

IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE ERROS PLANIMÉTRICOS EM EDIFICAÇÕES REPRESENTADAS EM IMAGENS LASERSCANNING

Daniel Rodrigues dos Santos
Italo Cavascim Junior
Jorge Silva Centeno
Quintino Dalmolin

Universidade Federal do Paraná – {ddsantos;italo;centeno;dalmolin}@geoc.ufpr.br

RESUMO

O sistema Laserscanner é uma tecnologia emergente de grande importância na aquisição de dados tridimensionais. Este sistema determina pontos tridimensionais sobre a superfície do terreno, bem como sobre as elevações nela contidas podendo gerar em forma digital o MDT (Modelo Digital do Terreno) e o MNE (Modelo Numérico de Elevações). Existem dois tipos de modos de medidas, isto é, medidas por pulso e medidas por diferença de fase. As imagens laserscanning não podem ser utilizadas na restituição de edificações (objetos de maior interesse para as aplicações tais como planejamento urbano, restituição entre outras), pois o apresentadas pelo mesmo. Este trabalho apresenta uma metodologia que identifica e quantifica automaticamente os erros planimétricos apresentados em imagens laserscanning, bem como as diferenças de medidas entre o primeiro e último retorno do pulso. O objetivo desse estudo é permitir uma avaliação do uso destes dados não apenas como mais uma informação para a geração de produtos cartográficos, mas também como uma ferramenta para mapeamento direto de informações planimétricas (por exemplo, restituição de edificações).

Palavras-chave: Laserscanner; Erros Planimétricos; Avaliação de Erros.

ABSTRACT

The Laserscanner system is a recently developed technological used to 3D data acquisition. This system provides XYZ co-ordinates on terrain surface (DTM-Digital Terrain Model) and also on elevations points, like trees and buildings (DSM-

Digital Surface Model). There are two difference modes to measure runtime, first pulse and last pulse. These measures have difference of position. As the Laserscanner presents position errors is not possible the use of laserscanning image to direct measure to some applications. The aim this work present a methodology that identify, quantify and evaluation position errors in laserscanning image and also present the differences between first pulse and last pulse.

Keywords: Laserscanner; Planimetric Errors; Evaluation

1. INTRODUÇÃO

O sistema Laserscanner é uma tecnologia emergente de grande importância na aquisição de dados tridimensionais, principalmente para reconhecimento e reconstrução de edificações em ambientes urbanos.

Este sistema determina pontos tridimensionais sobre a superfície do terreno, bem como sobre as elevações nela contidas podendo gerar em forma digital o MDT (Modelo Digital do Terreno) e o MNE (Modelo Numérico de Elevações). O MDT trata dos pontos que representam o terreno, enquanto o MNE trata dos pontos que representam as elevações contidas na superfície (Tomaselli e Santos, 2000).

O Laserscanner utiliza um sistema de varredura ótico-mecânico para medir a distância entre o sensor e o objeto iluminado através da emissão e recepção de pulsos laser. Existem dois tipos de modos de medidas, isto é, medidas por pulso e medidas por diferença de fase. Muito dos sistemas disponíveis utilizam sistemas de medida por pulso possibilitando a medida do tempo de emissão e recepção em dois diferentes modos, ou seja, primeiro e último retorno do pulso.

As imagens laserscanning não podem ser utilizadas na restituição de edificações (objetos de maior interesse para as aplicações tais como planejamento urbano, restituição entre outras), pois o apresentadas pelo mesmo.

Muitos autores procuram determinar o deslocamento entre as faixas de vôo provocadas por falhas no conjunto do sistema, para solução dos problemas de correspondência (Burman, 2000; Maas, 2000; Maas 2001). Porém, em aplicações como planejamento urbano, cadastro entre outros é necessário a informação confiável dos objetos. De acordo com Vosselmen e Maas (2001), erros apresentados em planimetria são muitas vezes maiores que erros em altimetria, considerando imagens laserscanning.

Sendo as edificações os objetos de maior interesse para as aplicações citadas acima, produtos que dependem da modelagem confiável desses objetos, tais como, geração de ortofoto digital para projetos urbanos, ainda não podem ser utilizados na restituição direta dos mesmos, quando utilizado imagens laserscanning.

