

UTILIZAÇÃO DE MODELOS RIGOROSOS NO PROCESSO DE CORREÇÃO GEOMÉTRICA DE IMAGENS CBERS-4/PAN

Thales S. Akiyama¹, José Marcato Junior²

1. Estudante da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (FAENG-UFMS)/Doutorando no Programa de Pós-Graduação de Tecnologias Ambientais (PGTA-UFMS)
2. Professor Doutor da Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (FAENG-UFMS)/Orientador

Resumo

Os satélites de observação terrestre possuem sensores embarcados que fornecem imagens orbitais, onde tais imagens podem ser empregadas em diversas aplicações para o monitoramento da superfície terrestre, desta forma auxiliando em inúmeras tomadas de decisões. Para que as imagens fornecidas por tais satélites possam ser utilizadas, elas necessitam que as suas feições sejam bem identificáveis e de alta acurácia posicional. O sensor PAN (*Panchromatic and Multispectral Camera*) coleta imagens pancromáticas com resolução espacial – GSD (*Ground Sample Distance*) de 5 metros e é um dos quatro sensores embarcados no satélite CBERS-4 (*China-Brazil Earth Resources Satellite Program*), que foi produzido em uma parceria entre Brasil e China. O CBERS-4 é um satélite recente, lançado em 7 de dezembro de 2014, e as suas imagens apenas começaram a ser disponibilizadas no final de 2015. Os estudos referentes a sua confiabilidade posicional, correção geométrica, correção radiométrica e outros temas ainda são escassos. Além disso, analisando as imagens de nível 4 (ortoretificadas com pontos de controle) disponibilizadas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), verificou-se discrepâncias superiores a 11 GSD (55 m). O objetivo do trabalho é utilizar modelos matemáticos rigorosos para corrigir geometricamente as imagens obtidas do sensor CBERS-4/PAN, assim podendo analisar posteriormente a questão da confiabilidade posicional. Foram utilizadas para o experimento uma imagem que engloba parte do estado de Mato Grosso do Sul, e após o processo de correção geométrica com modelo rigoroso de colinearidade, foram obtidos resultados considerados de alta confiabilidade (em torno de 2 GSD), valor considerado melhor se comparado com os disponibilizados pelo INPE.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Fotogrametria; Cartografia.

Apoio financeiro: Agradecimentos à FUNDECT (Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul), ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) (p. 456149/2014-7, p.433783/2018-4 e p. 59/300.066/2015) pelo financiamento da pesquisa e o apoio da CAPES - Brasil (Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior) – Código de Financiamento 001.

Introdução

O sensoriamento remoto se baseia em um conjunto de técnicas que possibilita obter informações da superfície terrestre, que é realizado por sensores embarcados em plataformas orbitais, terrestres e aéreas. Tais informações são obtidas sem o contato direto entre o pesquisador/equipamento e o objeto de estudo. Fonseca *et al.* (2014) menciona que as imagens orbitais obtidas por estes sensores possuem inúmeras aplicações de monitoramento ambiental. Alguns exemplos de aplicações são em monitoramento de recursos hídricos, classificação de cobertura do solo, identificação de mudanças climáticas, indícios de queimadas, perícia criminal, entre muitos outros estudos, onde é necessária a questão da confiabilidade posicional.

Os satélites orbitais com capacidade de alta resolução possuem diversos equipamentos que obtêm informações importantes para a correção radiométrica e geométrica das imagens geradas. No entanto, mesmo que tais imagens sejam corrigidas, muitas vezes não podem ser utilizadas para algumas aplicações justamente pela questão de não atingir a acurácia posicional necessária. Assim sendo, o processo de correção geométrica pode ser realizado utilizando elementos de controle no espaço objeto (pontos, retas e/ou áreas) (MARCATO JUNIOR; TOMMASELLI, 2013) e outra maneira é corrigindo os parâmetros que definem a órbita usando estes elementos de controle (HABIB *et al.*, 2001; KIM; DOWMAN, 2006; JACOBSEN, 2007).

Os modelos matemáticos para o processo de correção geométrica relacionam o espaço objeto (sistema de referência terrestre) e o espaço imagem, sendo o modelo rigoroso utilizando pontos o aplicado neste trabalho. Este modelo procura descrever a geometria de aquisição da cena a partir de informações do modelo do sensor e da plataforma.

