

Análise da influência vegetacional na altimetria dos dados SRTM em bacias hidrográficas no semiárido¹

Analysys of the influence of vegetation in the altimetry of SRTM data in semi-arid watersheds

Carlos Alexandre Gomes Costa^{2*}, Adunias dos Santos Teixeira³, Eunice Maia de Andrade⁴, Antônio Macílio Pereira de Lucena⁵ e Marco Aurélio Holanda de Castro⁶

Resumo - A topografia evidencia-se como um fator imprescindível no entendimento da dinâmica hidrológica e ambiental. Assim, torna-se fundamental a validação de dados altimétricos obtidos por sensoriamento remoto. Os dados SRTM de elevação são resultado de uma missão orbital por RADAR interferométrico que corresponde à topografia da superfície da Terra, considerando inclusive a influência da vegetação no retorno do sinal. O objetivo deste trabalho é validar os dados SRTM para as condições do semi-árido brasileiro. Para isto foram elaboradas comparações e análise estatística de dados obtidos no campo com GPS diferencial e outras bases de dados referenciais existentes, cartas planialtimétricas DSG/ SUDENE e dados de RN do IBGE em pontos localizados na bacia do rio Jaguaribe situada no semi-árido cearense. Os resultados apresentaram erro altimétrico de aproximadamente 7,0 m com relação aos RNs da bacia. Com uso do DGPS em um relevo plano com baixa declividade e com vegetação de porte baixo os resultados apontam um erro altimétrico de aproximadamente 1,7 m. Conclui-se que, apesar da influência da cobertura vegetal na variação altimétrica, os dados SRTM apresentam-se confiáveis para regiões com vegetação típica do semi-árido.

Palavras-chave - Topografia. Modelo Digital de Elevação. Interferometria de RADAR. Bacia Hidrográfica.

Abstract - Topography is a major factor for understanding hydrological and environmental dynamics. Therefore, validation of the altimetric data obtained by remote sensing is required. SRTM data are a result of an orbital mission by interferometer RADAR, corresponding to the Earth surface topography, also considering the influence of vegetation in the signal. The objective of this work is to validate SRTM data for the semi-arid conditions in Northeast Brazil. The methodology used consists in the comparison and statistical analysis of field data obtained with a differential GPS (DGPS) and other existing data bases such as the DSG/SUDENE topographic maps and level reference points from IBGE in the Jaguaribe basin, located in the semi-arid region of Ceará Federal State. Results present an elevation error of approximately 7 m in relation to the level reference points in the basin. The use of DGPS on a plan relief with very low slopes and vegetation with low height, resulted on an elevation error of approximately 1.7 m. It can be concluded that, despite the influence of the vegetation cover on the altimetric variation, SRTM data are reliable for regions with vegetation type typical of semi-arid regions.

Key words - Topography. Digital Elevation Model. Radar interferometry. Watershed.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 16/09/2009; aprovado em 26/03/2010

Parte da dissertação do primeiro autor apresentada ao Departamento de Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Ceará

²Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí/UFG, Jataí, Brasil, costacag@gmail.com

³Departamento de Engenharia Agrícola/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, adunias@ufc.br

⁴Departamento de Engenharia Agrícola/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, eandrade@ufc.br

⁵Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Fortaleza-CE, Brasil, macilio@roen.inpe.br

⁶Departamento de Eng. Hidráulica e Ambiental/UFC, Fortaleza-CE, Brasil, marco@ufc.br

Introdução

A topografia evidencia-se como um fator imprescindível no entendimento da dinâmica hidrológica e ambiental. Sua determinação é onerosa, tanto economicamente quanto temporalmente, tendo ainda que considerar a dinâmica das transformações ambientais que alteram continuamente essa topografia. Visando obter dados de topografia da Terra em fevereiro de 2000 uma Missão Topográfica por RADAR Interferométrico liderada pela agência espacial americana (NASA) conhecida como SRTM (*Shuttle RADAR Topographic Mission*) (TOUTIN, 1999); (CHIEN, 2000) é lançada para obtenção da topografia digital da Terra. Porém, há a necessidade de validação destes, devido à influência da vegetação no retorno do sinal do RADAR Interferométrico, podendo haver maiores ou menores erros de altitude, dependendo do tipo de cobertura vegetal.

