

Como melhorar a qualidade geométrica do modelo digital de elevação da Shuttle Radar Topography Mission, SRTM-3

Juliana Mio de Souza¹
Ruth Emília Nogueira Loch¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/PPGEC
Caixa Postal 476 - 88040-900 - Florianópolis - SC, Brasil
julianamio@yahoo.com.br
ruth@ecv.ufsc.br

Abstract. The aim of this work was to evaluate the geometric quality of Digital Elevation Model - DTM of Shuttle Radar Topography Mission, SRTM-3 and, also, to investigate the possibility of improving cartographic quality. So, the original DTM of SRTM was submitted under the quality control, following this steps: 1) identification of gross errors and removing it, if necessary; Tendency Test and removing it, if necessary; Precision Test and application of Brazilian Rules, called PEC, but in the world it is known by Linear Mapping Accuracy Standard – LMAS. This data was georeferenced to one digital cartographic base of São José country, Santa Catarina State, Brasil and was applied the same quality control. So, the original DTM of SRTM was classified as one cartographic product with geometric requirements to the 1:250.000 scale and after the georeferencing, represents one geometric quality of five times better, i. e., attends one 1:50.000 scale.

Palavras-chave: digital elevation model, SRTM, cartographic quality, georeferencing, modelo digital de elevação, SRTM, controle de qualidade cartográfica, georeferenciamento.

1. Introdução

Com o avanço da tecnologia, a cada momento surgem novas fontes de dados para geração de produtos cartográficos bem como softwares voltados à cartografia digital planialtimétrica, evidenciando ainda mais a importância do controle de qualidade de produtos cartográficos, pois nem sempre, os geradores e/ou usuários destes produtos são profissionais habilitados.

Dentre estas novas fontes de dados cartográficos está o Modelo Digital de Elevação - MDE da Shuttle Radar Topography Mission – SRTM. Os dados da SRTM estão disponibilizados gratuitamente pela Internet, através do site <http://seamless.usgs.gov/>. Para a América do Sul, os dados foram reamostrados para uma resolução espacial de 90 metros (a partir do dado original de 30 metros de resolução espacial – SRTM-1) e recebeu o nome de SRTM-3. Após esta pesquisa ter sido finalizada foi lançado novos produtos da SRTM chamado SRTM DTED - Digital Terrain Elevation Data, onde segundo a USGS (2006) estes dados apresentam uma acurácia altimétrica significativamente melhor que os 16 metros especificada pela missão, mas não são de distribuição gratuita.

Em congressos, por exemplo, tem sido bastante comum a exposição de artigos propondo e demonstrando trabalhos em diferentes áreas do conhecimento realizados com este MDE da SRTM em todo o Brasil. No entanto pouco tem sido feito em relação à análise da qualidade geométrica deste dado e tem se observado uma carência por parte da comunidade científica no sentido de buscar alternativas para obter uma melhor qualidade geométrica de dados da SRTM, tarefa esta assumida numa pesquisa, a qual é relatada, em parte, nesse artigo.

Como é sabido, o controle de qualidade de um produto cartográfico é uma fase extremamente importante no processo de produção de mapas. Para cada uso de mapas há uma tolerância e à medida que essa tolerância diminui tal preocupação aumenta, tornando-se imprescindível conhecer a qualidade geométrica do produto cartográfico utilizado.

No Brasil, todos os documentos cartográficos devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, definido por lei, no Decreto nº 89.817/84 onde são estabelecidas as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, BRASIL (1984).

Assim, esta pesquisa, se propôs a verificar a qualidade geométrica do MDE da SRTM-3, para uma determinada área comparando os resultados obtidos entre o MDE original da SRTM-3 com o mesmo georreferenciado a base cartográfica local na escala 1:2.000.

