

AValiação DA QUALIDADE DOS DADOS ALTIMÉTRICOS DERIVADO DO SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHIC MISSION (SRTM): Resultados Preliminares

Marcio Colares de Lemos¹
Sergio Florencio de Souza²
Ronaldo dos Santos da Rocha³

^{1,2,3}Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Geociências – Departamento de Geodésia, Curso de Engenharia Cartográfica. Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - Rs – Brasil; Cep: 91501-970 caixa postal: 15001. (mcdelemos@hotmail.com, sergio.florencio@ufrgs.br, ronaldo.rocha@ufrgs.br)

RESUMO

Até recentemente, a avaliação da qualidade dos dados altimétricos existentes nas cartas topográficas em médias escalas, era uma tarefa complicada. Não se dispunha de outras técnicas, além da fotogrametria, que possibilitasse a determinação da altimetria. Atualmente, a determinação de modelos topográficos evoluíram consideravelmente, uma constatação desta evolução é o mais recente modelo topográfico digital global disponibilizado para a comunidade internacional, denominado de SRTM (*SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHIC MISSION*). O SRTM apresenta uma resolução espacial de 30 metros, mas os dados fornecidos para a América do Sul foram reamostrados para a resolução aproximada de 90 metros. A importância de se determinar modelos topográficos de alta resolução é que esses se tornaram essenciais nos estudos de Geodésia, Geofísica, Geologia, Hidrologia, Ecologia, etc. Essas aplicações vão desde a escala global (milhares de quilômetros) até a escala local (dezenas de quilômetro). Modelos topográficos globais, como o SRTM, apresentam resolução compatível com muitas das necessidades destes usuários. Mas, para que esse modelo possa ser utilizado de forma correta, é necessário avaliá-lo. O processo de avaliação foi realizado comparando as curvas de nível geradas pelo SRTM, com as curvas altimétricas existentes nas cartas topográficas. O processo de conversão da carta para o meio digital foi feito através da mesa digitalizadora. Também, foram analisadas as diferenças entre o SRTM e as referências de nível encontradas na região de estudo. Os resultados obtidos demonstraram que para muitas aplicações, o SRTM pode substituir os modelos topográficos digitais obtidos a partir de mapas topográficos na escala 1:250.000.

Palavras-chave: Referencias de nível, cartas topográficas, avaliação de dados altimétricos.

QUALITY ASSESSMENT OF DIGITAL SURFACE MODELS DERIVED FROM THE SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHY MISSION (SRTM): Preliminary Results

ABSTRACT

Until recently, to evaluation altimetric data quality of medium scale topographic maps was a complicated task. Other than photogrammetry, no other techniques were at hand, that could determine altimetry. Currently, topographical model determination has evolved considerably. One way to prove this development is to consider the most recent global digital topographic model offered to the international community, called of SRTM (SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHIC MISSION). The SRTM presents a spatial resolution of 30 meters, but the data that is offered to South America was resampled for an approximate resolution of 90 meters. The importance of determining high resolution topographical models is that such models have become essential to studies in Geodesy, Geophysicist, Geology, Hydrology, Ecology, etc. These applications go from the global scale (thousand of kilometers) to the local scale (tens of kilometers). Global topographical models, like SRTM, present resolutions that are compatible to many of these user's necessities. But, for this model can be used of correctly it, necessarily, has to be evaluated. The evaluation process was done comparing SRTM generated contour lines with existing altimetric lines on cartographic maps. The map to digital medium conversion process was done using a digitalizing tablet. Also, the differences between SRTM

and levelling of the region under study. The results demonstrated that for many applications, the SRTM can substitute digital topographical models that were obtained from 1:250.000 scale topographical maps.

