

Construção de mosaico digital composto por fotografias não-métricas retificadas através da Transformação Linear Direta

Juliana Baptista dos Santos França
Priscila Graça Soares
Gilberto Pessanha Ribeiro

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ
R. São Francisco Xavier, 524 - Cep 20550-900 - Maracanã - Rio de Janeiro - RJ, Brasil
{julibsf, priscilagsoares, gilberto.pessanha}@gmail.com

Abstract. The non-metric photographs, despite have a high geometric instability, offer lower costs to the project, which is extremely important specially in small projects. To increase the potential of use of these images is necessary to correct their geometry by rectification. In this paper this correction was made using the mathematical model of the Direct Linear Transformation – DLT. This model does not uses as input the camera parameters and the interior and exterior orientation, which makes it applicable in non-metric photographs. This transformation was also used to calculate the parameters of exterior orientation and focal length of each non-metric photography used, which allowed evaluate the correction performed. With the non-metric images corrected, was build a mosaic that reflects the region of Geribá, Armação dos Búzios, city of Rio de Janeiro. The mosaic was evaluated by comparing it with points of a base map in 1:2000 scale, which enabled verify that even submitting non-metric photographs to the rectification, the geometric instability of the images was not completely eliminated. Even so, the DLT rectification contributes to build a better quality mosaic. Using this type of mosaic is relevant whereas it can be used to follow changes on the surface, for example to update the existing database, since the information searched in the mosaic is relative to the existence of features, and not to its true position on the surface.

Palavras-chave: non-metric photographs, rectification, Direct Linear Transformation, fotografias não-métricas, retificação, Transformação Linear Direta.

1. Introdução

As fotografias métricas atuam como um dos principais insumos para projetos que exijam um conhecimento a respeito da superfície a ser trabalhada, visto que, quando obtidas observando os cuidados adequados, constituem fonte segura de dados a cerca das feições existentes. Embora estas fotografias apresentem vantagens na extração das informações, nem sempre elas representam uma solução viável, principalmente em projetos de pequeno porte, devido ao seu alto custo. Como solução para os projetos de pequeno porte é proposta a utilização das fotografias de pequeno formato.

As fotografias de pequeno formato, quando obtidas por câmeras que não agregam a mesma qualidade às fotografias que uma câmera métrica calibrada, são chamadas de fotografias não-métricas. A vantagem de seu uso refere-se ao baixo custo de sua aquisição, já que se faz necessário equipamento mais simples quando comparado com as fotografias métricas convencionais. Quanto as suas limitações, é possível destacar a significativa instabilidade geométrica, além de que sua utilização deve ser feita em regiões de área pouco extensa.

Como forma de aplicação das fotografias não-métricas, é possível citar seu uso para reconhecimento e primeiros estudos nas áreas de trabalho. Outro bom uso que podem ter estas fotografias é o acompanhamento de fenômenos dinâmicos, como ocupação desordenada do solo, degradação de áreas florestadas, processos erosivos, dentre outros. Com isso, os órgãos públicos responsáveis poderiam fazer um planejamento para controle destes problemas, por um baixo custo, e o acompanhamento poderia ser mais constante do que com fotografias métricas. Vale mais uma vez salientar que tal solução só se aplica a pequenas áreas, visto que a área de cobertura de cada uma destas fotografias é bem inferior a das fotografias métricas convencionais, como pode ser visto em Disperati (1991).

Para facilitar o trabalho com as fotografias não-métricas e oferecer uma visão global da área de projeto, são utilizados mosaicos compostos a partir da união de fotografias adjacentes. Do ponto de vista qualitativo, os mosaicos apresentam resultados com maior riqueza de detalhes quando comparados a uma carta convencional na mesma escala.

O objetivo deste trabalho é construir um mosaico composto por fotografias não-métricas retificadas e avaliar sua qualidade geométrica. Para realizar a retificação das fotografias foi utilizado o modelo matemático da Transformação Linear Direta (DLT - Direct Linear Transformation). Este modelo não utiliza como entrada os parâmetros da câmera e das orientações interior e exterior, o que o torna aplicável nas fotografias não-métricas.

