

AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO DO MDE OBTIDO POR MEIO DO SRTM E PELA DE CARTA DO IBGE NA ESCALA 1:100.000

Evaluation of Accuracy of the DEM obtained by means of SRTM Data and of 1:100,000 Scale's IBGE Map

Edilson de Souza Bias¹
Rômulo José da Costa Ribeiro²
Gustavo Macedo de Mello Baptista¹
José Vicente Elias Bernardi²

¹**Universidade de Brasília – UNB**
Instituto de Geociências
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Caixa-Postal: 4465, Asa Norte - CEP 70910-900 - Brasília, DF
edbias@unb.br
gmbaptista@unb.br

²**Universidade de Brasília – UNB**
Faculdade UnB Planaltina
Área Universitária n.º 1, Vila Nossa Senhora de Fátima - CEP 73300-000 - Planaltina, DF
rjcribeiro@unb.br
bernardi@unb.br

RESUMO

O presente estudo apresenta uma avaliação sobre a exatidão do MDE, gerado a partir dos dados SRTM, tendo como fonte de controle os próprios pontos cotados da carta do IBGE. Para a implementação do estudo proposto, foi utilizada uma carta topográfica, escala 1:100.000 (Carta Brasília - CARTA_COTA), disponível no site do IBGE, em formato raster. A partir dos pontos selecionados da Carta Brasília, foram retiradas as coordenadas e os valores altimétricos para serem comparados com os do MDE (MDE_COTA) e do SRTM (SRTM_COTA). Foi realizado o teste de Shapiro-Wilk e foi demonstrada a normalidade dos dados. Para testar a hipótese nula de que os dados são semelhantes estatisticamente foi aplicado o teste t de *student*, e para a análise de precisão foi realizada a regressão linear múltipla. A aplicação do teste t permitiu aceitar a hipótese nula de que as variáveis são dependentes, ou seja, estatisticamente semelhantes. O resultado da regressão linear múltipla para os três conjuntos de amostras (n=20 e CARTA_COTA como variável independente) mostrou-se altamente significativo, com R² de 0,997 entre MDE_COTA e CARTA_COTA e 0,824 entre SRTM_COTA e CARTA_COTA. Enfim, os resultados demonstraram a compatibilidade dos produtos MDE_COTA e SRTM_COTA com a escala de trabalho proposta no presente estudo, ou seja, 1:100.000 e menores.

Palavras chaves: MDE, SRTM, Carta Brasília, Pontos Cotados, Precisão.

ABSTRACT

This study presents an evaluation of the accuracy of the DEM, generated from the SRTM data, with the source of control the precise elevation points in the IBGE topographic map. For this, we used a topographical map, scale 1:100,000 (Carta Brasília – CARTA_COTA), available at the IBGE site, in a raster format. For each point we collect the geographical coordinates and the altimetric values to be compared with the DEM (MDE_COTA) and the SRTM (SRTM_COTA). The Shapiro-Wilk test was used and the data normality was proved. For test de null hypothesis that the variables are statistically similar was applied the student t test, and for the analysis of accuracy was used multiple linear regression. The t test allowed to accept the null hypothesis that the variables are dependent, i.e., statistically similar. The result of multiple linear regression for the three sets of samples (n=20 with CARTA_COTA as an independent variable) showed to be highly significant, with R² de 0.997 between MDE_COTA and CARTA_COTA and 0.824 between SRTM_COTA and CARTA_COTA. Finally, the results demonstrated the compatibility of products MDE_COTA and SRTM_COTA with the work's scale proposed on this paper, i.e., 1:100,000 and smaller.

Keywords: DEM, SRTM, a Brasilia Chart, Precise Elevation Points, Precision.

1. INTRODUÇÃO

A geração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) tem sido facilitada a partir da disponibilização dos dados do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), gerados pelo projeto cooperativo entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*), DLR (*German Aerospace Center*) e ASI (*Advanced Study Institutes* da OTAN).