Key words: *levelling, topographic maps, altimetric data evaluation.*

1. INTRODUÇÃO

A determinação da altitude é um problema clássico que remonta aos princípios da geodésia, e por ser o seu conhecimento de fundamental importância no desenvolvimento da sociedade moderna, principalmente no que se refere a obras de engenharia, vem sendo tema para a realização de diversos trabalhos que buscam otimizar os processos para sua obtenção. Os dados altimétricos provenientes de modelos topográficos são imprescindíveis em várias atividades cotidianas (Distribuição de água, Saneamento, Planejamento Urbano). Recentemente, a disponibilização dos dados altimétricos derivados do SRTM provocou um alvoroço na comunidade científica, o principal motivo é a resolução apresentada pelo modelo digital, aproximadamente 30 metros. Anterior ao SRTM, os modelos topográficos globais apresentavam resolução máxima de 1 km, o que limitava a sua utilização. Para contornar esse problema, os modelos topográficos digitais eram obtidos, em sua maioria, a partir da digitalização de cartas topográficas em diferentes escalas, o que tornava o procedimento moroso e a necessidade da utilização de processos de interpolação. Com o surgimento do SRTM, abre-se para a pesquisa, um conjunto de possibilidades, em que esse avanço é devido aos radares que operam na faixa do microondas e por isso apresenta uma grande vantagem de poder adquirir dados independentemente da iluminação solar e de ser pouco influenciados pelas condições atmosféricas, uma vez que a transmitância atmosférica é praticamente inalterada para a faixa de microondas. Esta característica é particularmente interessante para regiões tropicais, onde sensores ópticos sofrem grande restrição devido à alta probabilidade de ocorrência de nuvens. Para contribuir nas aplicações de modelo topográficos digitais globais no Brasil, foram avaliados os dados altimétricos derivados do SRTM, para isso foram feitas comparações entre as altitudes de cartas topográficas e de referências de nível, com as derivadas do SRTM, para uma área selecionada dentro do Estado do Rio Grande do Sul.

2. DADOS

Os dados necessários para a realização deste trabalho podem ser agrupados em três classes: a) cartas topográficas; b) modelo topográfico digital derivado do SRTM; c) Referências de nível (RNs) pertencentes às redes de nivelamento geométrico existente na região.

2.1 CARTAS TOPOGRÁFICAS

Os modelos topográficos existentes no Brasil foram extraídos, em sua maioria, de modelos globais, combinados com dados altimétricos obtidos de cartas topográficas em diferentes escalas. As cartas topográficas podem ser entendidas como modelos analógicos do relevo, pois representam a topografia através de símbolos (curva de nível e pontos cotados), que mesmo sendo representado dessa forma pode ser facilmente interpretado. Os dados altimétricos extraídos das cartas topográficas são tradicionalmente utilizados na avaliação de modelos topográficos globais, como é o caso do SRTM. Utilizando-se dessa técnica, foi selecionada uma região dentro do Estado do Rio Grande do Sul, e o critério para a sua escolha, é a existência de uma topografia bastante diversificada, isto é, áreas de topografia plana e acidentada. A escolha de uma área, que contenha esse tipo de informação, é um fator determinante para uma avaliação consistente do SRTM. O Estado do Rio Grande do Sul apresenta vários locais com essas características, o que permitiu selecionar a área do trabalho, que esta localizada entre as latitudes -28° a -31° e longitudes -54° a -52° . As curvas de nível da base cartográfica na escala de 1:250.000, apresentam-se com uma equidistância de 100 metros. Nesta etapa também foram identificados os pontos cotados, que representam os topos de morros e diferenças de altitude na planície, nos intervalos de 13 a 1004 metros.

Neste trabalho, optou-se por utilizar os dados das curvas digitalizadas, não se fez uso de modelos digitais, pois haveria a necessidade de utilização de interpoladores. A idéia é evitar os erros provenientes dos processos de interpolação, principalmente quando são utilizadas curvas de nível, que não constituem uma distribuição geográfica adequada. O processo de conversão das curvas de nível do meio analógico para o digital foi realizado com o auxílio da mesa digitalizadora. A Figura 1 mostra a distribuição das curvas de nível dentro da área de estudo.