Este trabalho surgiu como um projeto final de graduação em 2009, no departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ. Como trabalhos relacionados podem ser citados Volotão (2001) e Debiassi (2008). O primeiro trabalho propõe a construção de uma ferramenta para realizar a ortorretificação de imagens utilizando a DLT, sendo que ele só trabalhou com fotografias métricas. O segundo trabalho avalia a potencialidade de uso de imagens advindas do sensor CCD do CBERS 2 ortorretificadas utilizando a DLT.

A organização deste trabalho contempla mais quatro sessões além desta introdução. São elas: o embasamento teórico, onde é apresentada a conceituação dos temas de destaque explorados neste trabalho; o desenvolvimento, destacando o levantamento dos pontos de campo, o processo de retificação, e a aplicação da DLT na extração dos parâmetros não conhecidos e dos ângulos de atitude da câmera das fotografias não-métricas; a construção e análise do mosaico; e por fim, na quinta sessão, a conclusão onde são apresentadas relevâncias da aplicação de fotografias não métricas e propostas de trabalhos futuros.

2. Embasamento Teórico

Segundo Coelho e Brito (2007) retificar uma imagem consiste em projetá-la segundo seu próprio feixe perspectivo, em um plano horizontal. A retificação é um processo de correção onde se busca diminuir ou mesmo eliminar, as distorções relativas aos ângulos de atitude da câmera.

Este processo mantém a projeção cônica da imagem e não corrige o deslocamento devido ao relevo. Quando se deseja corrigir este deslocamento é necessário realizar a retificação diferencial ou ortorretificação.

A fim de que seja possível realizar a retificação se faz necessário a utilização de modelos matemáticos. Como exemplos destes, têm-se a transformação afim, a transformação projetiva e a Transformação Linear Direta, que utiliza as equações da colinearidade.

As equações da colinearidade são consideradas a base da fotogrametria digital (Equações 1 e 2). Isso porque tais equações relacionam os parâmetros da orientação exterior e as coordenadas fotográficas e tridimensionais de um ponto no sistema de referência do terreno. A condição da colinearidade segundo Coelho e Brito (2007) é enunciada da seguinte forma: “no momento da tomada da fotografia, o ponto-objeto, o centro de projeção e o ponto-imagem formam uma linha reta”.

$$\xi = \xi_0 - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \quad (1)$$

$$\eta = \eta_0 - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \quad (2)$$

Onde:

c → distância principal (ou focal, ou focal calibrada);

ξ_0 e η_0 → coordenadas do ponto principal;

ξ_n e η_n ; → coordenadas de pontos de controle no espaço-imagem;

X_n, Y_n e $Z_n \rightarrow$ coordenadas de pontos de controle no espaço-objeto;

$r_{nm} \rightarrow$ é o elemento da matriz de rotação;

$n, m \rightarrow$ índices dos pontos de campo.

As equações da colinearidade são utilizadas na retificação como base dos modelos matemáticos rigorosos. A fim de ser possível a aplicação deste modelo, se faz necessário o conhecimento dos parâmetros de atitude e calibração da câmera.

Existem modelos matemáticos que, diferente dos rigorosos, não necessitam do conhecimento dos parâmetros da câmera. Estes são denominados de modelos generalizados, tendo como exemplo a Transformação Linear Direta (DLT – Direct Linear Transformation).

Segundo Debiasi (2008), a DLT foi desenvolvida por Abdel-Aziz e Karara para a calibração de câmeras não-métricas, e pode ser derivada das equações da colinearidade. Com a DLT se tornam desnecessárias as orientações interior e exterior, visto que os parâmetros resultantes destas podem ser calculados por este modelo. Esta solução é aplicável em especial nas fotografias que não possuem marcas fiduciais, como é o caso das não-métricas e das imagens orbitais. As equações da DLT (Equações 3 e 4) são apresentadas a seguir:

$$\xi = \frac{D_1 \cdot X + E_1 Y + F_1 Z + G_1}{AX + BY + CZ + 1} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{D_2 \cdot X + E_2 Y + F_2 Z + G_2}{AX + BY + CZ + 1} \quad (4)$$

Onde:

$A, B, C, D_1, D_2, E_1, E_2, F_1, F_2, G_1, G_2 \rightarrow$ parâmetros de transformação da DLT;

ξ e $\eta \rightarrow$ coordenadas de pontos de controle no espaço-imagem;

X, Y e $Z \rightarrow$ coordenadas de pontos de controle no espaço-objeto.

