

## Análise geométrica de imagens CCD/CBERS-2

Camila Souza dos Anjos<sup>1</sup>  
Julio Cesar Lima D'Alge<sup>2</sup>  
Helio Koiti Kuga<sup>2</sup>  
José Carlos Neves Epiphânio<sup>2</sup>  
Leila Maria Garcia Fonseca<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Imagem Soluções de Inteligência Geográfica  
Rua Itororó, 555 Vila Bandeirantes - CEP: 12216-440.  
São José dos Campos - SP, Brasil.  
canjos@img.com.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Av. dos Astronautas, 1.758 Jd. Granja - CEP:12227-010.  
São José dos Campos - SP, Brasil.  
julio@dpi.inpe.br  
hkk@dem.inpe.br  
epiphânio@dsr.inpe.br  
leila@dpi.inpe.br

**Abstract.** CBERS is the acronym for Chinese-Brazilian Earth Resources Satellite. The second of its series was launched in October 21<sup>st</sup>, 2003, and CCD is its high resolution camera, with 20m spatial resolution. This paper analyzes the geometric quality of CCD/CBERS-2 images concerning the positioning error. A positional difference at the original scenes was always found during the control hand over of the satellite between Brazil and China. However, the post-processed imagery presented practically constant errors. The discussion generated by the analysis of this problem identified a difference in the procedure of up-loadings of ephemeris and, afterwards this difference was corrected. To improve the images geometric quality of CCD/CBERS-2 generated in the period, the application of the average displacement found in this experiment is indicated.

**Palavras-chave:** CCD/CBERS-2 sensor, attitude, positioning error, sensor CCD/CBERS-2, attitude, erro de posicionamento.

### 1. Introdução

Durante o processo de aquisição de imagens, são introduzidas distorções sistemáticas que afetam a geometria. Um dos esforços para garantir a qualidade geométrica das imagens CBERS – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres - é o controle do satélite, que garante sua orientação correta e ajuda a manter a órbita dentro de uma faixa desejada.

Segundo Arantes (2005), a orientação de um satélite em relação a um sistema de referência conhecido é denominada atitude, e o movimento de rotação em torno do seu centro de massa é denominado movimento de atitude. Para determinar a atitude de um satélite em relação a um sistema de referência, ele deve estar equipado com sensores que possam fornecer a sua orientação em relação ao Sol, a Terra, ou alguma estrela fixa, bem como em relação ao vetor do campo magnético terrestre (direção e magnitude).

A principal força não-gravitacional que atua em satélites cuja altitude seja inferior a 800km (como os CBERS-1 e 2) é a força devida ao atrito com a atmosfera, conhecida como

arrasto atmosférico. Essa força age sempre no sentido oposto ao movimento do satélite, tendendo a freá-lo e diminuir a altitude da órbita<sup>1</sup>.

O controle e a operação do CBERS-2 são realizados ora pelo Brasil, ora pela China, em períodos alternados de aproximadamente seis meses. Na China o controle é realizado pelo Centro de Controle de Xi'An, e no Brasil é realizado pelo Centro de Controle de Satélites do INPE. As características da órbita do satélite CBERS-2 são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características da órbita do satélite CBERS-2.

<b>Tipo</b>	Polar/Hélio-síncrona
<b>Altitude</b>	778 km
<b>Inclinação</b>	98,504°
<b>Cruzamento do Equador</b>	10h30min local
<b>Período</b>	100,26 min

A estabilização do satélite em relação à sua atitude especificada é feita pelo controle da missão, que tem como função adquirir e manter o satélite numa atitude pré-fixada. A atitude do CBERS-2 é estabilizada em três eixos pode ser descrita em relação ao sistema orbital. Nesse referencial, o movimento em torno da direção da velocidade orbital é denominado *roll* (rolamento). O movimento em torno da direção normal à órbita é denominado *pitch* (arfagem), e, finalmente, o movimento em torno da direção Nadir/Zênite é denominado *yaw* (guinada) (Junior, 2005).

Pesquisadores do INPE têm realizado regularmente testes para avaliar a qualidade geométrica dos dados CBERS. Num destes experimentos notou-se uma diferença posicional entre as imagens da Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD)/CBERS-2 controladas pelo Brasil e as imagens controladas pela China. Um exemplo visual desta constatação está presente na Figura 1, que apresenta os valores do ângulo *roll* dias antes da mudança de controle entre o Brasil e a China, no dia da mudança (dia 23/03/2005) e dias após a mudança.

