

Revista Brasileira de Cartografia (2013) N<sup>o</sup> 65/5: 951-966  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **GERAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE SUPERFÍCIE COMPOSTOS UTILIZANDO IMAGENS DO SENSOR PRISM/ALOS**

*Generation of a Digital Surface Model Composed derived from the sensor PRISM/  
ALOS*

**Giovanni Chagas Egg; Joel Gripp Jr. & Nilcilene das Graças Medeiros**

**Universidade Federal de Viçosa – UFV**

**Departamento de Engenharia Civil**

Av. Peter H Holfs, s/n – CEP 36571.000 – Viçosa – MG - Brasil

{giovanni.egg, jgripp, nilcilene.medeiros}@ufv.br

*Recebido em 06 de setembro, 2012/ Aceito em 23 de janeiro, 2013*

*Received on september 06, 2012/ Accepted on january 23, 2013*

### **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo a geração de Modelos Digitais de Superfície (MDSs) simples e MDSs compostos utilizando dados do sensor PRISM - *Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo Mapping* que se encontra a bordo do Satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) obtidos no modo *Triplet*. Foram gerados 54 MDSs e aplicados quatro tipos de teste, visando avaliar, que verificaram o número mínimo de pontos de ligação necessários, o uso da metodologia proposta por IBGE (2009), a influência do acréscimo de pontos de controle e combinação de visadas associadas ao uso de diferentes estratégias de correlação. Os MDSs foram avaliados com base no Decreto-Lei 89.817/1984. A última análise consistiu na realização de um refinamento nos valores de altitude dos MDSs que apresentaram melhores resultados, através do emprego da Fórmula de Koppe modificada por Kraus (2004). Esta fórmula foi adaptada para uso em uma imagem orbital no intuito de se obter um indicativo da localização do erro altimétrico em cada MDS, gerando um novo modelo, denominado MDS Composto. Os resultados permitiram constatar que os dados PRISM permitem a obtenção de MDSs compatíveis com a Escala de 1:25.000. O uso da Fórmula de Koppe modificada se mostrou viável, embora seja necessário testar e avaliar a metodologia e os parâmetros utilizados em regiões com outras características.

**Palavras chaves:** Modelo Digital de Superfície, Exatidão Cartográfica (PEC), Sensoriamento Remoto, PRISM-ALOS.

### **ABSTRACT**

This work aims at the generation of Digital Surface Models (DSM) and DSM composed using the scene PRISM sensor - *Panchromatic Remote Sensing Instrument for Stereo Mapping* which is aboard the satellite ALOS - *Advanced Land Observing Satellite* taken in order *Triplet*. Were generated 54 DSMs divided into four tests which verified the minimum number of tie points to be used, using of the methodology proposed by IBGE (2009), the influence of the addition of control points and combination of looks associated with the use of different correlation strategies. The DSMs were evaluated by Decree-Law 89.817/1984. The final analysis consisted of a refinement in the altitude values of DSMs

that produced better results by employing the Koppe's formula modified by Kraus (2004) and adapted for use in an orbital image in order to obtain an indication of the location the elevation error on each MDS, generating a new model, called DSM Composed. The results revealed that the PRISM sensor allows to obtain the DSMs compatible scale of 1:25,000. The use of the modified Koppe's formula were satisfactory, although it is necessary to perform further analysis, aimed at validating of the methodology in other regions.

**Keywords:** Digital Surface Model, Cartographic Accuracy Remote Sensing, ALOS-PRISM.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de produtos cartográficos por profissionais de várias áreas do conhecimento reforça a necessidade da obtenção de informações espaciais atualizadas e com um grau de acurácia compatível às aplicações de cada usuário.

Com relação ao mapeamento sistemático no Brasil, pode-se dizer que grande parte de seu território apresenta mapeamento desatualizado há mais de três décadas e, segundo dados da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR, 2010), apenas um por cento do território nacional encontra-se mapeado na escala de 1:25.000.

Com o avanço tecnológico e o aprimoramento dos sistemas orbitais, ampla atenção passou a ser dada ao mapeamento planialtimétrico em nível mundial. Nas décadas de 80 e 90, foram lançados sensores como o HRV (*High Resolution Visible*) da plataforma SPOT-1 (lançado em 1986) com resolução espacial de 10 metros, no modo pancromático e o Sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) a bordo da plataforma Terra lançado em 1999, com resolução espacial de 15 metros no visível e infravermelho próximo, cujos dados permitem a representação tridimensional da superfície terrestre.

Em 2006 a JAXA (Agência Espacial Japonesa) lançou o Satélite ALOS composto de três sensores a bordo: AVNIR- *Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer*, PRISM e PALSAR - *Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*.

Dos três sensores a bordo, o PRISM, com resolução espacial de 2,5 metros, permite a obtenção de pares estereoscópicos. O ângulo de abertura com relação as visadas *Backward* e *Forward* permite uma relação da base pela altitude da plataforma (relação B/H) igual a 1,0.

Testes realizados pelo IBGE (2009) com imagens PRISM/ALOS na região de Itaguaí/RJ mostraram a possibilidade de geração de

Mapeamento altimétrico na escala de 1:25.000 compatível com normas brasileiras quanto a sua exatidão cartográfica para aquela área de estudo. Contudo, torna-se necessário a avaliação de estereopares obtidos em outras regiões do país.

Outro aspecto importante está relacionado à possibilidade de uso de indicadores de incerteza com relação à altimetria, levando-se em consideração a influência da inclinação do terreno ao se trabalhar com dados derivados de sensores ópticos. Outro aspecto relacionado consiste na possibilidade de integração destes dados no intuito de se obter Modelos Digitais de Elevação (MDEs) e/ou Modelos Digitais de Superfície (MDSs) com um elevado grau de acurácia, através da exploração do potencial de mapeamento de cada cena do sensor PRISM, sem a necessidade de um elevado número de pontos de controle e checagem coletados em campo.

Vale ressaltar que em um MDE são representadas apenas as informações relacionadas à superfície do terreno (desconsiderando áreas edificadas e florestas). Logo, o MDE trabalha somente com dados de altitude (Li et al., 2005). Com relação ao MDS, este leva em consideração não só a superfície do terreno propriamente dita, mas também as copas das árvores (áreas vegetadas) e as edificações presentes em uma imagem. No presente trabalho, utilizou-se o termo Modelo Digital de Superfície devido ao fato de que nenhuma técnica de remoção de construções e áreas arborizadas foi empregada.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi gerar e avaliar MDSs, obtidos de imagens do sensor PRISM/ALOS, para a região de Viçosa – MG. Na avaliação destes produtos, utilizou-se como base o decreto-lei 89.817/1984, referente ao Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC. Foi gerado também um MDS Composto utilizando os melhores MDSs avaliados através do PEC, empregando para isso a Fórmula de Koppe, modificada por Kraus (2004) e adaptada como estimador do indicativo da

localização do erro altimétrico para regiões onde não se possui dados de referencia.

## 2. O SENSOR PRISM

O PRISM é um sensor ótico de varredura linear (*Pushbroom*), que possibilita a obtenção de pares estereoscópicos uma vez que possui três sistemas imageadores, capazes de realizar visadas frontais (*Forward*), a nadir (*Nadir*) e para trás (*Backward*). Estes imageadores permitem a obter cenas de maneira simultânea, pois foram projetados para trabalhar de maneira independente entre si. De acordo com JAXA (2007), os detectores que oferecem visadas *Backward* e *Forward* são inclinados de 23,8 graus em relação ao nadir, proporcionando uma relação base/altura igual a 1,0. Além da inclinação da visada, este sensor também pode ser inclinado lateralmente em até 1,5 graus ( $\pm 1,5^\circ$ ).

Segundo JAXA (2007), o sensor PRISM dispõe de nove modos de observação, através da combinação entre as três visadas. O modo 01 (modo *Triplet*) permite utilizar as visadas *Backward*, *Nadir* e *Forward* conforme ilustrado na Figura 1, e imagear uma faixa de 35Km.

