

Análise de Processamento e Georreferenciamento em Imagens do Satélite CBERS-1

Rafael Pereira Zanardi ¹
Silvia Beatriz Alves Rolim¹
Cláudio Bielenki Júnior ²
Carlos Aluisio Mesquita de Almeida ¹

¹ CEPSRM - Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Caixa Postal 15001 – CEP 91507-970 – Porto Alegre - RS, Brasil.
rafael@zanardi.zzn.com; silvia.rolim@ufrgs.br; carlosaluisio@hotmail.com

² ANA – Agência Nacional de Águas
SPO - Área 5, Quadra 3, Bloco B, Sala 19 – CEP 70610-200 – Brasília - DF
claudio@ana.gov.br

Abstract: In this work we analyzed the validation of CBERS-1 (China and Brazilian Earth Resources Satellite) data related to qualitative and quantitative parameters that define the precision of its georeferencing. A topographical survey was carried out for the acquisition of ground control points spatially well distributed in the study area, employing differential GPS, aiming at the georeferencing of the image. Tests with different numbers of sampling points and several methods of Geometric Transformation and Resampling were made during the georeferencing. These results were statistically analyzed to determine the best method to georeference CBERS-1 images. It was verified that the first degree polynomial transformation with nearest neighborhood resampling presented the best result, showing a precision of 18,52m.

Palavras Chave: remote sensing, CBERS, image processing, cartography, sensoriamento remoto, CBERS, processamento de imagens, cartografia.

1. Introdução

A última década do século XX foi marcada por notados avanços na área de Sensoriamento Remoto. Foram desenvolvidos e lançados, tanto por plataformas de programas espaciais já existentes como por projetos inéditos, sensores de alto desempenho no que se refere às resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal. A bordo de plataformas orbitais, esses novos sensores vieram a complementar o registro dos recursos naturais e do meio ambiente terrestre, desde a escala regional até o nível de detalhe.

Este empenho pela eficiência na aquisição de dados, juntamente com a necessidade de autonomia no monitoramento de recursos terrestres, resultou em uma parceria entre os governos do Brasil e China, através do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial). Iniciado em 1988, o programa de cooperação China-Brasil, CBERS (*China-Brazilian Earth Resources Satellite*), lançou o primeiro satélite (CBERS-1) após uma década, e o segundo (CBERS-2) em 2003. Com três sensores a bordo, o CBERS registra cenas em diferentes resoluções espaciais, temporais e espectrais, atendendo a necessidades semelhantes de ambos os países no mapeamento de áreas de difícil acesso em várias escalas.

2. Objetivos

O objetivo central deste trabalho é avaliar o desempenho do satélite CBERS-1 na busca de parâmetros qualitativos e quantitativos que identifiquem possíveis erros associados ao seu georreferenciamento. Mais especificamente, aplicar técnicas de processamento digital de imagens (PDI) adequadas às características dos produtos gerados pelo CBERS, com vistas à seleção de pontos de controle para o georreferenciamento da imagem; testar a viabilidade do uso de GPS diferencial na coleta de pontos para o georreferenciamento; analisar diferentes métodos de transformação para o georreferenciamento e efetuar testes para quantificar erros no georreferenciamento.

3. O Projeto CBERS

3.1. Histórico

Muitos países dependem das imagens obtidas através dos satélites de observação da Terra disponíveis, na maioria das vezes, em países que detêm avançadas tecnologias na área espacial. Entretanto, em muitos casos, tais satélites não são inteiramente adequados às peculiaridades do território ou dos recursos naturais investigados.

Nesse contexto, o governo do Brasil, na década de 1980, engajou-se na implementação do programa espacial brasileiro, onde o Programa CBERS foi o marco de uma nova etapa. Na busca de parcerias financeira e tecnológica a China emergiu como um país em crescimento, estabelecendo diretrizes estratégicas de desenvolvimento para a intensificação das transformações de sua indústria, apresentando consideráveis avanços em vários setores, incluindo o espacial, além da sua larga experiência e avançada tecnologia na área de construção de satélites e foguetes lançadores, iniciada desde a década de 1950. Somam-se à importância da cooperação e da obtenção de um parceiro para divisão dos custos, os fatores de natureza puramente física de ambos os países, como a vasta extensão territorial com grandes áreas despovoadas e de difícil acesso, assim como a acentuada vocação agrícola.