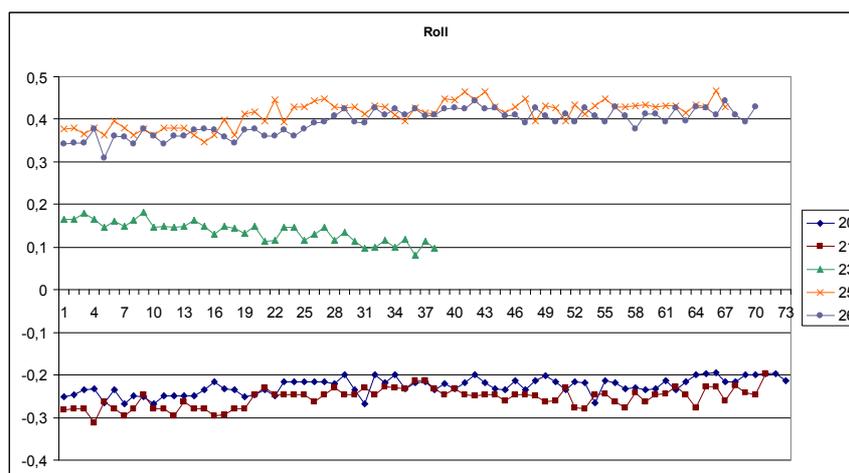


Figura 1 – Valores de *roll* nas datas próximas à 2ª mudança de controle. A mudança de controle ocorreu no dia 23/03/2005. Fonte: Kuga (2006).

<sup>1</sup> Maiores informações sobre o movimento orbital podem ser encontradas em Silva (2001) e Kuga e Kondapalli (1995).

A constatação dessa variação geométrica motivou a realização de um experimento que verificasse a acurácia posicional das imagens CCD/CBERS-2 em datas próximas às transferências de controle entre o Brasil e a China ao longo da vida útil do sensor.

## 2. Análise geométrica dos dados CCD/CBERS-2

Considerando que diferenças posicionais foram verificadas em consequência da mudança de controle, uma discussão entre pesquisadores brasileiros e chineses identificou que o erro poderia estar sendo causado pelo *up-load* de efemérides do CBERS-2, pois os outros procedimentos eram igualmente realizados independente do país que controlava o satélite.

O *up-load* de efemérides é um procedimento realizado com o intuito de enviar ao satélite informações sobre seu próprio posicionamento. Após essas informações chegarem ao computador de bordo, é calculada a atitude do satélite, e sua órbita é modificada se necessário. Após uma análise das efemérides enviadas por ambos os países, foi detectado um erro no algoritmo chinês devido a uma diferença de tempo sideral, que fazia com que o computador de bordo transmitisse de forma errada os valores de atitude.

Com a finalidade de melhorar a qualidade das imagens CCD/CBERS-2 disponibilizadas ao usuário, este experimento analisa a acurácia posicional de cenas CCD/CBERS-2 disponíveis regularmente no catálogo CBERS e também de cenas geradas com dados de atitude pós-processados, que independem do *up-load* de efemérides.

Chaves (1998), afirma que a análise da qualidade geométrica de dados georreferenciados pode ser realizada a partir do cálculo das discrepâncias entre as coordenadas de um ponto no terreno e sua representação no dado analisado - neste caso imagens CCD/CBERS-2.

Este estudo analisa diferentes cenas de datas próximas às mudanças de controle do CBERS-2 entre o Brasil e a China desde o lançamento do satélite, e usa como referência as imagens ortorretificadas GeoCover Landsat no formato MrSid também distribuídas gratuitamente.

O CBERS-2 foi lançado em 21/10/2003 sendo controlado pela China até dia 23/07/2004, quando ocorreu a 1ª mudança de controle, passando então para o Brasil. O controle retornou aos cuidados da China em 23/03/2005 quando ocorreu a 2ª mudança de controle. A 3ª mudança de controle ocorreu em 23/10/2005 quando o CBERS-2 voltou a ser controlado pelo Brasil. A 4ª mudança de controle ocorreu em 23/04/2006, quando o CBERS-2 voltou a ser controlado pela China.

