

Avaliação da Dispersão de Dados Levantados com Sistemas Laser Scanner Terrestre

Msc. Juliana Dias Wutke ¹
Prof. Dr. Jorge Antonio Silva Centeno ²

¹ UFSC – Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil
88065-175 Florianópolis SC
judias7@yahoo.com.br

² UFPR – Departamento de Geomática
81531-990 Curitiba PR
centeno@ufpr.br

Resumo: Este estudo aborda o desenvolvimento de um método para a avaliação da dispersão de dados levantados com sistemas laser scanner terrestres. Para tanto, um experimento foi realizado utilizando-se o sistema laser scanner Cyrax HDS 3000, fabricado pela Leica-Geosystems. Foram analisados recortes da nuvem de pontos em um plano perpendicular à direção de observação do equipamento laser scanner terrestre em diferentes distâncias de obtenção de dados. O método desenvolvido se mostrou eficiente para a avaliação da dispersão dos pontos levantados e ainda fornece uma estimativa de precisão das medidas de distância obtidas, contribuindo com a avaliação da acurácia e da qualidade dos levantamentos de dados realizados com estes equipamentos.

Palavras chaves: Laser scanner terrestre, dispersão, nuvem de pontos.

Abstract: This study deals with the development of a method for the evaluation of the dispersion of lifted up data with systems terrestrial laser scanners. For this purpose, experiment was accomplished using the laser scanner Cyrax HDS 3000, that was produced by Leica-Geosystems. Cuttings of the cloud of points were analyzed in a plan perpendicular to the direction of observation of the terrestrial laser scanner in different distances of obtaining of data. The developed method if it showed efficient for the evaluation of the dispersion of the lifted up points and it still supplies an estimate of precision of the distance measures obtained, contributing with the evaluation of the accuracy and of the quality of the risings of data accomplished with these equipments.

Keywords: terrestrial laser scanner, dispersion, cloud of points.

1. Introdução

O levantamento tridimensional de pontos é um problema clássico, que pode ser tratado por distintas metodologias. A mais antiga é o levantamento com medidas de distâncias e direções usando instrumentos topográficos. Esta técnica ganhou eficiência com o advento dos medidores eletrônicos de distâncias e direções, instrumentos que, integrados, convencionou-se chamar de estações totais. Os medidores a laser foram melhorados e passaram a realizar a medição de distâncias sem a necessidade de refletores, o que permitiu a determinação remota de coordenadas, sem tocar o objeto. Além disto, a evolução da tecnologia de controle de servo-mecanismos, aplicada a estes equipamentos, assegurou o desenvolvimento da estação total robotizada, que permite a medição programada de pontos, mesmo sem o operador (Tommaselli, 2003).

A tecnologia de varredura a laser é um aperfeiçoamento destes princípios e permitiu a solução de vários problemas existentes nas técnicas fotogramétricas, pois reúne boa precisão com a possibilidade de

geração de milhões de pontos com coordenadas tridimensionais (x,y,z) em apenas alguns minutos. Na varredura a laser, a distância aos objetos é medida sem a necessidade de refletores e estas não são efetuadas em feições específicas, mas ao longo de todo o objeto automaticamente, gerando uma nuvem densa de pontos com coordenadas tridimensionais. Existem vários tipos de sistemas laser scanner, variando desde as características do sistema de varredura, passando pelo princípio de medição da distância, até a velocidade e intervalos de medida. A exatidão e a quantidade de pontos medidos variam de acordo com o modelo do laser scanner.

O potencial da utilização da varredura laser é grande em diversos campos, como a engenharia, arquitetura, geologia e indústria, por citar alguns. As exigências quanto à qualidade dos dados obtidos dependem da finalidade do levantamento. Fatores como as características do feixe utilizado, detalhes da construção mecânica do sistema, o meio ambiente e as propriedades da superfície dos objetos desempenham um papel importante neste contexto. A qualidade dos levantamentos aplicando esta tecnologia deve ser então avaliada levando em consideração tais fatores. Esta problemática é a motivação deste estudo, que tem por objetivo o desenvolvimento de um método para avaliar a dispersão de dados levantados com sistemas laser scanner terrestres, ou seja, avaliar a dispersão da nuvem de pontos em um plano perpendicular à direção de observação do equipamento laser scanner terrestre em diferentes distâncias de obtenção de dados.