Para o usuário, estão disponíveis as imagens ALOS processadas nos níveis 1A, 1B1 e 1B2 (JAXA, 2007). Nas imagens 1B2 são aplicados dois níveis de correções diferentes, o R (Geo-reference data) e o G (Geo-coded data). O nível 1B2G consiste em uma imagem pré-georreferenciada

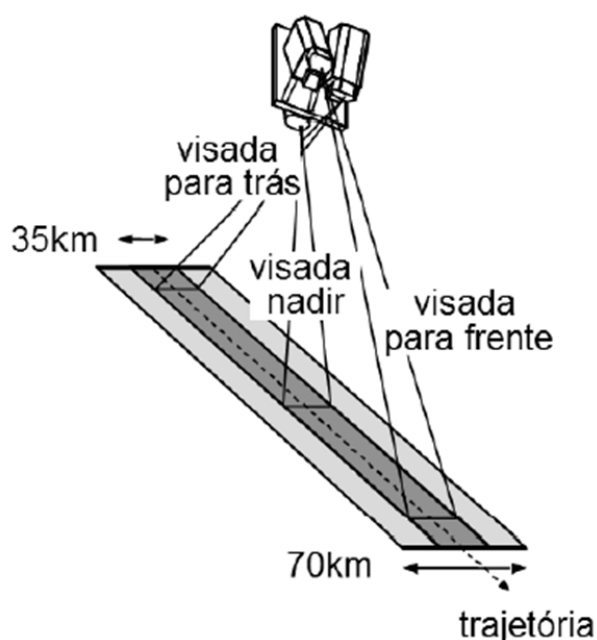


Fig. 1 - Modo de Observação *Triplet*.

com coordenadas no sistema de Projeção UTM, com o uso de parâmetros de correção de sistema. Segundo IBGE (2010), as correções realizadas neste nível não levam em consideração o efeito do relevo da região. O nível de processamento 1B2R consiste em imagens com calibração geométrica e radiométrica, sendo que seus pixels encontram-se alinhados em relação à trajetória do satélite.

## 3. TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE GERAÇÃO DE MDE e MDS

Um dos problemas frequentemente encontrados quando se trabalha com geração de modelos digitais, é obter pontos de controle bem definidos no terreno ou oriundos de fontes de dados confiáveis, que permitam modelar a superfície terrestre com grau de acurácia aceitável. A etapa de coleta de dados em campo, considerando o método topográfico para construção do MDE/MDS é na maioria das vezes muito onerosa, pois demanda gastos com mão de obra humana, equipamentos, e deslocamentos a locais que muitas vezes são extensos e de difícil acesso, como ressaltado por Gonçalves (2006) e Andrade (2008). Neste sentido, torna-se necessário o estudo de técnicas alternativas como a geração de MDE/MDS híbridos.

### 3.1 Geração de MDE ou MDS híbridos

O processo de geração de um MDE ou um MDS híbrido consiste em se gerar um único modelo obtido por meio do emprego de diferentes técnicas de levantamento e com diferentes graus de incerteza associado a cada um deles (o modelo híbrido deve ser gerado utilizando apenas MDE ou MDS, havendo a necessidade de tratamento dos dados para se integrar MDE e MDS, como por exemplo transformar um MDS em MDE).

Vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos ao longo dos anos, dentre eles pode-se citar Druzina (2007) que desenvolveu uma metodologia com o objetivo de gerar um MDE adequado a escala de 1:50.000, através da integração entre dados altimétricos obtidos com diferentes técnicas de levantamento, sendo elas aerofotogrametria, estereoscopia por imagens orbitais (utilizando o sensor ASTER) e interferometria por radar de abertura sintética (empregando dados da Missão SRTM). Os dados foram integrados utilizando o Método de

Colocação por Mínimos Quadrados. Os resultados mostraram que é possível a integrar dados espaciais provenientes de diferentes técnicas de levantamento, desde que se conheça a sua acurácia posicional.

Xu *et al.* (2010), geraram um MDS Híbrido utilizando dados altimétricos derivados de interferometria (missão TerraSAR-X) e de pares estereoscópicos de imagens orbitais, utilizando dados altimétricos derivados de imagens do sensor PRISM/ALOS. O Método proposto apresentou bons resultados, permitindo-se a integração entre os dados. O MDS Híbrido apresentou um grau de acurácia maior do que cada MDS gerado de forma individual.

Trabalhos relacionados a combinação de modelos oriundos de Interferometria por Radar de abertura Sintética (IFSAR), *Scanners à Laser Aerotransportados (Light Airborne Laser Sanning – ALS)* com sensores óticos vem sendo desenvolvidos nos dias atuais, devido ao fato de que o uso destes dados de forma integrada permitem um aumento da qualidade altimétrica do produto final. Dentre estes trabalhos, ressalta-se o de Reinartz *et al.* (2005) que integraram modelos derivados de imagens SPOT-5 sensor HRS e dados altimétricos obtidos através da missão SRTM. A integração entre os dados em um único modelo permitiu uma redução no desvio-padrão da componente altimétrica. Em regiões de florestas, contudo, o MDS híbrido subestimou os valores de altitude, para os casos estudados por esses autores. Merecem destaques também os estudos de Papasaika e Baltasavias (2009), que integraram MDSs derivados de imagens IKONOS com dados ALS, obtendo resultados promissores, no sentido de detectar bordas e construções em áreas urbanas, permitindo-se a atualização de dados em MDSs que tenham sido gerados em épocas diferentes.

Estes estudos salientam a possibilidade de uso de dados com diferentes precisões para composição de um novo modelo digital com uma maior acurácia posicional, bem como a dificuldade em se conseguir associar valores adequados de precisão característicos a cada MDE/MDS. Isto porque se deve conhecer a priori a qualidade dos dados de entrada para geração de um novo modelo e esses dados muitas vezes não estão disponíveis, sendo necessário realizar uma estimativa dos valores para a

geração destes modelos. Esta estimativa tem sido feita conforme descrito a seguir:

- Geração de MDE/ MDS a serem fusionados utilizando diferentes técnicas de levantamento e comparação com dados altimétricos oriundos de uma fonte de maior acurácia cartográfica. Esses dados podem ser um produto com qualidade altimétrica melhor do que aqueles que estão sendo avaliados, uma vez que existe a necessidade de se conhecer a incerteza posicional de cada pixel a ser interpolado, para o emprego de uma técnica capaz de integrar estes dados.

Análise de resíduos empregando características geomorfológicas (declividade, aspecto e rugosidade) e de cobertura do solo. Conforme apresentado por Papasaika e Baltasavias (2009) um modelo digital derivado de um levantamento empregando ALS tende a apresentar uma baixa acurácia planimétrica e uma elevada acurácia altimétrica, porém os erros relacionados à planimetria podem ocasionar erros na altimetria principalmente em áreas com elevada declividade. Áreas arborizadas influenciam de maneira diferente, quando imageadas por sensores óticos, ou *Laser Scanning*. Os valores de altitude são ponderados e os resíduos associados aos modelos a serem fusionados.

- Co-Registro entre os modelos a serem fusionados: Os modelos são registrados com vistas a eliminação de erros relacionados a translação, rotação e diferença de escala (PAPASAIKA e BALTASAVIAS, 2009) e os resíduos são analisados, sendo que esses dados podem ser comparados posteriormente com uma fonte de melhor qualidade e acrescidos a incerteza do modelo.

Embora essas técnicas de estimativa venham sendo utilizadas, todas necessitam de uma fonte que englobe toda a área de estudo para a estimativa da incerteza relacionada à altimetria.

#### 4. CONTROLE DE QUALIDADE EM PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

Nos últimos anos o avanço da informática contribuiu de maneira positiva para a geração de produtos cartográficos. Dados que anteriormente só poderiam ser obtidos em meio analógico, hoje podem ser produzidos de uma maneira mais fácil através do uso de *softwares* específicos. Contudo,



esta “facilidade” faz com que usuários não especializados passem a gerar dados que muitas vezes não são analisados quanto ao seu rigor cartográfico.

O Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) é uma das formas de avaliação no controle de qualidade de produtos cartográficos no Brasil, sendo este definido pela Comissão Nacional de Cartografia – CONCAR, através do Decreto N°. 89.817 de 20 de Junho de 1984.

## 5. FÓRMULA DE KOPPE

De acordo com Ariza (2002) a Fórmula de Koppe permite avaliar a componente posicional e altimétrica, comparando os valores obtidos a serem avaliados com dados de referência oriundos de uma fonte de maior qualidade. Desse modo, são estudados os efeitos da inclinação do terreno sobre o erro médio na componente vertical. A sua aplicação pode ser realizada através do emprego de técnicas baseadas na estatística clássica, como a utilização de regressão linear.

Os seguintes procedimentos são adotados para emprego da Fórmula de Koppe (ARIZA, 2002):

- Selecionar pontos amostrais no produto a ser analisado e os seus correspondentes em uma fonte de maior qualidade;
- Calcular o erro vertical em cada ponto;
- Calcular a declividade em cada ponto;
- Aplicar a regressão linear usando a tangente da declividade como variável dependente e o erro vertical calculado como variável independente (para determinação dos coeficientes A e B);
- Analisar o erro vertical obtido pela regressão linear aplicando Fórmula de Koppe por meio da Equação 1:

$$\bar{\epsilon}_v = \pm(A + B \cdot \tan\alpha) \quad (1)$$

onde:

A é o termo independente da Equação;

B é o coeficiente da regressão;

$\alpha$  é o ângulo de inclinação do terreno.

A Fórmula de Koppe possibilita analisar os erros horizontal e vertical em conjunto (simultaneamente) em dois produtos cartográficos diferentes (UREÑA *et al.* 2011, GUSTAFSON e LOON, 1982; IMHOF, 2007).