Pontos homólogos foram identificados nas três imagens: CCD/CBERS-2 original, CCD/CBERS-2 pós-processada e na referência GeoCover Landsat. As coordenadas dos pontos sobre as imagens CCD/CBERS-2 são comparadas diretamente com as coordenadas de referência. Os resultados médios dos deslocamentos ( $\Delta E$  e  $\Delta N$ ) são usados para calcular o erro de posicionamento, segundo a Equação 1.

$$EP = \sqrt{(\Delta E)^2 + (\Delta N)^2} \quad (1)$$

Onde:

EP = Acurácia Posicional;

$\Delta E$  = Deslocamento entre a imagem referência e imagem de estudo na direção leste - oeste;

$\Delta N$  = Deslocamento entre a imagem referência e imagem de estudo na direção norte - sul.

## 2.1 Primeira Mudança de Controle

A 1ª mudança de controle ocorreu em 23/07/2004. Dados de atitude dessa mudança de controle para a geração das imagens pós-processadas foram recuperados com dificuldade. Os pequenos intervalos de atitude disponibilizados apresentavam apenas imagens com grande cobertura de nuvens, o que inviabilizou a realização do experimento desta à 1ª data de mudança de controle de órbita.

## 2.2 Segunda Mudança de Controle

A segunda mudança de controle ocorreu em 23/03/2005. Para o experimento foram selecionadas imagens de 20/03/2005 a 26/03/2005, com órbitas/ponto diferentes para cada uma das datas.

As Figuras 2 e 3 apresentam as médias das diferenças posicionais entre a imagem referência e as imagens CCD/CBERS-2 originais e pós-processadas nas direções norte-sul (N) e leste-oeste (E) para cada uma das datas. Em todas as figuras as linhas vermelhas representam as médias do deslocamento em cada direção. A Tabela 2 apresenta as cenas utilizadas no experimento e os erros de posicionamento das imagens em relação à referência.

Tabela 2 – Dados 2ª Mudança de Controle.

Data	Cena CCD/CBERS -2	Referência GeoCover Landsat	Erro Posicional (Cena original)	Erro Posicional (Cena pós-processada)
20/03/2005	162/102	S-22-00 2000	4.110,05 m	10.533,11 m
21/03/2005	153/111	S-23-05 2000	3.161,23 m	9.900,29 m
22/03/2005	170/093	N-21-05 2000	5.090,03 m	10.783,06 m
23/03/2005	161/117	S-22-15 2000	8.082,11 m	9.151,06 m
24/03/2005	152/118	S-23-15 2000	10.722,74 m	8.849,98 m
25/03/2005	169/108	S-21-05 2000	12.168,99 m	11.393,36 m
26/03/2005	160/113	S-22-10 2000	11.008,24 m	9.449,71 m

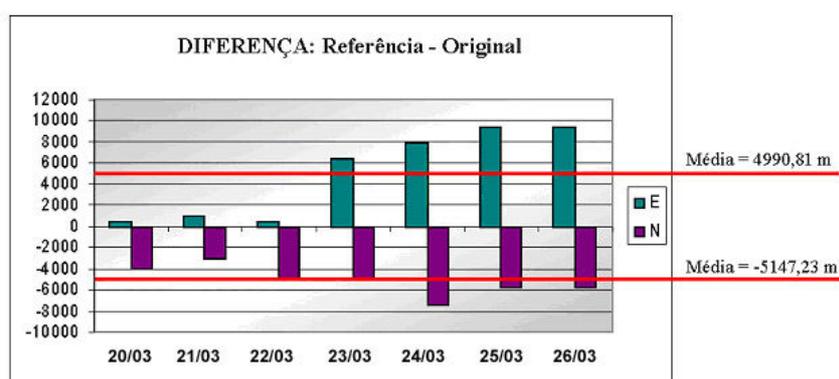


Figura 2 – Diferença posicional entre as imagens referência e as imagens originais para a 2ª Mudança de Controle.

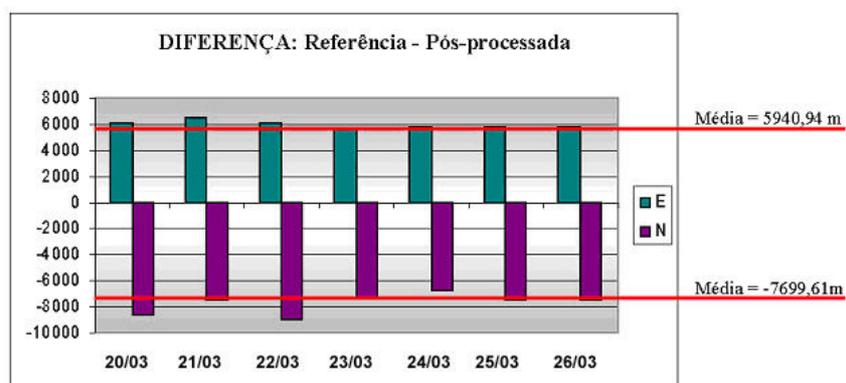


Figura 3 – Diferença posicional entre as imagens referência e as imagens pós-processadas para a 2ª Mudança de Controle.