2. Área de estudo

Para a realização desta pesquisa foi considerado o território abrangido pelo município de São José – Santa Catarina, Brasil. Esse município está situado na área costeira do Oceano Atlântico entre os paralelos 27°31'30" e 27°38'31" latitude Sul e os meridianos 48°44'50" e 48°35'20" longitude Oeste. (**Figura 1**).



Figura 1 – Localização do Município de São José, Santa Catarina – Brasil.

O município ocupa uma superfície de 114,7 km² do território pertencente ao domínio geomorfológico de embasamentos em estilos complexos, apresentando um relevo irregular onde o ponto mais alto do território é um morro com 533 metros, e predominando as altitudes de 0 até 200 metros e as declividades de 0,5% a 20 % (GT-CADASTRO/FEESC/UFSC, 2004).

Esta área escolhida foi particularmente interessante para estudo de controle de qualidade altimétrica de modelos digitais de elevação, pois estão contempladas situações de terreno plano e acidentado.

3. Método

3.1 Cartografia de referência

Os dados usados como referência altimétrica neste trabalho bem como para georreferenciamento do Modelo Digital de Elevação foram extraídos de cartas pertencentes à Base Cartográfica Digital do Município de São José – SC em escala 1: 2.000 do ano de 1995 e atualizada em 2001. O Sistema de Projeção é a Universal Transversa de Mercator - UTM da Zona 22 Sul e o Sistema Geodésico de Referência é SAD69 – South American Datum.

3.1.1 Geração do Modelo Digital de Elevação

O Modelo Digital de Elevação do município de São José, foi gerado a partir dos pontos cotados da Base Cartográfica Digital do Município de São José – SC em escala 1: 2.000. Ao limite municipal foi acrescido um buffer de 1.000 metros, com o intuito de garantir que o limite real fosse contemplado no produto gerado após a operação de georreferenciamento, uma vez que tal processo pode ocasionar deslocamento da imagem.

3.1.2 Definição dos pontos de referência altimétrica

Foram selecionados 31 pontos de referência para verificação da qualidade altimétrica dos Modelos Digitais de Elevação da SRTM, seguindo a recomendação de Merchant (1982), que sugere no mínimo 20 pontos para a realização dos testes estatísticos de qualidade geométrica de um produto cartográfico espalhados de forma homogênea sobre a área de estudo.

A **Figura 2** ilustra o MDE do município de São José e a localização dos pontos altimétricos selecionados como referência na realização dos testes de qualidade altimétrica dos MDEs da SRTM.

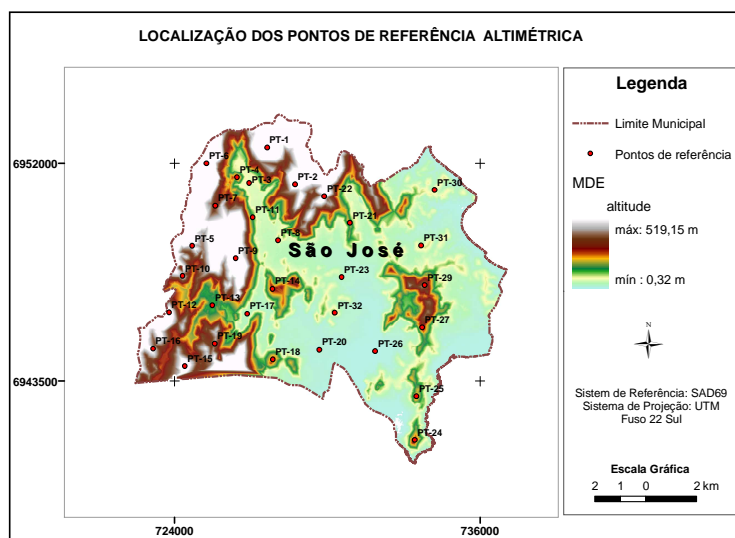


Figura 2 – MDE gerado a partir da base cartográfica digital de São José e a localização dos pontos de referência altimétrica

3.2 Preparação dos dados originais da SRTM

3.2.1 Transformação do sistema de referência e recorte

O MDE da SRTM referente ao Município de São José sofreu uma transformação de sistemas de referência usando os parâmetros oficiais brasileiros de conversão entre os dois sistemas (WGS84 para SAD69), pois o MDE da SRTM é referenciado ao World Geodetic System 1984 -WGS84. O próximo passo consistiu em recortar o MDE em função do limite de São José acrescido de um buffer de 1.000 metros. Este produto foi chamado de “MDE original da SRTM”.