Considerando esta dependência linear e conhecendo-se o Erro Médio Quadrático (RMS) dos dados de referência, é possível empregar a Fórmula de Koppe para obtenção do erro altimétrico dos dados gerados.

Segundo Valenzuela (2007) o termo independente A, da Equação 1, consiste no RMS vertical para os pontos individuais e que dependem do tipo de levantamento. O termo B corresponde a acurácia horizontal das operações de levantamento e impressão (considerando cartas em meio analógico).

Ainda de acordo com Valenzuela (2007) os valores para os coeficientes A e B são calculados de forma empírica para um mapa ou uma série de pontos e dependem dos métodos de levantamento. Este autor sugere um valor aproximado para o coeficiente A igual 0,3 vezes o intervalo de curvas-de-nível e para o termo B equivalente a 0,2mm.

Conforme Karel e Kraus (2006), a fórmula de Koppe descreve a acurácia de medições topográficas e nos dias atuais ela vem sendo utilizada também para avaliação de Modelos Digitais.

Para utilização na avaliação de dados espaciais oriundos de levantamentos aerofotogramétricos, Kraus (2004) recomenda o emprego da Equação 2 levando-se em consideração a influência dos parâmetros apresentados na Equação 2:

$$\sigma_z = \pm(0,15^0/00 \text{ de } h + \frac{0,15}{c} \cdot h \cdot \tan\alpha) \quad (2)$$

onde:

$\sigma_z$  é o desvio-padrão para a componente altimétrica;

h é a altura de voo;

c é a distância focal da câmera em mm;

$\alpha$  é o ângulo de inclinação do terreno.

Segundo Kraus (2004), o termo da altura de voo (primeiro termo da Equação 2), está relacionado à acurácia vertical associada ao método de medição da altura no Modelo Digital. O termo 0,15 (segundo termo da Equação 2) está relacionado à acurácia horizontal referente ao desenho das curvas de nível derivadas da grade. Este termo é multiplicado pelo fator de escala (h/c).

No Brasil, Nero (2005) sugere a utilização da Fórmula de Koppe para correlacionar o erro vertical com o erro horizontal, bem como incluir análise de declividade utilizando a Fórmula de Koppe na legislação brasileira a fim de controle de qualidade em produtos cartográficos, além de

apresentar normas internacionais, como a Norma Alemã NDATAVLBD de 1983 que utiliza esta Equação para avaliar a qualidade posicional de dados gerados neste país. Esta norma também é citada por Santos (2010). Contudo trabalhos que empregaram a Fórmula de Koppe na estimativa de erros decorrentes da inclinação do terreno não foram encontrados.

## 6. MATERIAL E MÉTODOS

### 6.1 Área de Estudo

A área de estudo abrange parte da região da Zona da Mata de Minas Gerais, compreendendo os municípios de Cajuri, Coimbra, São Geraldo e parte dos municípios Araponga, Canaã, Divinésia, Ervália, Guiricema, Paula Cândido, São Miguel do Anta, Viçosa e Visconde do Rio Branco, totalizando uma área de 35km x 35km, a qual está situada entre as coordenadas Geodésicas longitude: 42° 36' 0,27" a 43° 01' 34,42" (Oeste), e latitude: 20° 40' 51,50" a 21° 04' 13,04" (Sul), Datum SIRGAS 2000. Esta região apresenta uma variação de altitude da ordem de 600 metros (Figura 2).

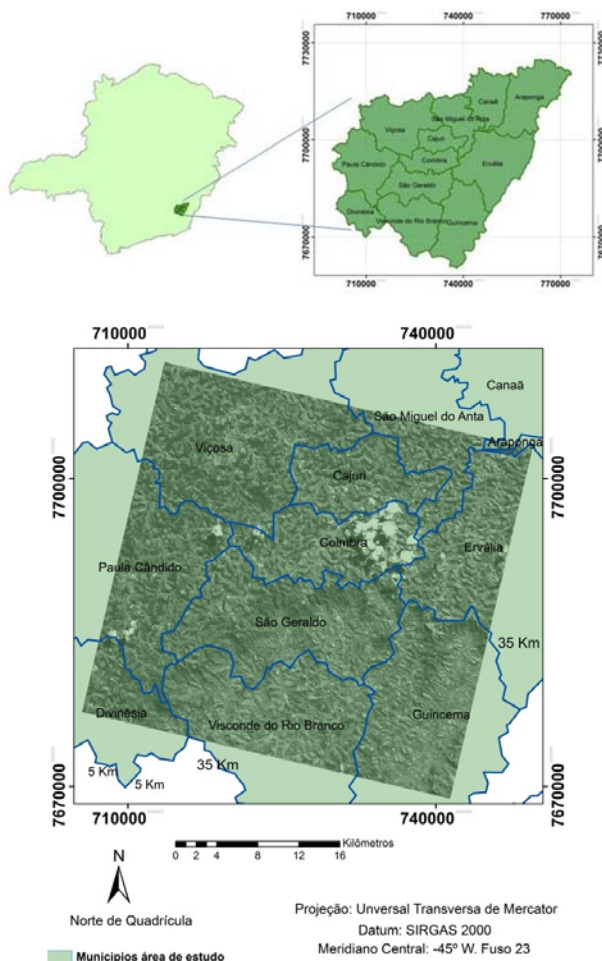


Fig. 2 - Localização da área de estudo.

### 6.2 Materiais utilizados

Os seguintes materiais foram utilizados neste estudo:

- Imagem do Sensor PRISM/satélite ALOS, cena ALPSMB130914075, produto 1B2R modo Triplet (visadas Backward - B, Forward - F e Nadir- N) com data de aquisição de 09/07/2008;
- Receptor GPS de Navegação Modelo Garmin GPSMAP® 60CSx para auxílio na localização dos pontos de controle e checagem em campo;
- Receptor GNSS dupla Frequência Leica GPS 900CS para coleta dos dados de controle e dados de checagem em campo;
- Software STATISTICA versão 7.0 para realização dos cálculos estatísticos;
- Software Microsoft Excel 2007 para o desenvolvimento de gráficos e tabelas;
- Software Ashtech Solutions versão 2.7 para processamento dos dados coletados;
- Software PCI Geomatica versão 10.3 para geração automática dos MDSs;
- Software ArcGIS versão 9.3 para obtenção dos valores de altitude sobre os pontos de validação, geração dos mapas de isodeclividade emprego na Fórmula de Koppe e composição dos mapas finais.

### 6.3 Métodos empregados

Neste trabalho foram realizados os seguintes procedimentos, conforme apresentado na Figura 3, que incluem desde a coleta de dados em campo, até a geração, avaliação dos MDSs, Ortoimagens, obtenção e avaliação dos MDSs compostos.

#### 6.3.1 Coleta de dados

Foram coletados 60 pontos de controle para gerar o modelo e 30 pontos de checagem que foram utilizados para sua validação. Esses pontos foram localizados na imagem que foi dividida em 51 quadrantes, conforme Figura 4. Todos os pontos foram coletados diretamente sobre o nível do terreno.

#### 6.3.2 Geração dos MDSs

Os MDSs foram gerados utilizando o Software PCI Geomatica 10.3, cuja licença foi disponibilizada gentilmente pelo Instituto de Geociências Aplicadas – IGA. Gerou-se ao todo 54 MDSs divididos em quatro testes descritos a seguir.

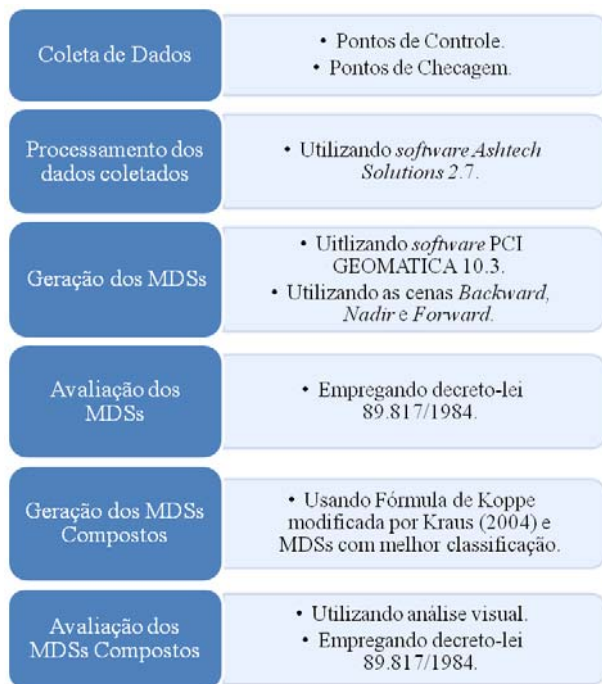


Fig. 3 - Etapas para geração dos MDSs.