2. Sistemas Laser Scanner Terrestres

O sistema laser scanner gera coordenadas tridimensionais de pontos sobre uma superfície. Seu princípio de operação é bastante simples. Os pulsos de laser são gerados e emitidos pelo sistema e com auxílio de um espelho de varredura são direcionados, atingindo a superfície dos objetos em vários pontos. Estes objetos refletem o pulso incidente e parte do pulso volta para o sistema. Com isto, a distância entre o sensor e o objeto é determinada através do intervalo de tempo entre a emissão e a reflexão (retorno) do pulso (Dalmolin/Santos 2004).

O laser scanner usa um feixe óptico de alta potência com baixa divergência para determinar a distância entre o sensor e a superfície dos objetos. 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 de varredura laser pode ser dividido em três componentes principais: a unidade de medição laser propriamente dita, encarregada de emitir e receber o sinal laser, um sistema de varredura optomecânico e uma unidade de registro de medições de apoio (Baltsavias 1999).

Os recursos de varredura são implementados por meio de espelhos controlados por servomotores encarregados de redirecionar o feixe emitido. O resultado final do processo de medição e processamento é um conjunto de dados, coordenadas tridimensionais, correspondentes aos pontos na superfície do objeto. Além das coordenadas de cada ponto atingido pelo feixe laser, a intensidade do sinal de retorno, captada pelo sensor, é também registrada e armazenada. O conjunto de dados tridimensionais é geralmente denominado nuvem de pontos, pois pode ser representada por uma densa concentração de observações no espaço tridimensional.

A resolução da nuvem de pontos, que determina a distância entre os pontos coletados, depende do tamanho do menor elemento que se deseja levantar e da distância ao objeto. Dependendo do modelo do scanner, pode-se refazer a varredura de alguns detalhes específicos com maior resolução espacial.

Estes equipamentos têm sido cada vez mais usados em levantamentos terrestres, devido às suas vantagens como: alta velocidade de coleta e processamento dos dados; alta densidade de pontos e acurácia homogênea dos pontos medidos. A varredura laser apresenta várias características importantes, como cita Tommaselli (2003):

- É um método ativo que não depende da luz visível refletida, embora alguns modelos de scanners apresentem comportamento inadequado na ausência total de iluminação;
- Operação remota, o que significa que o objeto não precisa ser tocado;
- O princípio geométrico de cálculo das coordenadas pode ser a triangulação, o intervalo de tempo ou a diferença de fase, dependendo do modelo, mas em todos os casos a varredura pode ser feita com apenas uma estação por visada;
- A resposta está disponível em tempo real, após o término da varredura o operador tem à sua disposição milhões de pontos com coordenadas conhecidas, estando apto a fornecer respostas sobre

os objetos, como distâncias entre peças, dimensões, volumes, verticalidade de superfícies, etc.;

- Alta densidade de pontos coletados e, conseqüentemente, altíssima redundância na descrição discreta dos objetos;
- É possível realizar o controle de qualidade durante a coleta e refazer a varredura, caso necessário;
- Operação simples e flexível; basta um operador para posicionar e operar o sistema;
- É possível combinar vários modelos numéricos gerados de diferentes posições, o que permite cobrir quase toda superfície visível dos objetos;
- Alguns sistemas possuem software para a obtenção de descrições paramétricas dos objetos por ajuste à nuvem de pontos, o que permite uma acurácia ainda maior que a dos pontos isolados; além disto, devido à alta densidade de pontos as ferramentas automáticas de alguns sistemas fazem a busca pelos pontos pertencentes aos mesmos objetos ou superfícies com pouca interação com o operador, o que aumenta substancialmente a produtividade.