Esses dados foram obtidos a partir de uma antena modificada especialmente para atuar no ônibus espacial Endeavour, durante uma missão de 11 dias em fevereiro de 2000. Inicialmente, os dados foram obtidos com resolução espacial de 30 m, porém, a exceção dos dados sobre território norte-americano, eles são disponibilizados com resolução de 90 m.

Vale ressaltar que antes da disponibilização desses dados os modelos já eram construídos utilizando-se os dados de altitude de relevo disponibilizados pelas cartas planialtimétricas ou por dados com resoluções da ordem de 1km como os do projeto GTOPO30.

A partir de então, foram abertas novas perspectivas para a obtenção rápida de dados necessários ao desenvolvimento de modelos altimétricos. Esse projeto e os produtos provenientes dele geraram grande expectativa nos diversos segmentos científicos que atuam na manipulação de dados cartográficos no Brasil, especialmente pela grande desatualização das cartas topográficas planialtimétricas, atualmente disponíveis.

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de demonstrar as aplicações dos dados SRTM, como, por exemplo, os de Crepani e Medeiros (2004), Santos *et al.*, (2006), Barros *et al.*, (2005) e Valeriano (2004). Todos esses estudos podem ser compreendidos como valiosas contribuições, inseridas no presente estudo, que busca apresentar uma avaliação sobre a precisão do MDE, gerado a partir dos dados SRTM, tendo como fonte de controle os próprios pontos cotados da carta do IBGE.

2. REVISÃO DA LITERATURA

De acordo com Barros *et al.* (2005), SRTM não é o nome de um satélite, mas de uma missão espacial liderada pela NASA e agências espaciais da Alemanha e Itália. Corresponde a um radar (SAR – Radar de Abertura Sintética) a bordo do Ônibus Espacial Endeavour, que adquiriu dados sobre mais de 80% da superfície terrestre, nas bandas C e X e fazendo uso da técnica de interferometria.

Jarvis *et al.* (2004) desenvolveram cinco estudos de caso que são apresentados, progressivamente, visando avaliar os dados SRTM. Dentre as avaliações, destacamos a realizada em Honduras e Equador para comparar o DEM desenvolvido a partir do SRTM e o gerado pelo GTOPO30, que representa uma compilação de várias

fontes de dados de altitude. Comparando as duas fontes de dados no Equador, os autores verificaram que grandes áreas onde, por falta de dados o GTOPO30 realizou uma interpolação, usando dados de áreas vizinhas, os dados do SRTM são mais precisos.

A análise realizada em Honduras foi efetuada com a comparação do DEM gerado pelo SRTM e pelos dados de uma carta na escala 1:50.000. Os resultados deste estudo demonstram que caso o DEM SRTM é mais preciso que o derivado da carta de 1:50.000, comparados com a medições baseada em dados de campo obtidos por GPS. O DEM SRTM apresentou um erro médio de 8 m contra 20 m para o DEM obtido por meio dos dados da carta de 1:50.000. Finalmente, os autores concluíram que o DEM gerado a partir do SRTM permitia observar mais detalhes da rugosidade superficial do terreno do que o DEM desenvolvido a partir da base cartográfica (JARVIS *et al.*, 2004).

Um dos estudos mais completos sobre a missão SRTM foi desenvolvido por Farr *et al.* (2007). Os autores efetuaram avaliações a cerca dos seguintes pontos: necessidade de uma topografia global; origem do SRTM; programa de mapeamento; objetivos, requisitos e desempenho; desenho da missão e arquitetura; processamento de dados; demonstração de aplicações para geomorfologia e hidrologia.

Outro estudo foi desenvolvido por Oliveira e Paradella (2008) avaliando a potencializada de geração de dados altimétricos para mapeamento topográfico a partir dos dados RADARSAT-1, SRTM e ASTER na Serra de Carajás (relevo montanhoso) e Floresta Nacional de Tapajós (relevo plano). Os autores concluíram que, para o relevo plano, a precisão altimétrica do DEM do SRTM e do RADARSAT-1 atendiam ao PEC definido para a escala 1:100.000. No entanto, para o relevo montanhoso, apenas o SRTM e ASTER atendiam aos padrões exigidos.

