

MONORRESTITUIÇÃO DE IMAGEM DE ALTA RESOLUÇÃO QUICKBIRD II APOIADO NO M.D.E. OBTIDO COM DADOS DO SISTEMA LASER SCANNER

MONORESTITUTION OF QUICKBIRD II HIGH RESOLUTION IMAGE FROM MDE OBTAINED BY MEANS OF LASER SCANNER SYSTEM

**Fernando Cezar
Silveira de Abreu**

Professor do
Departamento de
Engenharia de
Agrimensura,
Universidade do Extremo
Sul Catarinense (UNESC).
E-mail:
fcsabreu@hotmail.com

**Alzir Felipe Buffara
Antunes**

Professor do Curso de Pós-
Graduação em Ciências
Geodésicas, Universidade
Federal do Paraná (UFPR).
E-mail: felipe@ufpr.br

RESUMO

A inovação tecnológica e a utilização de novos sensores orbitais de alta resolução, bem como processos de obtenção de modelos digitais de elevação, permitem desenvolver novas metodologias utilizando a monorrestituição. Considerando especialmente a possibilidade de geração desses modelos digitais de elevação com o laser scanner, tem-se uma poderosa ferramenta na produção de cartas na escala 1: 5000. É nessa linha de abordagem que neste trabalho é realizada a monorrestituição de imagens QuickBird, para obtenção de dados de vias, divisas territoriais e edificações em um espaço urbano. Objetivamente são abordados temas como a capacidade do sistema de monorrestituição de imagens de alta resolução, a avaliação do modelo digital de elevação gerado com dados laser scanner e dos interpoladores de superfícies. Os dados monorrestituídos da imagem QuickBird são comparados com dados coletados com GPS em campo, provenientes da monorrestituição de fotos aéreas convencionais na escala de 1:5000, e da estéreo restituição de fotos 1:5000. A comparação dá-se pelo uso de um conjunto de pontos comuns, embasada no padrão de exatidão cartográfica da escala de 1:5000 e em métodos estatísticos determinados, para avaliar a normalidade dos dados e da não presença de erros sistemáticos significativos. Finalmente mostra-se que a metodologia desenvolvida, pode ser aplicada para o mapeamento planimétrico de vias, edificações e divisas (limites territoriais), na escala de 1:5000, compatível com métodos convencionais.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Fotogrametria, Monorrestituição.

ABSTRACT

The technological innovation and the use of new high resolution orbital sensors, as well as processes of obtaining digital elevation models (DEM), allow to develop new methodologies using the monorestitution. Especially considering the possibility of laser scanner generation of those DEM, a powerful tool is had in the production of maps in the scale 1:5000. It is in that approach line that in this work the QuickBird image monorestitution is accomplished for data obtaining of roads, territorial limits and buildings in an urban space. Objectively, are approached as the capacity of the monorestitution system, the evaluation of the DEM generated with laser scanner data and of the surface interpolation. The monorestitution results of the QuickBird image are compared with GPS data, coming of the conventional monorestitution and stereorestitution of aerophotos. In the comparison are uses a common set points and the precepts of the brazilian Pattern of Cartographic Accuracy in the scale 1:5000. Beside, statistical methods are provided for to evaluate the normality of the data and the not presence of significant systematic errors. Finally, it is shown that the developed methodology, it can be applied for planimetric mapping of roads, limits and constructions in the scale of 1:5000, compatible with conventional methods.

Keywords: Remote Sensing, Photogrammetry, Monorestitution.

1 INTRODUÇÃO

Os recentes avanços na área da tecnologia da computação e de novos sensores orbitais de alta resolução têm proporcionado o desenvolvimento de novas tecnologias baseadas na automação do processo de restituição monocular e conseqüentemente a simplificação dos equipamentos fotogramétricos. A monorrestituição de imagens orbitais de alta resolução pode ser uma ferramenta útil à obtenção de mapeamento planimétrico digital a custo reduzido, tendo como principal vantagem a facilidade operacional. Contudo, apesar do desenvolvimento de vários procedimentos fotogramétricos baseados em imagens digitais, existe ainda a necessidade de investigar questões de ordem operacional, prática e de qualidade dos produtos cartográficos resultantes. Uma análise comparativa entre os resultados obtidos com a monorrestituição digital e a restituição convencional permitirá estabelecer a como técnica viável, de fácil execução, na produção de mapas. Tendo em vista o exposto acima, objetiva-se neste trabalho mostrar alguns resultados da monorrestituição de imagens de alta resolução com vistas ao mapeamento urbano.