O foco do estudo é analisar as imagens do sensor PAN do satélite CBERS-4. Estas imagens são disponibilizadas pelo INPE, de forma gratuita, e possuem diferentes níveis de processamento, sendo que cada nível apresenta diferentes tipos de correções que são aplicadas, onde quanto maior nível de processamento, melhor a qualidade da imagem gerada. Entretanto, analisando as imagens e os seus respectivos níveis de processamento, foram constatados deslocamentos posicionais elevados, incompatíveis com o GSD (*Ground Sample Distance*) do sensor. Além disso, por ser um satélite lançado recentemente, são escassos o número de

estudos realizados sobre ele. Os únicos trabalhos referentes a questão de posicionamento das imagens deste satélite foram o de Statella (2016), mostrando que as imagens do sensor MUX (*Multispectral Camera*) apresentam acurácia posicional de aproximadamente 404 metros; e o de Marcato Junior (2017), que analisou imagens de nível 2 do sensor PAN e identificou-se um deslocamento posicional nos pontos de verificação em torno de 614 metros (aproximadamente 123 vezes o valor do GSD). Essa falta de estudos nos permite aplicar procedimentos de correção geométrica para as imagens do satélite CBERS-4/PAN e assim contribuir para que elas possam ser aplicadas em diversos contextos. O objetivo do trabalho consiste em avaliar os modelos rigorosos na correção geométrica das imagens e assim analisar se os resultados obtidos são considerados adequados (com alta acurácia posicional).

Metodologia

Para a execução do trabalho, foram utilizados o *Software* gratuito QGIS (QGIS Development Team, 2017) versão 2.18.10; *Software* gratuito Irfanview versão 4.51, *Software* gratuito Notepad ++ versão 7.5.8; Notebook Dell Inspiron 14R 5437 com processador Intel Core i5-4200 CPU 1.60Ghz, memória RAM de 8GB e Sistema Operacional de 64 bits; *Microsot Excel* (Pacote do *Microsoft Office* 365); imagem de nível 1 do satélite CBERS-4/PAN; imagens do satélite *RapidEye*; imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography mission*) versão V04; pontos de controle e limites das propriedades rurais georreferenciadas por todo o Brasil. Cabe enfatizar que não foi necessário uma coleta em campo dos pontos de controle e maioria dos materiais são gratuitos, ou seja, é um trabalho que não necessitou de altos custos.

O INPE (2018) fornece as imagens do satélite CBERS-4 com diferentes níveis de processamento, que será detalhado na Tabela 1. Esta tabela mostra as informações que são utilizadas para o processo de correção geométrica, onde a confiabilidade posicional das imagens depende da qualidade dos dados de órbita (SILVA *et al.*, 2009).

Tabela 1: Níveis de processamento das imagens CBERS.

Níveis de Processamento	Descrição
Nível 0	Imagem recebida diretamente pela estação de recepção do INPE (Imagem em estado bruto).
Nível 1	Imagem do nível 0 com correção radiométrica (calibração e restauração do sinal transmitido).
Nível 2	Imagem do nível 1 com correção geométrica, aplicada com o uso de dados orbitais, de informações sobre a montagem do instrumento no satélite, da geometria de visada do instrumento e de um modelo representativo da superfície terrestre.
Nível 3	Imagem do nível 2 aplicados procedimentos adicionais de correção geométrica com o uso de pontos de controle.
Nível 4	Imagem do nível 2 ortorretificada com o uso de um MDT (Modelo Digital de Terreno) ou um MNET (Modelo Numérico de Elevação do Terreno)

Fonte: MACHADO E SILVA, (2007).

As imagens do satélite *RapidEye* são obtidas no GeoCatálogo do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2018) e foram utilizadas como referência por apresentarem alta acurácia posicional (MARCATO JUNIOR *et al.*, 2015). Além disso, Akiyama *et al.* (2018) verificaram que os limites das propriedades rurais georreferenciadas por todo o Brasil disponíveis pelo Instituto de Colonização e Reforma Agrária (INCRA, 2018) se associavam corretamente com as feições das imagens *RapidEye*, não apresentando deslocamento entre feições e imagem. Desta forma, foi possível coletar os pontos de controle apenas os identificando na associação entre as imagens *RapidEye* e os limites das propriedades rurais (Figura 1).