De acordo com Santos *et al.* (2006), citando (TOUTIN e GRAY, 2000) as técnicas de interferometria de radar são métodos alternativos ao método estereoscópico tradicional de extração de informações altimétricas, utilizando as propriedades do SAR e do processamento digital dessas imagens.

Vale ressaltar que a utilização de um sistema sensor SAR é uma escolha bem acertada, por ser sistema sensor ativo imageando mesmo sem a presença de luz solar e na região das microondas sem sofrer as interferências, por exemplo, do espalhamento não seletivo das nuvens.

Com relação à escala de trabalho a ser utilizada com dados SRTM, estudos realizados por Fernandes da Silva e Candeias (2006) demonstram que esse tipo de dado é muito valioso e pode auxiliar em diversos projetos com escalas menores que 1:100.000.

Ainda de acordo com Barros *et al.* (2005), a obtenção do MDE normalmente é realizada a partir da digitalização das curvas de nível e pontos cotados, oriundos das bases cartográficas oficiais. Porém, o advento do SRTM possibilita, além das análises

topográficas, também a aplicação para ortorretificação de imagens de sensores de alta ou média resolução (BIAS, 2003), se observada a escala e a precisão exigida. Outro aspecto que torna os dados SRTM atrativos é o fato de estarem disponíveis de forma gratuita para downloads via internet.

Outra vantagem discutida por Barros *et al.* (2005) dos dados SRTM é que o uso da interferometria para o cálculo da altitude, apresenta maior acurácia, se comparada com a técnica tradicional da estereoscopia.

Santos *et al.* (2006) informam que os dados SRTM, disponibilizados para a América do Sul via internet (USGS, 2003), são organizados no formato de 1° por 1° e identificados pelas coordenadas latitude e longitude do canto inferior esquerdo (sudoeste) e as elevações são representadas em metros sem casas decimais e referenciadas para o Datum Vertical WGS-84. Cada arquivo contém 1201 linhas e 1201 colunas e as linhas e colunas das extremidades dos modelos sobrepõem-se e são idênticas às linhas e colunas das extremidades dos modelos adjacentes.

Os estudos e análises desenvolvidos por diversos autores, entre quais destacamos Heipke *et al.* (2002), Rao (2004), indicam que podem ser atingidas precisões melhores do que as estimadas antes do início da missão SRTM. Heipke *et al.* (2002) estimam em até 6 metros o erro vertical. Para atingir tais metas, os dados devem ser processados a fim de se eliminar imperfeições do sistema, tais como valores espúrios próximos ao litoral e alguns vazios no continente, referentes a áreas de sombra, além da dispersão do sinal em superfícies com água.

Rao (2004), em experimentos de campo, encontrou erros menores que 5 metros na vertical e de 2 a 3 pixels na horizontal, o que chama a atenção para a necessidade de validação também para a possibilidade de deslocamentos dos dados.

Os resultados obtidos por Barros *et al.* (2005) chamam a atenção dos usuários quanto ao uso dos dados SRTM, indicando que os mesmos não devem ser efetuados de maneira indiscriminada, em razão das imperfeições por eles apresentadas em trabalhos que exigem precisão e rigor altimétrico.

Fernandes da Silva e Candeias (2006), dentre as conclusões obtidas, demonstram que trabalhar com resultados interpolados no terreno melhora bastante na

visualização 3D final, mesmo sem a eliminação do ruído da imagem.

Com relação à utilização dos dados SRTM e as suas variações altimétricas, o estudo realizado por Santos *et al.* (2006) apresentou conclusões interessantes, quanto à sua utilização em áreas com baixas variações de altitude. Eles recomendaram a continuidade de estudos em outros contextos, com análises estatísticas aplicadas na análise dos resultados.