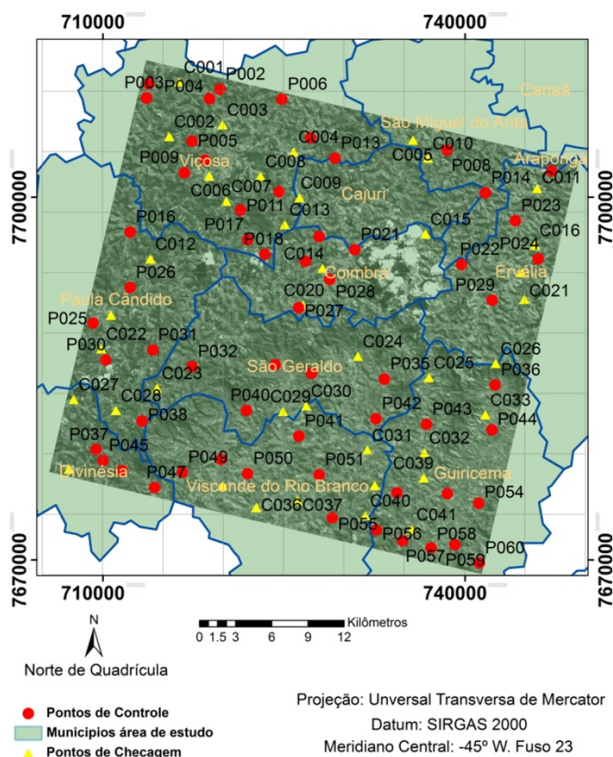


Fig. 4 - Distribuição dos pontos de Controle para geração dos modelos e Pontos de Checagem para sua validação, sobre a cena *Nadir*.

• **Teste 01:** Verificação da influência do número de pontos de ligação (TPs) na geração de MDSs

Teve como objetivo verificar o número mínimo de TPs necessários para modelar a cena PRISM. Para tanto, foram gerados MDSs utilizando sete pontos de controle e combinação

de TPs múltiplas de três, realizando testes com 3, 6, 9 e 12 pontos identificados manualmente sobre cada visada. Utilizou-se as combinações entre as visadas *BF*, *BN* e *NF* para geração dos pares.

• **Teste 02:** Uso da Metodologia apresentada por IBGE (2009):

Neste teste empregou-se a metodologia utilizada pelo IBGE com vistas a verificar sua adequação a uma região com características diferentes da avaliada por este órgão. Gerou-se seis MDSs através das combinações entre os pares estereoscópicos *BN*, *BF* e *NF*, usando para isso, a opção disponibilizada pelo PCI de se obter um MDS resultante, utilizando valores de altitude do modelo que apresentasse maior correlação entre cada uma das imagens epipolares geradas. Obteve-se então MDSs gerados com os mesmos parâmetros utilizados nos testes onde o IBGE conseguiu os melhores resultados.

• **Teste 03:** Verificação da influência do número de pontos de controle na geração de MDS.

Neste teste verificou-se os efeitos do acréscimo de pontos de controle na qualidade altimétrica dos MDSs. Baseou-se na inserção de pontos de controle múltiplos de sete, gerando pares epipolares com 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 e um último com 60 pontos de controle, variando-se as combinações entre as visadas. Todos os MDSs foram gerados com tamanho do pixel igual 10 metros, 12 TPs e não se utilizou a opção de preenchimento de vazios disponibilizada pelo PCI, nem a combinação entre os pares epipolares, uma vez que, nem todos os programas comerciais que processam imagens ALOS oferecem esta opção.

• **Teste 04:** Verificação da combinação de imagens epipolares na qualidade altimétrica dos MDSs

Foi realizado com vistas a verificar se a combinação entre os pares epipolares (*BF*, *BN* e *NF*) iria melhorar a qualidade altimétrica dos MDSs. Para realizá-lo utilizou-se os pares obtidos no teste 03 que gerados com 60 pontos de controle.

Foram gerados seis MDSs utilizando as combinações *BN+BF*, *BN+NF* e *BN+BF+NF* e opção de preenchimento de valores de altitude com base nas imagens epipolares que apresentassem as melhores correlações. Os MDSs gerados com 7 pontos de controle não



foram utilizados na escolha dos pares epipolares, uma vez que foram avaliados no teste 02.

### 6.3.3 Avaliação dos MDSs com base no PEC.

A avaliação do MDS foi realizada utilizando os 30 pontos de checagem levantados em campo para validação.

Para a avaliação, de posse dos valores de altitudes e suas discrepâncias realizou-se primeiramente o teste de Shapiro-Wilk para verificar a normalidade das discrepâncias. O teste de foi realizado ao nível de significância de 90%, utilizando o *Software* STATISTICA 7.0. Feito isso, realizou-se a análise de tendência empregando o Teste t de *Student*.

O passo seguinte foi a análise dos MDSs empregando o PEC, que foi realizada tomando como base os valores constantes no decreto-lei para o tamanho do pixel em que o MDS de cada teste foi gerado. Tomando como exemplo um MDS com tamanho do pixel igual a 10 metros (fazendo analogia a equidistância entre curvas de nível), este produto deveria ter 90% dos pontos com valor PEC menor ou igual 5 metros, o que corresponde a metade da equidistância das curvas de nível, ou no caso deste trabalho, metade do valor do pixel do MDS obtido (10metros) para a classe A.

Posteriormente, realizou-se a análise de Precisão empregando Teste do Qui-Quadrado com o objetivo de verificar se os MDSs se enquadravam na escala de 1:25.000. Um MDS se enquadrava na classe A para a escala avaliada se o mesmo fosse classificado como Classe A para análise empregando Decreto-Lei e Análise de Precisão, respectivamente, caso contrário, o MDS era avaliado para uma classe imediatamente inferior. As etapas encontram-se na Figura 5.

### 6.3.4 Geração e avaliação do MDS Composto

A última etapa deste trabalho consistiu na realização de um MDS resultante, utilizando para isso, quatro modelos gerados no Teste 04 e que apresentaram acurácia em relação a componente altimétrica superior a cada um dos MDSs obtidos isoladamente. Optou-se por nomeá-lo de MDS Composto, ao invés de MDS Híbrido devido ao fato de que utilizou-se apenas dados altimétricos (MDSs) provenientes do sensor PRISM, bem como nenhuma estratégia de ajustamento ou interpolação

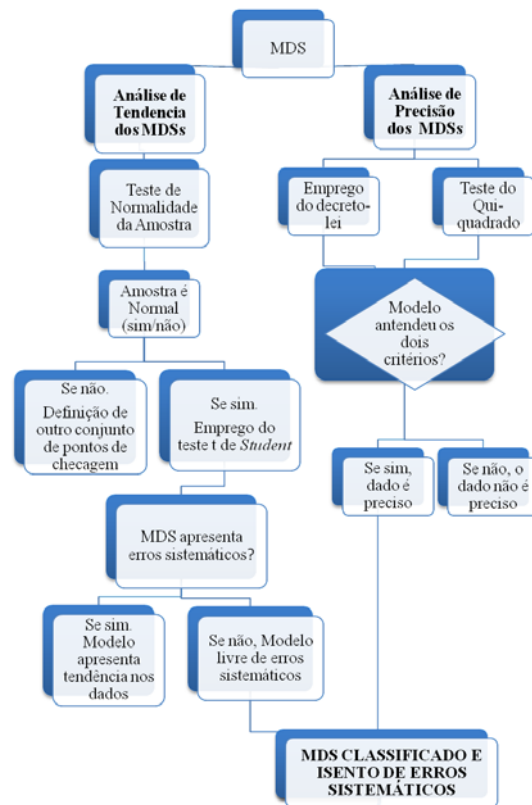


Fig. 5 - Fluxograma dos procedimentos descrevendo os passos Empregados para Avaliação dos MDSs empregando Decreto-Lei.

dos dados foi utilizada, além de não se realizar integração com dados altimétricos provenientes de outras fontes, tais como dados LIDAR, ou Sensores com maior resolução espacial. O procedimento realizado consistiu-se na geração de um MDS que apresentasse maior acurácia, através da estimativa da localização do indicativo do erro altimétrico de cada pixel, por meio do preenchimento em um novo arquivo *raster*, dos valores de altitude dando origem ao novo MDS resultante.

Para a integração entre os MDSs, utilizou-se a Fórmula de Koppe modificada por Kraus (2004) (Equação 2) que é aplicada a dados provenientes de levantamentos aerofotogramétricos. Neste sentido, visando uma adequação da Fórmula ao uso em dados derivados do Sensor PRISM, realizou-se uma alteração nos coeficientes da Equação 2.

