

O uso de pontos de controle no processamento de imagens CBERS

Marco Aurélio Oliveira da Silva
Elaine Reis Costa
Paulo Eduardo Neves
Antônio José Machado e Silva

Gisplan Tecnologia da Geoinformação - GISPLAN
Av. Armando Lombardi 800 s311 – 22640-020 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
{m_aurelio, elaine, neves, antonio}@gisplan.com.br

Abstract. The aim of this paper is to present the methodology to generate level 3 CBERS images. This product presents the same image geometric correction model of level 2 images, however refined by using control points. To execute this task, the use of external control points of the region is necessary. The results show the differences between seven check points which coordinates were measured in levels 2 and 3 images and in a reference image.

Palavras-chave: CBERS, image processing, geometric correction, control points, polynomial transformation, processamento de imagem, correção geométrica, pontos de controle, transformação polinomial.

1. Introdução

As imagens CBERS apresentam uma popularidade nunca experimentada por nenhum outro sistema de imagens de satélite. A política de distribuição de imagens CBERS, definida pelo Governo Brasileiro, é o principal fator para este sucesso. Atualmente, são distribuídas mais de duas mil cenas por semana, o que ultrapassa a casa das cem mil cenas anuais (EPIPHANIO, 2005).

Entretanto, apesar da significativa melhora verificada no CBERS-2, a qualidade geométrica das imagens distribuídas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (imagens em nível 2 de processamento) não alcançaram a qualidade geométrica que o usuário se acostumou com as imagens Landsat. A qualidade dos dados orbitais (atitude e efemérides) é a principal causa para que isso ocorra.

As imprecisões dos dados orbitais provocam variações de escala ao longo da órbita (velocidade do satélite) e transversal à órbita (altitude do satélite), rotação (inclinação da órbita), translação (posição do satélite, rolamento e arfagem), cisalhamento (guinada), entre outros (RICHARDS e JIA, 1999).

As principais e mais importantes distorções causadas pela imprecisão dos dados orbitais são de primeira ordem, e podem ser eliminadas, ou reduzidas, por meio de polinômios de primeiro grau, sendo que os coeficientes destes polinômios são calculados a partir de pontos de controle (MACHADO e SILVA, 1998).

De modo a oferecer um produto de qualidade superior, compatível ao que o usuário brasileiro se acostumou ao longo dos anos com as imagens Landsat, o INPE decide disponibilizar um produto mais avançado, ou seja, em nível 3 de processamento. Este produto apresenta o mesmo modelo de correção geométrica das imagens de nível 2 (correção de sistema), porém, refinado pelo emprego de pontos de controle. Estes pontos podem ser obtidos automaticamente de uma base de dados, ou fornecidos por um operador.

Juntamente com as imagens de níveis 2 e 3, o INPE disponibilizará os coeficientes polinomiais racionais (RPC – *Rational Polynomial Coefficients*), num arquivo com o mesmo formato utilizado pelos operadores de satélites de alta resolução espacial (por exemplo, Ikonos e Quick-Bird). Desta forma, os usuários poderão ortoretificar as imagens.

Este trabalho apresenta o processo de geração das imagens nível 3 e os modelos matemáticos envolvidos. Os resultados das primeiras avaliações também são apresentados. Na **Seção 2** o modelo de refinamento por pontos de controle é apresentado. A **Seção 3** apresenta os procedimentos para a identificação de pontos de controle. O processo de geração das imagens nível 3 é apresentado na **Seção 4**. Os experimentos realizados são apresentados na **Seção 5**. Finalmente, as considerações finais são apresentadas na **Seção 6**.

2. Modelo de refinamento por pontos de controle

O modelo de correção geométrica de sistema (\hat{A}) relaciona um *pixel* da imagem bruta (l, c) com um ponto da superfície representativa da Terra $(f, I, H)_{mod}$, geralmente, um elipsóide de revolução (**Equação 1**).

$$\mathfrak{S}(l, c) = (f, I, H)_{mod} \quad (1)$$

Este modelo utiliza informações previamente conhecidas, como os parâmetros da geometria de visada do sensor e informações fornecidas juntamente com os dados de imagem, tais como, efemérides e atitude.

