

Avaliação de Desempenho no Georreferenciamento de Imagens do Sensor HR CCD (*High Resolution Charge-Coupled Device*) do Satélite CBERS-1

RAFAEL PEREIRA ZANARDI¹; SILVIA BEATRIZ ALVES ROLIM¹;
CLÁUDIO BIELENKI JÚNIOR²; CARLOS ALUISIO MESQUITA DE ALMEIDA¹

1. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – CEP SRM

Caixa Postal 15044, CEP: 91501-970. Porto Alegre, RS – Brasil. rafael_zanardi@yahoo.com.br

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

(Recebido em 07/05. Aceito para publicação em 01/06)

Abstract- In this work it was 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.

Keywords- remote sensing, CBERS, georeference, cartography.

INTRODUÇÃO

Os recursos naturais e o meio ambiente da Terra estão em mudanças contínuas em resposta à evolução natural e às atividades humanas. Para compreender o complexo inter-relacionamento dos fenômenos que causam estas mudanças é necessário fazer observações com uma grande gama de escalas temporais e espaciais. A observação da Terra por meio de satélites é a maneira mais efetiva e econômica de coletar dados necessários para monitorar e modelar estes fenômenos, especialmente em países de grande extensão territorial.

Na última década do século XX, marcada por notados avanços na área de Sensoriamento Remoto, foram desenvolvidos e lançados sensores de alto desempenho no que se refere às resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal. Esses novos sensores orbitais ampliaram a capacidade de registro dos recursos naturais e do meio ambiente, 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 da 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 satélite CBERS-1 em 1999, e o 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.

Essas imagens apresentam, em sua geometria, distorções que precisam ser corrigidas para que seus dados tenham maior consistência. A origem dessas deformações pode estar nas características dos sensores, na instabilidade da plataforma (espacial) onde se encontram os sensores, na própria forma da Terra e no seu movimento de rotação (Novo, 1992). O processo de correção geométrica pode ser realizado de diferentes formas, gerando produtos com melhores resultados à medida que se dispõe de maior qualidade e quantidade de dados de entrada.

OBJETIVOS

O objetivo central deste trabalho é avaliar o desempenho das imagens do sensor HR-CCD do satélite CBERS-1 na busca de parâmetros qualitativos e quantitativos que identifiquem possíveis erros associados ao 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.

O PROJETO CBERS

Muitos países dependem das imagens obtidas através dos satélites de observação da Terra, disponíveis, na maioria das vezes, pelos países que detêm avançadas tecnologias na área espacial. Entretanto, em muitos casos, tais satélites não são inteiramente adequados às peculiaridades do território imageado 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 parceria financeira e tecnológica a China emergiu como um país em crescimento, 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. Somam-se à importância da cooperação e da obtenção de um parceiro para divisão dos custos, os fatores de natureza 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.

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 e 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. Carrega 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 (Tab.1), que 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 (Andrade, 1998).

MATERIAIS

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados: - 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; - Programa 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 1:50.000 da área de estudo, para auxílio na navegação até os pontos de controle.

PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS (PDI)

O PDI envolve as técnicas de transformação e mani-

pulação 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 (Schovengerdt, 1983).

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. 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 (Bloomfield, 1976), onde há um maior controle da distribuição dos ruídos na imagem (Fig. 1).

Observa-se que as informações contidas nas imagens, quando analisadas no domínio da frequência, tendem a se agrupar ao centro (Nussbaumer, 1982). 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.

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

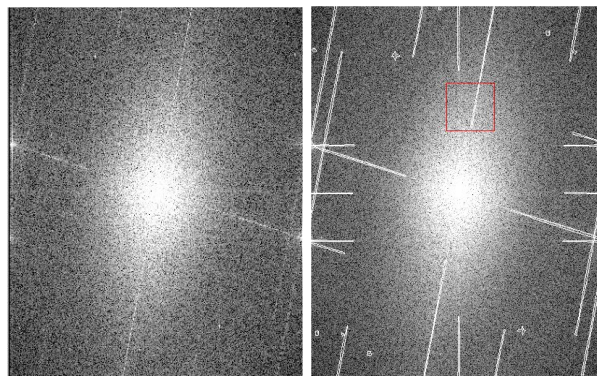


Figura 1 - Espectro de frequência da banda 2 e seleção manual para filtragem de ruído.