A interferometria de RADAR é um método alternativo ao método estereoscópico tradicional de extração de informações altimétricas (TOUTIN; GRAY, 2000). Bourguin e Baghdadi (2005) e, Ludwig e Schneider (2006) consideram ainda a variação vertical dos dados devido à influência das alturas das árvores, bem como uma ligeira penetração do sinal de radar na banda-C.

Para Miliareisis e Paraschou (2005) na Ilha de Creta na Grécia, topografia bem acidentada e vegetação nos vales de porte alto, o erro médio dos dados SRTM está entre 19 e 25 m. De acordo com Toutin (2002) um erro vertical entre 12 e 20 m é um consenso na precisão MDE extraído a partir de um Radar de Abertura Sintética (SAR). Ludwig e Schneider (2006) observaram um erro médio de 12 m em estudo de validação realizado na Alemanha. De acordo com as especificações da missão SRTM, os modelos digitais de elevação foram produzidos com uma precisão vertical de 16 m, com 90% de certeza (RABUS et al., 2003).

Valeriano e Abdon (2007) evidenciam variações altimétricas em torno de 10 m ou menos, compatível com a altura de dosséis vegetais, que afetam a altimetria SRTM. Em estudos de comparação entre os dados SRTM, DGPS e dados das cartas planialtimétricas feitos em condições de vegetação densa e de porte alto na Amazônia por Santos et al. (2006) verificou-se uma variação de aproximadamente 22 m. E Gesch (1999), nos Estados Unidos, evidenciou a relação linear entre os dados SRTM e DGPS.

A caatinga descrita por Amorim et al. (2005) apresenta grande variação fisionômica, principalmente quanto à densidade e ao porte das plantas. Mudanças em escala local, a poucas dezenas de metros, são facilmente reconhecíveis e geralmente ligadas a uma alteração ambiental claramente identificável, como desmatamento

ou queimadas, por exemplo. Além disso, Ramirez et al. (2006) verificaram correlação positiva entre a altura e a classe de vegetação em condições de áreas sem a realização de podas nas árvores. As variações numa escala de regiões, abrangendo milhares de quilômetros quadrados, são menos identificáveis, em virtude dos limites difusos, da causalidade múltipla e da variabilidade local interna a cada uma delas (GONDIM et al., 2008). Neste contexto, este trabalho apresenta uma perspectiva de estudo de caso dos dados de elevação do terreno obtido a partir de dados de RADAR interferométrico para geração de um Modelo Digital de Elevação.

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a acurácia dos dados SRTM para as condições do semi-árido brasileiro, considerando os efeitos do clima na paisagem e da vegetação típica na resposta do sinal do RADAR.

Material e métodos

Na Figura 1 são apresentadas as classes de vegetação obtidas através de trabalho desenvolvido pela Ceará (1994) e as RNs do IBGE na área escolhida para desenvolvimento deste estudo, que é parte da Região Semi-Árida, no Estado do Ceará, na bacia do rio Jaguaribe, delimitada pelos paralelos 4° e 8° S e meridianos 37° e 41° WGr. A escolha desta área é justificada pela disponibilidade de base cartográfica na escala de 1:100.000, disponibilidade de dados SRTM (90 m), vegetação predominantemente de porte baixo nas condições de clima semi-árido fortalecendo a hipótese de baixa interferência na variação altimétrica dos dados SRTM para a região.

As Referências de Nível (RNs) são homologadas pelo IBGE e neste trabalho foram utilizadas como referência altimétrica na comparação com os dados SRTM. Os dados de DGPS também foram utilizados como referência neste trabalho. Na determinação destes pontos desejava-se a identificação de uma área com relevo plano, sem interferência de elevações adjacentes e com uma cobertura vegetal conhecida e de pouca influência na resposta do sinal do sensor do RADAR. Na bacia do Jaguaribe, a região que melhor representa essas condições é o Perímetro Irrigado Jaguaribe Apodi (Figura 2), situado na Chapada do Apodi, local com relevo plano com sistema de cultivo irrigado por pivô central com culturas temporárias de porte inferior a 2,0 m.