3.2.2 Georreferenciamento do MDE original da SRTM à cartografia de referência

Para testar se haveria alguma mudança na qualidade posicional final do MDE original da SRTM ao se georreferenciar este MDE a uma base cartográfica local, com uma maior precisão geométrica, fez-se o georreferenciamento deste com a base cartográfica de referência.

Devido à ausência de feições bem definidas no MDE da SRTM (o MDE da SRTM é apresentado em níveis de cinza e com 90 metros de resolução espacial), a solução encontrada para georreferenciar o MDE foi utilizar os pontos com maior altitude encontrados no modelo da SRTM e na base cartográfica de referência, ou seja, picos de altitude. Para a identificação destes pontos, foi utilizada ferramentas de geoprocessamento, selecionando-os de forma automática nos MDEs. Este dado recebeu o nome de “MDE da SRTM georreferenciado”

Todo o processo de georreferenciamento foi realizado usando a extensão Georeferencing do ArcGis 9.1.

3.3 Análise da qualidade altimétrica dos dados da SRTM

3.3.1 Extração da coordenada altimétrica nos modelos

Admitindo-se como corretas as coordenadas planimétricas dos modelos digitais de elevação analisados, o arquivo de pontos de referência altimétrica foi utilizado para sobrepor o MDE original da SRTM e o MDE da SRTM georreferenciado. Com ferramentas de geoprocessamento do ArcGis 9.1, a coordenada altimétrica foi extraída automaticamente dos modelos digitais de elevação da SRTM analisados na pesquisa.

Com as coordenadas de referência altimétrica obtidas a partir dos pontos cotados da cartografia de referência e com as coordenadas altimétricas de verificação extraídas automaticamente dos modelos digitais de elevação gerados obteve-se os dados necessários para a realização dos testes estatísticos.

3.3.2 Identificação de erros grosseiros

O primeiro procedimento a ser adotado num controle de qualidade de produtos cartográficos refere-se à verificação de ocorrência de erros grosseiros na amostra.

Para tanto, deve-se obter os seguintes parâmetros estatísticos amostrais: média e desvio-padrão (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos

Discrepância	Média	Desvio-padrão
$\Delta X_i = X_i - X_{ir}$	$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i$	$S_{\Delta X} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2}$

onde,

ΔX_i = discrepâncias calculadas entre as coordenadas de referência e do produto cartográfico analisado, onde i equivale a cada ponto;

X_i = altitude analisada;

X_{ir} = altitude da base cartográfica de referência;

$\overline{\Delta X}$ = média das discrepâncias observadas;

n = número de amostras;

$S_{\Delta X}$ = desvio-padrão das discrepâncias encontradas;

n - 1 = número de amostras menos uma amostra;

$(\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2$ = desvios em relação à média, ao quadrado.

Foi utilizado, para identificar erros grosseiros na amostragem, o critério sugerido por Nero (2005), que recomenda utilizar o valor de 3 vezes o desvio – padrão amostral como valor orientativo na identificação de erros grosseiros.

3.3.3 Teste de tendência

O teste de tendência do produto cartográfico, segundo Merchant (1982) é baseado na análise estatística das discrepâncias entre as coordenadas observadas no produto e suas homólogas de referência, calculada para cada ponto (i), média e desvio-padrão.

