

Análise comparativa da informação altimétrica presente nos modelos digitais de elevação ASTER GDEM 1 e 2, SRTM e TOPODATA

Danilo Francisco Trovo Garofalo¹
Veraldo Liesenberg^{1,2}

¹ Universidade Estadual de Campinas – Instituto de Geociências (UNICAMP/IG)
Caixa Postal 6152 - 13083-870 - Campinas - SP, Brasil
danilogarofalo@ige.unicamp.br

² Universidade do Estado de Santa Catarina – Departamento de Eng. Florestal (UDESC/CAV)
Av. Luiz de Camões, 2090 - 88520-000 - Lages - SC, Brasil
veraldo.liesenberg@udesc.br

Abstract. The main objective of this work was to compare the altimetry obtained from different sources of digital elevation models (DEMs) such as ASTER GDEM 1 e 2, SRTM and TOPODATA. The results were faced to the height values obtained from the altimetric network of the Brazilian Geodetic System. We also compare the spatial scale in which each model can be used. Our study area is located in Southern Brazil between 22° and 23°S and 45°0' and 46°30'E. Our investigation was based on the National Cartographic Accuracy Pattern (PEC). Our results show that ASTER GDEM 1 and 2 as well as TOPODATA DEMs can be used at the 1:100.000 scale. Whereas SRTM data for 1:250.000 or higher. We demonstrate that DEMs should be performed in the proper scale avoiding their use in non-recommended working scales.

Palavras-chave: Digital Elevation Model, Reference Level Station, Cartographic Accuracy Standards.

1. Introdução

Com o desenvolvimento do sensoriamento remoto, a altimetria passou a ser representada também por meio de modelos digitais de elevação (MDE), gerados remotamente por sensores orbitais e/ou aerotransportados. O MDE pode ser definido como representação matemática-computacional contínua da superfície terrestre, em um plano cartográfico, segundo eixos x, y e z, onde x e y são as coordenadas geográficas e z representa o valor de altitude nesta posição. Para o Brasil estão disponíveis, gratuitamente, vários tipos de MDE: SRTM, ASTER GDEM 1 e 2, e o TOPODATA.

A *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) é um projeto conjunto entre a *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), lançado em fevereiro de 2000. O objetivo deste projeto foi produzir dados topográficos digitais para 80% da superfície terrestre do planeta (todas as áreas terrestres entre 60° norte e 56° sul), com pontos de dados localizados a cada um arcos-segundos (aproximadamente 30 metros) em uma grade de latitude/longitude (USGS, 2008). A precisão vertical absoluta dos dados de elevação é de 16 metros (com 90% de confiança) (USGS, 2008). Os dados disponibilizados para a América do Sul possuem resolução espacial de 3 arcos-segundos (90x90 metros). A missão do SRTM fez uso da interferometria por meio de dados de radar de abertura sintética (SAR, do inglês *Synthetic Aperture Radar*). No mapeamento interferométrico os dados SAR de um mesmo local no terreno são registrados por duas antenas em diferentes localizações ou por uma antena em tempos distintos (JENSEN, 2009). A SRTM operou com antenas nas bandas C e X, no compartimento de cargas do ônibus espacial *Endeavor*, e uma antena adicional nas bandas C e X posicionada no final de uma haste de 60m, acoplada ao *Endeavor* (JENSEN, 2009; USGS, 2008). Uma das maiores vantagens da interferometria é poder operar através de nuvens e qualquer período do dia (JENSEN, 2009).

O ASTER *Global Digital Elevation Model* (ASTER GDEM) é um conjunto de produtos

desenvolvidos e disponibilizados ao público pelo *Ministry of Economy, Trade and Industry* (METI) do Japão e pela *United States National Aeronautics and Space Administration* (NASA). A primeira versão do ASTER GDEM foi lançada em junho de 2009, e a segunda em outubro de 2011. A bordo do satélite Terra os dados ASTER GDEM são oriundos de pares estereoscópicos de imagens do ASTER com resolução espacial de até 30m, cobrindo superfícies terrestres entre 83° N e 83° S (NASA ASTER, 2012).

O projeto *Topodata*, do Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais (INPE), oferece MDE elaborado a partir dos dados SRTM refinados para a resolução de 30m. Este refinamento dos dados consiste, em um primeiro momento, no preenchimento de falhas dos dados SRTM, que posteriormente são convertidos para arquivos *ASCII x,y,z*, sendo mantida ainda a resolução original de 3 arco-segundos. A partir destes arquivos são interpoladas, por meio do algoritmo de *krigagem*, as grades de altitude do MDE refinado para 1 arco-segundo (VALERIANO, 2005).