Acessou-se as imagens disponíveis para download no site de ftp (file transference protocol - protocolo de transferência de arquivos) da NASA, compactadas em formato ZIP, e seguindo a articulação de folhas de 1° x 1°. Para acompanhar a articulação, os arquivos encontram-se seguindo a seguinte documentação: Cada arquivo contém 1.201 linhas e 1.201 colunas sendo que as linhas

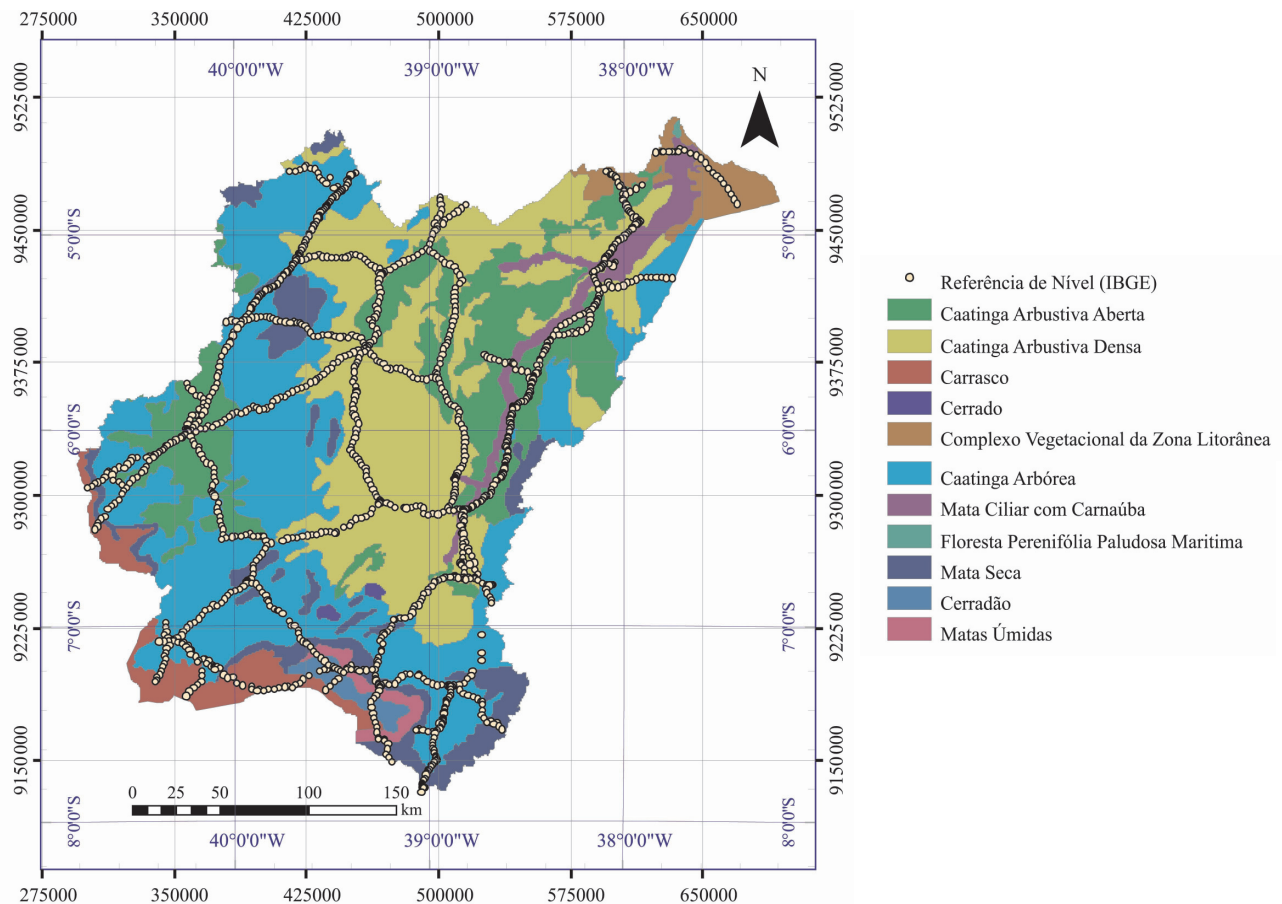


Figura 1 - Localização da área de estudo com ênfase ao mapa de vegetação

e colunas das extremidades dos modelos sobrepõem-se e são idênticas às linhas e colunas das extremidades dos modelos adjacentes (SANTOS et al., 2006). As elevações são representadas em metros e referenciadas para o Datum Vertical WGS-84.

Utilizou-se como padrão de vegetação o levantamento feito pelo convênio FUNCEME/ SEPLAN (CEARÁ, 1994). Essa análise partiu da identificação, caracterização e mapeamento (escala 1:250.000) das unidades fitoecológicas do Ceará, para o que constatou-se a ocorrência de onze unidades, com evidente predominância da caatinga. A vegetação empregada na validação dos dados gerados pela SRTM estão presentes na Tabela 1. Essas informações foram obtidas do mapeamento da Cobertura Florestal Nativa Lenhosa do Estado do Ceará, o qual foi elaborado por Toniolo e Dantas (1994).

