	8,162
ΔH	19,33

Para a determinação da altitude mediana (H 2002 e H 2007) dos pontos situados na superfície do elemento edificado foi utilizado um algoritmo proprietário. A Determinação da variação altimétrica entre os levantamentos é resultante da subtração das altitudes médias ($\Delta H = H 2007 - H 2002$).

A ordem da diferença altimétrica obtida para o elemento edificado pode ser comprovada pela distância entre os perfis, obtida graficamente, conforme apresentado na figura 8. Os pontos LASER, referentes ao perfilamento realizado

em 2007 estão representados em branco e os pontos representados em magenta referem-se ao perfilamento realizado em 2002.

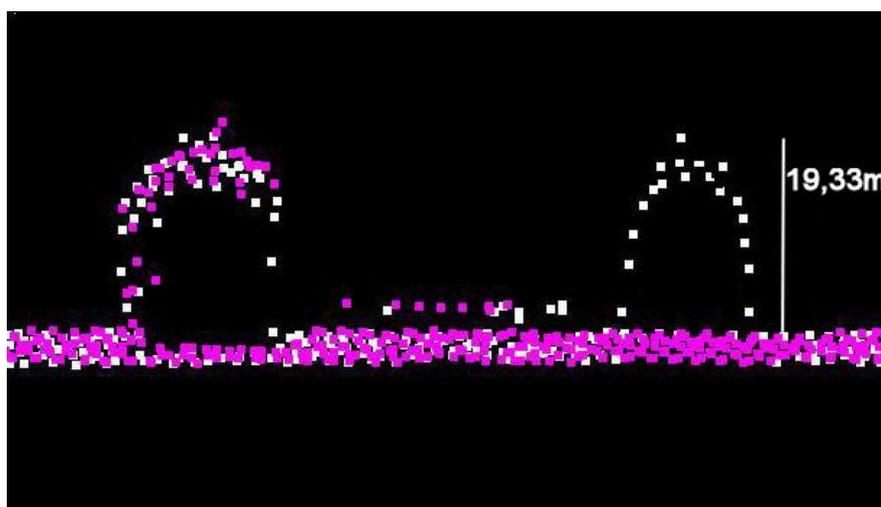


Figure 8. Diferença altimétrica obtida graficamente

4. Faixa de Dutos Localizada no Município de Jeceaba -MG

A identificação de alterações na superfície utilizando exclusivamente dados derivados de perfilamentos a LASER, realizados em 2007 e em 2008, em área de estudo no município mineiro de Jeceaba, foi realizada mediante a aplicação de outra metodologia.

Apresenta-se a seguir as características dos dados LASER referentes aos distintos levantamentos que recobrem, além de parte de uma faixa de dutos, uma área de terraplanagem para obra de engenharia

4.1. Características dos Dados Disponíveis

Em ambos os levantamentos o modelo do sensor LASER utilizado foi o ALS50-II. A tabela 3 apresenta os parâmetros dos distintos levantamentos.

Tabela 3: Parâmetros dos Levantamentos

Ano do Levantamento	Equipamento	Pontos / m ²	Largura da faixa (m)	Abertura do feixe LASER (°)	Altitude (m)
2007	ALS50-II	1,4	850	20	2300
2008	ALS50-II	1,2	850	30	1600

4.2. Processamento dos Dados

A classificação dos dados foi realizada conforme descrito no item 3.2, com a utilização de algoritmos comerciais de filtragem para a obtenção do MDS referente a cada levantamento.

4.3. Identificação das alterações - Comparação automática dos Modelos Digitais da Superfície

A identificação das alterações ocorridas entre os distintos levantamentos tornou-se possível mediante a comparação automática dos respectivos MDS's, utilizando algoritmo comercial.

A figura 9 apresenta o resultado obtido para a área de estudo, localizada no município de Jeceaba, com características rurais. Em vermelho são apresentadas as alterações "positivas" e em azul as alterações "negativas". As alterações positivas identificam as áreas onde ocorreu acréscimo de altitude. Da mesma forma, as alterações negativas

identificam as áreas onde ocorreu decréscimo de altitude, na mesma ordem, no período decorrido entre os distintos levantamentos. Como fundo é apresentada uma imagem fotográfica retificada, obtida em 2008.

O programa utilizado permite selecionar determinadas ordens de diferença altimétrica, em função das alterações que se pretende identificar no processo comparativo. Por exemplo, se o objetivo for identificar novas edificações, a seleção de diferenças altimétricas a partir de 2m é a mais adequada, considerando que a maioria das edificações apresenta altura superior a 2m.