Diante desta diversidade de fontes de dados altimétricos disponíveis, a escolha de um determinado MDE é etapa muito importante, e deve levar em conta a acurácia de cada modelo (WU et al. 2005). Nem sempre estes modelos alcançam a precisão necessária aos estudos em grandes e médias escalas, tornando-se necessário avaliar para cada área, a equivalência da precisão dos dados à escala de trabalho desejada (SOUZA et al., 2012). Souza et al. (2008) salientam que para cada uso de produtos cartográficos há uma tolerância de erro; à medida que essa tolerância diminui torna-se indispensável conhecer a qualidade geométrica do produto planialtimétrico utilizado. Segundo estes autores, no Brasil todos os documentos cartográficos devem satisfazer ao Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC disposto no Decreto nº 89.817/84 onde são estabelecidas as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

O objetivo desta pesquisa foi analisar comparativamente, de forma preliminar, a precisão altimétrica dos MDE dos sensores ASTER GDEM-1 e GDEM-2, SRTM e TOPODATA, em relação aos dados altimétricos de estações de referência de nível posicionadas em cartas topográficas. Objetivou-se, a fim de avaliar, de forma preliminar, a acurácia altimétrica destes MDEs e a escala de mapeamento adequada para cada um dos modelos, de acordo com o padrão PEC.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

A área utilizada como teste neste artigo corresponde ao quadrilátero definido pelos paralelos 22°00'00" e 23°00'00" Latitude S, e meridianos 45°00'00" e 46°30'00" Longitude W. Este quadrilátero representa aos limites da cena SF-23-Y-B do SRTM; cena 22S465ZN do TOPODATA, e ao recorte do mosaico das cenas S23W046 e S23W047 do ASTER GDEM 1 e 2 (Figura 1). A escolha desta área justifica-se, por um lado, por dispor de dados de estações de referência de nível, e, por outro, por representar amostras de três unidades geomorfológicas importantes do sudeste brasileiro: Depressão de Sapucaí, Planalto de Campos do Jordão e Depressão do Médio Paraíba do Sul.

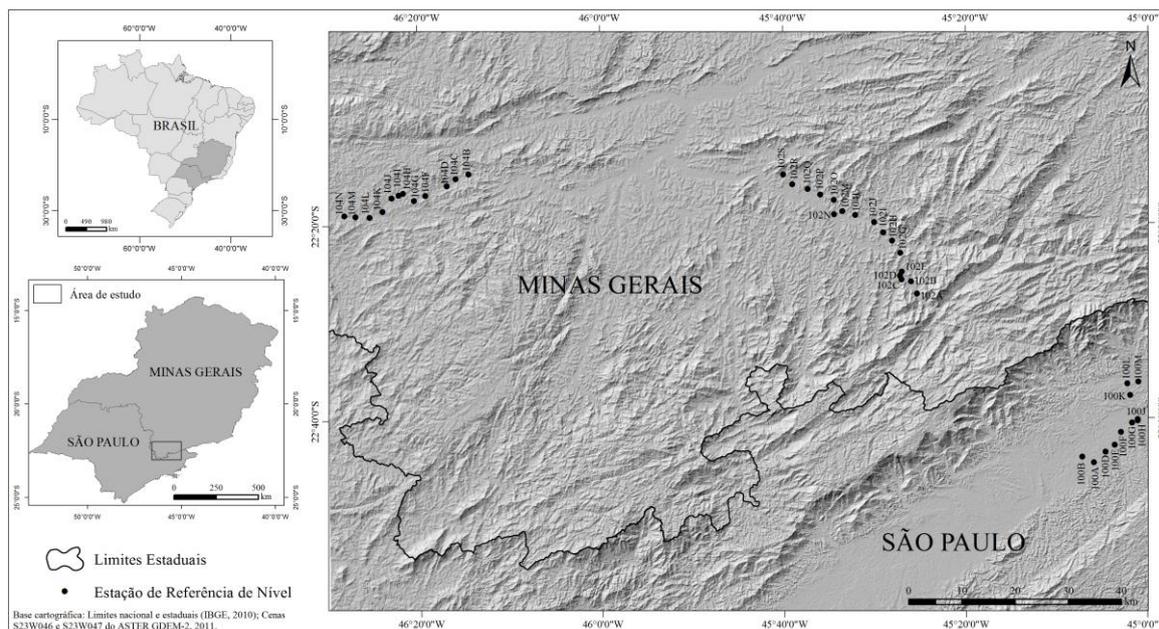


Figura 1. Localização da área de estudo com a disposição geográfica das estações de referência de nível utilizadas.