3. Desenvolvimento

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário realizar o levantamento de pontos em campo com o objetivo de executar a retificação das fotografias não-métricas e servir como dados de entrada da Transformação Linear Direta - DLT para a obtenção dos parâmetros desconhecidos. Após a retificação as imagens foram unificadas formando um mosaico digital que foi então avaliado.

A área de estudo deste trabalho corresponde à região de Geribá, município de Armação dos Búzios, estado do Rio de Janeiro. Esta região é litorânea e essencialmente turística e urbana. Para retratar a região de estudo foram necessárias quatro fotografias não-métricas com escala aproximada de 1:16000 que cobrem uma área de 230 ha.

As fotografias não-métricas foram obtidas por uma câmera métrica Hasselblad de pequeno formato (60x60mm). Seu voo foi realizado pela empresa Nautilus Navigator no ano de 2001 a aproximadamente 1200 metros de altitude, com cobertura lateral e longitudinal aproximada de 30% e 60%, respectivamente. Tal voo foi executado por um avião de pequeno porte com um suporte simples, feito pela própria Nautilus, para acoplagem da câmera à aeronave. Posteriormente as fotografias foram digitalizadas por um scanner cilíndrico, com resolução de 91pixels/polegada.

3.1 Levantamento dos pontos de campo

O levantamento foi realizado durante os dias 23 e 24 de maio de 2009, utilizando receptores GPS Promark2 com a técnica de posicionamento relativo estático. O ponto base selecionado foi o ponto SAT GPS 91970 implantado pelo IBGE que está localizado no pórtico da entrada de Búzios. Os pontos de controle foram selecionados em locais bem identificados nas fotografias e de fácil acesso em campo, como cruzamento de estradas. Como

as distâncias entre a base e os pontos selecionados eram curtas, em média de 2,0km, o tempo de rastreamento planejado foi de 25 minutos por ponto, tendo sido rastreados um total de 11 pontos.

3.2 Retificação

As fotografias não-métricas, principal insumo deste trabalho, possuem distorções acentuadas. Sendo assim, a fim de permitir a construção de um mosaico de melhor qualidade, se fez necessário a realização de uma correção geométrica nas fotografias trabalhadas.

O processo de correção geométrica, conhecido como retificação, foi aplicado nestas fotografias utilizando o modelo matemático da Transformação Linear Direta (DLT). A seguir será apresentado o desenvolvimento da modelagem DLT, a fim de obter seus onze parâmetros de transformação.

As equações 3 e 4 podem ser reescritas da seguinte forma (Equações 5 e 6):

$$\xi = -\xi AX - \xi BY - \xi CZ + D_1 X + E_1 Y + F_1 Z + G_1 \quad (5)$$

$$\eta = -\eta AX - \eta BY - \eta CZ + D_2 X + E_2 Y + F_2 Z + G_2 \quad (6)$$

Para resolver as equações 5 e 6 foi utilizado o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ). Como são 11 incógnitas a determinar, este método exige o mínimo de 12 equações para que tenha solução possível. Sendo assim, se faz necessário o mínimo de seis pontos de controle para sua utilização, o que irá gerar doze equações, tendo um sistema possível e indeterminado. A equação 7 representa o MMQ em Gemael (1994):

$$X = (A^T A)^{-1} A^T L_b \quad (7)$$

O processo de retificação das fotografias não-métricas foi realizado no *software* ERDAS Imagine 9.1 utilizando a Transformação Linear Direta (DLT). Os parâmetros dessa transformação foram calculados pelo próprio *software*.

Ao comparar as fotografias não-métricas, retificada e não retificada, junto com as ruas da base cartográfica foi observado que a região central da fotografia não apresentou muitas alterações após o processo de correção, enquanto que na região de borda as alterações foram significativas. A base cartográfica utilizada possui escala 1:2000, tendo sido obtida a partir da restituição de fotografias métricas na escala de 1:8000, e possui classe A segundo o Padrão Exatidão Cartográfica.