Os sistemas de varredura laser terrestres podem ser classificados em três grupos, em função de seu princípio de funcionamento para o cálculo da distância. O primeiro grupo inclui os baseados no princípio “time of flight” ou intervalo de tempo decorrido desde o instante da emissão do pulso até o instante do retorno do mesmo. No segundo grupo, estão os sistemas cujo cálculo de distância é realizado através do método de diferença de fase, onde a distância é calculada através da diferença de fase da onda modulada. Já o terceiro grupo, corresponde aos sistemas baseados no princípio da triangulação.

O princípio de funcionamento para o cálculo da distância do equipamento utilizado neste estudo é o “time of flight” ou intervalo de tempo. Este sistema estima a distância através do tempo de retorno do pulso laser, emitindo milhares de pulsos por segundo. O pulso é difusamente refletido pelo objeto e parte dele retorna ao sistema. O tempo (Δt) que o sinal leva para ir do transmissor ao objeto e retornar ao sistema é medido. Com isso, calcula-se a distância (D) sensor-objeto utilizando-se a velocidade da luz ($c = 300 \times 10^3$ km/s). A constante $\frac{1}{2}$ é utilizada, pois é considerado o tempo de ida e de volta do sinal (Equação 1). (Lichti/Harvey, 2002).

$$D = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \Delta t \quad (1)$$

O instrumento registra o tempo, a intensidade da energia refletida pelo objeto e os parâmetros de atitude do feixe, que são coordenadas polares do ponto em relação ao referencial do laser. A partir destes dados é possível calcular a distância e depois as coordenadas cartesianas 3D dos pontos medidos em relação ao sensor. A intensidade pode ser usada para criar uma imagem associada à reflectância da superfície no comprimento de onda utilizado (Tommaselli 2003).

2.1 O Laser Scanner Cyrax HDS 3000

O laser scanner utilizado neste estudo é o sistema de varredura laser Cyrax HDS 3000 fabricado pela Cyra Tecnologias - (Oakland, E.U.A.), subsidiária da Leica Geosystems. O Sistema consiste do aparelho para varredura laser (Figura 1), o software Cyclone que é executado em um PC, o sistema de força (bateria) e mais acessórios como tripés e alvos.

A unidade de varredura possui também uma máquina fotográfica digital acoplada, com resolução de 1 megapixel. Os dados coletados são apresentados em tempo real para um Laptop através de um cabo de rede. Uma imagem digital da câmara fotográfica é obtida a priori e, nesta imagem, o operador pode selecionar a janela para a varredura. O operador pode também determinar a densidade de projeção dos raios laser em determinada distância.

A medida de distância do Cyrax HDS 3000 é baseada no princípio do intervalo de tempo. O sistema mede as coordenadas tridimensionais dos pontos (x , y , z), além de medir também a intensidade do sinal de retorno dos objetos capturados. No quadro 1 são apresentadas as principais especificações do sistema Cyrax



Fonte: Laser Scanner Cyrax HDS 3000

Figura 1: Laser Scanner Terrestre
Cyrax HDS 3000

HDS 3000. Os valores fornecidos pelo fabricante e mostrados no quadro 1, são para operações realizadas a uma distância de 50 metros, mas o alcance máximo de operação do equipamento é de até 100 metros de distância.