Esse levantamento fitoecológico permite a análise da variação dos dados SRTM ante as RNs do IBGE em função da classe de vegetação predominante e em função da classe de altura média do dossel das mesmas.

Avaliação do efeito da vegetação na precisão da SRTM foi obtida dispondo as camadas (layers) na plataforma Arcgis, com os dados altimétricos das RNs do IBGE e da SRTM. Assim, com o mapa de vegetação em uma terceira camada, gerou-se uma tabela com as informações das duas bases de dados de altitude e da classe de vegetação com os pontos homólogos para a Bacia do Jaguaribe. Duas colunas com informações advindas da base original foram adicionadas à tabela. Uma coluna com a variação entre os dados SRTM e as RNs do IBGE, e a outra com as alturas médias da vegetação proposta por Toniolo e Dantas (1994). Com esses dados organizados foi possível avaliar a acurácia vertical dos mesmos.

Para a avaliação estatística dos dados SRTM efetuou-se a Análise de Variância (ANOVA) utilizando o pacote estatístico Sistema de Análise de Variância para Dados Balanceados - SISVAR (FERREIRA, 2000) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para atendimento ao Padrão de Exatidão Cartográfica (BRASIL, 1984) foi avaliado o erro

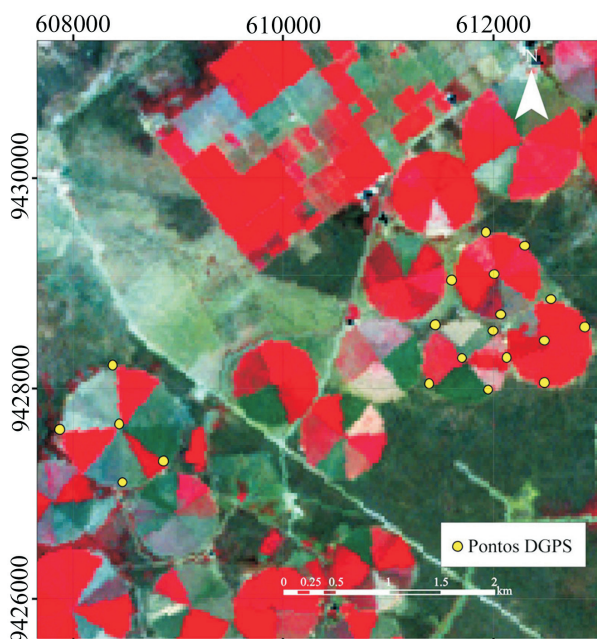


Figura 2 - Imagem Landsat dos pivôs na Chapada do Apodi e pontos com DGPS

Tabela 1 - Altura média das classes de vegetação que ocorrem na Bacia do Jaguaribe

Altura média (m)	Classes de vegetação
3,0	Caatinga Arbustiva Aberta Carrasco
4,0	Caatinga Arbustiva Densa Complexo Vegetacional da Zona Litorânea Floresta Mista Dicotilo-Palmaceae (Mata Ciliar com Carnaúba) Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (Mata Seca)
5,0	Floresta Caducifólia Espinhosa (Caatinga Arbórea)
6,0	Floresta Subcaducifólia Tropical Xeromorfa (Cerradão) Floresta Subperenifólia Tropical Pluvio-Nebular (Matas Úmidas)

Adaptada de Toniolo e Dantas (1994)

altimétrico (dados SRTM – RNs) em função da altura média e classes de vegetação. Com seu respectivo enquadramento em categorias de tolerância ao erro médio quadrático e tolerância vertical.

Com as variações de altitude, ou erros altimétricos utilizou-se o enquadramento do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para análise da acurácia dos dados. Os parâmetros estatísticos de avaliação considerados foram: média, desvio padrão das variações, erro médio quadrático (EMQ) e erro padrão. Além disso, foram analisadas as variações máximas e mínimas com seu respectivo número de dados.