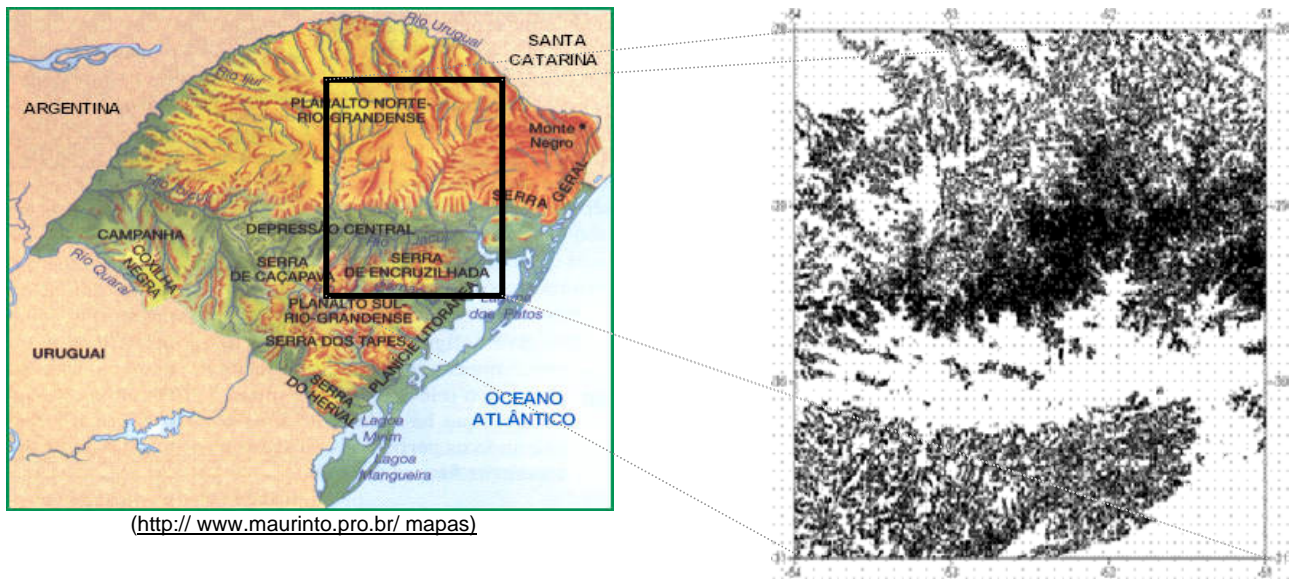


FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO DO TOPOGRAFIA ATRAVÉS DAS CURVAS DE NÍVEL

Na Figura 1, à esquerda, vê-se a representação da topografia do Estado do Rio Grande do Sul, nessa mesma figura, encontra-se o desenho de um retângulo que assinala a área escolhida para a avaliação do SRTM. À direita, é mostrada a representação da topografia através das curvas de nível, obtidas a partir da digitalização das cartas topográficas na escala 1:250.000, existentes na região. Cabe neste momento, tecer alguns comentários sobre a área escolhida: ao norte estão localizadas as maiores altitudes, que variam de 900 a 1.000 metros, decrescendo para 100 metros nas proximidades do vale do rio Uruguai. Na parte central, encontram-se as menores altitudes, denominadas de depressão central, onde esta localizado o rio Jacuí. Na região sul, tem-se uma nova elevação provocada pela presença das Serras da Encruzilhada e Caçapava, formando o Planalto Sul Riograndense.

Nas cartas topográficas 1:50.000, as curvas de nível são representadas por linhas, equidistantes 20m. A cada 5 curvas são desenhadas as curvas-mestras que representam equidistâncias de 100m. As curvas de nível existentes na carta 1:250.000 são obtidas do processo de generalização cartográfica da carta 1:50.000, em que são representadas as curvas-mestras existentes na carta 1:50.000, cujo intervalo é de 100 m. Para amenizar esse efeito, é comum a representação das altitudes por pontos cotados espalhado pelo mapa topográfico. A extensa área em branco no mapa é representada pela curva de 100 metros e por pontos cotados. A baixa resolução da representação altimétrica existente, compromete a determinação de um modelo topográfico digital a partir desses dados. Um resumo dos parâmetros estatísticos obtidos para as curvas de nível existentes na área de estudo, pode ser visto na Tabela 1. Nessa tabela observa-se a presença dos pontos cotados encontrados no mapa, por causa do valor mínimo e máximo da altitude, dentro da área de estudo.