Quadro 1: Especificações Técnicas - Laser Scanner Cyrax Hds 3000

Acurácia em distância (z)	± 4 mm*
Acurácia planimétrica (x, y)	± 6 mm*
Acurácia angular - Incremento do ângulo entre dois pontos sucessivos (IFOV)	± 60 micro-radianos (12")*
Acurácia da superfície modelada	± 2 mm*
Acurácia com aquisição de alvos	± 1,5 mm
Campo-de-visão (FOV)	360° horizontal, 270° vertical
Tamanho da projeção do laser	6 mm*
Distância mínima de operação	1 m
Distância máxima de operação	100 m
Taxa de varredura	1800 pontos por segundo
Máxima densidade de resolução	1,2 mm

Fonte: [Laser Scanner Cyrax HDS 3000](#)

* Desde que operado em distâncias de até 50 m

3. Avaliação da Dispersão de Dados

3.1 Descrição do Experimento

Na varredura com o laser scanner terrestre é normal o aparecimento de ruídos, ou seja, a nuvem de pontos apresenta certa dispersão. Isso pode ser percebido quando se faz a varredura de um plano qualquer. Os pontos não possuem exatamente a mesma posição em z, ou na distância equipamento objeto.

Segundo Boehler et al (2001), um método rápido para verificar a dispersão dos pontos, que é um erro aleatório das medidas lineares, pode ser conseguido quando o laser scanner varre um plano perpendicular à direção da observação. Então se calcula o desvio padrão das diferenças de distâncias dos pontos com relação a um plano formado através da nuvem de pontos, obtendo assim, a dispersão desses pontos.

O objetivo deste experimento é avaliar a dispersão da nuvem de pontos em um plano perpendicular à direção de observação do equipamento laser scanner terrestre, comparando medidas de variância e desvio padrão em diferentes distâncias de obtenção de dados.



Figura 2: Recorte Usado na Avaliação da Dispersão

Para essa avaliação, o local selecionado foi uma sequência de postes alinhados, distantes entre si em torno de 20 metros. Foram fixadas seis placas planas, uma em cada poste, que foram varridas pelo sistema laser scanner terrestre. O recorte utilizado no experimento pode ser observado na figura 2. As distâncias de varredura analisadas foram: 7, 27, 47, 67, 87 e 107 metros. Para a análise, cada recorte foi avaliado separadamente.

Para avaliação da dispersão, ajustou-se um plano aos dados tridimensionais do recorte, utilizando o método dos parâmetros (MMQ) (Gemael 1994). Tendo os coeficientes do plano médio formado pelas coordenadas xyz,

é possível obter-se a distância de cada ponto com relação a esse plano médio através da equação 2, que determina a distância do ponto P_0 a um plano α (Venturi 1991):

$$d(P_0, \alpha) = \frac{|a \cdot x_0 + b \cdot y_0 + c \cdot z_0 + d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (2)$$

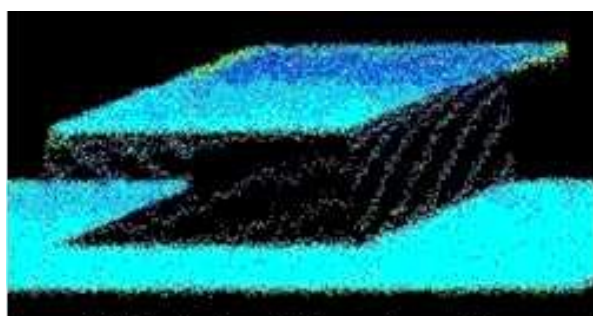
Onde:

a, b, c, d são os coeficientes do plano α e;
 x_0, y_0, z_0 são as coordenadas de cada ponto P_0 .

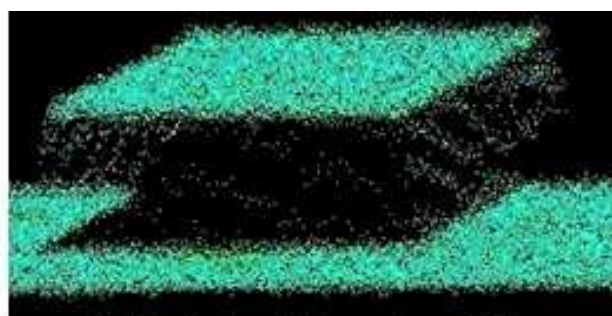
Depois de calcular as distâncias de cada ponto ao plano médio, calculou-se a média, a variância e o desvio padrão dessas distâncias, pois segundo Gemael (1994), a média aritmética é um estimador eficiente, pois atende ao requisito do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), fornecendo variância mínima, ou seja, o somatório do quadrado dos resíduos é mínimo ($\sum V^2 PV = \min$), desta forma, pode-se dizer que ela reúne predicados que a qualificam como um ótimo estimador da média populacional. E para estimar o grau de precisão, adotou-se o desvio padrão, que é a própria medida de dispersão.