No teste de tendência são analisadas as seguintes hipóteses:

$$H_0: \overline{\Delta X} = 0, \text{ não é tendencioso}$$

$$H_1: \overline{\Delta X} \neq 0, \text{ é tendencioso}$$

Para este teste deve-se calcular a estatística amostral “t_x”, e verificar se o valor de t amostral está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula. Para o teste de tendência utiliza-se o teste *t de Student* (valores tabelados), sendo este um teste quantitativo.

O valor de t amostral é calculado por:

$$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n}$$

O valor limite $t_{(n-1, \alpha/2)}$ é determinado através da tabela *t de Student* para um nível de confiança $(1-\alpha)$ de 90%. O intervalo de confiança é dado por:

$$|t_x| < t_{(n-1, \alpha/2)}$$

A estatística t não satisfazendo a desigualdade acima, rejeita-se a hipótese nula, ou seja, o produto cartográfico não está livre de tendências significativas, para o nível de confiança adotado.

3.3.4 Teste de precisão

Para o teste de precisão do produto cartográfico de acordo com Merchant (1982), compara-se o desvio-padrão das discrepâncias com o Erro Padrão - EP esperado para a classe desejada, formulando-se a seguinte hipótese:

$$H_0 : S_X^2 = \sigma_X^2, \text{ contra}$$

$$H_1 : S_X^2 > \sigma_X^2$$

onde, σ_X é o EP esperado para a classe de interesse.

Para o teste de precisão utiliza-se o teste *Qui – Quadrado*, teste qualitativo, ou seja, categoriza o produto a uma classificação predeterminada.

Calculado o desvio padrão esperado, realiza-se a estatística através da equação:

$$\chi_X^2 = (n-1) \frac{S_{\Delta X}^2}{\sigma_X^2}$$

e verifica-se se o valor acima calculado está no intervalo de aceitação, ou seja:

$$\chi_X^2 \leq \chi_{(n-1, \alpha)}^2$$

Não sendo obedecida, rejeita-se a hipótese nula, isto é, o produto não atende à precisão pré-estabelecida. Para esta análise utilizou-se a estimativa dada pela distribuição Qui-Quadrado (valores tabelados), para um nível de confiança de 90%.

3.3.5 Norma Brasileira para controle de qualidade de produtos cartográficos

O Decreto-Lei nº 89.817/84 estabelece normas que regulamentam e classificam os documentos cartográficos no Brasil quanto à sua qualidade geométrica. O artigo 8º do decreto-lei nº 89.817/84, estabelece que a forma de classificar um documento cartográfico quanto à sua exatidão altimétrica, deve obedecer ao PEC, segundo o critério abaixo indicado: 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 PEC altimétrico estabelecido. O artigo 9º do mesmo decreto estabelece que as cartas, segundo sua exatidão altimétrica, são classificadas nas Classes A, B e C, como pode ser visto na **Tabela 2**.

Tabela 2 - Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC altimétrico

<i>Classe</i>	<i>Altimetria</i>	
	<i>PEC</i>	<i>EP</i>
<i>A</i>	1/2 da equid.	1/3 da equid.
<i>B</i>	3/5 da equid.	2/5 da equid.
<i>C</i>	3/4 da equid.	1/2 da equid.

Fonte: Brasil, (1984) / equid. = equidistância das curvas de nível

Assim, para finalizar o controle de qualidade de produtos cartográficos, foi aplicada a Norma Brasileira, isto é, foi verificado se 10% dos pontos amostrais apresentavam valor de discrepância abaixo do valor de PEC estabelecido pela Norma Brasileira para a escala e classe testadas. Ressalta-se que é necessário estipular as equidistâncias das curvas de nível. Nesta pesquisa foram respectivamente, 100, 50, 20 e 10 metros para as escalas 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000.

4. Resultados e Discussão

As análises da qualidade geométrica do MDE da SRTM iniciaram-se com escalas pequenas, como 1:250.000 e seguiram até atingir a maior escala e classe. Assim, a seguir serão apresentados os resultados para a maior escala e classe que o MDE original da SRTM e MDE da SRTM georreferenciado atingiram.