Em função da baixa qualidade dos parâmetros orbitais, principalmente, quando comparados com outros sistemas sensores, em especial os de alta resolução espacial, torna-se praticamente obrigatório o uso de pontos de controle para que a qualidade deste modelo possa ser refinada.

Partindo do pressuposto de que os pontos de controle já foram identificados (**Seção 3**), para cada um deles são conhecidas as coordenadas de imagem bruta (l, c), as coordenadas geodésicas $(f, I, H)_{mod}$, obtidas aplicando-se o modelo de correção geométrica sobre as correspondentes coordenadas de imagem bruta (**Equação 1**), e as coordenadas geodésicas $(f, I, H)_{pc}$, provenientes de uma fonte externa (*chip* de imagem, imagem georreferenciada, carta topográfica, levantamento de campo, entre outros). Na aplicação do modelo de correção geométrica pode-se utilizar um elipsóide auxiliar a fim de reduzir as distorções provocadas pelo relevo na imagem. O elipsóide auxiliar é definido a partir da altitude média da região, dos parâmetros do elipsóide padrão e do *datum*.

Em função da projeção cartográfica da imagem de saída (\wp), ou seja, imagem nível 3, as coordenadas geodésicas dos pontos de controle $(f, I, H)_{mod}$ e $(f, I, H)_{pc}$ são transformadas em coordenadas planas de projeção $(E, N)_{mod}$ e $(E, N)_{pc}$, respectivamente (**Equações 2 e 3**).

$$\wp(f, I)_{mod} = (E, N)_{mod} \quad (2)$$

$$\wp(f, I)_{pc} = (E, N)_{pc} \quad (3)$$

O refinamento do modelo se dá por meio de uma transformação polinomial (\hat{A}), onde as mais comumente utilizadas são as de primeiro grau, ou seja, afinidade (**Equação 4**) ou projetiva (**Equação 5**).

$$\begin{aligned} E_{pc} &= a_0 + a_1 \cdot E_{mod} + a_2 \cdot N_{mod} \\ N_{pc} &= b_0 + b_1 \cdot E_{mod} + b_2 \cdot N_{mod} \end{aligned} \quad (4)$$

$$E_{pc} = \frac{a_0 + a_1 \cdot E_{mod} + a_2 \cdot N_{mod}}{1 + c_1 \cdot E_{mod} + c_2 \cdot N_{mod}} \quad (5)$$

$$N_{pc} = \frac{b_0 + b_1 \cdot E_{mod} + b_2 \cdot N_{mod}}{1 + c_1 \cdot E_{mod} + c_2 \cdot N_{mod}}$$

Como é mostrado pela **Equação 6**, a partir dos pontos de controle, estabelece-se uma relação entre o conjunto de pares de coordenadas de projeção obtidas pelo modelo de correção geométrica $(E, N)_{mod}$ e obtidas externamente $(E, N)_{pc}$ e, então, calculam-se os coeficientes polinomiais (a_n, b_n, c_n) . Visto que, para cada ponto observado duas equações são geradas, no mínimo três pontos de controle para a transformação afim e quatro para a transformação projetiva devem ser observados. Caso, se disponha de mais pontos para ambos os casos e, visto que os sistemas das **Equações 4 e 5** são lineares, os coeficientes podem ser calculados pelo Método dos Mínimos Quadrados (WOLF e GUILANI, 1997).

$$(\{a_n, b_n, c_n\}) = \Psi(\{(E_k, N_k)_{mod}, (E_k, N_k)_{pc}\}) \quad (8)$$

3. Identificação de pontos de controle

Os pontos de controle utilizados para a geração das imagens em nível 3 de processamento podem ser obtidos automaticamente de uma base de dados, ou fornecidos por um operador.

Na sua linha de produção, as imagens de nível 3 são processadas utilizando-se pontos de controle recuperados de uma base de dados e tratados automaticamente pelo sistema da estação de processamento de imagens.