1.1 MONORRESTITUIÇÃO DIGITAL

A monorrestituição digital pode ser definida como um procedimento fotogramétrico que possibilita a obtenção de mapeamento planimétrico digital a partir da digitalização vetorial (monoscópica) de entidades contidas numa única aerofoto (MITISHITA, 1997). A falta de visão estereoscópica para corrigir o deslocamento da imagem provocada pela variação da altura dos objetos na projeção central é compensada pelo uso de um M.D.E. (Modelo Digital de Elevação).

MAKAROVIK (1973) idealizou o processo de monorrestituição digital, utilizando as equações de colinearidade inversas e o modelamento matemático da superfície para transformar as coordenadas fotogramétricas observadas nas aerofotos em coordenadas de terreno no referencial geodésico cartesiano tridimensional local. A obtenção do mapa se dá quando estas coordenadas são transformadas para o referencial de um sistema de projeção cartográfica.

Utilizando-se de sistemas de computação gráfica (C.A.D.) para a obtenção de pontos necessários a materialização das entidades e suas coordenadas no referencial fotogramétrico, pode-se empregar técnicas de digitalização vetorial em aerofotos analógicas numa mesa digitalizadora ou aerofotos digitais no formato “*raster*” na tela de vídeo do computador

(MITISHITA, 1997).

De acordo com ZEROUAL & LIAZID (2003) devido à geometria de captura das imagens de satélite de alta resolução, os modelos matemáticos de retificação de fotos (equação da colinearidade) não poderão ser empregados na retificação da imagem de satélite, pois o sistema de varredura eletrônica para a aquisição das imagens de alta resolução corresponde a um arranjo linear de sensores, nestes casos, os sensores são dispostos em linha na direção perpendicular à linha de vôo ou deslocamento da plataforma, e o sistema de captura de fotografia é chamado de quadro, onde a imagem é registrada simultaneamente por todos os sensores, sendo a geometria da tomada das imagens de satélites e da captura da fotogrametria serem muito diferentes. Para o presente trabalho será empregado o modelo matemático DLT (Transformação Linear Direta) a qual permite eliminar a orientação interior e exterior. Este modelo foi introduzido por ABDEL-AZIZ & KARARA (1971) e permite a calibração de câmeras não métricas, neste caso possibilita a eliminação da orientação interna e externa na calibração, o que é muito útil em se tratando de imagens orbitais. Segundo LEE (1996) a combinação da transformação afim geral no plano com a equação da colinearidade resulta na DLT, equação 01:

$$x = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}$$
$$y = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1}$$

(01)

(x, y) = Coordenadas planas no referencial da imagem.

(X, Y, Z) = Coordenadas tridimensionais no referencial geodésico local.

(L1, L 2.....L11) = Parâmetros de transformação.

Para a utilização da DLT (Transformação Linear Direta) na monorestituição é necessário expressá-la na sua forma inversa equação (02, 03 e 04), onde as coordenadas planas no referencial geodésico (X, Y) são expressas em função dos parâmetros (L1, L 2.....L11), das coordenadas planas no referencial da imagem (x, y) e da coordenada altimétrica (Z) (MITISHITA & SARAIVA, 2003).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = A^{-1} C$$

(02)

onde:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_1 - xL_9 & L_2 - xL_{10} \\ L_5 - xL_9 & L_9 - xL_{10} \end{bmatrix} \quad (03)$$

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} \\ C_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -Z(L_3 - xL_{11}) - L_4 + x \\ -Z(L_7 - yL_{11}) - L_8 + y \end{bmatrix} \quad (04)$$

(Fonte: MITSHITA 2003)

O processo de monorestituição digital tem várias fases conforme (SOUZA, 2001).

1º Fase – Início do processo

A digitalização vetorial dos pontos das entidades gráficas e dos pontos de controle monoscópicos da imagem, em coordenadas da imagem.

2º Fase – Cálculo dos parâmetros da D.L.T.