4.1 Qualidade altimétrica dos MDE original e georreferenciado

De acordo com o método de análise de qualidade geométrica de produto cartográfico adotado neste trabalho o MDE original da SRTM atendeu à escala 1:250.000 Classe A e após o georreferenciamento passou a apresentar requisitos geométricos para escala 1:50.000 Classe B. A **Tabela 3** e a **Tabela 4** apresentam de forma resumida os resultados dos testes estatísticos para o MDE original da SRTM e MDE da SRTM georreferenciado, respectivamente.

Tabela 3 – resultados para MDE original da SRTM – 1:250.000 Classe A

Número de pontos	31
Parâmetros estatísticos de análise	
média	-8,40 m
desvio-padrão(dp)	27,69 m
Análise 1:250.000/A	
Erro grosseiro (3* dp)	Não
PEC	50,0
EP	33,3
Teste de Tendência	
$t_{teórico} (30; 0,05)$	1,697
$t_{amostral} (t_H)$	-1,69
Análise	$ t_H < t_{(30; 0,05)}$ Sem tendência
Teste de Precisão	
$\chi^2_{teórico} (30;0,10)$	40,26
$\chi^2_{amostral} (\chi^2_H)$	20,70
Análise	$\chi^2_H < \chi^2_{(30;0,10)}$ Atende
Norma Brasileira	
10% da amostra com	Atende

Tabela 4 – resultados para MDE da SRTM georreferenciado – 1:50.000 Classe B

Número de pontos	31
Parâmetros estatísticos de análise	
média	-2,46 m
desvio-padrão	6,57 m
Análise 1:50.000/B	
Erro grosseiro (3* dp)	Não
PEC	12,0
EP	8,0
Teste de Tendência	
$t_{teórico} (30; 0,05)$	1,697
$t_{amostral} (t_H)$	-2,09
Análise	$ t_H > t_{(30; 0,05)}$ Com tendência
Teste de Precisão	
$\chi^2_{teórico} (30;0,10)$	40,26
$\chi^2_{amostral} (\chi^2_H)$	20,22
Análise	$\chi^2_H < \chi^2_{(30;0,10)}$ Atende
Norma Brasileira	
10% da amostra com valor	Atende

Conforme os resultados apresentados na **Tabela 3**, a amostragem não apresentou erro grosseiro e o MDE original da SRTM está livre de erros sistemáticos não apresentando tendências, uma vez que a hipótese nula foi aceita pelo teste com o valor de t_H amostral em módulo inferior ao valor tabelado (1,697). De acordo com a **Tabela 4**, o MDE da SRTM georreferenciado apresentou tendência, isto é, erros sistemáticos estão presentes neste produto. Porém, é importante comentar que uma vez conhecida, o seu efeito pode ser minimizado pela subtração de seu valor a cada coordenada “lida” no produto cartográfico Galo e Camargo (1994) e em seguida refazer os testes. No entanto, de acordo com Nero (2005) se o valor da tendência detectada for inferior ao Erro Padrão definido pela norma brasileira não é necessário para a Cartografia removê-la, pois não representa um “erro” significativo.

4.2 Efeito visual do georreferenciamento

O efeito do georreferenciamento pode ser observado visualmente por uma feição da base cartográfica sobreposta ao MDE da SRTM (**Figura 3**)