A análise do Erro Médio Quadrático (EMQ) descreve a acurácia vertical de um Modelo Digital de Elevação (MDE) (Eq. 01), englobando erros aleatórios e sistemáticos introduzidos durante a produção dos dados (MILIARESIS; PARASCHOU, 2005).

$$EMQ = \sqrt{\frac{\sum (h - h')^2}{n}} \quad (1)$$

em que:

EMQ = Erro médio quadrático; h = altitude dos dados SRTM (m); h' = altitude da base de dados referencial (m); n = tamanho da amostra

Segundo Banzatto e Kronka (2006), para avaliação altimétrica, o erro padrão (Eq. 02) dá uma idéia da precisão com que foi estimada a média da amostra. Quanto menor for erro padrão da média, melhor será a estimativa da média.

$$Erro_{padrao} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

onde: Erro_{padrao} = Erro padrão (m); σ = desvio padrão dos erros (m); n = tamanho da amostra.

Resultados e discussão

Sendo o solo como meio físico e biológico no qual se desenvolve a maioria das atividades humanas é de fundamental importância informações acerca da sua ocupação e uso em determinada área, tanto no diagnóstico quanto nas recomendações para a melhor forma de utilizar os recursos naturais disponíveis (SOUSA et al., 2007). Assim, a validação dos dados altimétricos SRTM possibilitam uma melhor representação do relevo e consequentemente disponibiliza uma ferramenta que permite um melhor conhecimento dos processos envolvidos neste meio. Os resultados obtidos por meio da Análise de Variância (ANOVA) ao nível de 95% de probabilidade indicam que pelo menos uma das alturas de vegetação influencia a precisão dos dados SRTM. Com relação às classes de vegetação, os resultados obtidos reforçam a existência de pelo menos uma diferença entre as classes de vegetação (Tabela 2).

Tabela 2 - ANOVA dos erros observados por influência da altura e da classe da vegetação

	Causas de variação	gl	SQ	QM	Fc	Pr > Fc
Altura da vegetação	Altura da vegetação	3	4214,30	1404,76	13,70	0,00001
	Erro altimétrico	1229	125975,32	102,50		
	Total corrigido	1232	130189,62			
Classe de vegetação	Classe de vegetação	8	5302,57	662,82	6,49	0,00001
	Erro altimétrico	1224	124887,05	102,03		
	Total corrigido	1232	130189,62			
Média geral = 7,74					N=1233	

gl: Graus de liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrados médios; F: Teste de Fisher; Pr > Fc: probabilidade

Bourgine e Baghdadi (2005) avaliando dados SRTM da banda-C em uma área com floresta densa na Guiana Francesa observaram uma acurácia de aproximadamente 10 m e 18 m para vegetação tipo floresta na Alemanha (LUDWIG; SCHNEIDER, 2006).

A Figura 3 exibe a diferença entre as médias da variação altimétrica com diferença mínima significativa (DMS) igual a 3,1 m para a altura da vegetação e 6,2 m para a classe de vegetação. O erro padrão igual a 0,9 m e 1,4 para altura e classe respectivamente aumenta a confiança em torno da estimativa da média. Em todas as alturas de vegetação os valores médios dos erros foram superiores à altura do dossel. A altura média da vegetação de 6 m apresentou diferenças significativas sobre os outros dosséis. Assim, a vegetação de maior porte contribui mais significativamente para os maiores erros altimétricos da SRTM. A classe de vegetação matas úmidas apresentou diferença significativa em relação a outras classes de vegetação. Por ser tratar de uma vegetação de maior porte e em regiões com maior altitude e com relevo irregular o dossel denso das árvores encobre as irregularidades do relevo.

As Figuras 4 e 5 mostram a relação entre os dados SRTM e os respectivos dados homólogos, das RNs do IBGE bem como os coeficientes lineares “offset”, para as variações de altura média e classes da vegetação para a bacia do Jaguaribe. Para as alturas médias de vegetação de 3 e 4 m, o “offset” observado é menor que suas respectivas alturas médias, apresentando boa consistência entre os dados com relação ao tipo de vegetação predominante na caatinga, com pouca densidade de dossel. A vegetação com altura média de 5 m, composta apenas pela caatinga arbórea apresentou um “offset” razoavelmente superior à altura média da vegetação. A Figura 4 indica a altitude em que este tipo de vegetação tem maior densidade e porte, demonstrando assim a viabilidade dos dados SRTM para auxílio no mapeamento de espécies vegetais. As classes de vegetação de cerradão e matas úmidas com altura média de 6 m apresentam os maiores “offset”, bem

superiores às classes de vegetação apresentadas por Toniolo e Dantas (1994) quanto à altura.