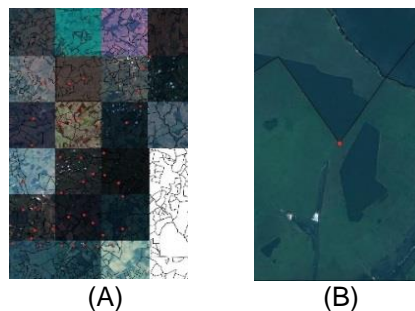


Figura 1: Pontos de controle associados aos limites das propriedades rurais georreferenciadas e as imagens do satélite *RapidEye*. (A) Todas as imagens utilizadas; (B) Ampliação de uma parte para melhor visualização. Fonte: AKIYAMA *et al.* (2018).

A medição dos pontos de controle foi realizada em uma imagem CBERS-4/PAN, localizada em Mato Grosso do Sul, e trabalhou-se com ela no *Software* QGIS, onde foram adotados 15 pontos de apoio (para o ajuste do modelo) e 14 de verificação (para a validação do modelo), conforme Figura 2. As coordenadas planimétricas dos pontos são referentes aos limites das propriedades rurais, enquanto as coordenadas altimétricas obtidas a partir do SRTM.

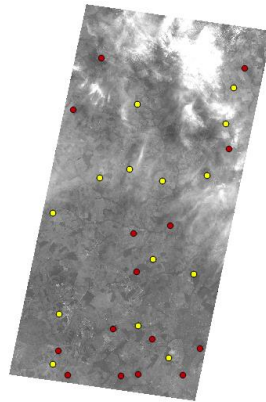


Figura 2: Distribuição dos pontos de apoio (vermelho) e pontos de verificação (amarelo) na imagem 163_122 de Nível 1 do CBERS-4/PAN.

As formulações matemáticas dos modelos rigorosos foram desenvolvidas em linguagem C++, onde consistia em adequar o programa para as equações de colinearidade (equação que se baseia na colinearidade no instante de tomada da imagem entre um ponto no espaço imagem, o seu homólogo no espaço objeto e o Centro Perspectivo) e assim utilizar informações que auxiliam no processo da correção geométrica (informações de órbita, número de câmaras utilizadas, parâmetros de orientação interior, parâmetros de orientação exterior, coordenadas imagem e do terreno dos pontos de controle, entre outras informações).

Por fim, para a validação da correção geométrica é utilizado o REQM (Raíz do Erro Quadrático Médio) planimétrico, que está relacionado com a acurácia de posicionamento.

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos foram satisfatórios, onde o valor de REQM utilizando 15 pontos de apoio e 14 pontos de verificação foi abaixo de 3 GSD (15 metros) (Figura 3), valor melhor do que das imagens que são fornecidas pelo INPE. Quanto menor o valor de REQM obtido, melhor é considerado o resultado, e a acurácia de posicionamento é mais elevada.

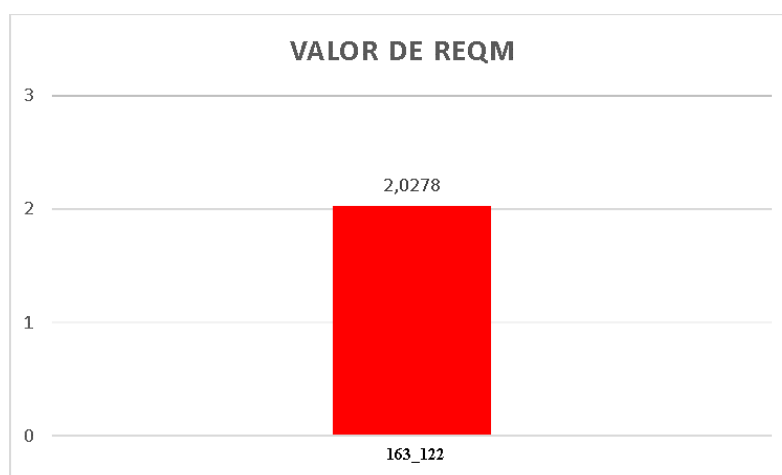


Figura 3: Valor de REMQ para a imagem 163_122 de Nível 1.

Um fator que influencia nos resultados obtidos é a questão da qualidade dos dados de órbita, de informações do instrumento, das imagens utilizadas, onde quanto melhores forem os dados utilizados, melhor será os resultados obtidos.

Apresenta-se nesse trabalho uma metodologia que pode vir a aprimorar a confiabilidade posicional das imagens fornecidas pelo INPE, possibilitando assim o seu uso em diversas aplicações. Observou-se nos trabalhos de Statella (2016) e Marcato Junior (2017) que o deslocamento posicional das imagens é elevado, e aplicando o modelo rigoroso para a correção geométrica, consegue-se melhorar os resultados.