Os dados SRTM podem ainda ser utilizados na geração de isolinhas, para uma superfície que represente a altimetria do terreno com os respectivos valores altimétricos, (CREPANI e MEDEIROS, 2004).

De acordo com Boichichio *et al.* (1979), o grau de precisão da cartografia é limitado a um nível pré-determinado, o qual é representado, no documento cartográfico, pelo método de levantamento, pela escala, pelo grau de detalhamento e pela sua forma de apresentação.

Da avaliação proposta entre os dados SRTM e MDE, gerado a partir de uma carta, Santos *et al.* (2006) concluíram que o MDE gerado a partir do SRTM apresentou melhores resultados altimétricos quando comparado ao MDE gerado a partir da carta para a escala de 1:100.000. O MDE do SRTM, na comparação com o conjunto de pontos de controle estático, apresentou um índice de acerto de 100 % em relação à tolerância vertical.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo se baseou inicialmente na obtenção dos produtos cartográficos necessários – Carta Brasília, escala 1:100.000. A aquisição da carta foi efetuada na página do IBGE na internet (www.ibge.gov.br), em meio digital, modelo raster, e posteriormente georreferenciada com os parâmetros constantes na própria carta (Datum Vertical: SAD69, Zona 23S) e vetorizada por meio do módulo ArcSCAN, disponível na plataforma do software ArcGIS. A vetorização utilizada foi desenvolvida de forma semi-automática, permitindo ao técnico a intervenção nos momentos em que o software encontrava dificuldades no encaminhamento da vetorização de uma curva, em função da tolerância definida (Figura 1).

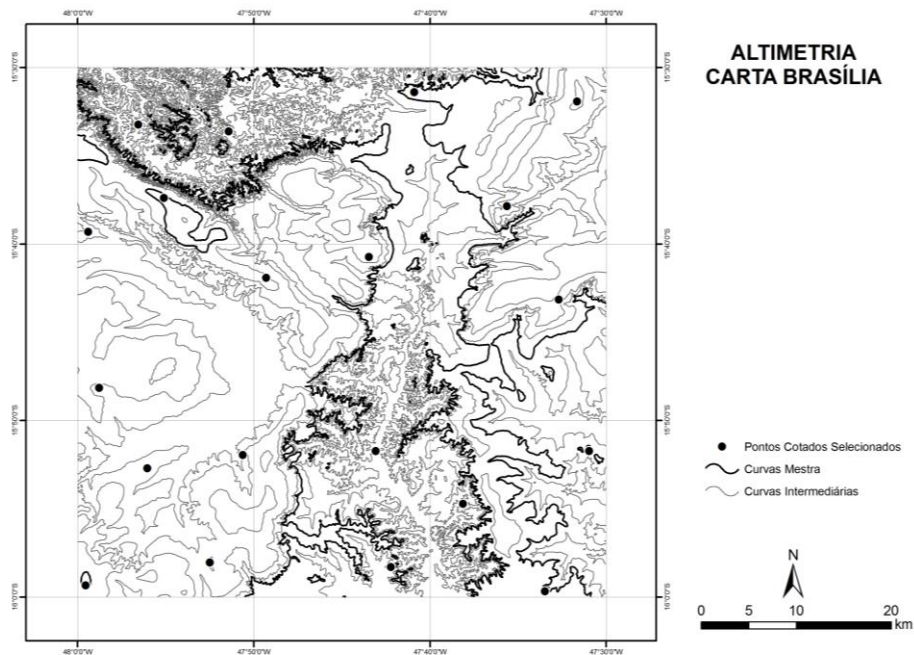


Figura 1 – Curvas de Nível vetorizadas a partir da Carta Brasília - Raster.

Paralelamente, foi realizada a obtenção dos dados SRTM, a partir do site <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp> referente à região da Carta Brasília, a qual possuía Datum Vertical: WGS 84. O datum do dado SRTM foi convertido para SAD 69, Zona 23S, para que ele ficasse compatível com os dados da Carta Brasília, de forma a uniformizar os dados utilizados, reduzindo distorções entre o mesmo ponto nas duas representações (Figura 2).