Essa alteração consistiu na substituição do parâmetro da altura de voo pelo fator para o primeiro termo e a substituição do parâmetro 0,15<sup>0/00</sup> pelo fator 0,0055<sup>0/00</sup> no segundo termo da Equação 28, obtendo-se a Equação 3:

$$\sigma_H = 0,0055^{0/00} de h + \frac{0,0055}{c} \cdot h \cdot \tan \alpha \quad (3)$$



onde:

$h$  é a altura do satélite, obtida através da subtração entre a altitude de voo; aproximada do satélite ALOS (691.650m) e a altitude de cada ponto;

$0,0055^{0/00}$  de  $h$  é o valor de  $h$  em partes de mil (termo  $^{0/00}$ );

$c$  é a distância focal do sensor PRISM (1.939mm);

$\alpha$  é a declividade do terreno.

O fator 0,0055 foi escolhido para o segundo termo da Equação 3, por estar relacionado ao tamanho do pixel dos detectores CCDs do Sensor PRISM, ao se realizar uma visada ao longo da trajetória, cujo valor apresentado por Osawa e Hamazaki (2000) é igual a 0,0055mm (5,5 microns). Logo, este fator está associado ao menor elemento a ser identificado no terreno pelo sensor. Fazendo um comparativo com levantamento proveniente de fotogrametria analógica, ao se analisar curvas-de-nível, Kraus (2004) trabalha com o valor 0,2mm, que consiste no erro associado ao se traçar as curvas (0,2mm).

O termo  $0,0055^{0/00}$  de  $h$  (1º termo da Equação 10) está relacionado ao erro vertical para os pontos individuais.

Vale ressaltar que a geração do MDS composto foi realizada levando em consideração a influência do fator de escala e declividade nos MDSs analisados de forma individual. Deste modo, o que se procurou obter com o emprego da Equação 3 foi o indicativo para o erro altimétrico e não o valor do erro em si, visto que o erro obtido pela Fórmula de Koppe, foi calculado de forma aproximada, levando-se em consideração os fatores A e B determinados de forma empírica.

O MDS composto foi obtido através da associação dos valores de altitude tomando os pixels que apresentassem menor indicativo de erro, obtido em relação à inclinação do terreno, conforme Figura 6.

A Figura 6 representa três matrizes (imagens) contendo o indicativo do erro altimétrico referente a cada MDSs correspondente. O Processo de análise e seleção do valor de altitude que irá compor o MDS Composto consiste na comparação entre as imagens contendo os valores do indicativo de erro de cada pixel e a escolha daquele que

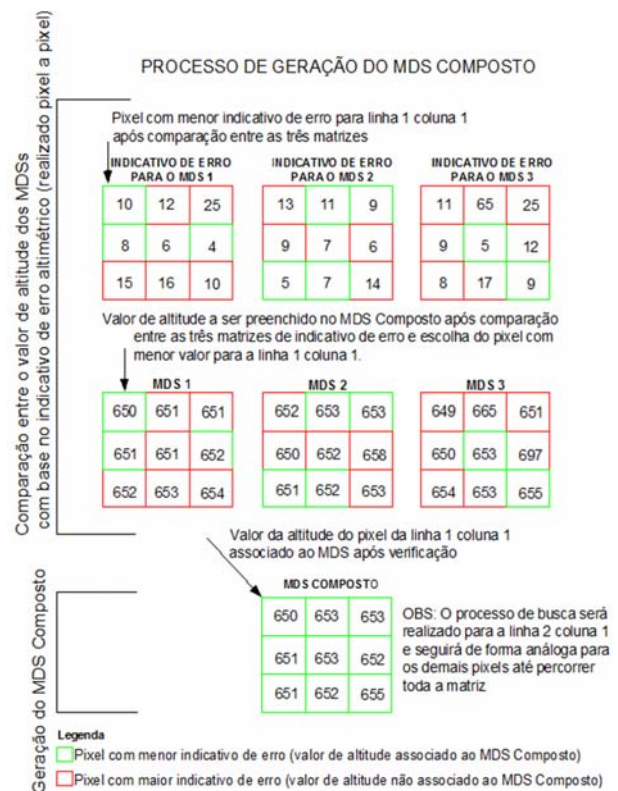


Fig. 6 - Obtenção do MDS composto, tomando como base o indicativo do erro para a componente altimétrica para três MDSs.

apresenta menor indicativo. Essa comparação é realizada através de uma varredura pixel a pixel. Com a informação da posição do pixel, verifica-se no MDS qual o valor de altitude está associado a aquele com menor indicativo. Tomando, por exemplo, o pixel da linha 1 coluna 1 na Figura 9, a primeira etapa consiste na comparação entre os pixels das três imagens de indicativo de erro (valor 10 na imagem 1, 13 na imagem 2 e 11 na imagem 3). Como o menor indicativo (valor igual a 10) está associado ao MDS 1, o valor de altitude a ser preenchido na linha 1 coluna 1 da matriz vazia será 650. Feito isso, o algoritmo irá realizar o teste para a linha 1 coluna 2, procedendo-se desta forma até chegar ao último pixel das imagens.

A aplicação deste procedimento foi realizada utilizando-se o *Software* ArcGIS 9.3, através do emprego da ferramenta *ModelBuilder*, que permite a criação de um modelo em forma de fluxograma englobando todas as ferramentas necessárias a implementação desta rotina. Os passos utilizados para a geração do MDS são descritos a seguir:

- a) Geração dos Mapas de Isodeclividade para cada um dos seis MDSs PRISM
- Estes Mapas foram gerados utilizando a ferramenta *Slope* do *Software* ArcGIS, formato *raster*.
- b) Obtenção do erro associado a componente altimétrica:
- Foi realizado utilizando a Equação 3.
- c) Geração do MDS Composto:
- Verificação dos pixels que apresentavam menor indicativo do erro altimétrico, através da realização de um comparativo entre cada um dos quatro MDSs;
  - Associação dos valores de altitude em um único arquivo matricial, após comparação de cada MDS, em função do indicativo do menor erro altimétrico (conforme apresentado na Figura 6).
- d) Avaliação do MDS Composto:
- Através de análise visual;
  - Empregando o Decreto-Lei 89.817/84 para toda imagem (utilizando os 30 pontos de checagem utilizados na realização dos testes 01 a 04) e para a região de Viçosa (análise local), conforme Figura 7.

O conjunto de pontos de controle usados na análise local foi obtido através de levantamento com receptores GNSS e com qualidade altimétrica da ordem de 5cm. Esses pontos disponibilizados por

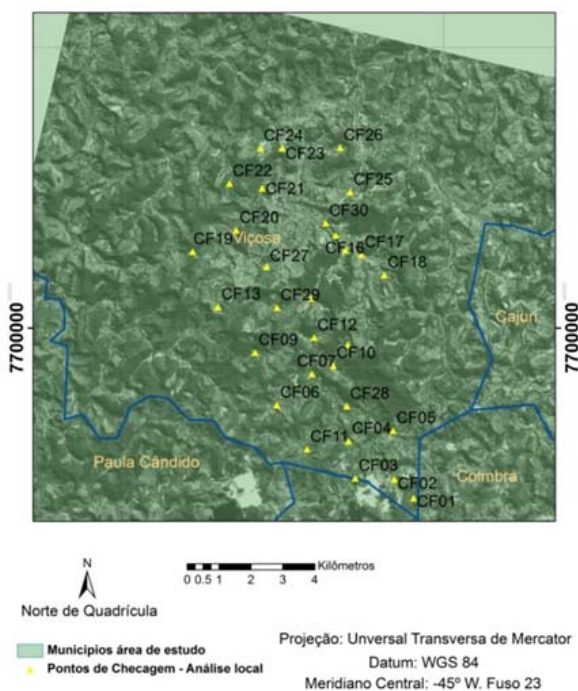


Fig. 7 - Distribuição dos pontos de Checagem sobre a imagem PRISM – Análise local utilizando o PEC para a região de Viçosa – MG.

Ferraz (2012) e Gripp Jr (2009), encontram-se distribuídos ao longo da bacia do Ribeirão São Bartolomeu.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o teste 1 verificou-se que os melhores resultados foram obtidos ao se empregar doze TP. Os resultados são apresentados na Tabela 1:

Na Tabela 1 pode-se verificar que o MDS 10 que utilizou o par *BN* foi o que obteve melhor classificação. Estes resultados são condizentes aos encontrados por Takaku et al. (2010) e Oliveira (2011). Contudo, vale ressaltar o estudo apresentado por Maruya e Ohyama (2007), no sentido de que a qualidade altimétrica relacionada ao uso do estereopar *BF* (relação Base/Altura igual a 1) está relacionada a técnica de processamento das imagens, bem como o uso de coeficientes polinomiais racionais- RPCs. Neste trabalho não foi realizado nenhum teste empregando os RPCs.

Com relação ao teste 02, verificou-se que o emprego da metodologia usada pelo IBGE para a região de Itaguaí se mostrou adequada ao uso para a área de estudo avaliada neste trabalho. A Tabela 2 ilustra os resultados obtidos para todos os MDSs gerados.