Este trabalho apresenta uma metodologia que identifica e quantifica automaticamente os erros planimétricos apresentados em imagens laserscanning, bem como as diferenças de medidas entre o primeiro e último retorno do pulso. O objetivo desse estudo é permitir uma avaliação do uso destes dados não apenas como mais uma informação para a geração de produtos cartográficos, mas também como uma ferramenta para mapeamento direto de informações planimétricas (por exemplo, restituição de edificações).

2. AQUISIÇÃO DE IMAGENS LASERSCANNING

No contexto deste trabalho a apresentação do sistema Laserscanner é restrita ao sistema aerotransportado com o modo de medida de pulsos. Estes sistemas possuem sensores ativos baseados na medida de distâncias para adquirir informações sobre a superfície e as elevações nela contidas.

Este tipo de varredura a laser emite pulsos em intervalos de tempo exatos. O sistema mede o tempo entre a emissão e recepção do pulso e através da equação expressa em (01) computa a distância entre a aeronave e o objeto refletido.

$$\Delta d = \frac{v}{\Delta t} \quad (01)$$

Onde,

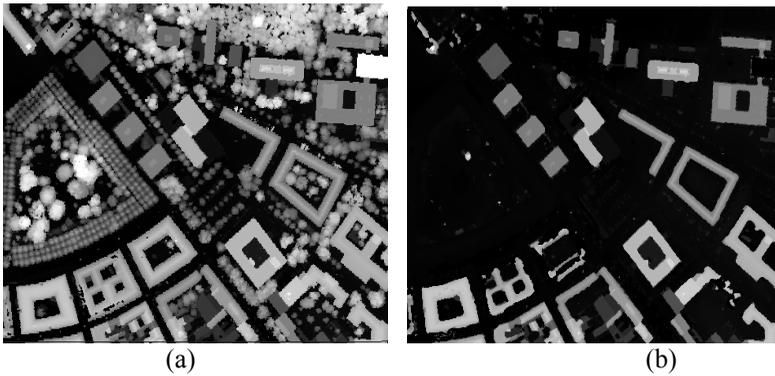
- ✓ Δd : distância entre a aeronave e o objeto;
- ✓ Δt : tempo entre a emissão e reflexão do pulso; e
- ✓ v : velocidade da aeronave.

Como o sistema é composto por um GPS (*Global Positioning System*), Sistema de Medição Inercial (SMI) e laser, os pontos refletidos da superfície podem ser determinados tridimensionalmente. Com isto, é realizado um processo de quantização (8 ou 11 bits) dos dados obtendo-se uma imagem em tons de cinza.

3. MODOS DE MEDIDAS DOS PULSOS

Sistemas que trabalham com modos de medidas por pulsos são capazes de separar o primeiro e último retorno do pulso emitido (figura 1). O pulsos emitidos possuem uma característica de divergência à medida que os mesmos se propagam no ar formando o diâmetro do pulso. Dentro deste diâmetro vários objetos podem ser refletidos e o pulso é dividido em diferentes partes (figura 1).

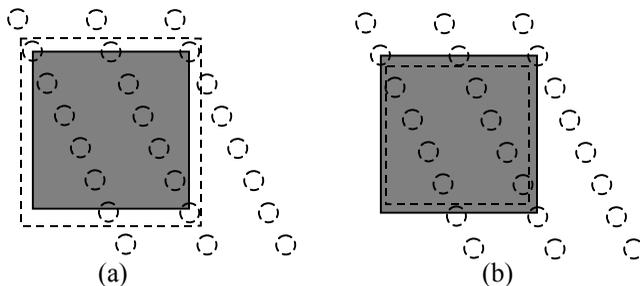
FIGURA 1 – IMAGENS LASERSCANNING. (A) RETORNO DO PRIMEIRO PULSO; (B) RETORNO DO SEGUNDO PULSO



Pode-se verificar visualmente que o retorno do primeiro pulso apresenta tanto informações de vegetação como de edificações. O retorno do último pulso apresenta apenas as informações das edificações. As edificações são apresentadas em ambas imagens (figura 1a e 1b), pois tanto o retorno do primeiro quanto do último pulso representarão o topo da edificação.

Outro efeito que pode ser verificado é a diferença de tamanho entre as edificações comparando-se os dois tipos de retorno. De acordo com Steinle (2000), as edificações representadas pelo primeiro retorno do pulso são maiores que as representadas pelo último retorno (figura 2).