2.2 Materiais

Foram utilizados neste trabalho dados referentes aos MDE e às Estações de Referência de Nível (ERN). Os MDE utilizados e suas características são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos Digitais de Elevação (MDE) utilizados na pesquisa

MDE	Cena	Resolução espacial	Fonte
ASTER GDEM 1	S23W046 e S23W047	30 m	METI, 2009
ASTER GDEM 2	S23W046 e S23W047	30 m	METI, 2011
SRTM	SF-23-Y-B	90 m	EMBRAPA, 2003
TOPODATA	22S465ZN	30 m	INPE, 2009

Foram selecionadas 40 ERN do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) (Figura 1), sendo gerado um arquivo vetorial de pontos, com as coordenadas planimétricas de cada uma delas, obtidas dos relatórios das ERN, disponíveis no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Nestes relatórios, um para cada estação, além dos dados planimétricos, cuja acurácia é condizente com a resolução espacial dos MDEs (Tab. 1), também estão disponíveis dados altimétricos, data de instalação da estação, data da última visita e situação de conservação do marco principal. Os MDE foram reprojatados do *datum* horizontal WGS 1984 para o *datum* horizontal SAD 69 (South American datum 1969), uma vez que as coordenadas planimétricas apresentadas nas estações são referenciadas à este último *datum*. Embora os MDE estejam referenciados ao *datum* vertical geoidal EGM96 e as ERN ao *datum* vertical de Imbituba, não houve a necessidade de se fazer correções, uma vez que as estações utilizadas apresentam altitudes ortométricas, ou seja, a distância vertical entre um ponto e o geóide (RODRIGUES et al., 2010). A localização das estações utilizadas como base de referência altimétrica é apresentada na Figura 1.

2.3 Avaliação da precisão altimétrica dos MDE

A avaliação da precisão altimétrica dos MDE baseada nos pontos de controle (ERN) foi pautada nas Normas Técnicas da Cartografia Nacional definidas no Decreto 89.817 de 20 de

Julho de 1984. O artigo 8º deste decreto determina que a forma de classificar um documento cartográfico quanto à sua exatidão altimétrica, deve corresponder ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), de acordo com o seguinte critério: “Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica – Altimétrico - estabelecido.”. Vale ressaltar que, independentemente de o produto ser analógico ou digital, sua validação pelo PEC é a mesma (FRANCISCO, 2001; NERO, 2005; SOUZA et al., 2008). O PEC é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos, sendo essa probabilidade corresponde a 1,6449 vezes o Erro-Padrão (BRASIL, 1984). O Erro Padrão isolado em um trabalho cartográfico, não deve ultrapassar 60,8 % (1 desvio padrão) do PEC (BRASIL, 1984). O decreto considera equivalentes na análise da acurácia, os termos Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro Quadrático Médio (EQM).

Neste contexto, o PEC é composto por um conjunto de critérios e normas que definem os métodos de determinação e quantificação da precisão de um documento cartográfico (RODRIGUES et al., 2010). O artigo 9º do decreto estabelece que a precisão vertical (altimétrica) dos documentos cartográficos é agrupada nas Classes A, B e C, conforme os critérios apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Critérios estabelecidos pelo PEC - Altimétrico

Classe	Altimetria	
	PEC	EP
A	1/2 da equidistância das curvas de nível	1/3 da equidistância das curvas de nível
B	3/5 da equidistância das curvas de nível	2/5 da equidistância das curvas de nível
C	3/4 da equidistância das curvas de nível	1/2 da equidistância das curvas de nível

Fonte: BRASIL, (1984); Adaptado de SOUZA et al., (2008)

A equidistância das curvas de nível em cada escala foi definida conforme proposto pelo IBGE (1999). A Tabela 3 apresenta estas equidistâncias, assim como, os valores de referência do PEC e EP para os produtos cartográficos classificados nas classes A, B e C.

Tabela 3. Escalas com as respectivas equidistâncias entre as curvas de nível, valores do PEC e EP - altimetria.