A altura média da vegetação contribuiu para um “offset” com valores de altitude do SRTM superiores às RNs do IBGE em todas as classes de vegetação correspondentes às alturas de 3; 4 e 5 m. Para a vegetação com altura média de 6 m os dados SRTM resultaram em um “offset” inferior aos valores das RNs. Isso pode ser explicado pela profundidade de penetração da onda de RADAR na vegetação. Medeiros et al. (2009) identificaram em um levantamento detalhado a mesma faixa de altura de vegetação que a mapeada por Toniolo e Dantas (1994).

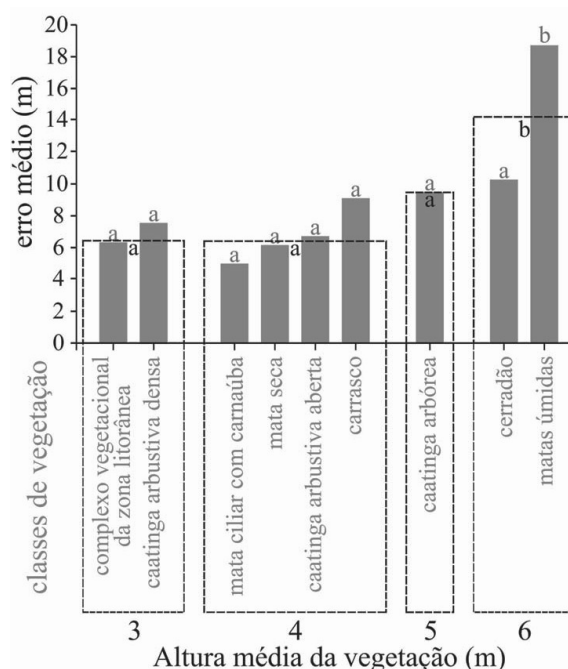


Figura 3 - Comparação entre os erros médios em decorrência da altura e classe da vegetação através do teste de Tukey

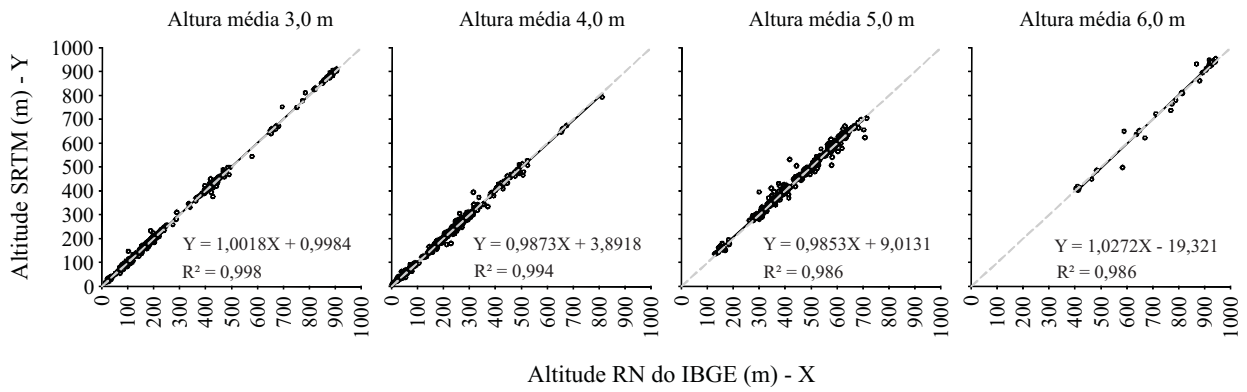


Figura 4 - Dispersão dos dados SRTM e RNs para altura de vegetação com 3; 4; 5 e 6 m