3.2 Análise e Discussão dos Resultados

A densidade da varredura laser foi de um ponto a cada milímetro, varrendo todas as placas em diferentes distâncias: 7, 27, 47, 67, 87 e 107 metros. Na figura 3, é possível se observar a dispersão dos pontos em uma placa, que foi varrida em testes preliminares. Na figura 3a, a distância para varredura laser scanner foi de 5 metros e na figura 3b a distância foi de 60 metros. Nesses dois recortes percebe-se que a dispersão dos pontos sofre grande influência da distância.



(a) Distância de Varredura = 5 m



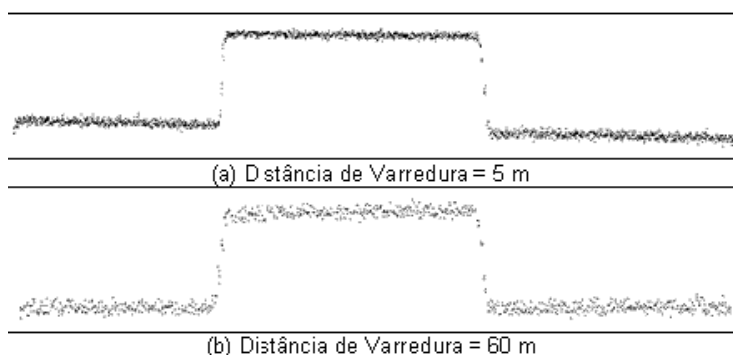
(b) Distância de Varredura = 60 m

Figura 3: Dispersão dos Pontos - Imagem Intensidade

A figura 4 apresenta uma análise mais prática para o perfil das placas. Neste caso, a dispersão dos pontos é percebida nitidamente.

Para a avaliação da dispersão, foi determinado um plano médio que representa a superfície. Foram calculadas: a média, variância e desvio padrão das distâncias de cada ponto (coordenadas tridimensionais) a esse plano médio. A variação de altura de cada ponto foi visualizada, podendo ser percebida a dispersão dos mesmos.

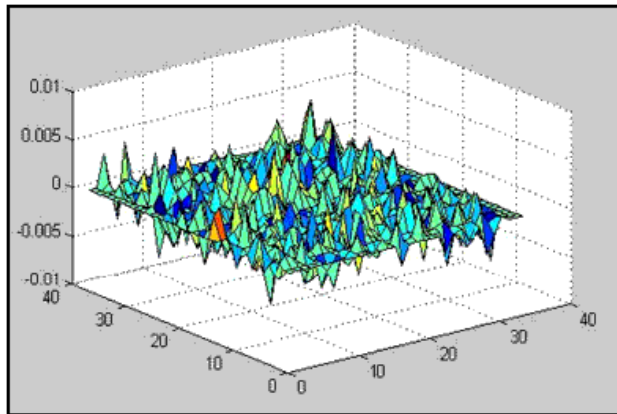
Na figura 5a observam-se as distâncias ao plano dentro de um recorte varrido a 7 metros de distância. Já na figura 5b o recorte é de pontos varridos a uma distância de 107 metros. Através do eixo vertical a figura 5, que é o eixo dos valores de distância de cada ponto ao plano, nota-se na superfície gerada a 107 metros, que os pontos possuem um pico de altura maior que a gerada a 7 metros, mostrando assim a maior dispersão da superfície a 107 metros de distância.