Os parâmetros da D.L.T. ($L1, L 2.....L11$) são determinados através do processo de ajustamento por Mínimos Quadrados, com o método paramétrico, sendo injuncionadas as coordenadas integrais (x e y) no espaço imagem e X,Y e Z (no espaço objeto) dos pontos de controle.

$$L_a = F(X_a) \quad (05)$$

$$L_0 = F(X_0) \quad (06)$$

$$X = -(A^T PA)^{-1}(A^T PL) = -N^{-1}U \quad (07)$$

$$X_a = X_1 + X \quad (08)$$

$$P_i = \begin{bmatrix} 1/\sigma_x^2 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_y^2 \end{bmatrix} \quad (09)$$

Onde:

L_a , vetor dos valores observados ajustados;

L_0 , vetor dos resultados da função matemática usando parâmetros aproximados;

X_a , vetor dos parâmetros ajustados;

X_0 , vetor dos parâmetros aproximados;

X , vetor das correções aos parâmetros aproximados;

P_i , no presente estudo é uma submatriz da matriz (diagonal) dos pesos das observações no espaço imagem.

3º Fase – Referencial Geodésico Aproximado

Consiste na aplicação do modelo matemático APL (10) para estimativa das coordenadas dos pontos de interesse, que serão utilizadas como valores iniciais no processo iterativo descrito na próxima fase (varredura do MDE). O referido modelo é empregado na transformação de coordenadas de imagem em coordenadas planas no referencial geodésico local aproximado. Tendo-se as coordenadas dos pontos de controle no referencial de imagem e no referencial geodésico local, determina-se, com a técnica de ajustamento pelo método paramétrico, como já foi descrito na 2º Fase:

$$X = ax + by + c \tag{10}$$

$$Y = dx + ey + f$$

Onde:

(x, y) = Coordenadas planas no referencial da imagem.

(X, Y) = Componentes planas das coordenadas no referencial geodésico local.

(a, b, c, e, f) = Parâmetros de transformação.

4º Fase: Utilização do M.D.E.

Com as coordenadas de imagem e as coordenadas geodésicas aproximadas, valendo-se do M.D.E., encontra-se a coordenada referente à altura (Z) dos pontos. Para o desenvolvimento deste trabalho, torna-se necessário elucidar a diferença entre um modelo digital do terreno e um modelo digital de superfície. Modelo digital de terreno (MDT) armazena apenas as altitudes dos pontos na superfície do terreno, ao passo que Modelo digital de elevação (MDE), é aquele que inclui outros tais como árvores e edificações.

5º Fase – Transformação de um ponto digitalizado na imagem para o referencial geodésico local.

O procedimento aqui aplicado, não possibilita que esta transformação ocorra com a aplicação direta da D.L.T., sendo somente possível através de um processo iterativo. O procedimento básico consiste na aplicação da transformação D.L.T. e do M.D.E. dentro de um fluxo iterativo de transformações, que determina as coordenadas planas devidamente correlacionada com a coordenada altimétrica obtida na 4º fase (Mitishita, 1997).

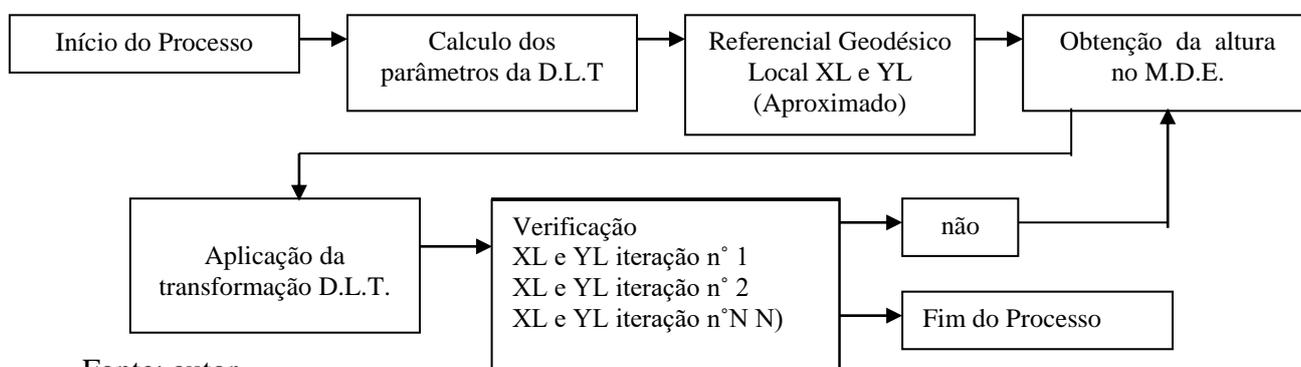
Em outras palavras, embora a transformação D.L.T seja uma aproximação da equação da colinearidade e viabilize a correta e aproximada determinação das coordenadas planimétricas, verifica-se que o processo efetuado na 3º fase é impreciso, pois a coordenada altimétrica do ponto foi obtida a partir de uma interpolação no M.D.E. Então, as coordenadas

planimétricas dos pontos de interesse determinadas numa primeira aplicação da D.L.T. serão na realidade utilizadas para o cálculo de nova coordenada altimétrica mais precisa, no M.D.E. E determina-se outra coordenada planimétrica pela D.L.T. mais precisa que a primeira. E o processo segue até um determinado limite arbitrado em função da precisão desejada.