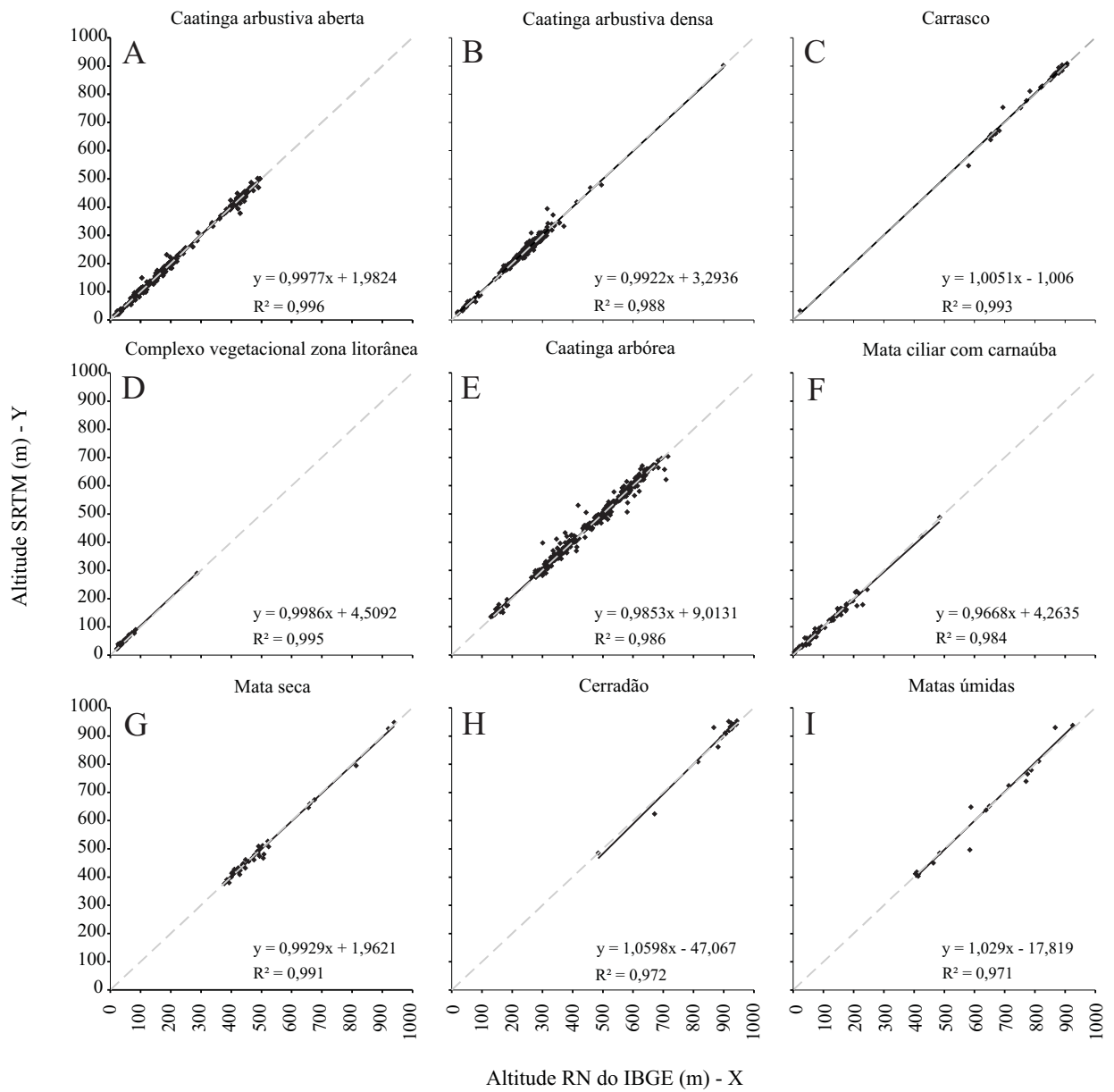


Figura 5 - Dispersão dos dados SRTM e RNs para as classes de vegetação

Nas Figuras 4 e 5 pode-se observar ainda, o coeficiente de regressão para análise da confiabilidade dos dados SRTM. A Tabela 3 mostra o enquadramento dos erros avaliados com base na altura da vegetação segundo o critério de atendimento à PEC através do EMQ e o resumo estatístico dos dados. Os erros identificados referentes aos 3 e 4 m de altura da vegetação foram enquadrados na categoria A do PEC, representando, em relação ao EMQ, boa representatividade dos dados SRTM. Os erros pertinentes à vegetação com 5 m de altura só atenderam à categoria B do PEC. A altura da vegetação com 6 m não possibilitou o enquadramento das variações altimétricas em nenhuma das categorias do Padrão de Exatidão Cartográfica. O erro padrão nas alturas de vegetação de três, quatro e cinco metros foi em torno de 0,5 m, representando uma boa estimativa da média. Entretanto, para a vegetação com seis metros de altura o erro padrão igual a 3,2 m representa possíveis inconsistências na estimativa da média. Apenas os dados provenientes da altura da vegetação igual a seis metros não se enquadram na categoria A do PEC, bem como em nenhuma outra categoria, evidenciando a influência desta classe de vegetação na precisão dos dados da banda-C do SRTM.