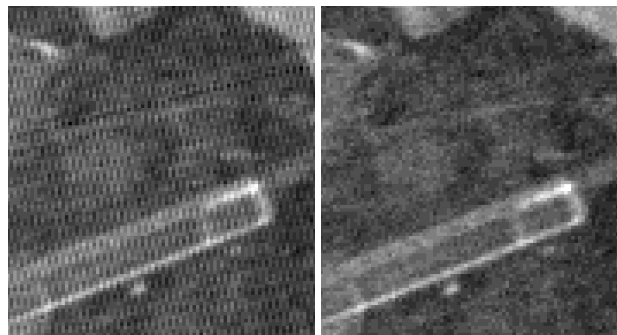


Figura 2 - Comparação entre detalhe da imagem original e da filtrada com o filtro de Fourier.

Processamento dos Pontos de Controle

A opção por coleta de pontos de controle em campo com receptores GPS topográficos foi necessária para garantir um desvio máximo de cinco metros nas coordenadas dos pontos de apoio e de controle, além de permitir a emissão de um relatório dos desvios para cada um dos pontos após o processamento diferencial. Isso não seria possível caso se tivesse optado por extrair essas coordenadas diretamente das cartas topográficas da DSG em escala 1:50.000 (precisão de 25 metros, segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica, Decreto Lei 89.817 de 20

Tabela 1 - Principais características do HR 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

de junho de 1984).

Após o tratamento digital aplicado na imagem foram selecionados 52 pontos de controle identificáveis na imagem e nas cartas da região, a fim de se tomar suas coordenadas GPS. De forma a facilitar a coleta de coordenadas em campo, deu-se preferência a intersecções de estradas e pontes. Além disso, procurou-se selecionar pontos geometricamente bem distribuídos por toda a área de estudo (Rocha, 2002). A figura 3 apresenta a composição colorida falsa cor RGB-432 da área selecionada, juntamente com a distribuição dos pontos de controle.

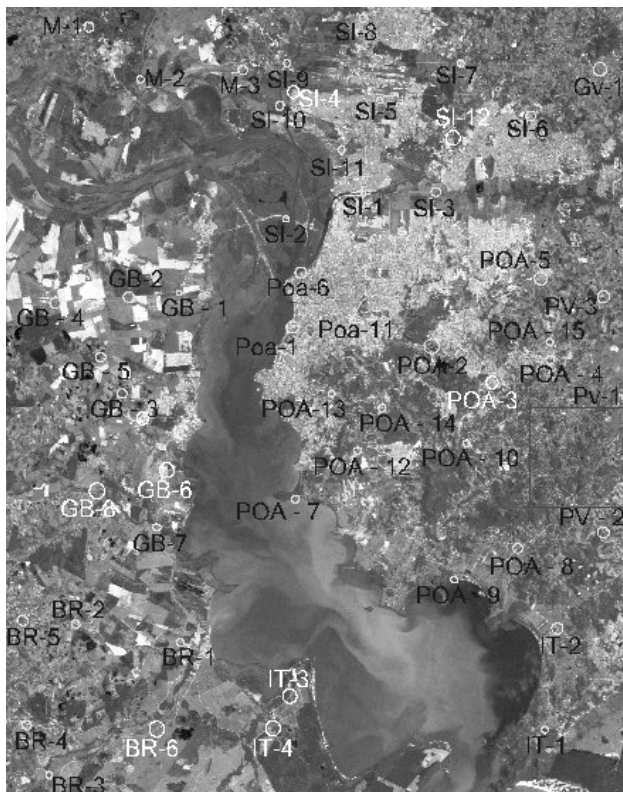


Figura 3 – Composição colorida RGB-432 com a distribuição dos pontos selecionados.

Dos 52 pontos selecionados, apenas 44 foram utilizados. Os pontos marcados em branco na figura 3, ou não puderam ser coletados em campo, ou seus arquivos de dados de observação GPS apresentaram problemas e não foram processados.

Os pontos foram coletados nos dias em que as condições climáticas eram favoráveis, com o GPS no modo estático-rápido, em seções de dez minutos para um pós-processamento submétrico, procurando assim garantir uma precisão melhor do que cinco metros, já que as distâncias dos pontos em relação às bases utilizadas não eram extensas.