6º Fase – Verificação da precisão da transformação.

As fases de cálculo que determinam as coordenadas altimétricas do M.D.T. (4º fase), e coordenadas planimétricas da transformação D.L.T. (5º fase), são repetidas até que a diferença entre as coordenadas planimétricas calculadas em iterações consecutivas sejam compatível com a precisão adotada no trabalho. A Figura 01 ilustra todas as fases descritas no formato de um fluxograma, o que facilita o entendimento.

Figura 01 – Fluxograma da monorrestituição digital



Fonte: autor

2 ÁREA DE ESTUDO

A área teste é uma região localizada no Bairro Jardim das Américas situado próximo ao Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná em Curitiba, Estado do Paraná (PR). Ela está é composta por quatorze quadras com duzentos e trinta e oito lotes e duzentos e quarenta e cinco edificações. A Figura 02 apresenta um registro da referida área.

Figura 02 – Área de estudo

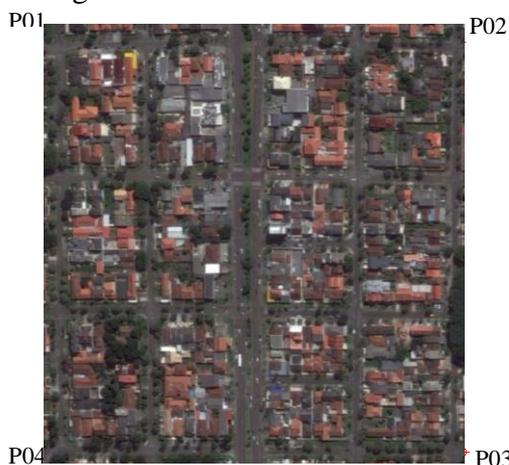


Tabela 01 – Coordenadas da área de estudo.

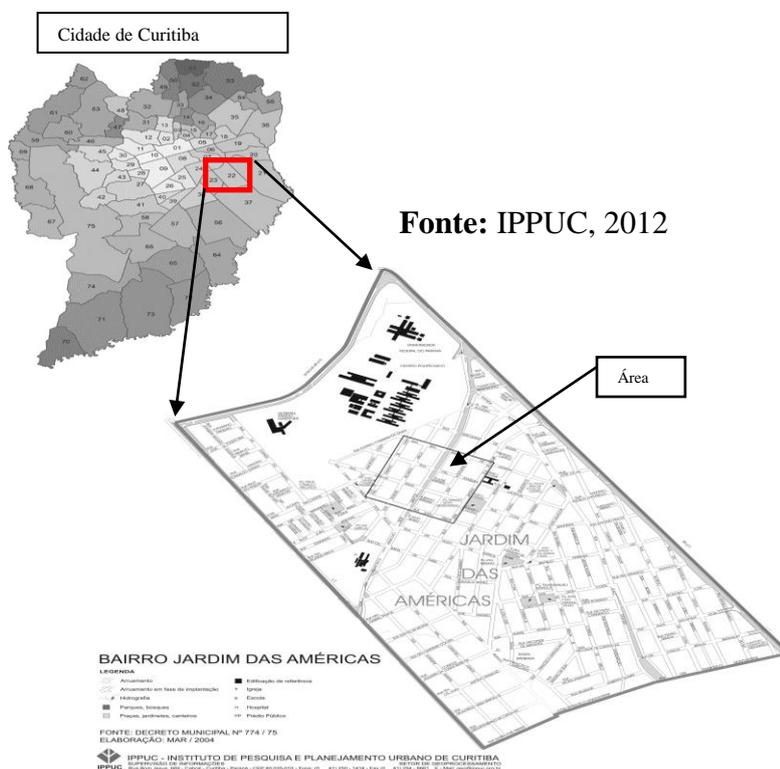
PONTOS	N (m)	E(m)
P01	7.183.607,482	677.707,580
P02	7.183.437,941	678.088,460
P03	7.183.052,882	677.917,060
P04	7.183.222,422	677.536,180

Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000
 Meridiano Central: -51°, Zona UTM: 22J

Fonte: LACTEC –UFPR, 2012

A escolha da área de estudo Figura 03 deu-se devido a existência e a disponibilidade de imagem do Sensor QuickBird II de 2003 e de dados do sensor Laser Scanner cedidos do LACTEC, bem como pela facilidade de acesso à mesma.