Cada ponto de controle é representado por um *chip* de imagem, contendo informação do satélite, sensor, banda espectral; tamanho; coordenadas geodésicas do centro do *chip* (f, l, H) , num *datum* previamente selecionado, e indicadores de qualidade do ponto em função dos resultados encontrados nas ocasiões em que ele foi utilizado. Como mostra a **Figura 1**, um *chip* de imagem consiste num pedaço de imagem que é utilizado num processo de correlação.



UTM-22S SAD-69
 $(E, N) = (568325.45, N:7543280.25)$

Figura 1 – Exemplo de ponto de controle armazenado na base de dados.

A partir das coordenadas geográficas da imagem de nível 2 e de seu erro posicional, são identificados todos os pontos de controle que podem ser utilizados no processamento. Para cada ponto encontrado, busca-se o registro do *chip* com a imagem, e o primeiro indicador refere-se à qualidade do registro. Neste ponto, pode haver a exclusão do ponto de controle, caso a correlação não atinja um limiar mínimo. Após o registro, podem existir ainda alguns pontos errados. Desta forma, um método de detecção de erros grosseiros, baseado na geometria dos pontos de controle, é utilizado. Os pontos resultantes deste procedimento são utilizados para a determinação dos coeficientes polinomiais (**Equação 8**).

Todo o histórico do ponto de controle fica armazenado na base de dados, como percentual de rejeições, notas mínima, média e máxima das correlações.

O INPE também disponibiliza um *software* denominado *Marlin*. Este permite a visualização e a avaliação de imagens digitais, que facilita e possibilita que um usuário

selecione os pontos de controle manualmente, calcule e forneça ao INPE os parâmetros polinomiais.

4. O processo de geração das imagens de nível 3

O processo de geração de imagem geometricamente corrigida pressupõe sempre definir um nível de cinza para cada *pixel* da imagem corrigida, em função dos níveis de cinza dos *pixels* da imagem bruta. Esse processo se dá em três etapas: mapeamento direto (imagem→Terra), mapeamento inverso (Terra→imagem) e reamostragem.

Na primeira etapa, define-se uma grade amostral, regularmente distribuída sobre o plano da imagem bruta (**Figura 2**). Para cada nó desta grade, a partir das coordenadas de imagem bruta $(l,c)_{i,j}$ e da **Equação 1**, determina-se as coordenadas geodésicas $(\mathbf{f},\mathbf{l},\mathbf{H})_{mod}$ referentes a um elipsóide auxiliar. Em seguida, transforma-se as coordenadas geodésicas em coordenadas planas de projeção, utilizando-se o elipsóide padrão. A transformação polinomial é aplicada para refinar estas coordenadas. Dessa forma, para cada nó da grade amostral ($grd(i,j)$) tem-se: $\{(l,c);(E,N)_{pc}\}$ (**Figura 2a**). Como é mostrado pela **Figura 2b**, o mapeamento direto de pontos da imagem bruta, resulta numa imagem corrigida distorcida, ou seja, em pontos irregularmente espaçados.