Salienta-se que o MDE da missão SRTM, utilizado nesse estudo é o SRTM3, devido ao fato de os dados terem sido obtidos por meio de um MDE interferométrico de grade de 3arcos-segundo por 3 arcos-segundo (90 m x 90 m) e não SRTM, pois este se refere ao DEM de elevada resolução espacial com grade de 1 arco-segundo por 1 arco-segundo (30 m x 30 m) de uso restrito e não avaliado no presente estudo.

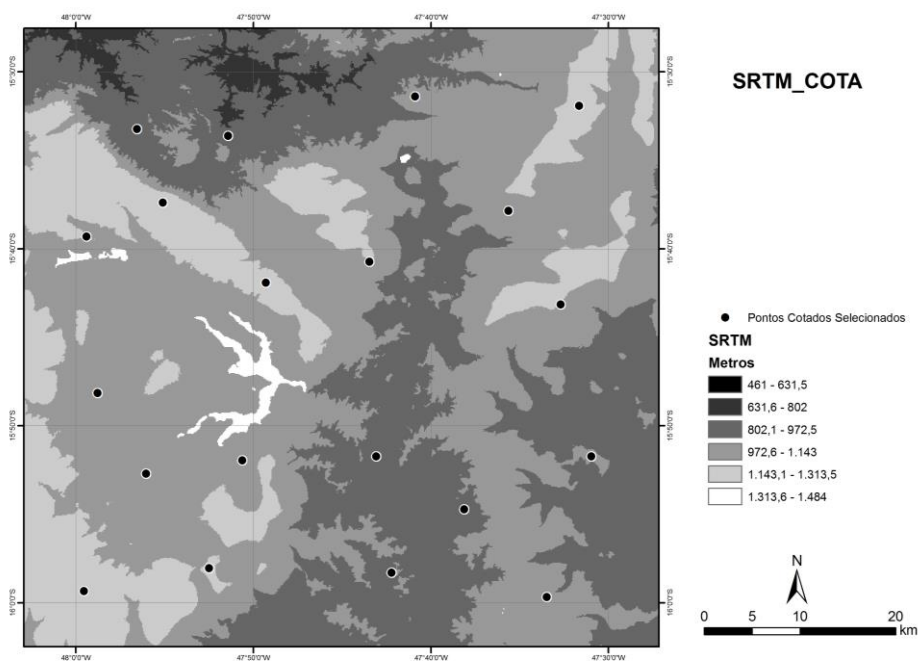


Figura 2 – MDE obtido a partir de dados SRTM

Posteriormente à vetorização das curvas de nível, foi gerado o modelo “*TIN – Triangular Irregular Network*”, utilizando-se as ferramentas do módulo

“*Spatial Analyst*” do Software ArcGIS, e a seguir, gerado o MDE – Modelo digital de Elevação (Figura 3).