Escala	Equidistância Curvas de nível	Classe A		Classe B		Classe C	
		PEC	EP (EQM)	PEC	EP (EQM)	PEC	EP (EQM)
1:250.000	100 m	50	33,33	60	40	75	50
1:100.000	50 m	25	16,67	30	20	37,5	25
1:50.000	20 m	10	6,67	12	8	15	10
1:25.000	10 m	5	3,33	6	4	7,5	5

Fonte: Adaptado de SOUZA et al., (2008).

Seguindo estes pressupostos a análise do PEC foi realizada a partir do cálculo do EQM e da tolerância vertical. O EQM corresponde ao Erro-Padrão, e a tolerância vertical corresponde à porcentagem de pontos que satisfazem o PEC ($\geq 90\%$). O EQM é calculado pela Equação 1:

$$EQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad \text{Eq. 1}$$

onde n representa o número de ERN, y_i é o valor altimétrico do MDE e \hat{y}_i é o valor altimétrico da ERN.

Para se enquadrar o MDE a uma determinada classe e escala, o valor encontrado do EQM do mesmo deve ser menor ou igual ao EP definido para cada escala e classe (BRASIL, 1984; SOUZA e LOCH, 2008; RODRIGUEZ, 2010; SOUZA e DUARTE, 2012). A tolerância vertical é calculada a partir da porcentagem de pontos que apresentem resíduo - diferença

entre o valor altimétrico do pixel do MDE e o ponto de controle correspondente - abaixo da tolerância vertical aceita para cada classe/escala, de modo que a porcentagem seja $\geq 90\%$ (BRASIL, 1984; SOUZA e LOCH, 2008; RODRIGUEZ, 2010; SOUZA e DUARTE, 2012).

Além da análise do PEC, também foi aplicado o coeficiente de determinação, R^2 , contrastando-se os valores altimétricos do MDE aos valores altimétricos das ERN. Esta análise objetiva avaliar a correlação entre os valores altimétrico, e corroborar o PEC.

2.3.1 Comparação entre os erros apresentados pelos MDEs

Além da análise quantitativa das diferenças altimétricas apresentadas pelos MDE em relação às ERN, também foi realizada uma análise qualitativa destas diferenças. Esta análise teve por objetivo constatar se tais erros decorrem não somente por conta das características de cada MDE, mas também por influências das características locais, tais como a geomorfologia local e construções antrópicas. Para tanto, foi feito uma coleção de perfis tridimensionais, com a representação dos quatro MDE, sendo sobreposto a cada um deles, o arquivo de pontos referente à localização das ERN. Estas foram então representadas em barras, sendo a altura da barra proporcional à diferença altimétrica entre o MDE e a ERN (Figura 2).

3. Resultados e discussão

Os valores obtidos pelo coeficiente de determinação R^2 revelam uma forte correlação entre os valores altimétricos dos MDE aos valores altimétricos das ERN. Os maiores valores foram observados para os MDE ASTER GDEM-2 e TOPODATA, em que ambos apresentaram $R^2 = 0,995$, seguidos do ASTER GDEM-1 e SRTM, com valores de R^2 , em ordem, de 0,994 e 0,991, a um nível de significância de 95%. Na Tabela 4 são apresentados os parâmetros estatísticos de comparação dos dados altimétricos de cada MDE aos valores altimétricos das ERN.

Tabela 4. Parâmetros estatísticos da comparação dos dados altimétricos dos MDE com os das ERN

	ASTER GDEM 1	ASTER GDEM 2	SRTM	TOPODATA
EQM (metros)	9,51	7,97	11,08	8,82
Desvio Padrão (metros)	8,44	7,83	11,27	8,38
Erro Padrão (metros)	1,33	1,24	1,78	1,33
Diferença máxima (metros)	36,79	28,79	48,85	47,99
Diferença mínima	0,46	0,002	0,4	0,14

Conforme o sítio da USGS (USGS, 2008), a acurácia vertical estimada para os MDE ASTER GDEM 1 e 2 é de 20 m, a um nível de confiança de 95%, enquanto que os MDE SRTM apresentam uma precisão vertical de 16 metros (com 90% de confiança). Os valores alcançados pelo EQM corroboram a precisão vertical estimada para estes modelos por seus fornecedores.

Estes resultados, R^2 e EQM, evidenciam a acurácia destes MDEs, mas os resultados obtidos na análise do PEC mostram que estes MDEs, no contexto da área em estudo, apresentam restrições quanto ao uso em determinadas escalas de trabalho, conforme apresentado na Tabela 5.