Figura 03 – Área de estudo



3 MATERIAL E METODOS

Dados:

- Dados de varredura a laser oriundos do sistema OPTECH / INS GPS APPLANIX, pertencente ao Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC – UFPR), com as seguintes informações:
 - a. Pontos no formato ASCII do último retorno de cada pulso enviado com coordenadas XYZ e o valor da intensidade;
 - b. Modelo Digital de Superfície, no formato ASCII, gerado pelo Sistema de Varredura a Laser;
 - c. Imagem Intensidade gerada pelo Sistema de Varredura a Laser.
- Imagens do Sensor QuickBird II: a imagem tem data de tomada em 12 de fevereiro de 2003, está armazenada em formato TIFF, cobrindo uma área de 6,7 Km². Esta imagem é formada pela fusão das bandas do espectro visível – azul, verde e vermelho – e da

banda pancromática, de maneira a compor um produto em cor real com a maior resolução espacial possível.

- Carta gerada através do processo de restituição aerofotogramétrica convencional no curso de Engenharia Cartográfica (UFPR) em 1998.
- Carta gerada através do processo de Monorrestituição no curso de Engenharia Cartográfica em 1998 (UFPR).

Softwares:

- *software* Sistema Monorestituído Digital desenvolvido por MITISHITA (1997).
- *software* para realizar o modelamento matemático da superfície *Surfer 7.0* (tratamento dos dados altimétricos), devidamente licenciado para o Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas;
- *software* gerenciador de imagens *Envi 3.6* (tratamento da imagem *QuickBird II*, devidamente licenciado para o Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas;
- *softwares* *CAD MicroStation* e *AutoCad Map 2000i* (Plataforma do Monorrestituído e arte final) , devidamente licenciados para o Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas;
- Microcomputador *Pentium III – 700Hz*, 128Mb de RAM, Placa de vídeo de 64 Mb, disco rígido de 20Gb e Monitor de 17”.

3.1 METODOLOGIA

A seguir, a metodologia aplicada para a realização da monorrestituição de uma Imagem *QuickBird II*, utilizando os modelos digitais de superfície derivados do sistema de varredura a laser. Como já foi citado, pretende-se verificar a contribuição que esse modelo digital de superfície pode trazer à qualidade da monorrestituição, na restituição de vias, divisas e edificações.

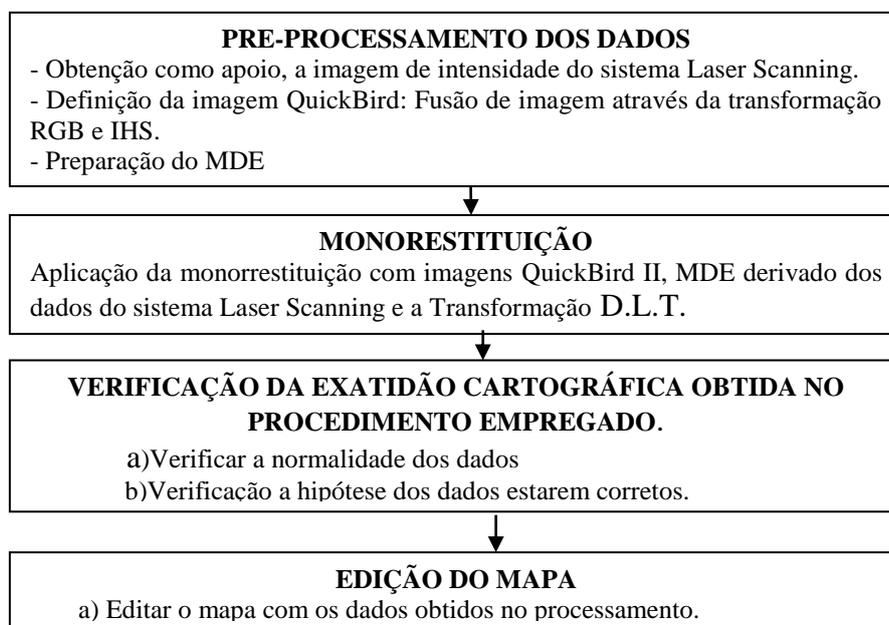
A monorrestituição digital, já foi definido e caracterizado, o método matemático de determinação das coordenadas de pontos no espaço objeto por meio de relações geométricas e fotos singulares ou imagens digitais, utilizando-se pontos de apoio e um modelo numérico de terreno, o que permite o mapeamento planimétrico vetorial a partir da restituição monocular das imagens digitais.