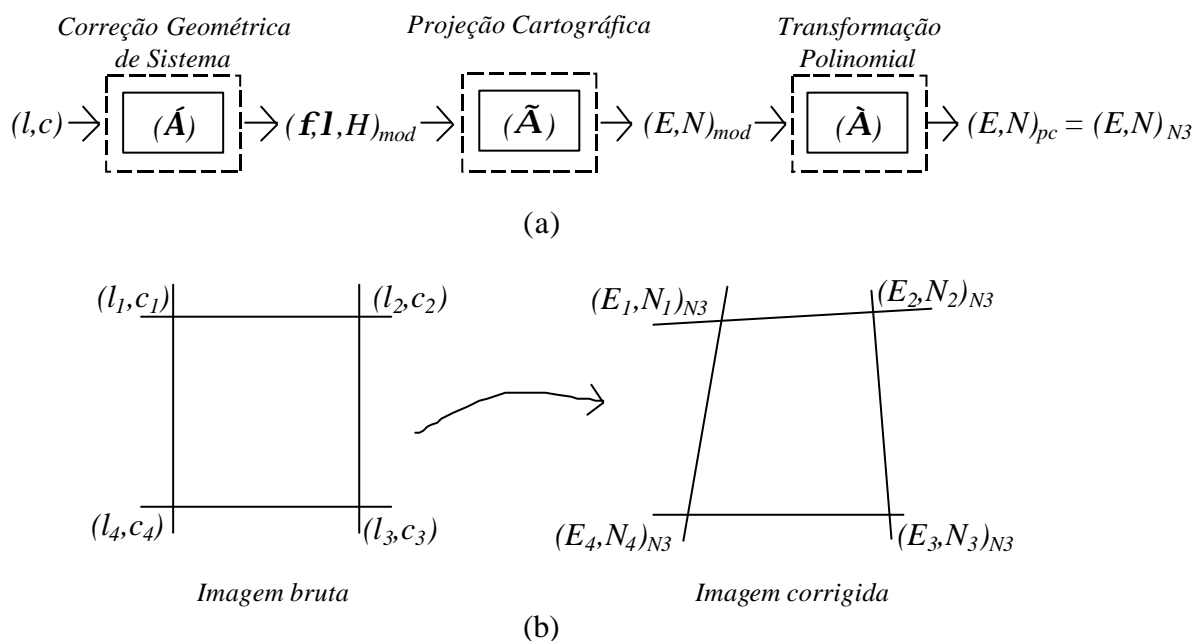


Figura 2 – Mapeamento direto sobre o elipsóide auxiliar. (a) Determinação das coordenadas na imagem corrigida através do modelo de refinamento dos pontos de controle; e (b) Porção da grade amostral resultante do mapeamento direto.

Na segunda etapa, define-se o espaço geográfico da imagem corrigida e o tamanho do pixel, de forma a se obter imediatamente as coordenadas de projeção (E,N) de cada pixel da imagem. Como mostra a **Figura 3** para cada *pixel* da imagem corrigida, isto é, para cada par de coordenadas $(E,N)_{N3}$, identifica-se o quadrilátero relativo aos nós da grade amostral que o contém. Procede-se à interpolação do quadrilátero para obtenção das coordenadas de imagem bruta (l,c) que se relacionam com as coordenadas corrigidas.

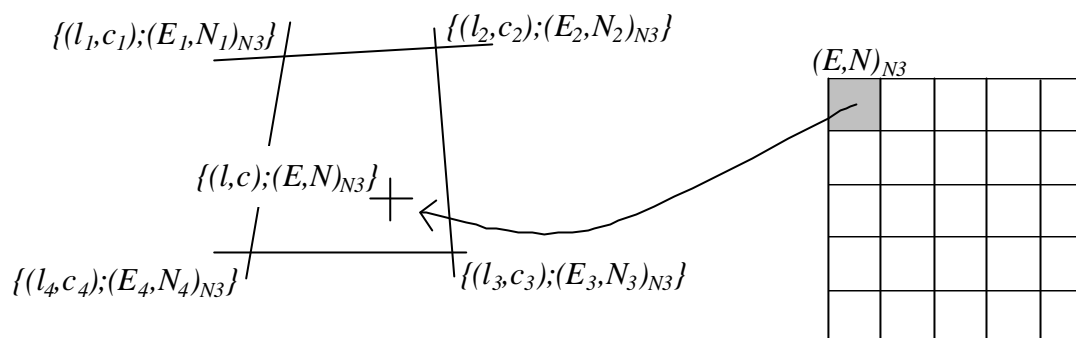


Figura 3 – Mapeamento inverso sobre o elipsóide auxiliar.

Na terceira e última etapa, a partir das coordenadas de imagem bruta (l, c) determinadas no processo anterior, é realizada a interpolação dos níveis de cinza podendo o usuário optar pelo vizinho mais próximo, bilinear ou convolução cúbica (GONZALEZ e WOODS, 2000).