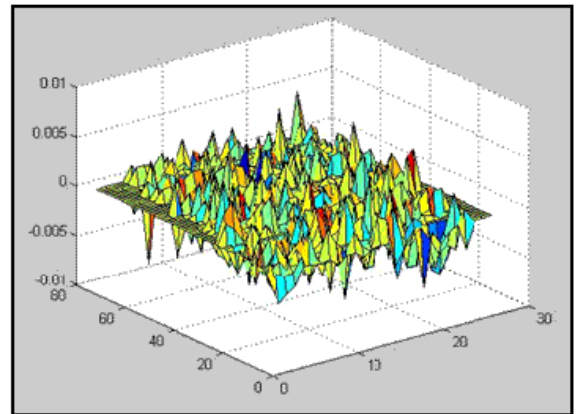
(a) Distância de Varredura = 5 m

(b) Distância de Varredura = 60 m

Figura 4: Dispersão dos Pontos - Perfil das Placas



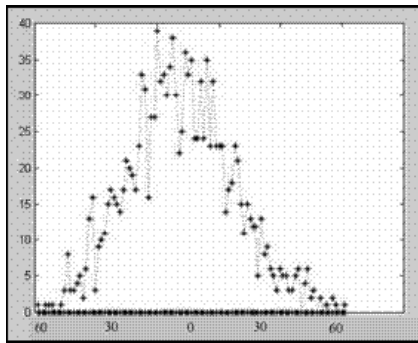
(a) Distância de Varredura = 7 m



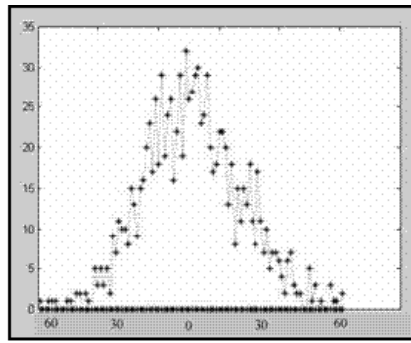
(b) Distância de Varredura = 107 m

Figura 5: Variação da Distância dos Pontos ao Plano Médio

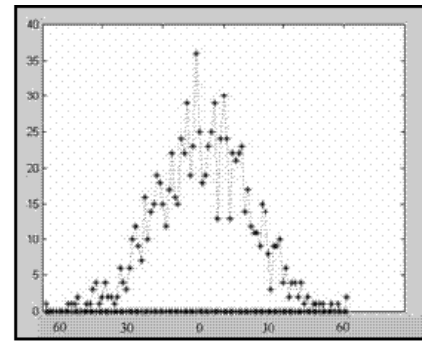
Também foram analisados os histogramas da distribuição dos pontos para cada distância obtida. Alguns desses histogramas podem ser observados na figura 6. Pode-se perceber através das figuras 6a, 6b e 6c que a distribuição dos pontos se aproxima de uma distribuição normal.