Nesta pesquisa se testa a factibilidade de utilizar a metodologia proposta para a obtenção de uma carta classe A, segundo o PEC, para um mapeamento na escala 1:5.000 a

partir de imagens QuickBird II.

Desta forma, a metodologia de produção de carta topográfica foi subdividida em etapas dispostas em sequência de execução da pesquisa e esquematizada no quadro 01.

Quadro 01 – Metodologia



Fonte: autor

4 RESULTADOS

4.1 AVALIAÇÕES DA DIGITALIZAÇÃO EFETUADA NAS IMAGENS QUICKBIRD

Preliminarmente foi efetuada uma fotointerpretação da imagem multiespectral com o objetivo de se obter a melhor forma de extrair as feições de interesse. As bandas foram analisadas de forma individual e em composição colorida. Com uma análise individual verificou-se qual era a composição mais adequada a interpretação visual da imagem. O critério de análise esteve relacionado à condição de observação das bordas que estas imagens conjuntas poderiam trazer para a extração das entidades presentes na cena, facilitando a vetorização ou digitalização.

A interpretação da imagem por meio de composição coloridas RGB possibilitou uma melhor detecção de bordas, levando a uma digitalização mais próxima dos limites verdadeiros. O conhecimento prévio da região foi fundamental nessa avaliação.

4.2. VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS DA MONORRESTITUIÇÃO

4.2.1 VERIFICAÇÃO ATRAVÉS DE PONTOS GPS

Nesta etapa foi verificada a qualidade planimétrica da carta obtida. Foram observados pontos com o uso de receptores GPS topográficos, modelo Promark II da Ashtec, com técnica de posicionamento estático e tempo rastreo de aproximadamente 20 minutos por ponto. As coordenadas utilizadas na comparação foram derivadas do pós-processamento da portadora observada, tendo como base os dados da Estação PARA da RBMC, sita no Centro Politécnico da UFPR. As bases integradas pelo sistema eram todas inferiores a 1,5 km. Realizaram-se 23 observações em campo em pontos selecionados sobre esquinas, canteiros e cercas. A tabela 02, abaixo apresentada, mostra a média e o desvio padrão dos resíduos obtidos:

Tabela 02 – Diferença entre coordenadas GPS e coordenadas da monorestituição.

	Diferença		Distancia
	DE(m)	DN(m)	(m)
Média	-0,706	-0,718	1,093
Desvio Padrão	0,377	0,290	0,195

Fonte: autor

As distâncias entre as duas posições estimadas apresentam-se na tabela sob a designação Distancia.

A média para os resíduos em “E” e “N” ficou, respectivamente, com os valores de -0,706 m e -0,718 m. Verificando as diferenças individuais entre as coordenadas, percebe-se que na maioria dos pontos o valor fica próximo a 80 centímetros, que é o tamanho do pixel da imagem.

O Decreto lei fixa valores máximos para cada classe. Estes valores foram representados sob forma de círculos com raio igual ao valor permitido por classe. Assim, os círculos possuem raios iguais aos valores do PEC na quarta coluna (contada da esquerda para a direita) da tabela 02, em relação à escala 1:5000; que são respectivamente 2,5 m para a classe A, 4,0 m para a classe B e 5,0 m para a classe C. Pela comparação do círculo tracejado com os demais é possível enquadrar uma carta em alguma das classes. Ainda, no exemplo, considerando os dados GPS como a verdade de campo, poder-se-á classificar a carta restituída na classe A.

A tabela 03 mostra o resumo dos cálculos estatísticos necessários para verificar a hipótese de normalidade (*K-S Test*) e de coincidência da média com a origem (*Teste T²*) para

a comparação com os pontos levantados por GPS. Constatou-se através do (*K-S Test*), que as diferenças podem ser estimadas por uma distribuição normal, uma vez que o valor calculado pelo teste é muito maior que 0,05.