TABELA 1 - RESUMO ESTATÍSTICO DAS CURVAS DE NÍVEL

	H
NÚMERO DE DADOS	438824
MÍNIMO (m)	13
MÁXIMO (m)	1004
MEDIA (m)	371.07

2.2 SRTM (SHUTTLE RADAR TOPOGRAPHIC MISSION)

O *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), resultou do trabalho conjunto realizado pela *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA) e a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), com o objetivo de produzir um modelo topográfico digital de alta resolução para a Terra (NASA, 2004). A missão cobriu certa de 80% da superfície terrestre (compreendida entre as latitudes 60°N e 56°S), com resolução espacial de aproximadamente 1" (30m). O método de aquisição dos dados altimétricos foi a interferometria, que consiste na comparação de duas imagens de radar tomadas de pontos ligeiramente diferentes para obter elevação ou informação de mudanças na superfície. Para realizar este procedimento a nave espacial

Endeavour foi equipada com um mastro de 60 metros. As antenas do radar banda C e banda X foram instaladas no compartimento de carga da nave e na ponta do mastro que se estendia para fora da espaçonave. O processamento dos dados foi iniciado na América do Norte, onde os dados são distribuídos na sua resolução máxima (30m). Para a América do Sul e demais locais da Terra, os dados são disponibilizados com uma resolução espacial de 90m. Esses dados estão disponibilizados para *download* via FTP (<ftp://edcsgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/>), na sua forma bruta. Neste caso, é possível observar a presença de ruídos provocados pela presença de corpos de água e por problemas relacionados à perda do retorno do sinal. Para a remoção desses ruídos é necessária a aplicação de filtros ponderados, que usam os valores das altitudes dos pontos vizinhos. O referencial altimétrico do SRTM é o elipsóide WGS84, em que o modelo terrestre é representado pelo *Earth Geopotential Model 1996* (EGM96). A Figura 2 mostra o modelo topográfico digital derivado do SRTM dentro da área de estudo.

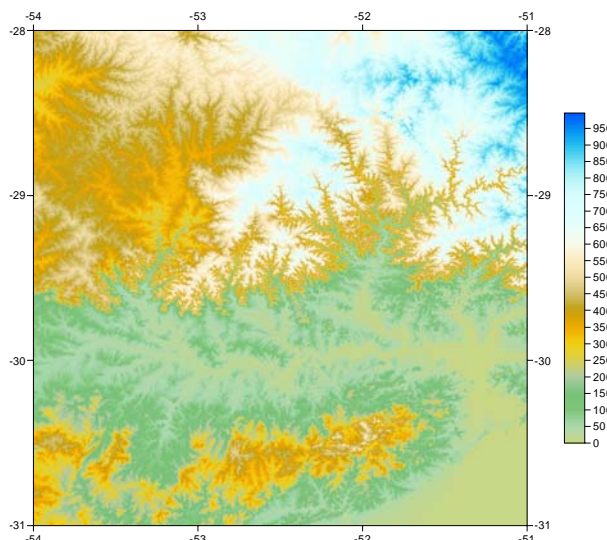


FIGURA 2 - DADOS ALTIMÉTRICOS DO SRTM (unidade: metro)

A Figura 2 mostra o modelo topográfico digital derivado do SRTM para a área do trabalho, comparando com as curvas de nível na Figura 1, nota-se que o modelo apresenta uma resolução maior que as informações existentes nas cartas topográficas, mesmo após a reamostragem. Inúmeras avaliações estão sendo feitas com os dados altimétricos derivados do SRTM, por exemplo (KOCH & HEIPKE, 2001; KOCH, et al., 2002; KOCH & LOHMANN 2000). Na Tabela 2 encontra-se um resumo estatístico dos dados derivados do SRTM para a area estudada.