3.2.1 Outras aplicações da Transformação Linear Direta

A Transformação Linear Direta, além de ser aplicada no processo de retificação das fotografias, possui outras aplicações, principalmente quando se trata de fotografias não-métricas. Neste trabalho ela foi utilizada também para extrair das fotografias não-métricas seus parâmetros não conhecidos, como os ângulos de atitude da câmera. O cálculo destes valores nas imagens não retificadas e nas retificadas permitiu a análise da retificação.

Para realizar os cálculos necessários para obtenção desses valores, foi utilizado o *software* MathCad 13. A fim de que a DLT possa ser aplicada se fez necessário conhecer o sistema da foto. Como as fotografias não possuem fiduciais, se fez necessário estabelecer um sistema arbitrário para cada fotografia. Tendo como dados de entrada as coordenadas desse sistema e as coordenadas de terreno, foram aplicadas as equações da Transformação Linear Direta no Mathcad 13, resultando nos parâmetros de atitude da câmera e na distância focal.

Para desenvolver a DLT na obtenção desses parâmetros, se fez necessário utilizar a matriz de rotação, que é expressa através das relações dos três ângulos de atitude da câmera (φ , ω e κ), representando a rotação necessária para passar do espaço-imagem para o espaço-objeto. As equações 8 e 9 apresentam essa matriz.

$$R_{\omega\varphi\kappa} = \begin{bmatrix} \cos\varphi\cos\kappa & -\cos\varphi\sin\kappa & \sin\varphi \\ \cos\omega\sin\kappa + \sin\omega\sin\varphi\cos\kappa & \cos\omega\cos\kappa - \sin\omega\sin\varphi\sin\kappa & -\sin\omega\cos\varphi \\ \sin\omega\sin\kappa - \cos\omega\sin\varphi\cos\kappa & \sin\omega\cos\kappa + \cos\omega\sin\varphi\sin\kappa & \cos\omega\cos\varphi \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$R_{\omega\varphi\kappa} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (9)$$

As propriedades da matriz de rotação resultam nas relações:

$$\tan\omega = -\frac{r_{23}}{r_{33}} \Rightarrow \omega = \arctan\left(-\frac{r_{23}}{r_{33}}\right) \quad (10)$$

$$\sin\varphi = r_{13} \Rightarrow \varphi = \arcsen(r_{13}) \quad (11)$$

$$\tan\kappa = -\frac{r_{12}}{r_{11}} \Rightarrow \kappa = \arctan\left(-\frac{r_{12}}{r_{11}}\right) \quad (12)$$

Igualando as equações da DLT (Equações 3 e 4) com as equações da colinearidade (Equações 1 e 2), os parâmetros da DLT podem ser definidos como (Equações 13 a 23):

$$A = \frac{r_{13}}{d} \quad (13)$$

$$B = \frac{r_{23}}{d} \quad (14)$$

$$C = \frac{r_{33}}{d} \quad (15)$$

$$D_1 = \frac{\xi_0 r_{13}}{d} - \frac{cr_{11}}{d} \quad (16)$$

$$D_2 = \frac{\eta_0 r_{13}}{d} - \frac{cr_{12}}{d} \quad (17)$$

$$E_1 = \frac{\xi_0 r_{23}}{d} - \frac{cr_{21}}{d} \quad (18)$$

$$E_2 = \frac{\eta_0 r_{23}}{d} - \frac{cr_{22}}{d} \quad (19)$$

$$F_1 = \frac{\xi_0 r_{33}}{d} - \frac{cr_{31}}{d} \quad (20)$$

$$F_2 = \frac{\eta_0 r_{33}}{d} - \frac{cr_{32}}{d} \quad (21)$$

$$G_1 = \xi_0 + \frac{c}{d}(r_{11}X_0 + r_{21}Y_0 + r_{31}Z_0) \quad (22)$$

$$G_2 = \eta_0 + \frac{c}{d}(r_{12}X_0 + r_{22}Y_0 + r_{32}Z_0) \quad (23)$$

Onde a variável auxiliar d é considerada como (Equação 24):

$$d = -(r_{13}X_0 + r_{23}Y_0 + r_{33}Z_0) \quad (24)$$

Com os valores dos parâmetros da transformação, os ângulos de atitude são calculados (Equações 25, 26 e 29).