Depois da condição de normalidade foi verificada a coincidência das médias com a origem. Na tabela 03 o termo “Teste T^2 ” refere-se ao resultado do lado esquerdo e o termo “Teste T^2 – lado 02” mostra o lado direito da mesma equação. Para a condição de hipótese ser nula (H_0), o termo “Teste T^2 – lado 01” tem que ser maior que o termo “Teste T^2 – lado 02”, o que ocorre neste caso. Isto indica, a um nível de 95% de significância, que para as feições digitalizadas a hipótese nula pode ser aceita.

Tabela 03 – Avaliação estatística da vetorização sobre a imagem derivada do Quickbird

TESTE	RESULTATOS
Normalidade (<i>K-S Test</i>)	0.72365
Teste T^2 – lado 01	421.56
Teste T^2 – lado 02	7.2563

Fonte: autor

4.2.2. VERIFICAÇÃO DAS COORDENADAS OBTIDAS COM A MONORRESTITUIÇÃO E ESTEREORESTITUIÇÃO DE FOTOS 1:5000.

Uma vez que estavam disponíveis duas cartas da região resultantes da monorrestituição e da estereorrestituição de um conjunto de fotos aéreas, foi realizada a verificação da compatibilidade dessas com a carta planimétrica extraída da monorrestituição com imagens QuickBird.

Foram coletados 22 pontos em vias, edificações e divisas (limites territoriais). Nessa comparação, a título de análise mais robusta, foram calculadas as diferenças de pontos iguais reconhecidos entre as restituições para construções e vias em separado. A tabela 04, primeiramente, mostra o resultado dessa comparação pela média e o desvio das coordenadas e pela distância absoluta entre as estimativas da monorrestituição de construções em ambas imagens: QuickBird e fotos aéreas.

Tabela 04 – Diferença entre coordenadas da monorrestituição Quickbird e coordenadas da monorestituição foto

	Diferença		Distancia.
	DE(m)	DN(m)	(m)
Média	-0,730	-0,541	1,322
Desvio Padrão	0,544	0,842	0,198

Fonte: autor

A tabela 05 mostra os resíduos entre os pontos delimitantes de construções na vetorização derivada da monorrestituição da imagem QuickBird II em relação ao mapa digital estereorestítuido, fornecido pelo Departamento de Geomática da UFPR.

Tabela 05 – Diferença entre os pontos obtidos na imagem de QuickBird com a base cartográfica (edificações)

	Diferença		Dist.
	DE(m)	DN(m)	
Média	-1,093	-1,205	1,594
Desvio Padrão	0,314	0,499	0,694

Fonte: autor

Pode-se perceber que ocorre uma diferença entre o valor absoluto das médias dos resíduos resultantes das duas comparações (tabelas 04 e 05), sendo maiores aqueles calculados em relação ao processo de estereorrestituição. Essa evidência pode estar relacionada às diferentes metodologias empregadas no processo de restituição.

A tabela 06 mostra o resumo dos cálculos estatísticos necessários para verificar a hipótese de normalidade (*K-S Test*) e também de consistência da hipótese de media nula (Teste T^2) para as construções vetorizadas sobre a imagem. Verificam-se através do (*K-S Test*), que as diferenças podem ser aproximadas por uma distribuição normal e que a hipótese citada é aceita a um nível de significância de 95%.

Tabela 06 – Avaliação estatística da vetorização sobre a imagem derivada do sistema de varredura a laser

Feições	Edificações
Normalidade (<i>K-S Test</i>)	0.639856
Teste T^2 – lado 01	421.56
Teste T^2 – lado 02	7.2563

Fonte: autor

A tabela 07 mostra a diferença dos pontos obtidos com a vetorização sobre as vias na imagem QuickBird com os mesmos pontos pertencentes à base cartográfica digital estéreo.

Tabela 07 – Diferença entre os pontos obtidos na monorestituição de imagem quickbird com a base cartográfica (vias)

	Diferença		Dist.
	DE(m)	DN(m)	
Média	-1,048	-1,023	1,564
Desvio Padrão	0,449	0,405	0,598

Fonte: autor

Os resíduos dos pontos ficaram bem distribuídos em torno de zero. Este tipo de

vetorização, nas construções e vias, poderia, segundo o critério do PEC, ser usado para gerar mapas classe A na escala 1:5000.

Como anteriormente explorado, a tabela 08 mostra o resumo dos cálculos estatísticos necessários para verificar da hipótese de normalidade e de coincidência da média nula.

Tabela 08 – Avaliação estatística da vetorização sobre a imagem derivada do sistema de monorestituição.