Na Tabela 5 são contrastados os valores de referência propostos pelo decreto 89.8127/84, Tolerância Vertical (PEC) e Erro-padrão (EQM), para cada escala e classe - conforme critérios apresentados nas Tabelas 2 e 3 -, aos valores de PEC e EQM encontrados para cada um dos MDE. Para se condizer a uma determinada escala e classe, neste trabalho, o MDE deve satisfazer tanto o PEC quanto o EQM.

Tabela 5. Valores de referência do PEC e EP para cada escala e classes, porcentagem de estações que satisfazem o PEC e EP (EQM) encontrado.

		ASTER GDEM 1			ASTER GDEM 2			SRTM			TOPODATA			
		1:50.000	1:100.000	1:250.000	1:50.000	1:100.000	1:250.000	1:50.000	1:100.000	1:250.000	1:50.000	1:100.000	1:250.000	
Classe A	Referência	PEC	< 10	< 25	< 50	< 10	< 25	< 50	< 10	< 25	< 50	< 10	< 25	< 50
	Referência	EP	< 6,67	< 16,67	< 33,33	< 6,67	< 16,67	< 33,33	< 6,67	< 16,67	< 33,33	< 6,67	< 16,67	< 33,33
	Encontrado	% PEC	65%	92,50%	100%	82,5%	92,5%	100%	60%	87,50%	100%	67,50%	95%	100%
	Encontrado	EP(EQM)	9,7			7,97			11,08			8,82		
Classe B	Referência	PEC	< 12	< 30	< 60	< 12	< 30	< 60	< 12	< 30	< 60	< 12	< 30	< 60
	Referência	EP	< 8	< 20	< 40	< 8	< 20	< 40	< 8	< 20	< 40	< 8	< 20	< 40
	Encontrado	% PEC	72,50%	97,50%	100%	87,5%	97,5%	100%	62,50%	92,50%	100%	75%	97,50%	100%
	Encontrado	EP(EQM)	9,7			7,97			11,08			8,82		
Classe C	Referência	PEC	< 15	< 37,5	< 75	< 15	< 37,5	< 75	< 15	< 37,5	< 75	< 15	< 37,5	< 75
	Referência	EP	< 10	< 25	< 50	< 10	< 25	< 50	< 10	< 25	< 50	< 10	< 25	< 50
	Encontrado	% PEC	80%	100%	100%	87,5%	100%	100%	75%	95%	100%	87,50%	97,50%	100%
	Encontrado	EP(EQM)	9,7			7,97			11,08			8,82		

Onde: % PEC: percentual de estações com discrepância abaixo do valor estipulado pelo PEC.

Fonte: Adaptado de: RODRIGUES et al. (2010)

Nenhum dos modelos atingiu os valores definidos para se enquadrar na escala de 1:50.000, em ambas as classes A, B e C (Tabela 5). Na escala de 1:100.000 apenas o SRTM não atingiu os valores de referência para se enquadrar na classe A, estando apto a ser empregado na escala de 1:100.000 apenas nas classes B e C. O ASTER GDEM-2 foi o modelo que apresentou os melhores valores para a escala de 1:100.00, tendo obtido 92,5% dos seus dados com valores dentro do limite determinado na tolerância vertical e EQM de 7,97 para a Classe A. O MDE TOPODATA apresentou maior acerto da Tolerância Vertical em relação ao ASTER GDEM 2, alcançando 95%, mas apresentou um EQM de 8,82 para a escala de 1:100.00 na classe A. Já o ASTER GDEM-1 obteve 9,7 de EQM e 92,5% de Tolerância Vertical (Tabela 5), na escala de 1:100.000, classe A. Quanto à escala 1:250.000, todos MDE analisados estão aptos a serem utilizados em trabalhos que adotem esta escala de trabalho.