FIGURA 2 – EFEITOS NOS TAMANHOS DOS OBJETOS. (A) CONTORNO DA EDIFICAÇÃO CONSIDERANDO O PRIMEIRO RETORNO; (B) CONTORNO DA EDIFICAÇÃO CONSIDERANDO O ÚLTIMO RETORNO.



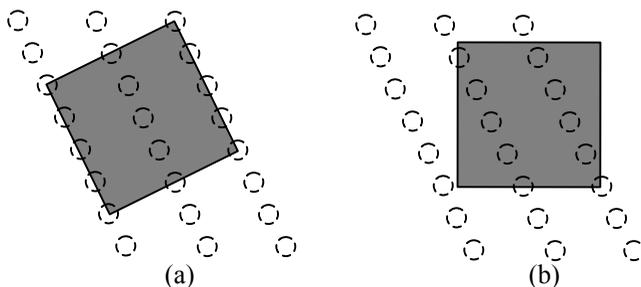
A figura 2 apresenta uma edificação no seu tamanho real (área preenchida), sendo a mesma representada pelo primeiro retorno do pulso (figura 2a, área tracejada) e último retorno do pulso (figura 2b). Um fator que implica no aumento e

diminuição da área da edificação é o tipo de sistema de varredura (Steinle, 2000), bem como a orientação da varredura (Volsseman e Maas, 2001).

4. QUANTIFICAÇÃO DA DIFERENÇA DE TAMANHO ENTRE OS OBJETOS DO PRIMEIRO E ÚLTIMO RETORNO DO PULSO

Como descrito anteriormente existe uma diferença entre o tamanho dos objetos representados pelo primeiro e último pulso. Volsseman e Maas (2001), afirmam que a orientação do objeto em relação à orientação da varredura do sistema é um dos fatores desse erro, sendo o erro maior apresentado em bordas perpendiculares ou paralelas à orientação de varredura (figura 3a). A figura 3 mostra um exemplo de varredura com edificações com duas orientações diferentes.

FIGURA 3 – ORIENTAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES. (A) EDIFICAÇÃO COM BORDA PARALELA AO SENTIDO DE VARREDURA; (B) BORDA DA EDIFICAÇÃO COM ORIENTAÇÃO NÃO PARALELA.



Uma das propostas deste trabalho é quantificar automaticamente as diferenças de tamanho entre os objetos representados na imagem laserscanning considerando o primeiro e último retorno do pulso. Para a realização desta tarefa utilizou-se um algoritmo de subtração de imagens aplicado em morfologia matemática (erosão-dilatação) para a eliminação da vegetação representada na imagem do primeiro retorno do pulso.

De acordo com Facon (1996), a erosão de um sinal (função) f por um elemento estruturante g é:

$$e^g(f(x)) = \text{Min}\{f(y) - g(x, y) : y \in E\} \quad (02)$$

Onde,

- ✓ f : função e análise;
- ✓ g : elemento estruturante centrado em x ; e

✓ y : ponto relevante de g .

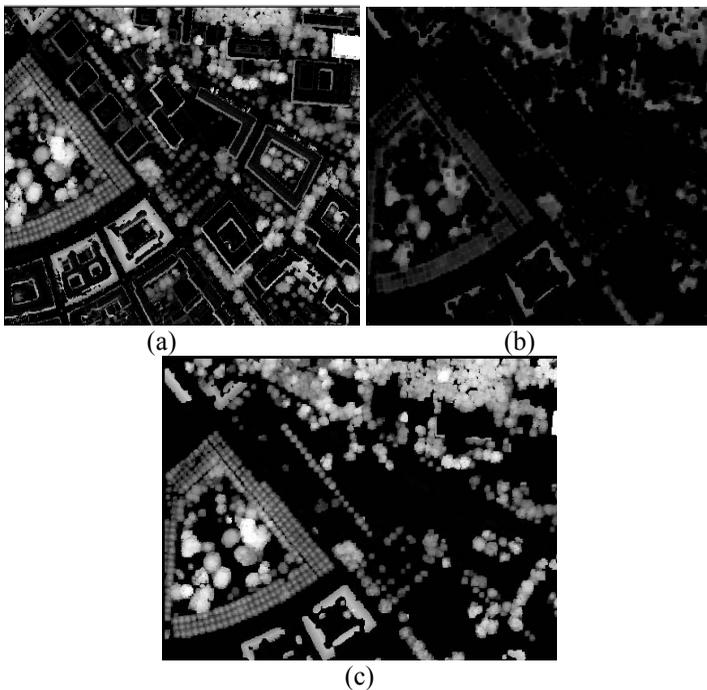
A dilatação de um sinal (função) f por um elemento estruturante g é:

$$e^g(f(x)) = \text{Max}\{f(y) - g(x, y) : y \in E\} \quad (03)$$

Sendo que a dilatação em níveis de cinza de f por g consiste em verificar se o elemento estruturante centrado em x está acima da função f , não sendo definida em um ponto onde o elemento estruturante estiver abaixo da função.

A figura 4 mostra a imagem laserscanning do primeiro retorno do pulso após aplicados os operadores de erosão e dilatação. As imagens utilizadas para este experimentos foram fornecidas pela Universidade de karlsruhe/Alemanha.

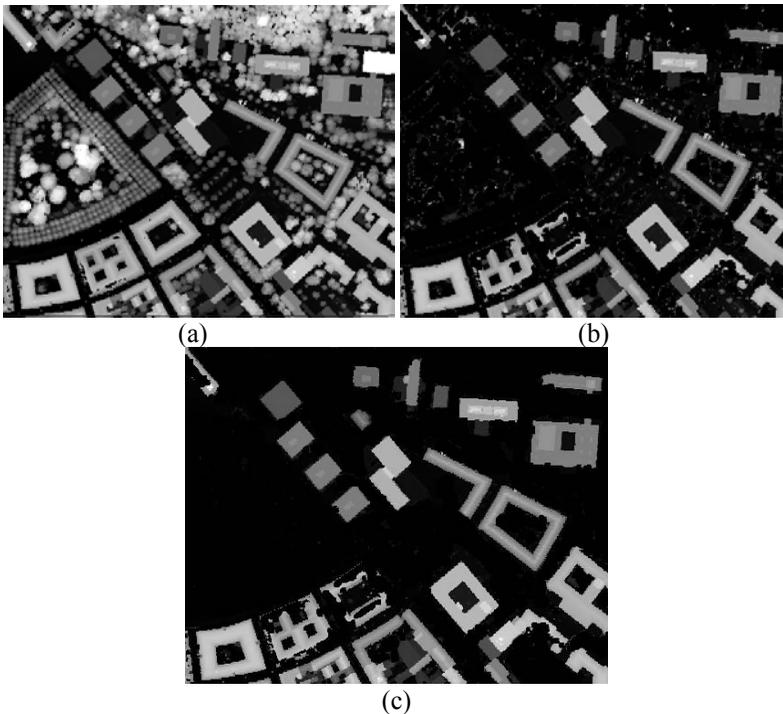
FIGURA 4 – IMAGEM LASERSCANNING. (A) SUBTRAÇÃO DAS IMAGENS DO PRIMEIRO E ÚLTIMO RETORNO DO PULSO; (B) OPERAÇÃO DE EROSIÃO APLICADA NA IMAGEM SUBTRAÍDA; (C) OPERAÇÃO DE DILATAÇÃO APLICADA NA IMAGEM.



Verifica-se visualmente na figura 4a que, o resultado da operação de subtração entre as imagens não apresentou apenas a informação de vegetação, mas também as bordas dadas pela diferença entre as edificações (bordas de divergência).

Para a eliminação da vegetação apresentada na imagem do primeiro retorno do pulso foi aplicado uma subtração entre a mesma (figura 5a) e a imagem da figura 4c. A figura 5b mostra o resultado obtido da operação de subtração entre as duas imagens e a figura 5c apresenta as edificações do primeiro retorno após uma nova aplicação dos operadores de erosão e dilatação para eliminação dos ruídos da vegetação presentes na figura 5b.

FIGURA 5 – (A) PRIMEIRO RETORNO DO PULSO; (B) PRIMEIRO RETORNO DO PULSO SEM INFORMAÇÃO DA VEGTAÇÃO. (C) RUÍDOS DA VEGTAÇÃO ELIMINADOS.