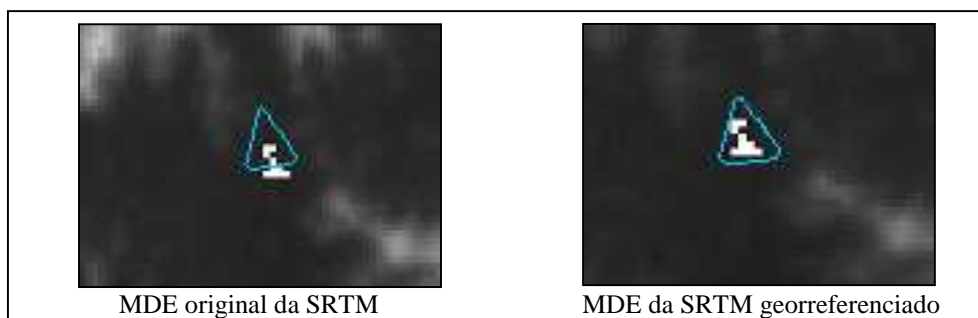


Figura 3 - efeito do georreferenciamento aplicado ao MDE da SRTM – melhor ajuste da feição

Este efeito foi possível de visualizar devido a uma feição que pôde ser definida na imagem: o Lago de Tratamento de Água, pois os pixels referentes ao Lago apresentaram valores de “nodata” evidenciando sua posição. Observando a **Figura 3** nota-se, claramente que após o georreferenciamento do MDE da SRTM à base cartográfica de referência houve um melhor ajuste da feição representando o Lago da de Tratamento de Água à sua posição real.

5. Conclusão

Diante dos resultados obtidos quanto à qualidade altimétrica do modelo digital de elevação da SRTM conclui-se que o georreferenciamento local deste MDE é uma alternativa para melhorar sua qualidade altimétrica, pois o MDE original da SRTM apresentou qualidade geométrica compatível com a escala 1:250.000 Classe A, possibilitando a geração de curvas de nível com equidistância de 100 metros e após o georreferenciamento à base cartográfica digital do Município de São José na escala 1:2.000, este MDE passou a apresentar, segundo os testes de qualidade cartográficas aplicadas, qualidade geométrica referente à escala 1:50.000 para a Classe B. Isto significa que houve uma melhora da ordem de cinco vezes na sua qualidade geométrica, após o georreferenciamento, permitindo a geração de curvas de nível de 20 em 20 metros.

Como os testes foram realizados para uma pequena área do Brasil, recomenda-se que antes de usar o Modelo Digital de Elevação da SRTM em qualquer outra região, seja avaliada a sua qualidade geométrica, pois o Modelo Digital de Elevação pode apresentar escalas distintas dependendo principalmente da condição do relevo da área de interesse.

Por último, os resultados obtidos nesta pesquisa permitem indicar os dados da SRTM georreferenciados a uma base cartográfica, (ou na ausência de base cartográfica, georreferenciar o MDE da SRTM usando pontos de campo, uma vez que é bastante comum a ausência de bases cartográficas em escala grande em países em desenvolvimento) para suprir a carência de informação altimétrica em mapas de escalas até 1: 50.000, visando a geração de curvas de nível com equidistância de 20 metros. Conclui-se que os dados da SRTM podem ser um instrumento valioso para auxiliar na obtenção da altimetria para o Mapeamento Sistemático Nacional no Brasil, seja para escala 1:250.000 (a partir dos dados originais da SRTM) e para escala 1:50.000 (MDE da SRTM georreferenciado).

Referências

- BRASIL. Decreto-Lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasília, Diário Oficial da União, 1984.
- Galo, M.; Camargo, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: 1º COBRAC, 1994, Florianópolis. **Anais...Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, Florianópolis, 1994. Cd-Rom.
- GT-CADASTRO/FEESC/UFSC. Leitura da cidade de São José, SC (Tendências e Potenciais). Florianópolis, 2004, 337 p, mapas (92) - Projeto de Revisão do Plano Diretor de São José – SC.
- Merchant, D. C. Spatial accuracy standards for large scale line maps. In: American Congress on Surveying and Mapping, v.1, 1982. Technical Papers of the American Congress on Surveying and Mapping, 1982.
- Nero, M. A. **Proposta para o controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional**. (2005) Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- USGS. United States Geological Survey. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**. 2005.<<http://edc.usgs.gov/products/elevation/srtm>>. Acesso em Janeiro de 2005.