Assim, o Brasil e a China estabeleceram uma parceria para construir um satélite com sensores projetados especialmente para as suas aplicações comuns nas áreas de gerenciamento de recursos terrestres, monitoramento de florestas, geologia e hidrologia, além da inclusão de um moderno sistema de monitoramento ambiental. No modelo adotado para a cooperação,

após de mais de uma década de troca de conhecimentos e experiências, a parceria China-Brasil alcançou boa parte de seus objetivos com o lançamento do CBERS-1 e do CBERS-2.

3.2. Características do Imageador

Os satélites CBERS-1 e 2 são compostos de dois módulos: módulo "carga útil" que acomoda os sistemas ópticos (HR CCD – *High Resolution Charge-Coupled Devices*, IRMSS - *Infra-Red Multispectral Scanner* e WFI - *Wide Field Imager*) e eletrônicos usados para observação da Terra e coleta de dados; e módulo "serviço" que contém os controles, telecomunicações, equipamentos que asseguram o suprimento de energia e demais funções necessárias à operação do satélite. A órbita do CBERS-1 é heliossíncrona, a uma altitude de 778 km, perfazendo cerca de 14 revoluções por dia. Nesta órbita, o satélite cruza o equador sempre na mesma hora local (10h30min), retornando a cada 26 dias ao mesmo ponto de cobertura da Terra.

O satélite CBERS-1 é equipado com câmeras para observações ópticas de todo o globo terrestre, além de um sistema de coleta de dados ambientais. São sistemas únicos devido ao uso de sensores que combinam características especiais para resolver a grande variedade de escalas temporais e espaciais características de nosso ecossistema. A imagem utilizada neste trabalho foi gerada pelo instrumento HR CCD - *High Resolution Charge-Coupled Devices*. O sensor CCD fornece imagens com uma resolução de 20 metros nas regiões do visível ao infravermelho próximo. Esta câmera tem capacidade de orientar seu campo de visada dentro de $\pm 32^\circ$, possibilitando a obtenção de imagens estereoscópicas. (**Tabela 1**). Além disso, qualquer fenômeno detectado pelo WFI pode ser focalizado pela Câmera CCD através do apontamento apropriado de seu campo de visada, no máximo a cada 3 dias.

Tabela 1 - Principais características do instrumento imageador CCD

Bandas espectrais	0,51 - 0,73 μm (pan) 0,45 - 0,52 μm (azul) 0,52 - 0,59 μm (verde) 0,63 - 0,69 μm (vermelho) 0,77 - 0,89 μm (infravermelho próximo)
Campo de Visada	8,3°
Resolução espacial	20 x 20 m
Largura da faixa imageada	113 km
Capacidade de apontamento do espelho	$\pm 32^\circ$
Resolução temporal	26 dias: com visada vertical - 3 dias: visada lateral
Frequência da portadora de RF	8103 & 8321 MHz
Taxa de dados da imagem	2 x 53 Mbits/s

4. Materiais

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Cena CBERS do módulo CCD da órbita-ponto 157_134 (região metropolitana de Porto Alegre) de 3/01/2001;
- GPS geodésico Promark X-CM da Ashtech, com frequência e precisão submétrica, para a coleta dos pontos de controle no terreno; GPS de navegação Etrex da Garmin para apoio na identificação dos pontos de controle no terreno;
- *Software* MSTAR 2.07 para o processamento diferencial dos pontos de controle;
- Programa ENVI 3.5 para tratamento digital de imagem;
- Cartas topográficas da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG) na escala 1:50000 para auxílio na navegação até os pontos de controle.

5. Processamento Digital dos Dados

Envolve as técnicas de transformação e manipulação que visam melhorar as características visuais da imagem (aumento de contraste, diminuição de ruídos e/ou distorções), bem como as transformações relativas aos pontos de controle coletados em campo.