Conclusões

Este trabalho procurou investigar a correção geométrica de imagens CBERS-4 do sensor PAN com modelos rigorosos utilizando feições do tipo ponto. Os modelos matemáticos rigorosos que relacionam os espaços objeto e espaço imagem se baseiam nas condições de colinearidade e utilizam informações de órbita para o seu processamento. A utilização de dados de órbita com boa qualidade resulta em bons resultados, fator considerado importante caso se queira utilizar as imagens geradas em diversas aplicações que exijam alta acurácia posicional.

A maioria dos materiais utilizados neste trabalho são gratuitos, fator que é levado em conta pois não foi necessário um alto financiamento para o desenvolvimento deste projeto. Além disso, é possível desenvolver técnicas de automação para a correção geométrica com base nos limites das propriedades rurais do INCRA no georreferenciamento de imagens orbitais CBERS-4/PAN, além de ser possível a utilização de imagens de outros satélites para estudos futuros.

Foi gerada uma imagem com acurácia superior às imagens disponíveis pelo INPE sem a necessidade de levantamento de campo, onde a área de estudo foi o Estado de Mato Grosso do Sul, possibilitando assim, por exemplo, o monitoramento de recursos hídricos. Estes estudos não necessariamente precisam ser focados apenas neste tipo de questão, desta forma sendo possível realizar diversos estudos em temáticas diferentes, além de poder expandir a nível nacional, ou até mesmo global.

Referências bibliográficas

AKIYAMA, T. S.; MARCATO JUNIOR, J.; TOMMASSELLI, A. M. G. Correção geométrica de imagens CBERS-4/PAN com modelos generalizados usando como referência dados do Sistema Nacional de Gestão Fundiária. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v.41, n. 2, p. 358-268, 2018. ISSN 0101-9757.

FONSECA, L. M. G.; EPHIPANIO, J. C. N.; VALERIANO, D. M.; SOARES, J. V.; DALGE, J. C. L.; ALVARENGA, M. A. Earth observation applications in Brazil with focus on the CBERS program. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine**, v. 2, n. 2, p. 53-55, 2014. ISSN 2168-6831.

HABIB, A., Y. LEE; M. MORGAN. Bundle adjustment with self-calibration of line cameras using straight lines. In: Joint Workshop of ISPRS WG I/2, I/5 and IV/7: High Resolution Mapping from Space, 2001, Hanover. **Proceedings...** University of Hanover, 2001.

INCRA. **Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária**. Disponível em <<http://www.incra.gov.br/>> Acesso em: 20 de fevereiro de 2018.

INPE. **Catálogo de imagens – INPE**. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR>> Acesso em: 14 de março de 2018.

JACOBSEN, K. Orientation of high-resolution optical space images. In: ASPRS 2007 Annual Conference, Tampa, 2007, Florida. **Proceedings...** Tampa, Flórida, 2007.

KIM, T.; DOWMAN, I. Comparison of two physical sensor models for satellite images: position–rotation model and orbit–attitude model. **The Photogrammetric Record**, v. 21, n. 114, p. 110-123, 2006. ISSN 1477-9730.

MACHADO E SILVA, A. J. F. **Geometria de imagens**: do projeto do satélite à geração dos produtos. 2007. 224 f. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

MARCATO JUNIOR, J.; TOMMASSELLI, A.M.G. Exterior orientation of CBERS-2B imagery using multi-feature control and orbital data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 79, p. 219-225, 2013. ISSN 0924-2716.

MARCATO JUNIOR, J.; COENIO, D. F.; GODOI, D.F.; TOMMASSELLI, A. M. G.; RAMOS, A. P. M. Avaliação da acurácia posicional de imagens CBERS-4/PAN. **Anais XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, p. 5356-5361, 2017.

MMA. **GeoCatálogo – MMA**. Disponível em <<http://geocatalogo.mma.gov.br/>> Acesso em: 17 de março de 2018.

QGIS Development Team. 2017. *QGIS Documentation*. Disponível em: <<https://www.qgis.org/en/docs/index.html>>. Acesso em 15 de novembro de 2017.

SILVA, W. B.; D'ALGE, J. C. L.; FONSECA, L. M. G. Avaliação da qualidade geométrica de imagens da Câmera HR do CBERS 2B. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIV, 2009, Natal. **Anais...** Natal, 2009. p. 2193–2200.

STATELLA, T. Geometric quality assessment of CBERS-4 MUXCAM image. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 4, n. 2, p. 116-121, 2016. ISSN 2317-4285.