Para a determinação da diferença de tamanho, bem como o deslocamento entre os objetos, foi utilizado um modelo onde correções geométricas e radiométricas são realizadas a priori e incluídas no Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), se necessário (Agouris e Schenk, 1998).

Neste modelo, as correções radiométricas e geométricas não são necessariamente incluídas no problema. A técnica dos Mínimos Quadrados estabelece uma correspondência entre os pixels, minimizando a diferença dos valores de cinza. A minimização dos valores de cinza é dada pela diferença entre a imagem de referência (primeiro retorno do pulso- $g_e(x_e, y_e)$) e a imagem de pesquisa (último retorno do pulso- $g_d(x_d, y_d)$), tendo como objetivo a nova localização da imagem de pesquisa estimada ($e(x,y)$):

$$e(x, y) = g_e(x_e, y_e) - g_d(x_d, y_d) \quad (04)$$

Para Agouris e Schenk (1998), a estimação é dada por uma transformação de coordenadas, seguida de uma reamostragem dos valores de cinza correspondentes.

$$\begin{aligned} x_d &= ax_e + by_e + \Delta x \\ y_d &= cx_e + dy_e + \Delta y \end{aligned} \quad (05)$$

Onde,

- ✓ a, b, c, d: parâmetros da transformação;
- ✓ $\Delta x, \Delta y$: elementos de translação;

Linearizando o modelo expresso na equação (05), pois deve-se considerar as rotações, escala e translação implícitas no modelo, temos:

$$g_e(x_e, y_e) - e(x, y) = g_d^0(x_d^0, y_d^0) \quad (06)$$

$$g_e(x_e, y_e) - e(x, y) = g_d^0(x_d^0, y_d^0) + g_{dx} dx_d + g_{dy} dy_d \quad (07)$$

Onde,

- ✓ g_{dx} : gradiente na direção x da imagem de referência; e
- ✓ g_{dy} : gradiente na direção y da imagem de referência.

Pela diferenciação e substituição dos parâmetros de transformação afim a equação (07) torna-se:

$$\begin{aligned} g_e(x_e, y_e) &= g_d^0(x_d^0, y_d^0) + g_{dx} da + g_{dx} x_e db + \\ &g_{dx} y_e d\Delta x + g_{dy} dc + g_{dy} x_e dd + g_{dy} y_e d\Delta y \end{aligned} \quad (08)$$

A matriz A , é montada em função das derivadas parciais dos parâmetros $da db d\Delta x dc dd d\Delta y$ (parâmetros de transformação afim). Os parâmetros são determinados através do MMQ, baseado no princípio de que a soma dos quadrados dos resíduos é mínima. O modelo matemático NO no Método Paramétrico dado por (Gemael, 1994):

$$X = (A^t P A)^{-1} A^t P L \quad (09)$$

$$L = g_e(x_e, y_e) - g_d^0(x_d^0, y_d^0) \quad (10)$$

A composição da matriz A depende do modelo funcional adotado:

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_0} \quad (11)$$

E a matriz peso (P) definida por:

$$P = \sigma_0^2 \sum_{l_b}^{-1} \quad (12)$$

Sendo,

- ✓ σ_0^2 : variância da unidade de peso a priori;
- ✓ $\sum_{l_b}^{-1}$: matriz covariância dos valores observados.

$$\Sigma_L = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & & & & \\ & \sigma_2^2 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Como o processo é iterativo, após a primeira iteração é necessário atribuir os valores de cinza (reamostrados) para a nova janela de pesquisa. A tabela 1 mostra os valores dos parâmetros da transformação.

TABELA 1 – PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO.

Parâmetros de Transformação (pixel)						
iteração	a	b	Δx	c	d	Δy
1	1.001	-0.008	0.653	-0.004	0.998	1.458
2	0.999	-0.013	1.472	0.003	0.990	2.617
3	0.989	-0.006	2.227	0.008	0.983	3.753
4	0.977	0.010	2.804	0.011	0.977	4.868
5	0.973	0.019	3.294	0.015	0.971	5.812
6	0.979	0.011	3.924	0.024	0.955	6.734
7	0.984	0.010	3.792	0.030	0.946	7.076

De acordo com os dados apresentados na tabela 1, é verificado um deslocamento na imagem de 3.792 pixels em x e 7.076 pixels em y . De acordo com os resultados apresentados pelos parâmetros a , b , c , d , verifica-se que existe uma pequena rotação entre os eixos e uma pequena influência de escala. Com a análise realizada quantificou-se um deslocamento entre as imagens do primeiro e último retorno do pulso, porém foi quantificado um escalamento de pouca influência, ou seja, a diferença de tamanho entre os objetos é insignificante. Porém, é necessário realizar testes com imagens laserscanning conhecendo-se os parâmetros de resolução, escala etc para se ter um fundamento mais concreto dos resultados obtidos.

5. IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE ERROS PLANIMÉTRICOS

De acordo com Steinle (2000), as dimensões das edificações representadas em imagens do primeiro retorno do pulso são as que mais se aproximam da realidade do objeto no terreno. Como um dos objetivos deste trabalho é quantificar os erros planimétricos considerando edificações representadas em imagens laserscanning, para a determinação das resultantes dos resíduos foram comparados dados do primeiro retorno do pulso com uma base cartográfica, ambas com mesma escala (figura 6).

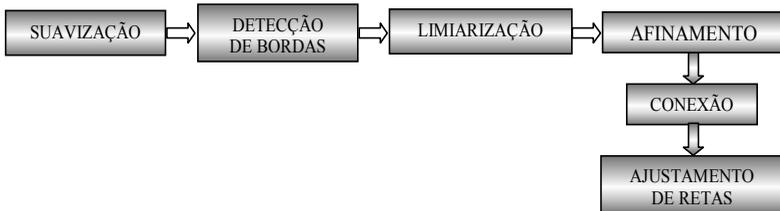
Os dados do primeiro retorno do pulso possuem uma resolução de 1m x 1m e com escala 1:6000. A imagem do primeiro retorno do pulso de uma área teste de calibração da Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S.A. e a base cartográfica cedida pelo convênio IPUC/COPEL/PARANÁ CIDADE. A figura 6 mostra a imagem do primeiro retorno do pulso utilizada no experimento.

FIGURA 6 – PRIMEIRO RETORNO DO PULSO.



Para obter-se as resultantes dos resíduos foram coletados manualmente e automaticamente os pontos dos cantos das edificações na imagem do primeiro retorno do pulso e da base cartográfica. Para as medidas automáticas foi utilizado um fluxo de extração de feições retas (Tommaselli, 1999; Artero, 1999). A figura 7 apresenta o fluxo utilizado para extração de feições retas.

FIGURA 7 – FLUXO PARA EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES RETAS



O algoritmo busca as retas correspondentes na base cartográfica por meio de uma descrição relacional envolvendo ângulos, comprimento e posicionamento. Feita a busca é realizado o cálculo da diferença de coordenadas entre os cantos das edificações. Para pontos que o algoritmo não encontra correspondência é realizada a busca manualmente.

A tabela 2 apresenta os resíduos de alguns pontos, bem como a média e o desvio-padrão dos desvios. Uma análise de tendência também foi realizada, considerando $\alpha=5\%$ e 100 pontos medidos.

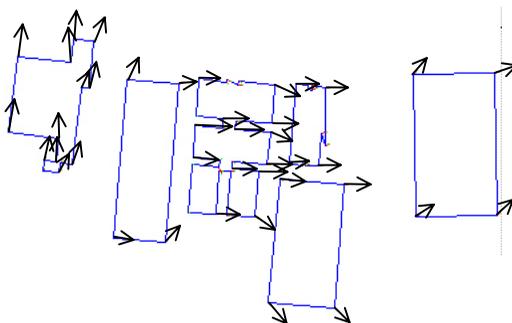
TABELA 2 – RESÍDUOS, MÉDIA E DEVIOS-PADRÃO DOS RESÍDUOS.

Resíduos			
E (m)		N (m)	
0.000000		0.000000	
0.000000		0.000000	
1.481500		0.384400	
1.851900		-2.961000	
1.111100		-2.590900	
2.963000		-1.850600	
\bar{m}_x	σ_x	\bar{m}_y	σ_y
1.770142	1.782987	0.085671	1.111229
t Student $t_{(100,5\%)}$	t_E amostral	t_N amostral	
1.660	1.590	1.673	

A tabela 2 mostra que os resultados do primeiro retorno do pulso comparados com uma base cartográfica apresenta diferenças com média de 1.77 m em E e 0.08 m em N (planimetria).