Conforme apresentado na Tabela 2, os MDSs obtidos com tamanho da grade igual a 20 metros apresentaram resultados inferiores aos obtidos com grade igual a 10 metros. Estes últimos foram enquadrados na classe A, porém o MDS 13, gerado com a opção de preenchimento de falhas desabilitada foi reprovado no Teste de Tendência. Os resultados obtidos são condizentes com os apresentados por IBGE (2009), embora seja necessário testar o

Tabela 1: Resultados da avaliação dos melhores MDSs obtidos no teste 1.

MDS	MDS 10	MDS 11	MDS 12
Pares epipolares utilizados	<i>BN</i>	<i>BF</i>	<i>NF</i>
Nº de TP's utilizados	12	12	12
Média	-0,9	-1,03	-1,13
Desvio Padrão	1,97	2,2	3,81
Erro Máximo	-5,09	-5,87	-6,02
RMS Calculado	2,16	2,43	4,03
Distribuição normal?	sim	sim	sim
Apresenta tendência	não	não	não
$\Delta h < PEC$ (%)	93,3	93,3	90,0
Classificação (PEC)	A	A	C
Classificação $\chi^2$	A	A	B
Classificação Final	A	A	C

Tabela 2: Resultados dos MDSs avaliados no teste 02

MDS	MDS 13	MDS 14	MDS 15	MDS 16	MDS 17	MDS 18
Pares epipolares utilizados	BF; BN; NF	BF; BN; NF	BN; NF	BN; NF	BF; BN; NF	BF; BN; NF
Nº de TPs utilizados	11	11	11	11	11	11
Tamanho da grade	10	10	10	20	20	20
Preenchimento de vazios?	não	sim	sim	sim	não	sim
Média	-0,47	-1,00	-0,24	-2,74	-3,04	-1,51
Desvio Padrão	2,33	2,17	2,34	3,29	3,38	2,87
Erro Máximo	5,14	-5,45	-5,45	-9,37	-10,37	-9,62
RMS Calculado	2,38	2,40	2,35	4,31	4,58	3,25
Distribuição normal?	sim	sim	sim	sim	sim	sim
Apresenta tendência	sim	não	não	sim	sim	sim
$\Delta h < PEC$ (%)	96,7	96,7	93,3	93,3	90	93,3
Classificação (PEC)	A**	A	A	C**	C**	B**
Classificação $\chi^2$	A**	A	A	A**	A**	A**
Classificação Final	A**	A	A	C**	C**	B**

\*\* MDSs reprovados no Teste de Tendência.

método em regiões diferentes da avaliada neste trabalho.

Com relação aos MDSs avaliados no Teste 03, dado o elevado número de modelos gerados, são apresentados na Tabela 3 aqueles que apresentaram melhores resultados, conforme segue.

Após análise de todos MDSs, verifica-se que o acréscimo de pontos de controle trouxe bons resultados para o MDS 44 no qual se utilizou a combinação entre as visadas *Backward* e *Nadir*. Este MDS foi enquadrado na Classe A para a escala 1:25.000. Os MDSs 43 e 45 também se enquadraram na Classe A, contudo, as discrepâncias para altimetria não apresentaram distribuição Normal. Como foi utilizado um grande número de pontos de controle, a condição de normalidade das discrepâncias é difícil de ser verificada. O MDS 45 para o qual foi utilizada a visada *NF* foi o que apresentou piores resultados.

Oliveira (2011) realizou análise em imagens PRISM para a região de Resende no estado do Rio de Janeiro e verificou o comportamento de MDSs gerados utilizando dezessete pontos de controle, a combinação entre as visadas *BN*, *BF* e *NF* e tamanho da grade igual a 10 metros, obtendo

Tabela 3: Resultado dos melhores MDSs avaliados no teste 03

MDS	MDS 43	MDS 44	MDS 45
Pares epipolares utilizados	BF	BN	NF
Nº de TPs utilizados	12	12	12
Nº de pontos de controle utilizados	60	60	60
Preenchimento de vazios?	não	não	não
Média	0,83	-0,04	1,30
Desvio Padrão	3,43	1,92	3,41
Erro Máximo	14,14	4,13	13,14
RMS Calculado	3,53	1,92	3,97
Distribuição normal?	não	sim	não
Apresenta tendência	não	não	sim
$\Delta h < PEC$ (%)	96,7	100	93,3
Classificação (PEC)	A*	A	A***
Classificação $\chi^2$	A*	A	A***
Classificação Final	A	A	A

\* MDSs reprovados no Teste de Tendência.

\*\*\*MDSs reprovados nos Testes de Normalidade e Tendência.

classificação C para a escala de 1:25.000, além dos dados apresentarem tendência. O acréscimo de número de pontos de controle trouxe melhorias nos resultados obtidos por essa autora, visto que ao se utilizar sete pontos, o MDS foi enquadrado na escala de 1:50.000, classe B. Os resultados obtidos no presente trabalho, foram ligeiramente superiores aos obtidos por Oliveira (2011), contudo, vale ressaltar que a área de estudo aqui avaliada, apresenta uma variação de altitude inferior, além do fato de que, dentre outras configurações, a identificação dos TPs nas cenas foi realizada de maneira manual. Ao se utilizar a abordagem MRPC (uso dos coeficientes polinomiais racionais, teste não realizado neste trabalho), dois pontos de controle, a combinação entre as visadas *BN*, *BF* e *NF* e grade igual a 10 metros o MDS se enquadrou na Classe A.

Para o Teste 04 foram usados os MDSs gerados com 60 pontos de controle, obtidos no teste 03. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Da análise da Tabela 4 verifica-se que apenas o MDS 47 não foi enquadrado na Classe A. Esse modelo foi gerado através da combinação entre as visadas *BN* e *NF*, além de se utilizar a opção de preenchimento de vazios disponibilizada pelo *Software* PCI Geomatica.



Tabela 4: Resultados MDSs avaliados no teste 04

MDS	MDS 46	MDS 47	MDS 48	MDS 49	MDS 50	MDS 51
Pares epipolares utilizados	BN; BF	BN; NF	BN; BF; NF	BN; BF	BN; NF	BN; BF; NF
Nº de TPs utilizados	12	12	12	12	12	12
Nº de pontos de controle utilizados	60	60	60	60	60	60
Preenchimento de vazios?	sim	Sim	sim	não	não	não
Média	0,17	0,80	0,47	0,27	2	0,50
Desvio Padrão	2,20	4,36	2,59	1,97	3,73	2,91
Erro Máximo	6,14	10,14	10,14	5,98	17,53	10,14
RMS Calculado	2,20	4,64	2,63	1,99	3,82	2,96
Distribuição normal?	sim	Sim	sim	sim	sim	sim
Apresenta tendência	não	Não	não	não	sim	não
$\Delta h < PEC$ (%)	96,7	90,0	93,3	96,7	90,0	96,7
Classificação (PEC)	A	B	A	A	A**	A
Classificação $\chi^2$	A	A	A	A	A**	A
Classificação Final	A	B	A	A	A	A

\*\* MDSs reprovados no Teste de Tendência

Ao se comparar os resultados obtidos neste teste com os do Teste 02, verifica-se que em termos de Classificação empregando o PEC o excesso de pontos de controle (60 pontos no Teste 04) não causou melhorias no produto final, conforme pode ser verificado ao se comparar os MDSs 13, 14 e 15 do Teste 02 (que usaram 7 pontos de controle) com os MDSs 47, 48 e 51 na Tabela 4.

Realizados os quatro Testes, escolheu-se o seguinte MDSs para geração do MDS Composto:

**MDScomp01:** Gerado através da combinação entre os MDSs 14, 20, 44 e 49.

Como o modelo gerado era composto de MDSs obtidos através da opção de preenchimento de vazios do *Software* PCI habilitada (MDSs 14 e 49) e desabilitada (MDSs 20 e 44) e se dispunha de modelos que mesmo não tendo sido avaliados no Teste 04 apresentavam uma boa qualidade altimétrica quando comparados em relação ao PEC, optou-se por gerar mais dois MDSs Compostos sendo eles obtidos através da combinação entre os seguintes modelos:

**MDScomp02:** Gerado da combinação entre os MDSs 14, 46, 47 e 48, sendo todos obtidos

com a opção de preenchimento de falhas disponibilizada pelo PCI Geomatica.

**MDScomp03:** Gerado através da combinação entre os MDSs 20, 49, 50 e 51 e sem a opção de preenchimento de falhas disponibilizada pelo PCI.

As Figuras 8, 9 e 10 apresentam, respectivamente, os modelos compostos MDScomp01, MDScomp02 e MDScomp03.