### 2.3 Terceira Mudança de Controle

A terceira mudança de controle ocorreu em 23/10/2005. Para o experimento foram selecionadas imagens de 20/10/2005 a 26/10/2005, com órbitas/ponto diferentes para cada uma das datas.

As Figuras 4 e 5 apresentam as diferenças posicionais das imagens CCD/CBERS-2 originais e pós-processadas nas direções norte-sul (N) e leste-oeste (E) para cada uma das datas. A Tabela 3 apresenta as cenas utilizadas no experimento e os erros de posicionamento das imagens em relação à referência.

Tabela 3 - Dados 3ª Mudança de Controle.

Data	Cena CCD/CBERS -2	Referência GeoCover Landsat	Erro Posicional (Cena original)	Erro Posicional (Cena pós-processada)
20/10/2005	160/122	S-22-15_2000	11.540,99 m	8.271,56 m
21/10/2005	151/125	S-23-20_2000	10.445,32 m	9.178,44 m
22/10/2005	168/119	S-21-15_2000	11.063,29 m	8.283,19 m
23/10/2005	159/123	S-22-20_2000	10.545,88 m	9.263,17 m
24/10/2005	150/106	S-24-05_2000	11.019,00 m	8.144,18 m
25/10/2005	167/102	S-21-00_2000	3.366,36 m	11.511,50 m
26/10/2005	158/120	S-22-15_2000	2.767,54 m	8.726,45 m

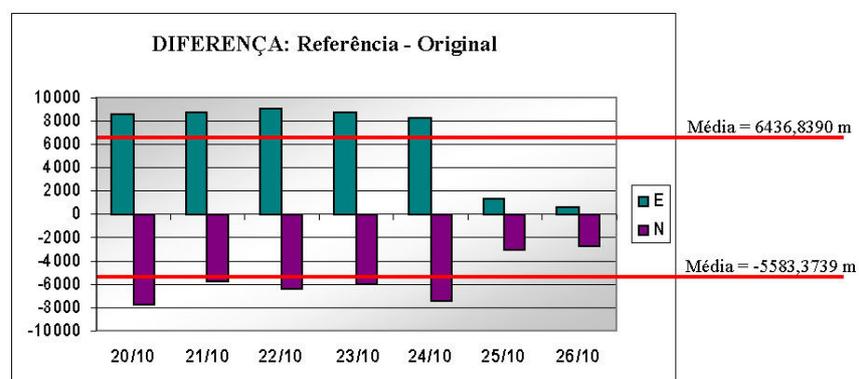


Figura 4 – Diferença posicional entre as imagens referência e as imagens originais para a 3ª Mudança de Controle.

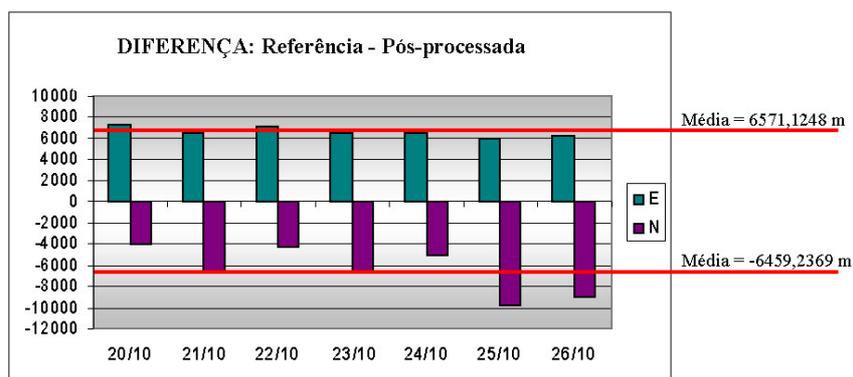


Figura 5 – Diferença posicional entre as imagens referência e as imagens pós-processadas para a 3ª Mudança de Controle.

## 2.4 Quarta Mudança de Controle

A quarta mudança de controle ocorreu em 23/04/2006. Para o experimento foram selecionadas imagens de 21/04/2006 a 25/04/2006, uma órbita/ponto diferente para cada uma das datas.