TABELA 2 - RESUMO ESTATÍSTICO DO SRTM

	H_{srtm}
NÚMERO DE DADOS	12967201
MÍNIMO (m)	0
MÁXIMO (m)	996
MEDIA (m)	327,3

2.3 REFERÊNCIAS DE NÍVEL (RNs)

Em geral, a forma mais eficiente de se avaliar modelos topográficos globais é compará-lo com informações altimétricas provenientes de outras fontes de aquisição. Uma forma pouco explorada, mas que permite uma avaliação direta, é a utilização de referencias de nível. Neste caso, pode-se utilizar o dado altimétrico diretamente, sem a necessidade de artifícios matemáticos que são necessários na geração de modelos digitais. As referências de nível do Estado do Rio Grande do Sul são provenientes dos trabalhos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), desde a década de 40 (IBGE, 1998), para implantação da Rede de Nivelamento Fundamental do Brasil (RNFB). As RNs do IBGE são encontradas na forma de marcos de concreto, com chapa de bronze para a materialização e identificação do ponto, existe também as altitudes dadas em chapas metálicas, chumbadas em monumentos, soleiras de igrejas, plataformas de estações de estradas de ferro, pontes, etc. A Figura 3 mostra a distribuição das RNs

dentro da área de estudo.

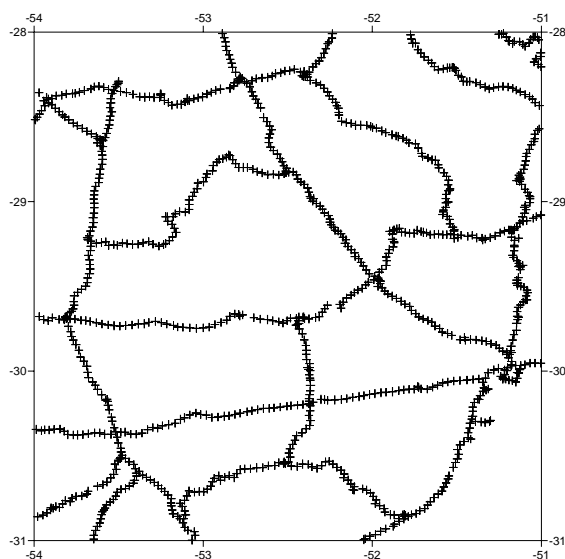


FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO DAS REFERENCIAS DE NÍVEL (RNs)

O resumo dos parâmetros estatísticos encontrados para as altitudes das RNs existentes na área pode ser visto na Tabela 3. Em uma primeira análise dessa tabela, pode-se verificar a variação altimétrica do relevo, o que não é por acaso, conforme foi visto anteriormente. Essa variação da altitude torna possível uma avaliação completa do SRTM, tanto em áreas planas, como em áreas de relevo mais acidentado.

TABELA 3 - RESUMO ESTATÍSTICO DOS DADOS ALTIMÉTRICOS DAS RNS

	H_m
NÚMERO DE DADOS	1056
MÍNIMO (m)	2,651
MÁXIMO (m)	983,329
MEDIA (m)	336,440

3. AVALIAÇÃO DOS DADOS ALTIMÉTRICOS DERIVADOS DO SRTM

A avaliação do SRTM será realizada de duas formas: primeiramente, a partir da comparação das altitudes provenientes de cartas topográficas com as obtidos do modelo SRTM. A seguir, serão avaliadas as diferentes do SRTM com as RNs. A comparação permite verificar a existência de componentes sistemáticas provenientes das diferenças entre as técnicas utilizadas, datum altimétricos, entre outras. Desta forma, a avaliação será feita conforme as expressões seguintes,

$$H_{SRTM} \quad (1)$$

e

$$H_{DADOS} \quad (2)$$

onde H_{DADOS} representa as altitudes provenientes de outras fontes, e H_{SRTM} representa as altitudes interpoladas do SRTM.