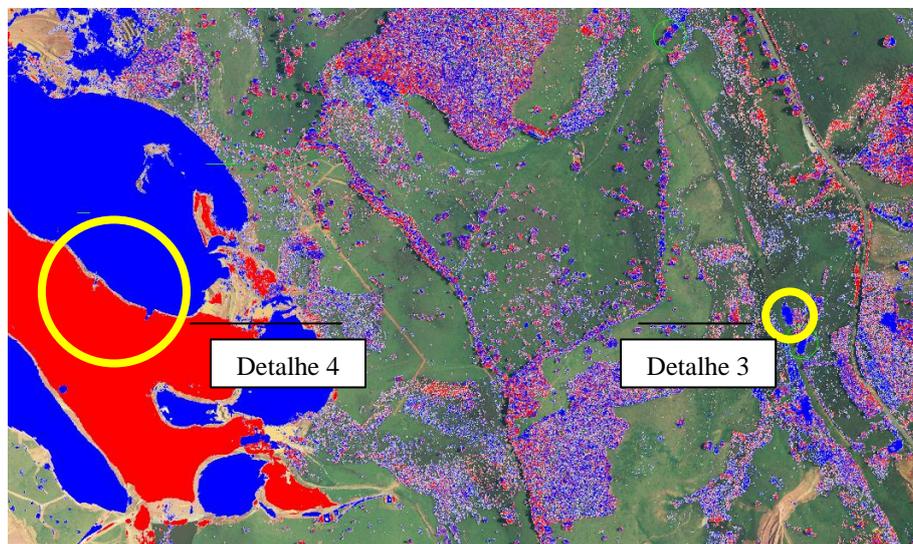


Figure 9. Diferenças altimétricas obtidas automaticamente

4.4. Análise e Comprovação dos Resultados

A figura 10 apresenta o detalhe 3, delimitado na figura 9, que mostra alterações “negativas” da superfície. A figura 11 apresenta os perfis do detalhe selecionado, referentes aos levantamentos de 2007, em branco, e de 2008, em laranja, respectivamente.

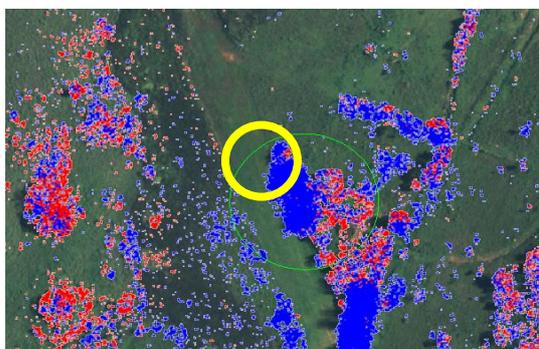


Figura 10. Detalhe 3, indicando alterações “negativas” na superfície.

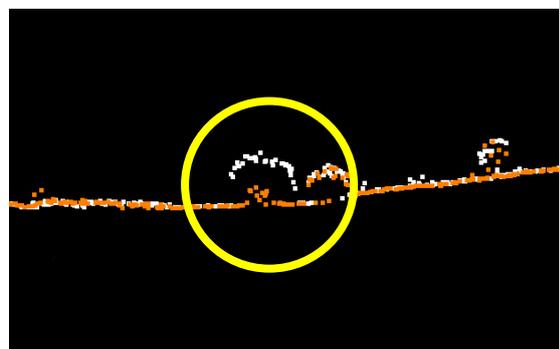


Figura 11. Perfis do detalhe 3.

Os resultados do processamento automático indicam que no detalhe 3, localizado na lateral direita da faixa de duto registrada na imagem, ocorreu a poda ou a remoção da vegetação, considerando que a cor azul representa o decréscimo da altitude. Os perfis apresentados na figura 11 comprovam a alteração da superfície no detalhe selecionado, onde os pontos do levantamento de 2008, em laranja, apresentam altitudes inferiores que os pontos levantados em 2007, em branco. Os resultados indicam também a inexistência de alteração altimétrica no trecho da faixa de duto, entre os períodos analisados, o que indica a realização da manutenção da faixa.

A figura 12 apresenta o detalhe 4, identificado na figura 9. A figura 13 apresenta os perfis do Detalhe 4, referentes aos levantamentos de 2007, em branco, e de 2008, em laranja, respectivamente, comprovando os resultados obtidos quanto às alterações na superfície da área de estudo.

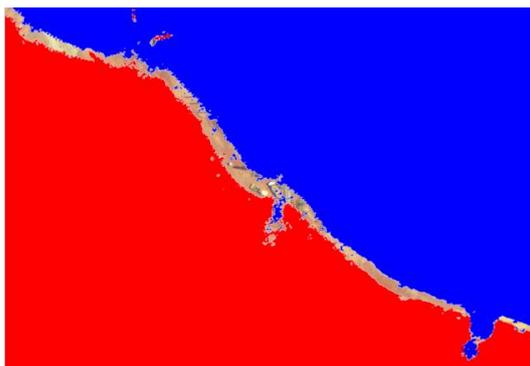


Figura 12. Detalhe 3 da imagem LASER obtida em 2002.