Para o processamento dos pontos foi utilizado o programa 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 (Monico, 2000), 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 programa Mstar 2.07.

Os pontos foram processados com saída na projeção UTM e Datum Córrego Alegre, correspondendo ao 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 (cinco parâmetros), e o programa Mstar converte a saída do WGS-84 para o Córrego Alegre aplicando a transformação por regressões múltiplas.

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 era da ordem de quilômetros, inviabilizando o uso dos dados de georreferenciamento baseados no modelo orbital.

Para analisar os diferentes tipos de transformação foram geradas doze 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 (vizinho mais próximo, bilinear ou convolução cúbica);
- Critério de escolha dos pontos de apoio (melhor distribuição geométrica ou menor erro médio quadrático - RMS).

RESULTADOS

Análise dos Modelos Gerados

Para a verificação da consistência 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 ima-

imagem georreferenciada e as coletadas em campo com o receptor GPS.

Estas discrepâncias foram consideradas os resíduos (Alves, 1996) para o cálculo do $V^T PV$ (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).

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, gerando a imagem georreferenciada da figura 4. 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.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi evidenciado que as imagens CBERS-1 ainda necessitam de 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-baixas, passa-altas 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

Tabela 2 - Resumo dos resultados

Nº de Ptos. de Apoio	Transf. Geométrica	Escolha Ptos. de Apoio	Reamostragem	$V^T PV$ (m)
30	Grau 1		Vizinho mais Próx.	18,52
30	Grau 1		Bilinear	42,37
30	Grau 1	Distribuição	Convolução Cúbica	39,24
30	Grau 2	Espacial	Vizinho mais Próx.	25,40
30	Grau 2		Bilinear	41,07
30	Grau 2		Convolução Cúbica	38,61
30	Grau 1	Menor RMS		50,06
30	Grau 2		Vizinho	65,54
15	Grau 1	Distribuição	mais	31,48
15	Grau 2	Espacial	Próximo	45,36
15	Grau 1	Menor RMS		37,56
15	Grau 2			36,26



Imagem CBERS
Órbita-Ponto 157-134 de 3 de Janeiro de 2001
Região Metropolitana de Porto Alegre
Composição Colorida R2 G3 B1

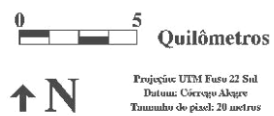


Figura 4- Imagem georreferenciada com a utilização dos parâmetros que apresentaram melhor resultado.

dos pontos com GPS, também foram imprescindíveis a escolha de pontos bem distribuídos na cena e a exatidão no momento de fornecer ao programa 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.

Dando continuidade a este projeto, pretende-se realizar a ortorretificação da mesma cena, para efeitos de comparação da exatidão posicional resultante da aplicação dos diferentes métodos de correção geométrica nas imagens geradas pelo sensor HR CCD do satélite CBERS.

REFERÊNCIAS

- Alves, C. J. S. 1996. **Método dos Mínimos Quadrados**. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- Disponível em www.math.ist.utl.pt/~calves/cursos/mmq.htm
Acesso em 12/ 08/2002.
- Andrade, J.B.1998.**Fotogrametria**. Curitiba, Editora SBEE, 258p.
- Bloomfield, P. 1976. **Fourier Analysis of Time Series**. John Wiley & Sons, New York. 258p.
- Gemael, C.1994. **Introdução ao Ajustamento de Observações - Aplicações Geodésicas**. Curitiba, Editora da Universidade Federal do Paraná, 319p.
- Monico, J. F.G. 2000. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. São Paulo, Editora da Unesp, 288p.
- Novo, E. M. L. M. 1992. **Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações**. São Paulo, Edgard Blücher, 308p.
- Nussbaumer, H. J. 1982. **Fast Fourier Transform and Convolution Algorithms**. Berlin/ Springer- Verlag. 248 p.
- Rocha, R S. 2002. **Exatidão Cartográfica para as Cartas Digitais Urbanas**. Florianópolis. 126p. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Schowengerdt, R.A. 1983. **Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing**. Academic Press, New York. 249p.