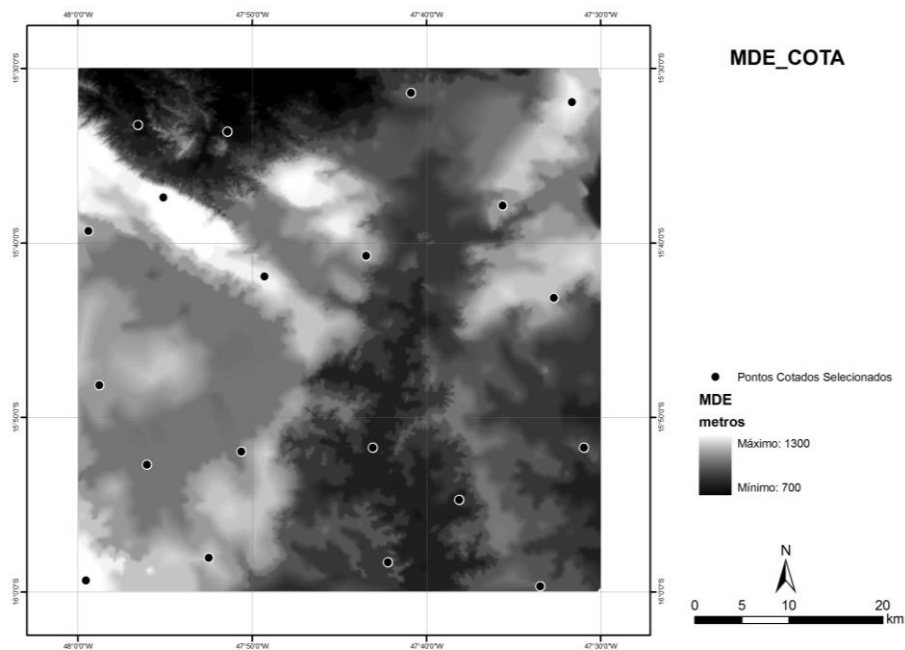


Figura 3 - MDE da Carta

Seguindo os procedimentos metodológicos, foram selecionados todos os pontos cotados da Carta Brasília (201 pontos cotados), por meio de ferramenta de seleção disponível do software ArcGIS.

Como os pontos de controle seriam utilizados para avaliação da precisão dos modelos digitais, realizou-se a seleção amostral aleatória dos pontos cotados a partir da definição do tamanho mínimo da amostra, com erro amostral tolerável definido em 5%.

Foram definidos, por sorteio, como amostra mínima, 20 (vinte) pontos de controle, para avaliação da precisão entre os dois modelos, o SRTM e o MDE.

Na seqüência foram obtidos da Carta Brasília as coordenadas e os valores altimétricos que seriam utilizadas para avaliação dos dados SRTM e do MDE. Os valores do SRTM foram chamados de SRTM_COTA; os do MDE, MDE_COTA; e os da Carta Brasília, CARTA_COTA.

De posse dos valores altimétricos da Carta Brasília, do MDE e do SRTM, foram aplicadas as análises estatísticas (média e desvio padrão, teste de Shapiro-Wilk para análise de normalidade, teste t de *student*, além da análise de regressão linear múltipla).

Para a definição dos testes a serem aplicados, procedeu-se inicialmente com a análise da normalidade dos dados, pois assim pode-se definir o uso de testes paramétricos ou não paramétricos. Utilizou-se o teste Shapiro-Wilk para testar a hipótese nula que as amostras têm distribuição normal. Esse teste é recomendado quando se possui uma amostra pequena, a hipótese nula

é aceita quando se obtém um valor altamente significativo para o *p-value*.

A partir da verificação da normalidade dos dados, partiu-se para a aplicação de teste paramétrico t de *student*.

Para análise da precisão utilizou-se a análise de validação cruzada por meio de regressão linear múltipla, que utiliza o Coeficiente de Determinação Múltipla Ajustado (R^2_{ajust}), que representa a proporção da variação da variável dependente que pode ser explicada pelo conjunto de variáveis independentes (LEVINE *et al.*, 2005).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionadas as amostras mínimas (20 pontos de controle) na CARTA_COTA, no MDE_COTA e no SRTM_COTA. Após, calculou-se a média e o desvio padrão para as amostras, conforme pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 – Estatística básica das amostras

Fonte de Dados	Média (m)	SD
CARTA_COTA	1078,70	±112,97
MDE_COTA	1076,01	±112,57
SRTM_COTA	1064,10	±110,55

Pode-se notar, a partir dos desvios-padrão, que a amostra da CARTA_COTA apresenta maior variabilidade em torno da média e que o SRTM_COTA

apresenta a menor variabilidade. Porém, as diferenças não são significativas.

Salienta-se, porém, que o valor médio obtido para o SRTM é inferior a 12 e 14 metros quando comparado à média da CARTA_COTA e do MDE_COTA, respectivamente.

O passo seguinte foi testar a normalidade dos dados. Como o teste t de *student* é um teste de hipótese paramétrico é necessário que as amostras apresentem distribuição normal. Para tal, foi adotado o teste de Shapiro-Wilk. O Quadro 2 apresenta o resultado do teste.