- Cálculo do φ :

$$r_{13} = dA$$

$$\text{sen}\varphi = dA$$

$$\boxed{\varphi = \arcsen(dA)}$$

(25)

- Cálculo do ω :

$$\tan \omega = -\frac{r_{23}}{r_{33}} \text{ (relação da matriz de rotação)}$$

$$\omega = \arctan\left(\frac{-Bd}{Cd}\right)$$

$$\boxed{\omega = \arctan\left(\frac{-B}{C}\right)}$$

(26)

Antes do cálculo do κ é necessário calcular as coordenadas do ponto principal no espaço-imagem (Equações 27 e 28).

- Cálculo do ξ_0 :

$$r_{11}r_{13} + r_{21}r_{23} + r_{31}r_{33} = 0 \text{ (propriedade da matriz de rotação)}$$

$$r_{11}r_{13} = \frac{d^2}{c}(-D_1 + \xi_0 A)A \quad r_{21}r_{23} = \frac{d^2}{c}(-E_1 + \xi_0 B)B \quad r_{31}r_{33} = \frac{d^2}{c}(-F_1 + \xi_0 C)C$$

$$\frac{d^2}{ca} [(-D_1 + \xi_0 A)A + (-E_1 + \xi_0 B)B + (-F_1 + \xi_0 C)C] = 0$$

$$-AD_1 + A^2\xi_0 - BE_1 + \xi_0 B^2 - CF_1 + \xi_0 C^2 = 0$$

$$\boxed{\xi_0 = \frac{AD_1 + BE_1 + CF_1}{A^2 + B^2 + C^2}}$$

(27)

- Cálculo do η_0 :

$$r_{12}r_{13} + r_{22}r_{23} + r_{32}r_{33} = 0$$

$$\frac{d^2}{ca} [(-D_2 + \eta_0 A)A + (-E_2 + \eta_0 B)B + (-F_2 + \eta_0 C)C] = 0$$

$$-AD_2 + A^2\eta_0 - BE_2 + \eta_0 B^2 - CF_2 + \eta_0 C^2 = 0$$

$$\boxed{\eta_0 = \frac{AD_2 + BE_2 + CF_2}{A^2 + B^2 + C^2}}$$

(28)

- Cálculo do κ :

$$\tan \kappa = \frac{-r_{12}}{r_{11}}$$

$$r_{12} = \frac{-D_2 d + \eta_0 dA}{c}$$

$$r_{11} = \frac{-D_1 d + \xi_0 dA}{c}$$

$$\boxed{\kappa = \arctan\left(\frac{-D_2 + \eta_0 A}{-D_1 + \xi_0 A}\right)}$$

(29)

A distância focal será dada por (Equação 30):

$$c_1 = \frac{d(-D_1 + \xi_0 A)}{r_{11}}$$

$$c_2 = \frac{d(-D_2 + \eta_0 A)}{r_{12}}$$

$$c_3 = \frac{d(-E_1 + \xi_0 B)}{r_{21}}$$

$$c_4 = \frac{d(-E_2 + \eta_0 B)}{r_{22}} \quad c_5 = \frac{d(-F_1 + \xi_0 C)}{r_{31}} \quad c_6 = \frac{d(-F_2 + \eta_0 C)}{r_{32}}$$

$$c = \frac{|c_1| + |c_2| + |c_3| + |c_4| + |c_4| + |c_6|}{6} \quad (30)$$

As equações apresentadas foram aplicadas no MathCad. A Tabela 1 a seguir apresenta os resultados finais do cálculo dos ângulos de atitude e distância focal de cada uma das fotografias não-métricas utilizadas. Os valores apresentados nesta tabela são para as fotografias ainda não retificadas.

Tabela 1: Ângulos de atitude e distância focal da câmera das fotografias não retificadas.

Faixa de voo	Fotografia	Ângulos de atitude da câmera			Distância Focal (mm)
		ω	φ	κ	
05	03	1.032°	-2.378°	-0.829°	76.908
	04	1.387°	-1.447°	2.022°	85.281

Fazendo o mesmo processo com as imagens já retificadas, os valores alcançados para os ângulos de atitude são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Ângulos de atitude das fotografias retificadas.