As Figuras 6 e 7 apresentam as diferenças posicionais das imagens CCD/CBERS-2 originais e pós-processadas nas direções norte-sul (N) e leste-oeste (E) para cada uma das datas. A Tabela 4 apresenta as cenas utilizadas no experimento e os erros de posicionamento das imagens em relação à referência.

Tabela 4 – Dados 4ª Mudança de Controle.

Data	Cena CCD/CBERS -2	Referência GeoCover Landsat	Erro Posicional (Cena original)	Erro Posicional (Cena pós-processada)
21/04/2006	151/104	S-24-00_2000	2.145,85 m	10.595,74 m
22/04/2006	168/102	S-21-00_2000	2.076,79 m	11.113,69 m
23/04/2006	159/106	S-23-05_2000	1.842,732 m	9.982,59 m
24/04/2006	176/099	N-20-00_2000	2.567,8 m	10.459,82 m
25/04/2006	169/108	S-21-05_2000	2.606,78 m	10.743,25 m

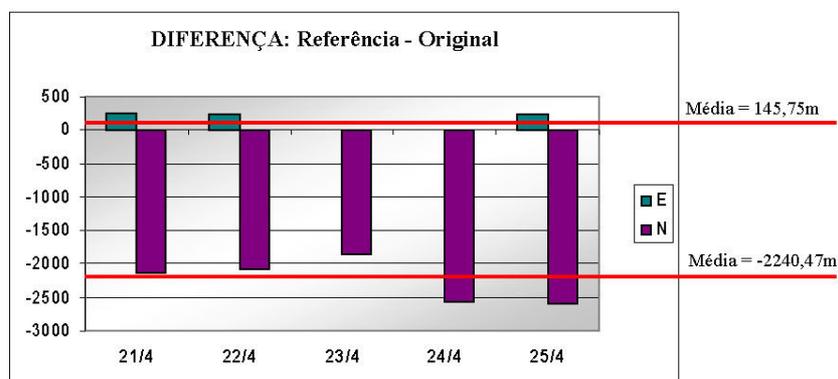


Figura 6 - Diferença posicional entre as imagens referência e as imagens originais para a 4ª Mudança de Controle.

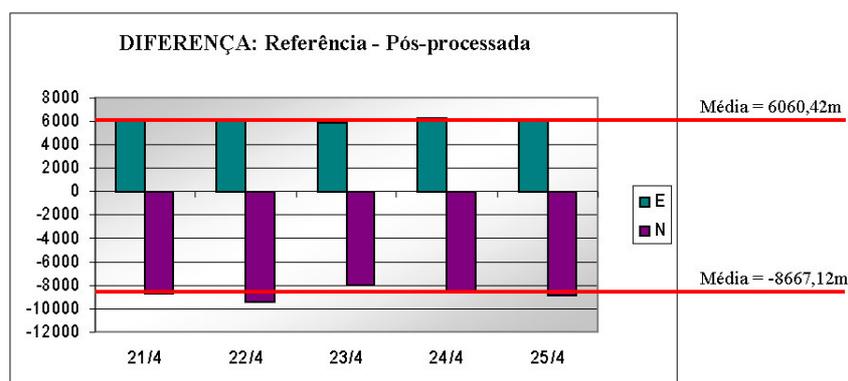


Figura 7 - Diferença posicional entre as imagens referência e as imagens pós-processadas para a 4ª Mudança de Controle.

### 3. Análise Posicional

As Figuras 2 e 4, referentes à 2ª e 3ª mudança de controle apresentam uma variação nítida em torno das datas de mudança. Porém, a Figura 6, referente à 4ª mudança, não apresenta essa variação, pois nesta data a correção do erro posicional já tinha sido implantada no procedimento Chinês.

As Figuras 3, 5 e 7, geradas a partir do deslocamento das imagens pós-processadas, apresentam seus deslocamentos e médias bem similares. Isso ocorre, pois neste caso os cálculos para a geração de todas as imagens são realizados por um único método, que independe das informações enviadas pelo satélite.

Antes da última mudança, as imagens originais apresentam deslocamentos posicionais variados ao passo que as imagens pós-processadas apresentam um deslocamento padrão na direção E e na direção N.

Os resultados obtidos na direção E, são mais constantes que os resultados em N. Isso ocorre porque, além das distorções geométricas gerais, a direção N sofre influência da órbita do satélite, pois ao imagear ele está se movimentando nesta mesma direção.