Esses MDSs foram avaliados empregando o PEC e os mesmos pontos de controle usados na avaliação de cada modelo individual visando a verificação de possíveis erros na implementação da rotina, visto que todos os modelos após emprego da metodologia deveriam apresentar valores de discrepância idênticos a cada um dos MDSs gerados individualmente, contudo, não apresentando necessariamente o menor valor. Após a avaliação verificou-se que todos os MDSs gerados foram enquadrados na Classe A para a escala 1:25.000 e grade com espaçamento igual a 10 metros. As discrepâncias da componente altimétrica seguem distribuição Normal para cada um dos MDSs. Além disso, não foi detectado presença de erros sistemáticos após emprego do Teste *t* de *Student*. Visando uma comparação local do MDS composto gerado com os MDSs 14, 20, 44 e 49, realizou-se uma nova análise empregando o PEC e utilizando o conjunto de pontos distribuídos ao longo da bacia do Ribeirão São Bartolomeu na região de Viçosa apresentados na Figura 7. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Analisando a Tabela 5 verifica-se que todos os MDSs compostos gerados apresentaram distribuição Normal para a região de Viçosa. Com relação a classificação final, dos MDSs, verificou-se que todos os Modelos avaliados foram enquadrados na Classe A. O MDScomp03 foi aquele que apresentou os melhores resultados, considerando seus valores de média, desvio-padrão, erro máximo e RMS, o que permite dizer que a geração de MDSs acarretou numa melhora na qualidade dos Modelos para a região estudada.

Os resultados obtidos e o fato de ter sido realizado apenas o preenchimento dos pixels que apresentavam menor indicativo de erro altimétrico após emprego da Fórmula de Koppe modificada, indicam a necessidade de realização de novas análises. Nenhum método de interpolação, tomando como base o erro altimétrico estimado,

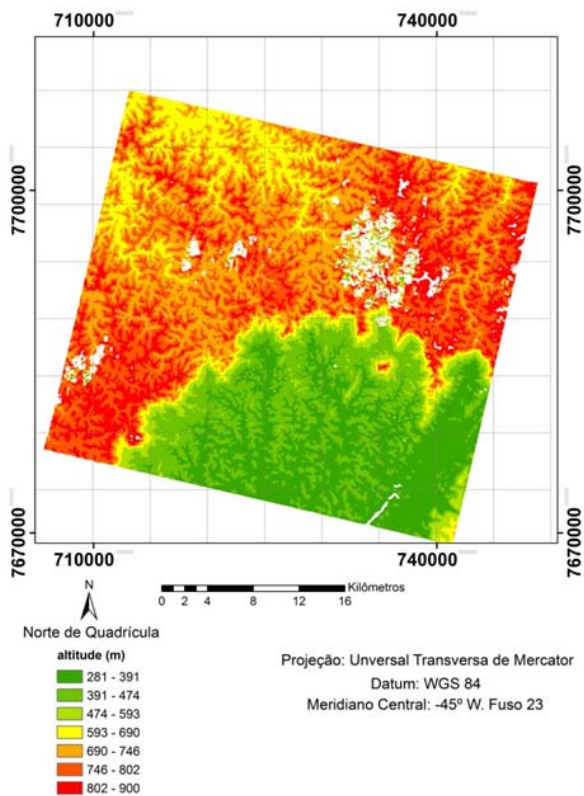


Fig. 8 - MDScomp01 obtido da combinação entre os MDSs 14, 20, 44 e 49.

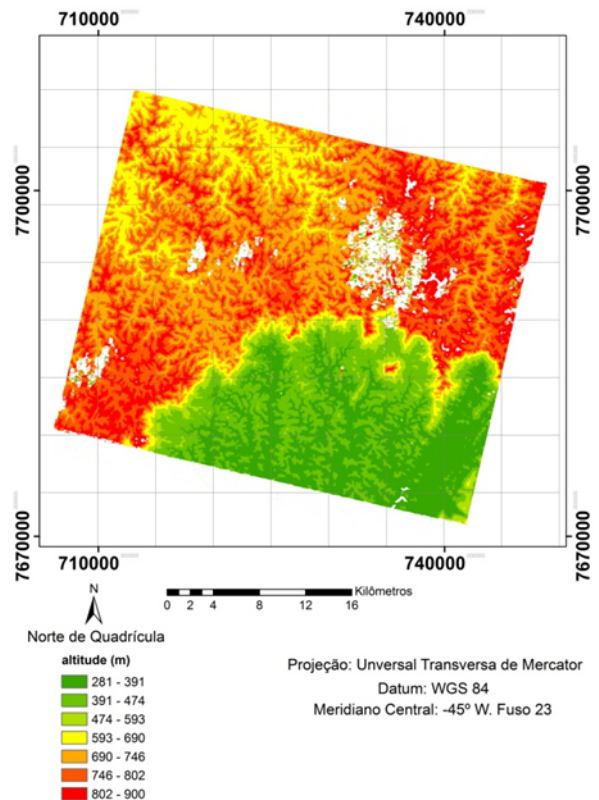


Fig. 10 - MDSComp03 obtido da combinação entre os MDSs 49, 50,51 e 20 (todos sem preenchimento de falhas).

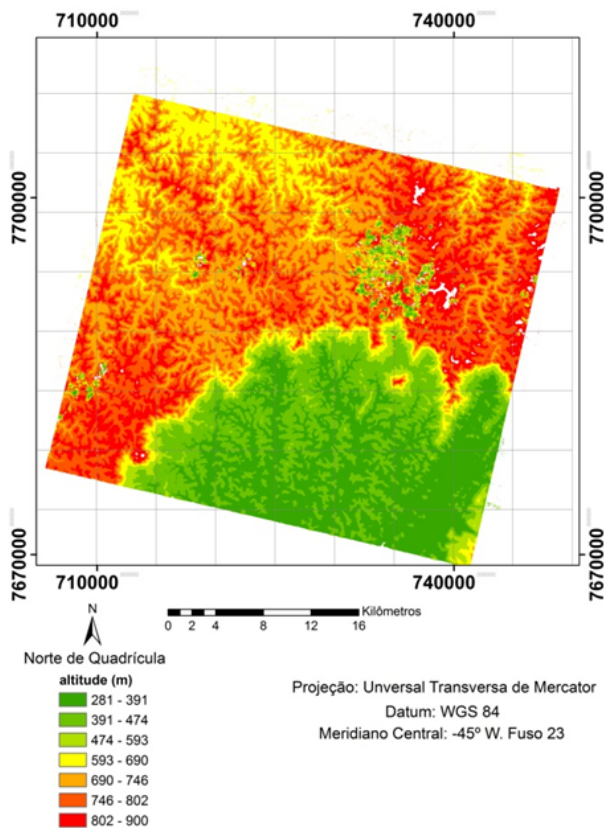


Fig. 9 - MDScomp02 obtido da combinação entre os MDSs 46, 47,48 e 14 (todos com preenchimento de falhas).

Tabela 5: Resultado da avaliação dos MDSs para a região de Viçosa

MDS	MDS comp01	MDS comp02	MDS comp03
MDSs utilizados	14; 20; 44; 49	46; 47; 48; 14	49; 50; 51; 20
Nº de TPs utilizados	12	12	12
Nº de pontos de controle utilizados	-	-	-
Preenchimento de vazios?	-	sim	não
Média	-0,33	-0,56	0,08
Desvio Padrão	2,45	2,72	2,17
Erro Máximo	-8,30	9,30	6,45
RMS Calculado	2,47	2,78	2,17
Distribuição normal?	sim	sim	sim
Apresenta tendência	não	não	não
$\Delta h < PEC$ (%)	96,7	93,3	96,7
Classificação (PEC)	A	A	A
Classificação $\chi^2$	A	A	A
Classificação Final	A	A	A

foi realizado. Por isto, outros testes de validação devem ser realizados em outras áreas de estudo e utilizando também dados de outros sensores orbitais.

## 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos, pôde-se verificar que as imagens do Sensor PRISM/ALOS produto 1B2R permitem a geração de Modelos Digitais de Superfície compatíveis com a Classe A do PEC para a escala de 1:25.000, empregando o Modelo de Toutin implementado no *Software* PCI Geomatica 10.3. Contudo, parâmetros relacionados ao número de pontos de controle, pares epipolares a serem utilizados e disposição destes pares devem ser levados em consideração ao se trabalhar com dados derivados deste Sensor.

A utilização da Metodologia proposta por IBGE (2009) para a área de estudo apresentou resultados similares a aqueles encontrados na região de Itaguaí pelo IBGE. Embora haja a necessidade de realização de mais testes para validação em outras regiões, o emprego desta metodologia pode ser realizado em locais que apresentem relevo com características semelhantes ao estudado neste trabalho.

Com o emprego da Fórmula de Koppe modificada por Kraus (2004) pode-se obter um indicativo da localização do erro altimétrico com base na inclinação do terreno. Seu uso torna-se interessante para geração de Modelos Híbridos, ou no caso deste trabalho, para a geração de MDSs Compostos, visto que permite obter em cada MDS um indicativo do erro altimétrico para cada pixel de uma maneira homogênea. Tal emprego viabiliza a utilização de técnicas de integração destes MDSs com outros obtidos através de diferentes fontes, como realizado por DRUZINA (2007) e outros autores, e conseqüentemente o uso de técnicas de interpolação para a obtenção de MDSs Híbridos ou a combinação destes MDSs com base no indicativo do erro altimétrico estimado, obtendo-se então MDSs Compostos.