Como $t_E < t_{(100,5\%)}$ conclui-se que não existe tendência na direção do eixo E, porém $t_N > t_{(100,5\%)}$ mostrando uma ligeira tendência no eixo N. A figura 8 apresenta as resultantes dos resíduos de alguns pontos obtidos.

FIGURA 8 – RESULTANTE DOS RESÍDUOS.



Analisando a figura 8 verifica-se visualmente que, os erros planimétricos decorrentes das edificações na imagem laserscanning são ligeiramente sistemáticos, podendo ser corrigidos com uso de modelos de transformação.

Steinle (2000), utilizando uma comparação manual entre as coordenadas de uma imagem laserscanning e uma base cartográfica obteve desvios-padrão na ordem de ± 0.2 m à ± 0.9 m em planimetria. O experimento realizado mostra resultados na ordem de ± 1.11 m à ± 1.77 m. Isto pode ser explicado por três fatores:

- ✓ Os pontos serem computados automaticamente através da ferramenta de extração de feições retas;
- ✓ Base cartográfica utilizada não ser confiável; e
- ✓ A calibração do sistema Laserscanner não foi realizada.

A calibração do sistema é um processo bastante complexo, sendo totalmente intrínseca à tarefa prática.

Uma análise mais detalhada poderia ser realizada, mas a base cartográfica disponível está desatualizada, não contendo o mapeamento das edificações em toda área teste da imagem laserscanning.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na quantificação dos erros entre o primeiro e segundo retorno do pulso mostraram que existe uma diferença entre ambas informações, sendo indevido o uso da informação do segundo retorno do pulso para fins de medidas. O mesmo pode ser utilizado como informação adicional para a imagem do primeiro retorno com a finalidade de: eliminar objetos (por exemplo, árvores) que atrapalham o processo de automação; e auxiliar na reconstrução de edificações (primeiro retorno do pulso) obstruídas pela vegetação.

Os resíduos calculados mostraram que coordenadas em N apresentam erros menores, porém tendenciosos. As resultantes dos resíduos mostram que a imagem laserscanning possui erros sistemáticos em planimetria. Isto deixa claro que a mesma pode ser modelada facilmente com uso de algum modelo de transformação.

O processo de identificação e quantificação de erros planimétricos apresentou resultados piores que os encontrados por Steinle (2000). Portanto, a falta de dados confiáveis para a análise dos resultados ainda não permite admitir imagens laserscanning como informações para mapeamento direto de objetos presentes nas imagens. Porém Steinle (2000), apresenta resultados mais favoráveis indicando o uso de seu potencial como apoio em aplicações tal como planejamento urbano.

7. REFERÊNCIAS

ARTERO, A. O., **Técnicas para a extração automática de feições retas em imagens digitais**. Dissertação de Mestrado –Universidade Estadual Paulista, FCT, Presidente Prudente, pp. 117, 1999.

GEMAEL, C., **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba, Editora UFPR, pp. 314, 1994.

TOMMASELLI, A. M. G., **Extração automática de feições lineares em imagens digitais para aplicações cartográficas**. Relatório de bolsa de produtividade em pesquisa CnPq, pp. 41, 1999.

TOMMASELLI, A. M. G.; SANTOS, D. R., **Uma estratégia para extração semi-automática de feições com análise do MNE**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico e Multifinalitário, pp. 10, 2000.

AGOURIS, P.; SCHENK, T., **Multiple Image Matching**. 1998.

FACON, J. **Morfologia Matemática: Teoria e Exemplos**. Editora Universitária Champagnat da Pontifícia Universidade Católica do Paraná - Curitiba, pp. 360, 1996.

STEINLE, E.; VOGTLE, T., **Effects of difference laser scanning modes on the results of buildings recognition and reconstruction**. IAPRS, vol. XXXIII, part B3, pp. 858-865, Amsterdam, 2000.

BURMAN, H., **Adjustment of laserscanner data for correction of orientation errors**. In: IAPRS, vol. 33, part B3/1, pp. 125-132, 2000.

VOSSSELMAN, G.; MAAS, H. G., **Adjustment and filtering of raw laser altimetry data**. In: Proceedings OEEPE workshop on Airbone Laserscaning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models, n. 40, pp. 62-72, 2001.