Assim, para cada altitude, obtém-se a diferença,

$$\Delta H = H_{DADOS} - H_{SRTM} \quad (3)$$

O conjunto de resíduos constituídos pelas altitudes

$$\Delta H = (\Delta H_1, \Delta H_2, \dots) \quad (4)$$

constitui uma amostra estatística para qual se postula a distribuição normal. A análise estatística dessa amostra permite verificar se (Sá, 1998), a função densidade de probabilidade postulada para a amostra é adequada, os parâmetros populacionais estimados são confiáveis, e os valores obtidos são consistentes com os conhecidos a priori. Portanto, a análise estatística completa dos resíduos, permite testar se a componente sistemática é estatisticamente significativa (Sá, 1988).

3.1 SRTM versus Mapas Topográficos

A metodologia escolhida para avaliação do SRTM foi a comparação com os valores altimétricos extraídos do processo de digitalização das cartas topográficas na escala 1:250.000, com os valores do SRTM. Neste caso, não foi realizada a comparação entre modelos digitais, pois haveria a necessidade de interpolação desses dados. O objetivo principal dessa análise é verificar a compatibilidade entre as informações altimétricas presentes na carta topográfica e no SRTM. A Tabela 4 mostra um resumo estatístico dos valores obtidos para as diferenças entre os dados altimétricos das cartas 1:250.000 da área e o SRTM.

Uma classificação dos resíduos mostra que 78% apresentam valores inferiores a ± 50 m, e 22% restante, estão com valores acima do erro padrão altimétrico para a escala 1:250.000. Os resíduos maiores estão concentrados nas áreas onde a variação de altitude é maior. As causas podem estar relacionadas a problemas com os dados do SRTM, a principal causa é a presença de ruídos provocados pela presença de corpos d'água e a regiões de sombra, e também, a restituição fotogramétrica de curvas de nível nessas áreas, que é um processo de certa complexidade.

TABELA 4 – RESULTADOS OBTIDOS DAS DIFERENÇAS ENTRE AS ALTITUDES DAS CARTAS E DO SRTM

	ΔH ($H_{\text{CARTA}} - H_{\text{SRTM}}$)
NÚMERO DE DADOS	438824
MÍNIMO (m)	-504.060
MÁXIMO (m)	324.809
MÉDIA (m)	-9.858
DESVIO PADRÃO (m)	49.054

A presença de uma componente sistemática na média dos dados pode estar relacionada com o referencial altimétrico definido para cada um dos dados envolvidos nessa avaliação, pois o referencial altimétrico do SRTM é o WGS84. Isto é observado nas altitudes do SRTM, que apresentam valores maiores que os da carta topográfica. O desvio-padrão encontrado está dentro do erro tolerável para esta escala, que é 0,5 da equidistância das curvas de nível, que neste caso é 50 metros. Os parâmetros estatísticos determinados para as diferenças entre as altitudes permitem avaliar alguns aspectos importantes com relação ao SRTM e aos dados utilizados neste trabalho. Estes aspectos são: os resíduos relativamente grandes ocorrem de forma isolada, pois a média e o desvio padrão são coerentes com as características do relevo topográfico da região. Os resíduos mostraram-se coerente para a escala 1:250.000, apesar dessa avaliação ter sido feita com dados pontuais.

3.2 SRTM versus RNs

A avaliação de modelos topográficos digitais, a partir de RNs, é realizada com a comparação das altitudes provenientes das RNs, com as altitudes interpoladas dos modelos topográficos digitais. Há inúmeras técnicas de interpolação que podem ser utilizadas, mas poucas são realmente adequadas quanto à estabilidade numérica, que é um requisito básico para garantir a alta precisão nos resultados de interpolação. As técnicas mais indicadas, geralmente utilizam funções aproximantes locais, formadas por polinômios cujos coeficientes são condicionados para garantir estabilidade da função e de suas derivadas parciais, nos pontos nodais e nas direções dos lados que definem a células de interpolação. A função aproximante expressa por um conjunto de polinômios bicúbicos, vem sendo usada com sucesso neste tipo de interpolação, e será utilizada no cálculo das altitudes dos modelos topográficos digitais. A Tabela 5 mostra um resumo estatístico dos valores obtidos para as diferenças entre as RNs e o SRTM.