A Figura 8 mostra, em azul, o erro posicional das imagens originais ao longo da vida útil do CBERS-2, enquanto, em vermelho, é apresentado o erro posicional das imagens pós-processadas.

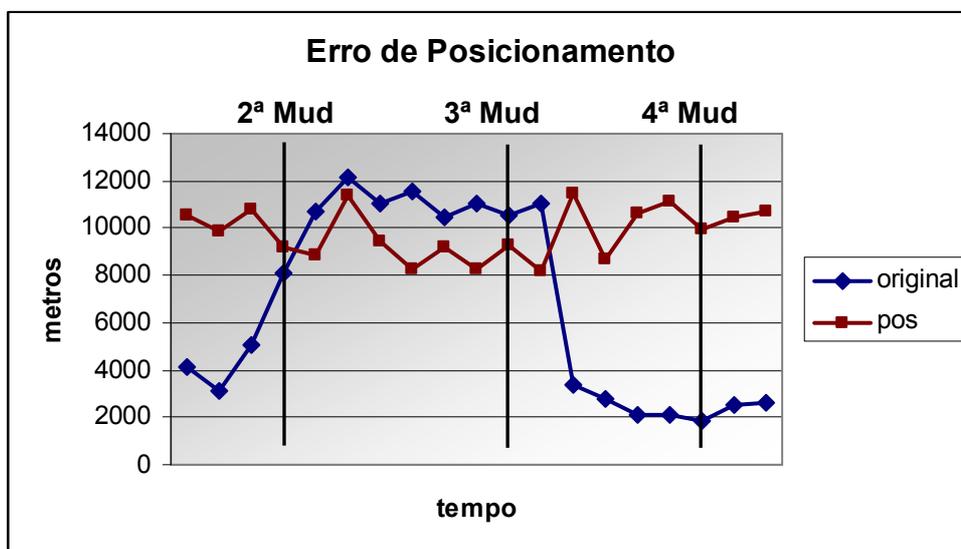


Figura 8 – Erro Posicional das imagens originais e pós-processadas.

A Figura 8 apresenta o erro de posicionamento para todas as cenas utilizadas na análise, as datas de mudança de controle entre o Brasil e a China são destacadas por linhas verticais. Nota-se que o erro posicional das imagens originais ao longo da vida útil do sensor apresentou uma variação de 2.000 a 12.000 metros, ao passo que as imagens pós-processadas apresentaram um erro em torno de 9.800 metros.

#### 4. Conclusões e Recomendações

O experimento permitiu o cálculo do erro de posicionamento de imagens originais e imagens geradas por meio de dados atitude pós-processados, para a CCD/CBERS-2.

O desenvolvimento e aplicação da metodologia revelaram um erro posicional variável para as imagens originais CCD/CBERS-2, ao passo que as imagens pós-processadas apresentaram um erro praticamente constante.

A discussão gerada pela análise identificou um erro no *upload* de efemérides realizada pela China e o erro foi corrigido. Para melhorar a qualidade geométrica das imagens CCD/CBERS-2 geradas neste período, pode-se aplicar o deslocamento médio encontrado no experimento (9.800 metros) na direção determinada e obter imagens cujas coordenadas estejam muito próximas do valor real.

#### 5. Referências

Arantes, G. J. **Estudo comparativo de técnica de controle de atitude em três eixos para satélites artificiais**. 2005. 201p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e tecnologia Espaciais / Mecânica e Controle) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

Catálogo CBERS. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/catalogo/>>. Acesso em 20 ago.2006.

Chaves, E. E. D. **Análise da qualidade de dados georreferenciados utilizando a tecnologia GPS**. 1998. 179 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998.

D’Alge, J. **CBERS-2: Attitude control and its effects on image geometric correction**. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006). Comunicação pessoal.

Kuga, H.K.; Kondapalli, R.R. **Introdução à mecânica orbital**. INPE-5615-PUD/064, São José dos Campos, 1995.

Kuga, H. K. **Determinação de atitudes pós-processadas CBERS-2**. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006). Comunicação pessoal.

Orthorectified Landsat Enhanced Thematic Mapper (ETM+) Compressed Mosaics. Disponível em: <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>>. Acesso em 20 mar.2006.

Silva, W.C.C. Movimento orbital. In: Prado, A. F. B. A.; Kuga, H. K. (ed.). **Fundamentos da tecnologia espacial**. São José dos Campos: INPE, 2001. cap.1, p.9-24.