Faixa de voo	Fotografia	Ângulos de atitude da câmera		
		ω	φ	κ
05	03	-0.420°	-0.765°	-0.110°
	04	-1.021°	0.613°	-0.091°

Comparando a Tabela 2 com a 1 é possível observar que os ângulos de atitude não foram eliminados após a retificação, apenas minimizados. E na Tabela 1 é possível observar ainda que a distância focal apresentou variações de uma foto pra outra, mas se manteve em torno do valor esperado que era de 80mm. Esse era o valor esperado, pois foi a distância focal informada pela empresa que realizou o voo das fotografias não-métricas utilizadas neste trabalho.

4 - Construção e análise do mosaico

O mosaico foi construído no *software* ERDAS 9.1 Com o mosaico finalizado se iniciou a fase de análise, considerando a comparação entre o mosaico e os pontos de campo, e o mosaico e a base cartográfica.

A primeira análise foi realizada identificando no mosaico os pontos de campo, e extraíndo suas coordenadas. As coordenadas extraídas do mosaico e as obtidas em campo com receptor GPS foram então utilizadas como dados de entrada, no *software* MathCad, para o modelo matemático da Transformação Conforme Bidimensional. A avaliação dos desvios obtidos com esta comparação não serviu como parâmetro para a análise da qualidade geométrica do mosaico, pois a quantidade de pontos, com um total de nove, não foi suficiente para cobrir toda a área do mesmo.

Para atingir melhores resultados uma segunda análise foi realizada, onde o mosaico construído foi comparado com a base cartográfica a fim de gerar vetores de deslocamento entre pontos em comum para analisar o comportamento das distorções geométricas. A fim de permitir uma melhor análise do mosaico, este foi dividido em regiões chaves. As regiões estabelecidas foram: borda do mosaico, centro da fotografia, ligação de fotografias, área de movimentação de terra e área plana. Nessas áreas de análise foi gerado um total de 505

vetores. A área que apresentou menores distorções geométricas corresponde ao centro da fotografia, enquanto que a área com maior instabilidade foi a de ligação de fotografias.

Após realizar as fases correspondentes a este trabalho, se tornou possível concluir que mesmo submetendo as fotografias não-métricas ao processo de retificação, estas apresentaram instabilidade geométrica. Isto foi possível de ser observado na sobreposição do mosaico, construído a partir das fotografias não-métricas retificadas, com a base cartográfica, através de vetores de deslocamento em distintas regiões do mosaico. Dessa forma, o uso dessas fotografias pode comprometer o resultado esperado quando a geometria se tornar um fator que exija fidelidade na sua representação.

5 - Conclusão

Embora as fotografias não-métricas apresentem distorções em sua geometria, elas ainda têm sua relevância, visto que podem ser utilizadas para acompanhamento de mudanças na superfície. Uma outra aplicação seria a atualização de bases de dados já existentes, desde que a informação buscada nas fotografias não-métricas sejam relativas à existência de feições, e não relativas quanto ao seu fiel posicionamento.

As etapas realizadas durante este trabalho alcançaram os objetivos propostos, inclusive o objetivo principal que era construir e avaliar a qualidade geométrica de um mosaico composto por fotografias não-métricas retificadas através da DLT. Foi possível observar que a instabilidade geométrica não foi completamente eliminada com a correção das fotografias não-métricas, mas houve um ganho com a retificação visto que a qualidade geométrica das fotografias após a correção com a DLT foi superior à qualidade das fotografias sem correção.

Como continuidade a este trabalho, outros tipos de correções poderiam ser aplicadas a estas fotografias, como por exemplo a ortorretificação, tendo a finalidade de diminuir suas distorções e obter melhores resultados. Mas para que uma correção deste tipo se torne viável, é necessário avaliar com cautela, pois se o modelo de elevação necessário para a ortorretificação ainda tiver que ser feito, os custos talvez não compensem. Nesse caso, a aplicação de fotografias métricas poderia ser mais indicado.

6 – Referências

Coelho, L.; Brito, J. N. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007. 196p.

Debiasi, P. **Ortorretificação de Imagens CCD CBERS 2 Através da Transformação DLT**. 2008. 71p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

Disperati, A. A. **Obtenção e Uso de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato**. Curitiba: Ed. UFPR, 1991. 290p.

Gemael, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Ed. UFPR, 1994. 319p.

Volotão, C. F. S. **Geração de ortoimagens para aplicações urbanas: desenvolvimento das equações e protótipo experimental**. 2001. 115p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.