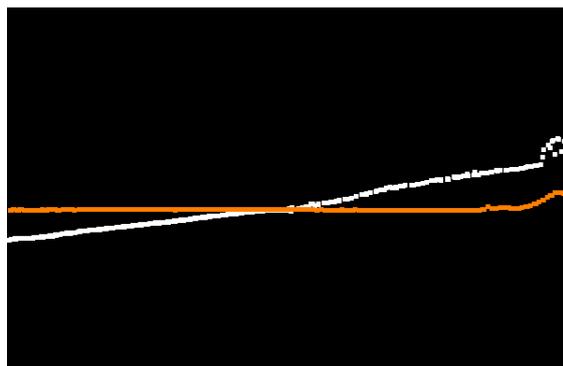


Figura 13. Detalhe 4 da imagem LASER obtida em 2007.

A análise do perfil possibilita a identificação das áreas de corte e aterro, realizados no período decorrido entre os dois perfilamentos a LASER.

A figura 14 apresenta a imagem fotográfica obtida em 2008, que comprova a movimentação de terra.



Figura 14. Imagem fotográfica obtida em 2008.

5. Vantagens do Método

Em comparação com outros métodos convencionais de identificação de alterações na superfície, tais como o fotogramétrico, a investigação em campo por área geográfica de atuação ou percorrendo a faixa de dutos, são apresentadas as seguintes vantagens:

- Rapidez na obtenção dos resultados: Os resultados são obtidos de forma mais rápida e precisa em relação ao método aerofotogramétrico convencional, pois é possível eliminar as atividades de vôo fotogramétrico, apoio de campo, aerotriangulação e restituição.
- Resultados altimétricos mais completos: A quantidade de pontos que configura os elementos que compõem a superfície é significativamente maior que a quantidade de pontos altimétricos levantados por outros métodos.
- 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.
- Redução de custos de investigações em campo: Com a identificação automática das alterações, as investigações são direcionadas e conseqüentemente, o custo com equipes em campo, veículos, uso de equipamentos para medição e registro dos dados é reduzido, comparado com o método tradicional.

6. Limitações

Para a quantificação das alterações horizontais, como per exemplo a quantificação da área, é necessário a delimitação das feições de interesse, que pode ser resultante da restituição fotogramétrica ou da digitalização manual das feições. Para a quantificação das alterações verticais, quando a análise do perfil não for suficiente, também se faz necessária delimitação do polígono de interesse de forma a possibilitar análises estatísticas dos pontos LASER que atingem o elemento de interesse.

Contudo, com a evolução das pesquisas para a extração automática de feições a partir dos dados derivados de perfilamento a LASER e com a disponibilização comercial destes algoritmos, as metodologias para quantificação das áreas que sofreram modificações, ora dependentes da fotogrametria ou de outras técnicas, poderão ser automatizadas e se tornar totalmente independentes.

7. Resultados e Conclusão

Os resultados obtidos validam o emprego de sucessivos perfilamentos a LASER para a identificação de alterações na superfície, em áreas com características rurais, pois a aplicação desta metodologia em área urbana já está consolidada. A comparação de dados LASER é um método simples, rápido e de baixo custo, comparado aos métodos tradicionais, podendo ser aplicado em superfícies com as mais variadas características.

Além disso, em função do alto nível de confiabilidade e precisão, os produtos derivados de um perfilamento LASER podem servir de base de informações para outras aplicações, associando outros atributos gerenciados por um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Sendo assim, esta alternativa de mapeamento se apresenta como um meio eficaz e rápido de coleta de informações altimétricas, visando atender às demandas urgentes de análise, atualização e monitoramento dos efeitos de determinados usos da terra, seja de caráter ambiental ou para demais necessidades que possam ser atendidas com o uso de modelos digitais ou imagens LASER.

8. References

- , ALS50-II Specifications Brochure, Leica Geosystems Inc., 2006.
- , ALS50-II User_Manual_Rev-_060519, Leica Geosystems Inc., 2006.
- BRANDALIZE, A. A. Perfilamento a LASER: Comparação com Métodos Fotogramétricos. In: XX Congresso Brasileiro de Cartografia, Anais..., CD ROOM, Porto Alegre, 2001.
- BRANDALIZE, Maria C. B. A Qualidade Cartográfica dos Resultados do Laserscanner Aerotransportado. Tese de Doutorado. Florianópolis, UFSC, 2004. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PECV0307.pdf>>. Acesso em: 14 mar. 2008.
- MAAS, H.G. Planimetric and height accuracy of airborne laserscanner data - User requirements and system performance. Proceedings 49 Photogrammetric. Week (Ed. D. Fritsch), Wichmann Verlag, 2003, p.117-125.
- SALLEM FILHO, Silas. As Inovações do Laser Aerotransportado: Suas Vantagens para Mapeamento de Dutos. In: RIO PIPELINE CONFERENCE & EXPOSITION, 2007, Rio de Janeiro, Anais..., outubro, 2007. Disponível em: http://www.lidar.com.br/trab_geral.htm >. Acesso em: 30 mar. 2008.