A natureza dos erros apresentados por cada MDE está relacionada, principalmente, a dois fatores: características específicas de cada MDE e características da área imageada como reportadas por Oliveira e Paradella (2009). Pode ser observado que apenas os MDE com resolução espacial de 30 m foram enquadrados na escala de 1:100.00 na classe A. A menor resolução espacial (90 m) do MDE SRTM o torna mais vulnerável em áreas que apresentam mudança brusca de altitude e rupturas de declive, a exemplos de áreas de contato entre unidades geomorfológicas, conforme pode ser observado na Figura 2, onde estão representados os modelos tridimensionais dos MDE analisados, e sobrepostos a cada um deles, as ERN, representadas em colunas com altura e cor de acordo com a discrepância entre o valor altimétrico do MDE em relação ao valor altimétrico da ERN. Observa-se que as estações inseridas na Depressão do Médio Paraíba do Sul, na porção sudeste dos MDE, apresentam baixos erros na maioria dos MDE, sendo que nesta área, as estações com maiores diferenças de valores altimétricos estão próximas à zona de contato da planície aluvial com o sopé da Serra da Mantiqueira, Planalto de Campos do Jordão.

A maior concentração de ERN com elevados valores de discrepância altimétrica ocorre na área de contato entre as unidades geomorfológicas Depressão de Sapucaí e Planalto de Campos do Jordão, na porção centro-leste da área de estudo (Figura 2). Dentre todas as áreas em que as ERN estão localizadas, está é a que o relevo apresenta-se mais dissecada, com elevada amplitude altimétrica entre áreas próximas. Observam-se dois picos de discrepância

no grupo de ERN localizadas na porção noroeste da área de estudo, no MDE SRTM. Tal fato pode estar relacionado à proximidade destas duas ERN à área urbana do município de Ouro Fino, de modo que as construções possam ter influenciado nos valores altimétricos nesta porção do MDE SRTM, que apresenta uma resolução espacial de 90 m.