5.1. Técnicas de Realce de Imagem

A presença de distorções e ruídos sistemáticos devido a falhas de detectores dificultou o processamento digital de imagens nas bandas 1, 2 e 3 (**Tabela 1**). As filtragens no domínio espacial (filtros passa-baixas, passa-altas e direcionais) não obtiveram um bom desempenho em função da baixa qualidade das imagens adquiridas. Como alternativa, foi aplicado um realce no domínio da frequência nas bandas 1, 2, 3 e 4, com base na análise do espectro de Fourier, onde há um maior controle da distribuição dos ruídos na imagem (**Figura 1**).

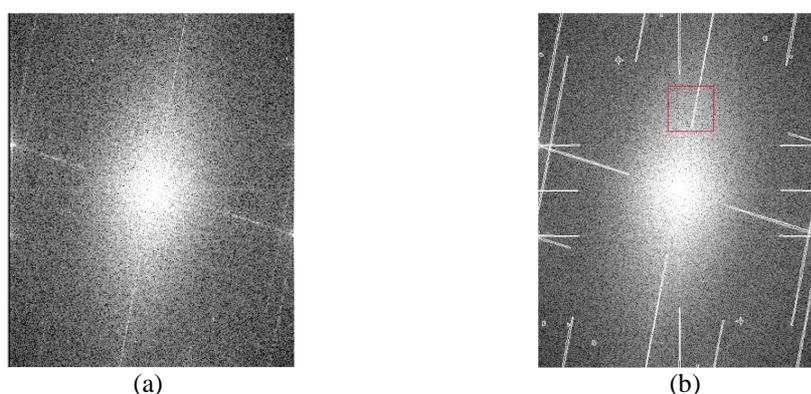


Figura 1 - Espectro de frequência da banda 2(a) e seleção manual para filtragem de ruído (b).

Observa-se que as informações contidas na imagem, quando analisadas no domínio da frequência, tendem a se agrupar ao centro. As falhas e ruídos (altas frequências) agrupam-se em formas de linhas ou pontos nas bordas da imagem do domínio da frequência, enquanto informações como estradas, cruzamentos, linhas férreas (informações de alta frequência) se agrupam em direção do centro. Assim, optou-se pela aplicação do filtro de Fourier com as máscaras definidas manualmente (desempenho seletivo) em detrimento a outros tipos de filtro, pois essa técnica permite minimizar os ruídos sem muito prejuízo às informações de alta frequência, conforme se observa nas imagens original e filtrada da **Figura 2**. O melhor desempenho do filtro foi observado na banda 3.

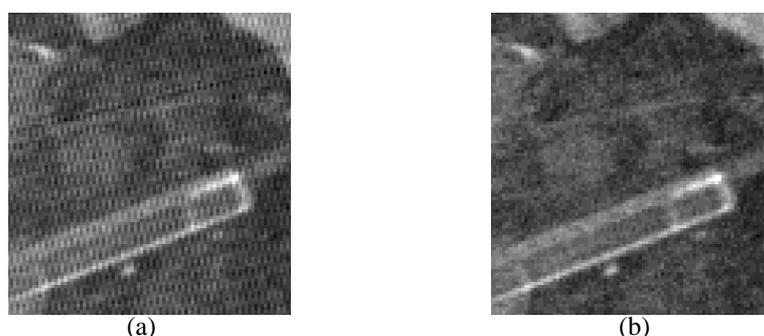


Figura 2 - Comparação entre imagem original (a) e filtrada com o filtro de Fourier (b).

Posteriormente, foi aplicado um filtro passa alta com matriz 3x3 (domínio espacial) para destacar ainda mais as feições de alta frequência contidas na imagem.

submétrico, procurando assim garantir uma precisão melhor do que 5 metros, já que as distâncias dos pontos em relação às bases utilizadas não eram extensas.