Feições	Vias
Normalidade (<i>K-S Test</i>)	0.392540
Teste T^2 – lado 01	73.56
Teste T^2 – lado 02	9.8456

Fonte: autor

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conclusões

- O produto da monorestituição de imagem de alta resolução QuickBird II apoiado no M.D.E. obtido com dados do sistema laser scanner podem ser utilizados em diversos trabalhos que necessitem de dados bidimensionais, dentro da escala testada, pois possuem uma boa geometria planimétrica.
- Para algumas feições, é possível realizar mapeamento na escala 1:5000 sobre imagens QuickBird II, como por exemplo no caso de construções de grande porte e vias. Isto ocorre devido ao fato da facilidade de vetorizar sobre as bordas, são melhor identificáveis com a composição colorida das imagens.
- No caso da vetorização sobre as vias, os erros foram menores que os resíduos das construções. Isto ocorreu devido a fronteira das vias estarem mais bem definidas visualmente que as edificações.
- A utilização do Sistema Monorestituído Digital possui algumas vantagens em relação a estereorestituição. Facilidade operacional e requer um curto período de tempo para se familiarizar com o sistema, dependendo da aplicação obtém resultados equivalentes a uma estereorestituição. É um sistema que possui baixo custo e não requer conhecimentos muito específicos do *Software MicroStation* para aplicá-lo.
- A desvantagem do monorestituído é a sua dependência da qualidade de um modelo digital de superfície. No caso deste trabalho, foi utilizado o modelo digital de superfície (MDS) derivado dos dados do Sistema de Varredura a Laser. Os resultados obtidos com a monorestituição utilizando o interpolador superfície plana mostraram-se equivalentes àqueles

obtidos utilizando o interpolador vizinho mais próximo, bem como os do modelo de Krigging. Porém, pode-se prever que em testes mais amplos, no caso de edificações, em virtude da descontinuidade do modelo nas bordas das mesmas, o sistema pode apresentar erros maiores, função de usar o valor de um vizinho próximo localizado fora da construção.

Recomendações

- Verificar a eficiência desta metodologia utilizando outras áreas de teste com relevo mais acentuado.
- Antes de iniciar a trabalhar com os dados, verificar a qual sistema de referência ele pertence e também verificar os dados do dia do levantamento, a fim de se ter uma boa informação sobre os dados que serão utilizados.
- No caso em que se deseje realizar uma vetorização sobre uma imagem derivada do QuickBird II na tela de um computador, recomenda-se realizar um processamento digital na imagem afim de realçar bordas de feições facilitando a digitalização sobre a mesma.
- Procurar utilizar a melhor configuração de vídeo e placa gráfica, para melhor visualização dos detalhes, além de melhor desempenho e menor tempo de processamento.
- Procurar utilizar dados pontuais notáveis e pouco suscetíveis a alterações, tais como esquinas de meio fio ou encontro de grandes eixos viários, derivados do varredor laser como pontos de apoio utilizados na monorrestituição.

6 REFERÊNCIAS

ABDEL-AZIZ, Y. I.; KARARA, H. M. **Direct Linear transform from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry**. Proceeding of the AUI/UI, Symposium on Close Range Photogrammetry, Urbana, 1-18, 1971.

GEMAEL, Camil. **Introdução ao Ajustamento de Observações**. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná, 1984.

LEE, C. K. **Dynamic Monitoring With Video Systems**. Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, P.O Box 4400, Fredericton, B.B. Canada, 1996.

MAKAROVIK, B., **Digital nomo-ploter**. ITC Jornal, 1973-4, pp. 583-600.

MITISHITA, E. A., **Monorrestituição digital de fotos associada com sistema de computação gráfica CAD, para fins de mapeamento na área florestal**. Curitiba, 1997. Tese de doutorado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, UFPR.

MITISHITA, E. A., **Manual de utilização do software “Sistema Monorestituído Digital”, versão 2.0.** Curitiba, 1997b, 31p.

MITISHITA, E. A.; SARAIVA, C. S. S., **Monorrestituição de Imagens de Alta Resolução Ikonos 2 (GEO), Utilizando-se da Transformação DLT e Modelos Digital do Terreno.** XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte:2003. Anais do Congresso, CD-Rom, Belo Horizonte, 2003.

SOUZA, S. R. N., **Uso da monorrestituição digital, aerofotos de pequena escala e modelamento matemático de superfície (DTM) para realização de mapeamento planimétrico.** Curitiba - PR, 2001. Dissertação de mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR.

ZEROUAL. C.; LIAZID, N. V. Map revision. **ITR Jurnal**, Vol 3, p. 490-502 2003.