5. Resultados e análise

Foram geradas três imagens CCD níveis 2 e 3 da mesma região para a realização dos experimentos. Estas foram tomadas com ângulos de inclinação do espelho diferentes, isto é, $q=17^\circ$, $q=0^\circ$ (imagem nadir) e $q=-18,6^\circ$. Para a avaliação das imagens geradas utilizou-se como referência também uma imagem nível 3, só que produzida manualmente. Para o georreferenciamento desta imagem foram utilizados pontos de controle extraídos de imagens *GeoCover Landsat* disponíveis livremente na internet.

Conforme mostram as **Tabelas 1-3**, foram medidos 7 pontos de controle nas imagens níveis 2 e 3 e foram determinadas as discrepâncias destas coordenadas com as correspondentes da imagem de referência.

Na **Tabela 1** são apresentadas as discrepâncias obtidas para as imagens tomadas com 17° de inclinação em relação à imagem de referência. Como pode ser notado nesta tabela, a imagem nível 2 apresenta discrepância média de 12712,57 m e -1278 m ao longo dos eixos E e N, respectivamente. Verifica-se que para a mesma imagem, só que em nível 3 de processamento, estes valores são iguais a 3,29 m e $-12,86$ m. Verifica-se também que o erro médio quadrático da imagem nível 2, que era de 13731,26 m e 1380,78 m ao longo dos eixos E e N, passou para 43,76 m e 25,61 m, respectivamente.

Tabela 1 – Discrepâncias entre as imagens níveis 2 e 3 tomadas com 17° de inclinação em relação à imagem de referência.

Imagem com 17° de inclinação				
	(Nível 2 – Referência)		(Nível 3 – Referência)	
	DE (m)	DN (m)	DE (m)	DN (m)
1	12644	-1238	-61	-16
2	12704	-1298	56	-16
3	12764	-1258	-15	-35
4	12684	-1278	16	19
5	12664	-1278	59	-14
6	12724	-1258	-25	11
7	12804	-1338	-7	-39
Média	12712,57	-1278,00	3,29	-12,86
EMQ	13731,26	1380,78	43,76	25,61

A **Tabela 2** apresenta as discrepâncias obtidas para as imagens níveis 2 e 3 tomadas com $-18,6^\circ$ de inclinação em relação à imagem de referência. Como pode ser notado, a imagem nível 2 apresenta discrepância média de 8981,14 m ao longo do eixo E e $-1509,43$ m ao longo de N. Nota-se uma melhora significativa para a mesma imagem em nível 3 de processamento. A média das discrepâncias para esta imagem foi de 19,57m e -15 m ao longo de E e N, respectivamente. Verifica-se também que o erro médio quadrático da imagem nível 2, que era de 9702,72 m e 1631,38 m ao longo dos eixos E e N, passaram para 48,78 m e 27,59 m.

Tabela 2 – Discrepâncias entre as imagens níveis 2 e 3 tomadas com $-18,6^\circ$ de inclinação em relação à imagem de referência.

Imagem com $-18,6^\circ$ de inclinação				
	(Nível 2 – Referência)		(Nível 3 – Referência)	
	DE (m)	DN (m)	DE (m)	DN (m)
1	9124	-1498	39	-40
2	9004	-1538	6	-20
3	8804	-1438	-16	-38
4	9184	-1598	74	10
5	9164	-1558	-55	11
6	8924	-1458	43	2
7	8664	-1478	46	-30
Média	8981,14	-1509,43	19,57	-15,00
EMQ	9702,72	1631,38	48,78	27,59

Na **Tabela 3** são apresentadas as discrepâncias obtidas para as imagens verticais (0° de inclinação) em relação à imagem de referência. Como pode ser notado nesta tabela, a imagem nível 2 apresenta discrepância média de 4832,57 m e $-580,86$ m ao longo dos eixos E e N, respectivamente. Verifica-se que para a mesma imagem, só que em nível 3 de processamento, estes valores são iguais a 3,57 m e 3,14 m. Verifica-se também que o erro médio quadrático da imagem nível 2, que era de 5220,33 m e 628,92 m ao longo dos eixos E e N, passou para 14,07 m e 12,72 m, respectivamente.