Para o processamento dos pontos foi utilizado o *software* Mstar 2.07, no modo submétrico, a estação da empresa SPG - Soluções em Posicionamento Global e a estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) instalada no Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O processamento submétrico leva em consideração o código e a fase da portadora, porém, para alguns pontos coletados não foi possível utilizar os dados da fase da portadora, tendo sido os mesmos processados apenas com os dados do código, no modo *pseudorange* do *software* Mstar 2.07.

Os pontos foram processados com saída na projeção UTM e Datum Córrego Alegre, correspondendo com o sistema de coordenadas das cartas utilizadas. As coordenadas das estações (SPG e RBMC) foram transformadas do Datum SAD-69 para o Córrego Alegre através da transformação de Molodenski (5 parâmetros), e o *software* Mstar converte a saída do WGS-84 para o Córrego Alegre aplicando a transformação por regressões múltiplas.

5.3. Registro da imagem:

Inicialmente, a imagem foi visualizada usando os dados efeméricos de georreferenciamento do CBERS-1. Não foi feito nenhum teste de georreferenciamento. Apenas verificou-se a qualidade do mesmo e notou-se que o erro foi na ordem de quilômetros, inviabilizando o uso dos dados de georreferenciamento baseados no modelo orbital.

Para analisar os diferentes tipos de transformação foram geradas 12 imagens georreferenciadas, cada uma baseada em modelos com as seguintes variáveis:

- Número de pontos de apoio (15 ou 30);
- Grau de polinômio (1 ou 2);
- Interpolação (bilinear, vizinho mais próximo ou convolução cúbica);
- Critério de escolha dos pontos de apoio (melhor distribuição geométrica ou menor erro médio quadrático - RMS).

5.4. Verificação das Transformações:

Para a verificação dos resultados em cada modelo foram analisadas as coordenadas de 14 pontos de controle (não utilizados para o georreferenciamento). Foram levadas em consideração as discrepâncias nas direções Leste e Norte (ΔE e ΔN) entre as coordenadas lidas na imagem georreferenciada e as coletadas em campo com o receptor GPS.

Estas discrepâncias foram consideradas os resíduos para o cálculo do $V^T P V$ (onde V é a matriz contendo os resíduos, e P é a matriz dos pesos), que é a soma dos quadrados desses resíduos, levando em consideração os respectivos pesos – precisão da coordenada medida em campo e um pixel para a coordenada da imagem (Gemael, 1994).

5.5. Comparação dos Diferentes Tipos de Transformação:

Antes de tudo, deve-se dar a devida atenção às limitações dos resultados encontrados, pois foi utilizado somente um recorte da imagem, ao invés da cena inteira. Em imagens, assim como em fotografias de sensores sub-orbitais, as distorções tendem a aparecer mais nas bordas e diminuem em direção ao centro (se a imagem tiver sido adquirida em modo Nadir). O recorte da imagem foi em uma área próxima ao centro, mas como a sua parte norte corresponde a uma borda da imagem, não se pode considerar esse georreferenciamento específico ao centro da cena completa.

A **Tabela 2** mostra um resumo dos resultados obtidos nos testes de georreferenciamento realizados. Verificou-se que a transformação geométrica que apresentou melhor resultado

para o georreferenciamento foi a polinomial de primeiro grau, e o método de reamostragem mais adequado, utilizando interpolação por vizinho mais próximo, com 30 pontos amostrais escolhidos de acordo com a distribuição espacial. Definiu-se isso através da quantificação do erro com o cálculo do $V^T PV$, que mostrou o menor valor quando da utilização dessa metodologia.

Tabela 2 - Resumo dos resultados dos testes realizados

Núm. de Pontos de Apoio	Transformação Geométrica	Critério para Escolha dos Pontos de Apoio	Reamostragem	$V^T PV$ (m)
30	Polinômio grau 1	Distribuição Espacial	Vizinho mais Próximo	18,52
30	Polinômio grau 1		Bilinear	42,37
30	Polinômio grau 1		Convolução Cúbica	39,24
30	Polinômio grau 2		Vizinho mais Próximo	25,40
30	Polinômio grau 2		Bilinear	41,07
30	Polinômio grau 2		Convolução Cúbica	38,61
30	Polinômio grau 1	Menor RMS	Vizinho mais Próximo	50,06
30	Polinômio grau 2			65,54
15	Polinômio grau 1	Distribuição Espacial		31,48
15	Polinômio grau 2			45,36
15	Polinômio grau 1	Menor RMS		37,56
15	Polinômio grau 2			36,26