Os MDSs compostos obtidos neste trabalho apresentaram resultados ligeiramente superiores a cada MDS gerado, seja de forma individual ou através da combinação entre cada um destes pares, contudo novos testes devem ser realizados para diferentes áreas de estudo. Vale ressaltar, que

por ser uma metodologia de fácil implementação e por preservar os valores originais dos pixels de altitude torna-se interessante o seu uso, dado o fato de que a mesma pode fazer um refinamento nos modelos e apresentar um MDS resultante com os valores de altitude otimizados.

Recomenda-se para trabalhos futuros o estudo de parâmetros da Fórmula de Koppe adequados ao uso de dados de sensores ópticos, bem como o emprego da Fórmula de Koppe original, com estimativa de seus parâmetros, tomando como dados de referencia, fontes derivadas de levantamentos empregando *Scanner* à Laser.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Geociências Aplicadas por disponibilizarem o uso do *Software* PCI Geomatica 10.3, fundamental ao desenvolvimento deste trabalho e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo fornecimento de uma bolsa de estudos para realização de Mestrado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, I. R. A. A.; **O Uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto na Identificação de Formas na Região de Porto Rico, Planície de Inundação do Alto Rio Paraná, MS/PR.** 2008. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Maringá, Maringá, 2008.

ARIZA, F. J. **Calidad en la Producción Cartográfica,** Madrid, Espanha: Editora RA-MA, 2002. 389p.

BARROS, R. S. **Avaliação de modelos digitais de elevação obtidos a partir de sensores orbitais.** 2006. 172 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. **Decreto Lei 89.817, de 20 de Junho de 1984.** Estabelece instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. Brasília, 1984. Disponível em: <<http://www.concar.ibge.gov.br/indexf7a0.html?q=node/41>>. Acesso em 04 ago. de 2010.

CONCAR. **Planejamento estratégico – Cenário situacional.** Disponível em: <http://www.con>



car.ibge.gov.br/planejEstrategico.aspx?sub=3#subsídios>. Acesso em 24 ago. 2010.

CUARTERO, A.; FELICISIMO, A. M.; ARIZA, F.J. **Accuracy of DEM generation from TERRA-ASTER stereo data.** Istanbul – Turquia, In: ISPRS, Vol. 35, Parte B2, Comissão 2, p. 559-563, 2004.

DEBIASI, P. **Ortorretificação de imagens CCD CBERS 2B através da transformação DLT.** 2008. 71. f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

DRUZINA, A. G. S. **Integração de dados altimétricos obtidos através de diferentes técnicas para geração de um novo Modelo Digital de Elevação.** 2007. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

FERRAZ, A. S. **Estimação dos estoques de biomassa e carbono na parte aérea de um fragmento de floresta estacional semidecidual por meio de imagens de satélite IKONOS II.** 2012. 88 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Departamento de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2012.

GONÇALVES, J. A. **Orientation and DEM Extraction From ALOS PRISM Images Using the SRTM DEM as Ground Control.** Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing, Vol. 37. Part B1, p. 1177-1182, 2008.

GRIPP JR. J. **Ortorretificação de imagens de alta resolução para aplicação em cadastro técnico rural e mapeamento de áreas de preservação permanente e reservas legais.** 2009. 151f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2009.

GUSTAFSON, G. C.; LOON J. C. **Contour accuracy and the National Map Accuracy**

**Standards.** Surveying and Mapping, Vol. 42. p. 385-402, 1982.

IBGE. **Avaliação geométrica de imagens ALOS/PRISM níveis 1B2G e 1B2R ortorretificada – estudo de caso: Itaguaí RJ.** Relatório, 2009. Disponível em: <<http://ibge.gov.br/alos/relatorios.php>>. Acesso em 18 ago. 2009.

IBGE. **Imagens do satélite ALOS.** 2010. Retirado de:

<<http://www.ibge.gov.br/alos/sensores.php>>. Acesso em ago. 2010.

IMHOF, E. **Cartographic Relief Presentation.** Washington D.C: ESRI Press, 2007. 389 p.

JAXA. **ALOS User Handbook.** 2007. Disponível em: [http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/doc/alos\\_userhb\\_en.pdf](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/doc/alos_userhb_en.pdf)>. Acesso em 25 ago. 2010.

KAREL, W.; KRAUS, K. **Quality Parameters of Digital Terrain Models.** In Seminar on Automated Quality Control of Digital Terrain Models, Aalborg, Denmark. EuroSDR. Impress, 2006.

KRAUS, K. **Photogrammetrie. Band 1: Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen,** 7<sup>a</sup> Ed. Berlin., Germany: Editora Walter de Gruyter, 2004, 397 p.

LI, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C. **Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology.** Florida, U.S.A. Editora CRC Press, 2005. 318p.

MACHADO E SILVA, A. J. F. **Geometria de Imagens: Do Projeto do Satélite à Geração dos Produtos.** 2007, 224f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, São Paulo, 2007.

MAROTTA, G. S. **Análise de diferentes modelos para a correção geométrica de imagens orbitais de altíssima resolução.** 2008, 118 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2008.

MARUYA, M.; OHYAMA, H. **Accurate DEM and ortho-image production from ALOS/PRISM.** Geoscience and Remote Sensing

- Symposium, 2008 IGARSS 2008 IEE International. p. 185-188. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=4778824>. Acesso em 12 jun. 2011.
- MATSUOKA, C. T. **Atualização cartográfica urbana utilizando imagem Quickbird**. 2006, 66 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- OLIVEIRA, L. F. O.; **Análises de Modelos Digitais de Superfície Gerados a Partir de Imagens do Sensor PRISM/ALOS**. 2011, 163f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2011.
- OSAWA, Y.; HAMAZAKI, T. **Japanese Spaceborne Three-Line Sensor and its mapping capability**. In International Achievements of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B4, Amsterdam, Holland, p. 779-782, 2000.
- PAPASAIKA, H.; BALTASAVIAS, E. **Fusion of LIDAR and photogrammetric generated Digital Elevation Models**. In Proceedings ISPRS Hannover Workshop on High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information, Hannover, Germany, 2-5 June, 2009.
- REINARTZ, P.; MULLER, R.; HOJA, D.; LEHNER, M.; SCHRODER, M. **Comparison and fusion of DEM derived from SPOT-5 HRS and SRTM data and estimation of forest heights**. In: Earsel Workshop on 3D Remote Sensing, Portugal, 6-11 June, 2005.
- SANHUEZA, J. A. F. **Extração automática de feições planas e cálculo de entidades pontuais a partir dos dados LIDAR para o apoio fotogramétrico**. 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Cartografia Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- SANTOS, A. P. **Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais com uso da estatística espacial**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 2010. 110 f. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2010.
- SCHINDLER, K.; PAPSAIKA, H.; SCHUTZ, S.; BALTASAVIAS, E. **Improving Wide-Area DEMs Through Data Fusion – Chances and Limits**. In: Proceedings of 53<sup>o</sup> Photogrammetric Week, Stuttgart, Germany, p. 3-14, 2011.
- SOUZA, G. V. **Geração de MDT usando Triplet de imagens ALOS e Transformação Linear Direta (DLT)**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- TAKAKU, J.; TADONO, T.; SHIMADA, M. **High resolution DSM generation from ALOS/PRISM – Calibration updates**. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008 IGARSS 2008 IEE International. p. 181-184. Disponível em: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4778823&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs\\_all.jsp%3Farnumber%3D4778823](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=4778823&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D4778823). Acesso em 07 jun. 2011.
- TOUTIN, T. **Review article: geometric processing of remote sensing images: Models, algorithms and methods**. International Journal of Remote Sensing, Vol.25 No. 10, p. 1893-1924, 2004.
- UREÑA, M. A.; MOZAS, A. T.; PÉREZ, J. L. **Preliminary analysis of accuracy of contour lines using positional quality control methodologies for linear elements**. In: 25<sup>th</sup> International Cartographic Conference, Paris, França, 3-8 July, 2011.
- VALENZUELA, L. O. **Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica Catastral de Isla de Pascua y Evaluación Métrica de su Cartografía Base**. 2007. 100.p Monografía (graduação) – Universidad de Santiago de Chile, Santiago, 2007.
- XU, C.; WEI, M.; GRIFFITHS, S.; MERCER, B.; ABDOULLAEV, R. **Hybrid DEM generation and evaluation from spaceborne radargrammetric and optical stereoscopic DEM**. 2010. Proceedings of Canadian Geomatics Conference, Disponível em: [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part1/11/11\\_02\\_Paper\\_12\\_3.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part1/11/11_02_Paper_12_3.pdf) >. Acesso em 02 maio 2011.