Tabela 3 – Discrepâncias entre as imagens verticais níveis 2 e 3 com a de referência.

Imagem vertical				
	(Nível 2 – Referência)		(Nível 3 – Referência)	
	DE (m)	DN (m)	DE (m)	DN (m)
1	4864	-558	10	-16
2	4824	-618	-1	10
3	4764	-518	2	-5
4	4924	-638	30	19
5	4924	-618	-12	1
6	4804	-558	-6	15
7	4724	-558	2	-2
Média	4832,57	-580,86	3,57	3,14
EMQ	5220,33	628,92	14,07	12,72

Observando-se as **Tabelas 1-3** verifica-se que o erro médio quadrático das imagens nível 3 inclinadas ficaram em torno de 45 m em E e 26 m em N. Para imagem vertical os valores determinados são 14,07 m em E e 12,72 em N. Analisando-se esses resultados pode ser verificado que mesmo com a utilização de um elipsóide auxiliar, as imagens nível 3 inclinadas ainda apresentam distorções provocadas pelo relevo. Esta influência pode ser reduzida ou, até mesmo, eliminada através da ortoretificação das imagens (COSTA et al.,

2006). Pode ser notado também nestas tabelas a melhora significativa da qualidade geométrica das imagens nível 3 em relação as imagens nível 2. Isto se dá pelo refinamento do modelo geométrico de sistema por pontos de controle.

6. Considerações finais

Os dados orbitais dos satélites CBERS 1 e 2 são de baixa qualidade, refletindo diretamente na qualidade geométrica da imagem. Isto pôde ser verificado nas discrepâncias apresentadas entre as imagens em nível 2 de processamento com a de referência. Estas imagens apresentam apenas uma correção geométrica de sistema.

Conforme foi apresentado, o processo de refinamento é simples, podendo ser modelado por polinômios do primeiro grau. A transformação de similaridade (translação, rotação e escala) não é suficiente, sendo necessária a adoção da transformação afim ou projetiva. Isto decorre de um cisalhamento presente nas imagens CBERS, muito provavelmente decorrente da imprecisão do ângulo de guinada, uma das componentes da atitude. Numa fotografia aérea, esta imprecisão responderia por um erro de rotação, mas no caso de imagens de satélite, a rotação é aplicada individualmente a cada varredura, causando este efeito de cisalhamento.

O uso de poucos pontos pode levar a situações de falsa melhora. Pontos concentrados numa pequena área da imagem podem apresentar ruídos baixos, mas o polinômio daí decorrente pode distorcer ainda mais as áreas não cobertas pelos pontos de controle. De modo a evitar isso, estão sendo criados mecanismos que avaliarão a área coberta pelos pontos de controle, bem como a densidade da distribuição destes para evitar desequilíbrios.

Conforme foi verificado nos experimentos apresentados, o refinamento do modelo geométrico de sistema por pontos de controle produz uma melhora significativa da qualidade geométrica das imagens, possibilitando a utilização de imagens CBERS num número maior de aplicações.

Referências

Costa, E. R.; Silva, M. A. O.; P. E.; Machado e Silva, A. J. F. Orto-retificação: um passo a mais no processamento de imagens CBERS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2006, Florianópolis. No prelo.

Epiphânio, J. C. N. CBERS – Satélite sino brasileiro de recursos terrestres. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3175-3182. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <[http://marte.dpi.inpe.br/rep-
/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.19.44](http://marte.dpi.inpe.br/rep-
/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.19.44)>. Acesso em: 07 ago. 2006.

Gonzalez, R. C.; Woods, R. E. **Processamento de imagens digitais**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 509p.

Machado e Silva, A. J. F. **Modelo de correção geométrica para imagens HRV-SPOT**. 1998. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1998.

Richards, J. A.; Jia, X. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. Berlim: Springer-Verlag. 1999. 363 p.

Wolf, P. R.; Guilani, C. D., **Adjustment computations: statistics and least squares in surveying and GIS**, New York, 1997. 564 p.