6. Considerações Finais

Fica claro que as imagens CBERS-1 ainda necessitam melhorias para uso em escala comercial. Como avanço ao CBERS-1, o CBERS-2 teve um aprimoramento no sistema de coleta e pré-processamento das imagens e novas pesquisas vem sendo realizadas no intuito de avaliar e melhorar sua qualidade.

O problema de ruído em larga escala tornou inviável o uso da banda 1. São falhas que tornaram impossível a correção das imagens com as técnicas atuais de processamento digital de imagens. De todas as bandas, a que apresentou melhor qualidade foi a banda 3, onde o ruído sistemático foi menor.

As técnicas de processamento usando filtros não fornecem o aspecto mais desejável à imagem, mas melhoram a sua acuidade visual para a detecção de alvos, como, por exemplo, a localização de pontos de apoio para georreferenciamento. O filtro da Transformada de Fourier se mostrou o mais indicado para as imagens CBERS-1, pois permite preservar ao máximo as características naturais da imagem, ao contrário de outros filtros no domínio espacial (passa-baixa, passa-alta e direcionais) que, além da remoção do ruído, levam junto algumas informações importantes.

A coleta de pontos através de recepção GPS foi uma etapa que envolveu um trabalho de planejamento de saídas de campo, pois os custos são altos e precisam ser detalhadamente apresentados, discutidos e planejados para que aconteça o mínimo de imprevistos. Para isso, foram tomados os cuidados de coletar pontos com o mesmo sistema de referência, atentar para problemas nas conversões, utilizar o processamento diferencial de coordenadas coletadas em campo com duas estações diferentes, entre outros.

Além da importância da precisão na coleta dos pontos com GPS, também foram imprescindíveis a escolha de pontos bem distribuídos na cena e a exatidão no momento de fornecer ao software as coordenadas do terreno (espaço objeto) correspondentes às coordenadas do espaço-imagem em pixel. A qualidade nestes procedimentos torna o processo de georreferenciamento ainda mais confiável.

7. Referências Bibliográficas

- Alves, C. J. S. **Método dos Mínimos Quadrados**. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Disponível em: <<http://www.math.ist.utl.pt/~calves/cursos/mmq.htm>>.
- Andrade, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba, SBEE, 1998, 258 pp.
- Bloomfield, P. **Fourier Analysis of Time Series**. Wiley, New York, 1976.
- Butkov, E. **Física Matemática**. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1982.
- D'alge, J. C.; Machado, E; Silva, A. J. F. Estudo Comparativo Entre a Projeção UTM e a Projeção SOM. In: Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto, Gramado. Anais, p. 72. INPE-8112-PRE/112.
- Esten, R. D. **Automation of Stereo compilation, In American Society of Photogrammetry**. Falls Church V.a, v.2, cap.15, p. 759-802, 1966.
- Friedmann, D. E. **Two Dimensional Resampling of Line Scan Imagery by One Dimensional Processing**. Photogram metric Engineering and Remote Sensing, 47(10): 1459-1467, 1981.
- Gemael, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações – Aplicações Geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319 pp.
- Guia em português do ENVI 3.5, Sulsoft, 2001.
- Kratky, V. **Cartographic Accuracy of ERTS**. Photogram metric Engineering, 40 (2): 203-212, 1974.
- Monico, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Editora da Unesp, 2000. 1ª Edição.
- Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações**. 2ª Edição.
- Nussbaumer, H. J. **Fast Fourier Transform and Convolutions Algorithms**. New York: Springer-Verlag, 1982.
- Tutorial do Spring 3.5, INPE, 2001.
- Wandressen, R. **Algoritmos para Correlação em Imagens Digitais**. Curitiba, Seminário II – Curso de pós-graduação em ciências geodésicas, UFPR, 67 pp.