(a) Varredura a 7 m



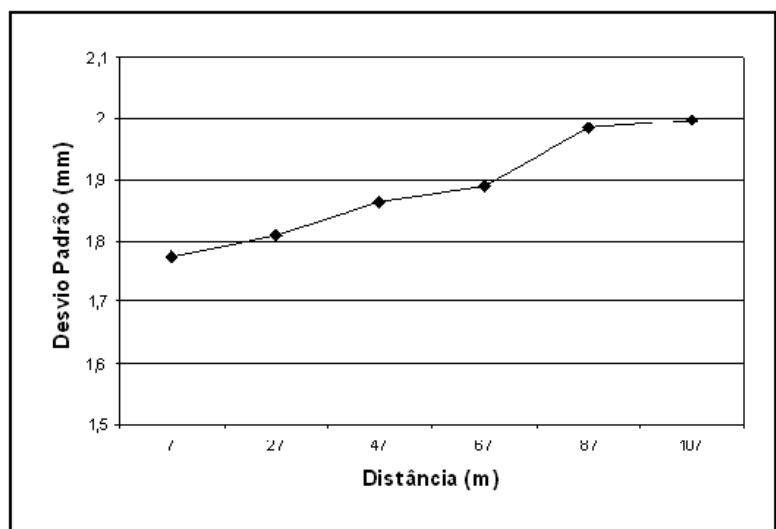
(b) Varredura a 47 m



(c) Varredura a 107 m

Figura 6: Histograma de Distribuição dos Pontos

Nesse experimento foi tomado o cuidado de não variar muito o tamanho de cada recorte da nuvem de pontos, para que isso não influencie nos resultados da comparação de dispersão. É possível perceber através da figura 6 que os valores da média da distância de cada ponto ao plano são nulas, como era de se esperar. Com base nos valores do desvio padrão, figura 7, nota-se um aumento gradual da dispersão: conforme aumenta a distância em que os planos foram varridos e analisados, aumenta também a dispersão dos pontos. O menor valor foi de 1,77 milímetros para a distância de 7 metros, chegando a uma dispersão de 2,00 mm para a distância de 107 metros. Na figura 7, pode-se perceber melhor a variação ou aumento da dispersão em função da distância.

**Figura 7:** Dispersão do Laser Scanner em Função da Distância

4. Conclusões

Com o desenvolvimento do método que avalia a dispersão da nuvem de pontos, foi possível a obtenção dos valores de dispersão (desvio padrão) dos pontos obtidos pelo laser scanner terrestre em diferentes distâncias. Através dos resultados da avaliação da dispersão, é possível a obtenção da precisão das medidas de distância nos levantamentos utilizando laser scanner terrestre.

Os valores de dispersão para o equipamento testado mostraram-se satisfatórios, quando comparado com as especificações do fabricante. Segundo o quadro 1, a acurácia em medidas de distância com o laser scanner Cyrax HDS 3000 é de 4 mm para distâncias de operação de até 50 metros. Para essa mesma distância, foi obtido um valor de 1,86 mm de dispersão.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal do Paraná (UFPR); ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (CPGCG) e ao Departamento de Geomática, que colocaram a disposição as instalações e os equipamentos de seus laboratórios; a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento; ao Departamento de Geologia, que através do Projeto IMAGE, colocou a disposição o equipamento laser scanner terrestre Cyrax HDS 3000, da Leica Geosystems; e a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste estudo.

6. Referências Bibliográficas

- Baltsavias, E. P.** *Airbone Laser Scanning: Basic Relations and Formulas*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 54 Número 2-3, pg 199-214, 1999.
- Boehler, W.; Heinz, G.; Marbs, A.** *The Potential of Non-Contact Close Range Laser Scanners for Cultural Heritage Recording*. CIPA - International Symposium, Proceedings. Potsdam, Germany – 2001.
- Dalmolin, Q.; Santos, D. R.** *Sistema Laserscanner: Conceitos e Princípios de Funcionamento*. 3ª Edição – UFPR – Curitiba/PR – Brasil. 97 pg – 2004.
- Gemael, C.** *Introdução ao Ajustamento de Observações – Aplicações Geodésicas*. Editora UFPR. Curitiba / PR 1994.
- Laser Scanner Cyrax HDS 3000** - *Especificações* – Disponível em: <http://hds.leica-geosystems.com/>
Acesso em: 25/04/2005.
- Lichti, D. D.; Harvey, B.** *The Effects of Reflecting Surface Material Properties on Time-of-Flight Laser Scanner Measurements* - Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications - Ottawa, 2002.
- Tommaselli, A. M. G.** *Um Estudo Sobre as Técnicas de Varredura a Laser e Fotogrametria para Levantamentos 3D a Curta Distância*. GEODÉSIA Online -Revista da Comissão Brasileira de Geodésia. 4 / 2003 [ISSN 1415-1111].
- Venturi, J. J.** *Álgebra Vetorial e Geometria Analítica*. 215 p. 5ª Edição. Editora UFPR. Curitiba / PR 1991.