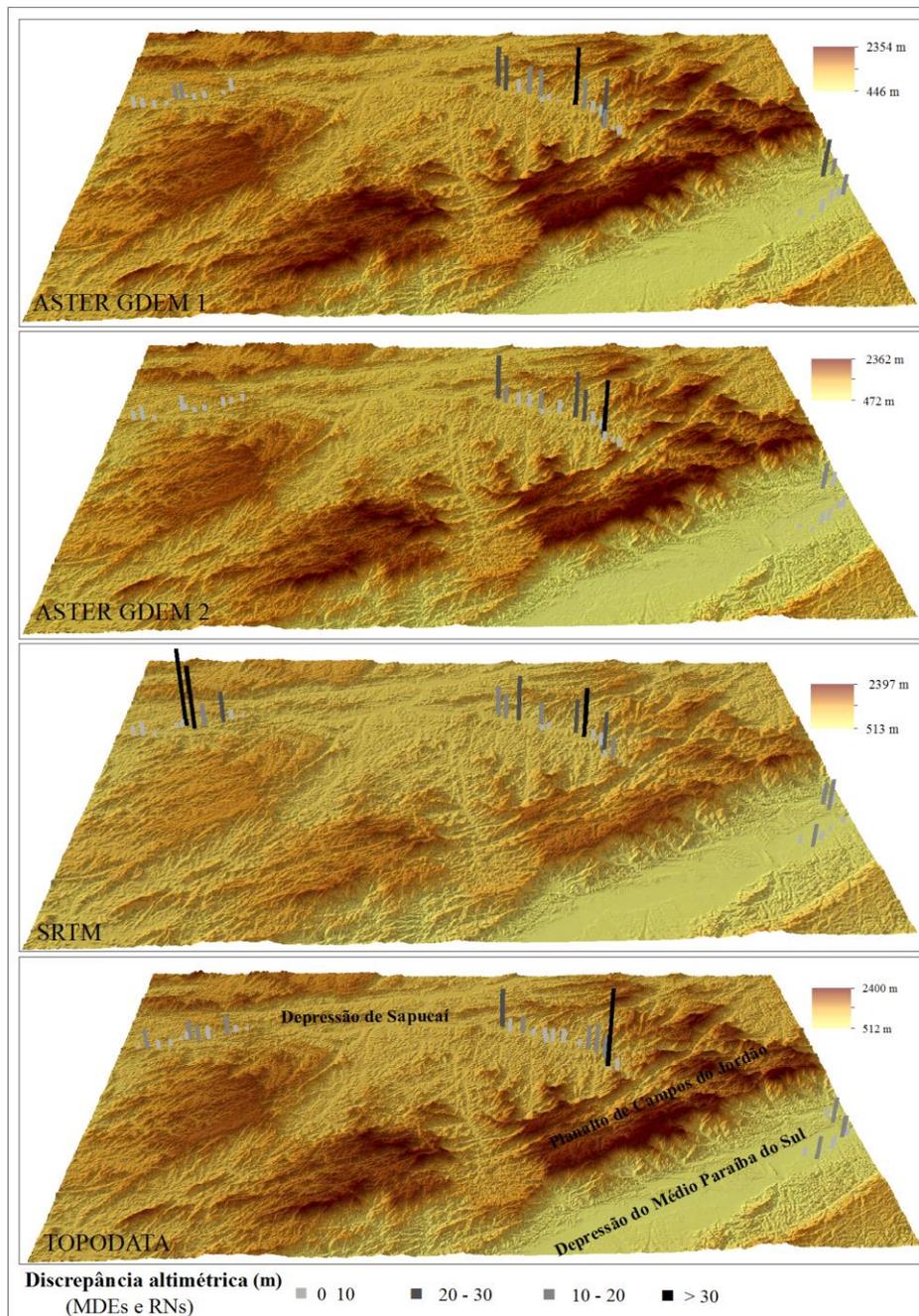


Figura 2. Perfil tridimensional dos MDE e discrepância apresentada entre os valores altimétricos dos MDE vs. ERN

4. Considerações finais

Os resultados obtidos com a aplicação do PEC mostram que o uso de MDE deve ser feito de forma esclarecida, a fim de evitar a aplicação do mesmo em uma escala não compatível. Os resultados apontam que, no contexto da área analisada, os MDE ASTER GDEM 1 e 2 e o TOPODATA devem ser utilizados em escalas a partir de 1:100.000 e o MDE SRTM em escalas acima de 1:250.000.

A adoção de normas, tais como o PEC, torna o trabalho mais preciso, levando maior confiança para quem o lê, pois fica evidente se o MDE foi utilizado em uma escala adequada. Destaca-se ainda o fato das acurácias apresentadas pelos fornecedores do MDE condizerem com os resultados alcançados.

5. Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo auxílio recebido, mediante Processos 13/22185-2 e 13/05081-9.

6. Referências bibliográficas

BRASIL. Decreto-Lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasília, Diário Oficial da União, 1984.

FRANCISCO, H. R. **Qualidade de dados espaço-temporal: Estudo de caso de acurácia posicional e atualização**. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2001.

IBGE. **Noções Básicas de Cartografia**, vol. 8. Rio de Janeiro, IBGE, 1999.

IBGE. Relatórios de Estações Geodésicas, 2011. Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/bdgpesq_googlemaps.php> Acesso 06.out.2014

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em:
<<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 06.out.2014.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução de J. C. N. Epiphanyo. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598 p. (Prentice Hall Series in Geographic Information Science) Tradução de: Remote Sensing of the environment: in earth resource perspective.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.br>>. Acesso em: 6. out. 2014.

ASTER, ASTER GDEM. Disponível em: <<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>>. Acesso em: 06.out.2014.

NASA ASTER Global Digital Elevation Map Announcement. Disponível em:
<<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>>. Acesso em: 10.out.2014.

NERO, M. A. **Proposta para o controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

OLIVEIRA, C.G.; PARADELLA, W.R. Evaluating the quality of the Digital Elevation Models produced from ASTER stereoscopy for topographic mapping in the Brazilian Amazon Region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.81, p.217-225, 2009.

RODRIGUES, T. L.; DEBIASI, P.; SOUZA, R. F. DE. Avaliação da adequação dos produtos ASTER GDEM no auxílio ao mapeamento sistemático brasileiro. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3, 2010, Recife. **Anais...** Recife, 2010, p. 01-05

SOUZA, J. M.; LOCH, R. E. N. Análise e melhoria da qualidade altimétrica dos dados da Shuttle Radar Topography Mission, SRTM-3. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, n. 02, p. 155-166, 2008.

SOUZA, J. O. P.; DUARTE, C. C. Análise da precisão altimétrica dos Modelos Digitais de Elevação para área semiárida, Serra da Baixa Verde, Pernambuco. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 9, 2009, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2009, p. 01-04.

USGS, United States Geological Survey. Disp. em: <<http://srtm.usgs.gov/>>. Acesso em: 28.out.2014.

VALERIANO, M. M. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2005, Goiânia, GO. **Anais...** Goiânia, 2005, p. 1-8.

WU, S.; LI, J.; HUANG, G. An evaluation of grid size uncertainty in Empirical soil loss modeling with digital elevation models. **Environmental Modeling and Assessment**, v. 10, p. 33-42, 2005.