Quadro 2 – Teste de normalidade Shapiro-Wilk

Variáveis	Número de amostras	p-value
CARTA_COTA	20	0.607795
MDE_COTA	20	0.543224
SRTM_COTA	20	0.501286

O p-value utilizado para o teste foi de 0,05 e, como observado, todos os resultados apresentaram valores maiores, o que representa alta significância, permitindo aceitar a hipótese nula de que a distribuição amostral das variáveis é normal. Assim, as hipóteses podem ser testadas por meio de métodos paramétricos e o teste t de *student* foi aplicado para analisar a dependência entre as amostras no presente estudo.

Para teste t, o valor de t calculado para ambos (-1,39909 para SRTM_COTA e CARTA_COTA; -2,081 para MDE_COTA e CARTA_COTA) apresentou-se menor que o de t tabelado (-2,086), e o p-value (0,1779 para SRTM_COTA e CARTA_COTA; -0,0511 para MDE_COTA e CARTA_COTA) maior que o definido ($p < 0,05$) em ambos os testes. Sendo assim, aceitou-se a hipótese nula de que as variáveis são semelhantes estatisticamente.

Na análise da precisão utilizou-se o teste de regressão linear múltipla que apresentou os resultados que podem ser observados no Quadro 3.

Quadro 3 – Valores dos Coeficientes de Determinação Ajustada (R^2_{ajust})

Variáveis	R^2_{ajust}
MDE_COTA	0,997
SRTM_COTA	0,824

O resultado da regressão linear múltipla, para os dois conjuntos de amostras, mostrou-se altamente significativo, uma vez que 99,7% dos pontos (valores altimétricos) do MDE_COTA e 82,4% dos pontos do SRTM_COTA podem ser explicados a partir das cotas altimétricas da CARTA_COTA (variável independente).

O coeficiente mais elevado do MDE_COTA já era esperado, pois ele foi obtido a partir da interpolação das informações altimétricas da CARTA_COTA. Além disso, a diferença de médias e desvios padrão entre os dois era insignificante, o que já não se verifica com os

dados do SRTM_COTA. Por isso, os resultados obtidos nesse estudo contrariam os obtidos por Santos *et al.* (2006).

Salienta-se que a precisão do SRTM para o contexto da Carta Brasília, na escala de 1:100.000 apresenta-se muito elevada, o que permite, no contexto estudado, sua utilização para fins topográficos na escala investigada ou menores.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu concluir que, para a área representada na Carta Brasília, na escala de 1:100.000, tanto o modelo digital de elevações gerado a partir da interpolação dos dados altimétricos da carta, aqui chamado de MDE_COTA, como o gerado a partir dos dados do SRTM (SRTM_COTA), apresentam semelhança estatística quando comparados à Carta Brasília (CARTA_COTA). Isso foi possível a partir da aplicação do teste t de *student*.

Os resultados obtidos a partir da regressão linear múltipla mostraram que os dados apresentam, em relação à variável independente (CARTA_COTA), elevados coeficientes de determinação. O elevado R^2_{ajust} obtido a partir do MDE_COTA, de 0,997, era de se esperar, por ele ter sido obtido a partir de interpolação das informações da CARTA_COTA. Porém, a precisão obtida com os dados SRTM, com R^2_{ajust} de 0,824, também foi alta.

Esses resultados permitem concluir que é possível utilizar os dois modelos digitais de elevação, para estudos altimétricos compatíveis com a escala de trabalho proposta no presente estudo, ou seja, 1:100.000 e menores e na área da Carta Brasília.

Pode-se ainda, a partir desses resultados e com base nas especificações do IBGE (Decreto 89.817/84), definir os produtos (MDE_COTA e SRTM_COTA) dentro dos padrões de exatidão estabelecidos para análise do PEC altimétrico compatível com a Carta Brasília. Isso em decorrência dos coeficientes de determinação obtidos por meio da regressão linear múltipla.