TABELA 5 – RESULTADOS OBTIDOS DAS DIFERENÇAS ENTRE AS ALTITUDES DAS RNS E DO SRTM

	ΔH ($N_{RN} - N_{SRTM}$)
NÚMERO DE DADOS	1056
MÍNIMO (m)	-324.129
MÁXIMO (m)	178.788
MÉDIA (m)	-0.9318
DESVIO PADRÃO (m)	23.693

Os resíduos foram agrupados em classes com intervalos iguais, a análise estatística das classes mostra que 97,5 % (1030) dos dados altimétricos, apresentam os resíduos com valores inferiores a 50 m. O 2,5 % (26) restante, apresentam valores superiores ao erro padrão admissível para a escala 1:250.000. A concentração dos dados altimétricos em uma única classe possibilita concluir que os dados do SRTM são compatíveis com as RNs existentes na área. A utilização de referências de nível, como uma técnica para ser usada na avaliação de modelos topográficos digitais, mostrou-se como uma alternativa eficiente. Possibilitando avaliar a compatibilidade entre as altitudes provenientes do SRTM, com as medidas obtidas diretamente da superfície terrestre (RNs). Os parâmetros estatísticos determinados para as diferenças entre as altitudes permitem avaliar alguns aspectos importantes com relação ao SRTM e os dados as RNs. Os resíduos maiores, conforme observados na Tabela 5, estão relacionados com a presença de ruídos no SRTM. O valor da média é próximo a zero, mostrando que a componente sistemática é menor do que no caso anterior, demonstrando uma compatibilidade maior entre as altitudes. Mas, deve-se levar em conta que a quantidade de dados envolvida na análise é menor, também. O desvio padrão mostra-se coerente com as características do relevo topográfico da região, como no caso anterior.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho mostra os resultados preliminares da análise da qualidade dos dados altimétricos derivados do SRTM para uma área dentro do Estado do Rio Grande do Sul. A metodologia utilizada foi à comparação desses dados com os provenientes de outras fontes; para isso, fez-se uso das cartas topográficas e RNs. A primeira análise foi feita com base nas cartas topográficas, os resultados confirmaram a presença de uma componente sistemática, ainda que pequena, e que pode estar relacionada com o referencial altimétrico utilizado no SRTM. Nota-se, que a qualidade dos dados altimétricos derivados do SRTM é muito próxima a existente nas cartas topográfica, conforme os resultados estatísticos obtidos para os dados. A segunda avaliação foi realizada com as referências de nível, e observa-se que a componente sistemática é menor que no caso anterior, o que demonstra uma compatibilidade maior entre os dados avaliados. Em ambos os casos, nota-se a presença de resíduos elevados, a causa esta relacionada a problemas de ruídos existentes nas imagens do SRTM. Por fim, pode-se concluir que o modelo topográfico derivado do SRTM apresenta uma exatidão altimétrica muito próximas às informações altimétricas existentes nas cartas topográficas na escala 1:250.000. Estudos seguintes estão sendo realizados com base nas cartas de escalas maiores, como por exemplo, 1:100.000 e 1:50.000.

5. REFERÊNCIAS

- KOCH A., HEIPKE C. (2001) **Quality Assessment of Digital Surface Models derived from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**, IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, July 9-13, University of New South Wales, Sydney (Australia).
- HEIPKE C., KOCH A., LOHMANN P., (2002) **Analysis of SRTM DTM - Methodology and practical results**, Journal of the Swedish Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Volume (1), Photogrammetry meets geoinformatics, Anders Boberg (Ed.), pp 69-80.
- KOCH A., LOHMANN P. (2000) **Quality Assessment and Validation of Digital Surface Models Derived from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**, Proceedings, ISPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam.
- SÁ, N.C.de. 1988. **Modelos estatísticos e representação integrada do campo de gravidade no Brasil**. Tese de Doutorado, IAG/USP, São Paulo, 240 pp.
- NASA (2004). <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Acesso em 1 de abril de 2004.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seus agradecimentos ao PROBIC-FAPERGS/UFRGS., que financiou essa pesquisa através da concessão de uma bolsa de Iniciação Científica ao primeiro autor desse trabalho.