Novos estudos visando à compreensão e as potencialidades altimétricas do SRTM devem ser incentivados em outros contextos topográficos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, R. S.; MADUREIRA CRUZ, C. B.; REIS, R. B.; JÚNIOR, N. A. C.: Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na ortorretificação de imagens Landsat 7 – Área de aplicação: Angra dos Reis – RJ. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril, INPE, p. 3997-4004, 2005.

BIAS, E. de S. Vantagens e limitações das imagens de alta resolução como suporte ao planejamento urbano: O exemplo de Sobradinho – Distrito Federal. **Tese de Doutorado**. UNESP – RC, São Paulo, 280p. 2003.

BOCHICCHIO, V. R.; ONOFRIO, J. C. F.; VIANNA JUNIOR, H. V.; KOEHNTOPP, D.; FERREIRA, W. P.; BEJAR, O. I.G: **Normas regionais para cartografia regional e urbana**. Brasilia: 1979. 251p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. **Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia**. São José dos Campos: INPE, 2004. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/dsr/simeao/Publicacoes/SRTM_Imagens.pdf>. Acesso em: 04 de abril de 2010.

FERNANDES DA SILVA, F.; CANDEIAS, A. L. B. Dados SRTM: Como Utilizá-los? Um Exemplo na Ilha de Itamaracá. **COBRAC 2006**, Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. UFSC Florianópolis 15 a 19 de Outubro 2006.

HEIPKE, C.; KOCH, A.; LOHNANN, P. **Analysis of SRTM DTM – Methodology and Practical**. ISPRS Commission – IV Symposium. Ottawa. 2002.

JARVIS A.; RUBIANO J.; NELSON A.; FARROW A.; MULIGAN M. 2004. **Practical use of SRTM data in the tropics: comparison with digital elevations models generated from cartographic data**, CIAT Working Doc 198, Colombia, 2004, 35 pp.

LEVINE, D. N., STEPHAN, D., KREHBIEL, T. C. e BERENSON, M. L., **Estatística – Teoria e Aplicação Usando o Microsoft® Excel em Português**, Rio de Janeiro, RJ, 3ª. Ed, LTC, 2005.

OLIVEIRA C.G.; PARADELLA W.R. An Assessment of the Altimetric Information Derived from Spaceborne SAR (RADARSAT-1, SRTM3) and Optical (ASTER) Data for Cartographic Application in the Amazon Region, **Sensors** 8, 3819-3829, 2008.

RAO, K. S. **Validation of Digital Elevation Model Derived from Shuttle Radar Topography Mission using GPS Field measurements**. 2004 Site: www.gisdevelopment.net/tecnology/gps/ma03033abs.htm. Acesso:28/02/2009.

SANTOS, P. R. A.; GABOARDI, C.; OLIVEIRA. L. C. Avaliação da Precisão Vertical dos Modelos SRTM para a Amazônia. **Rev. Bras. Cartografia**, No 58/01, Abril, p.101-107. 2006.

FARR, T. G; ROSEN, P. A; CARO, E; CRIPPEN, R; DUREN, R; HENSLEY, S; KOBRICK, M; PALLER, M; RODRIGUEZ, E; ROTH, L; SEAL, D; SHAFFER, S; SHIMADA, J; UMLAND, J; WERNER, M; OSKIN, M; BURBANK, D.; ALSDORF, D. The Shuttle Radar Topography Mission. **Reviews of Geophysics**, 45, RG2004, 2007.

Toutin, T.; Gray, A. L. State-of-the-art of extraction of elevation data using satellite SAR data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 55, n. 1, pp. 13 - 33, 2000.

USGS. **Obtenção dos modelos SRTM**. Disponível em: ftp://edcsgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/South_America. Acesso: 21 de março de 2009.

VALERIANO, M. M. Modelo Digital de Elevação com Dados SRTM Disponíveis para a América do Sul. São José dos Campos, **INPE-10550-RPQ/756**, 72p. 2004.