Assim, prevalece o critério mais restritivo, que nesse caso é em função da tolerância do erro médio

quadrado, resultando em enquadramento na categoria A, as alturas de vegetação com três e quatro metros; na categoria B, altura da vegetação com cinco metros e seis metros de altura, que não foi enquadrada na PEC. Por se tratar de uma área relativamente pequena e com poucos pontos amostrais, a vegetação com altura média igual a seis metros pode apresentar melhor representatividade e precisão quando forem realizados estudos de comparação altimétrica com um maior número de pontos amostrais.

Com o desmembramento da análise das alturas de vegetação para classes de vegetação proposta por Toniolo e Dantas (1994) obtém-se a interferência de cada classe da vegetação na variação altimétrica dos dados SRTM. Assim, a Tabela 4 mostra o enquadramento dos erros avaliados com base nas classes de vegetação, segundo o critério de atendimento ao PEC através do EMQ e o resumo estatístico dos mesmos. Os dados indicam que caatinga arbórea e cerradão enquadram-se, segundo este critério, na categoria B do PEC. A classe de vegetação matas úmidas não atende a nenhuma categoria do Padrão de Exatidão Cartográfica.

Atenderam à categoria A do PEC, com EMQ como critério de enquadramento, as classes de vegetação:

Tabela 3 - Análise do erro médio quadrado dos pontos do IBGE e SRTM para a bacia do Jaguaribe em função das alturas médias (m)

Altura da vegetação	PEC	EMQ	média	erro padrão	desvio padrão	mín	máx	N
3 m	A	9,9	6,4	0,4	7,6	0,0	59,4	295
4 m	A	12,1	6,4	0,3	7,4	0,0	78,0	458
5 m	B	15,4	9,4	0,5	12,2	0,0	112,6	442
6 m	não atende	24,1	14,2	3,2	19,8	0,3	87,6	38

Tabela 4 - Análise do erro médio quadrado dos pontos do IBGE e SRTM para a bacia do Jaguaribe em função das classes de vegetação

Classes de vegetação	PEC	EMQ	média	Erro padrão	desvio padrão	mín	máx	N
Caat. Arbustiva Aberta	A	9,3	6,2	0,4	6,9	0,0	44,8	256
Caat. Arbustiva Densa	A	9,5	6,1	0,4	7,2	0,0	78,0	312
Carrasco	A	5,1	7,5	1,7	10,9	0,3	59,4	39
Zona Litorânea	A	6,1	4,9	0,8	3,8	0,5	13,2	23
Caatinga Arbórea	B	15,4	9,4	0,6	12,2	0,0	112,6	442
M. Ciliar/ Carnaúba	A	10,3	6,7	0,9	7,9	0,0	51,6	83
Mata Seca	A	12,3	9,1	1,3	8,4	0,1	39,4	40
Cerradão	B	15,7	10,2	2,7	12,2	0,3	47,1	20
Matas Úmidas	não atende	20,6	18,6	6,0	25,4	0,3	87,7	18

caatinga arbustiva aberta, caatinga arbustiva densa, carrasco, zona litorânea, mata ciliar com carnaúba e mata seca. O erro padrão estimado variou de 0,4 a 6,0 m. As classes que apresentam erro médio superior a um, têm amostragem abaixo de 50 pontos.

Utilizando a tolerância vertical como segundo critério de enquadramento do Padrão de Exatidão Cartográfica, obtiveram-se como resultados dos dados SRTM a não inclusão do cerradão nas categorias do PEC e o enquadramento de matas úmidas na categoria B. Diferentemente do resultado do primeiro critério de enquadramento, que usa o erro médio quadrático como parâmetro de inclusão na categoria, a vegetação caatinga arbórea foi agora enquadrada na categoria A. Assim como as classes caatinga arbustiva aberta, caatinga arbustiva densa, carrasco, complexo vegetacional zona litorânea, mata ciliar com carnaúba e mata seca.

Os valores de EMQ (Tabela 5) para a área com relevo plano e baixa influência da vegetação,

como se esperava, foram baixos em relação a outros trabalhos realizados em região com o relevo variado e forte influência da vegetação. Ludwig e Schneider (2006) observaram variação altimétrica de 0,5 a 4,0 m em áreas com cultivo de plantas de pequeno porte. Santos et al. (2006) estimaram EMQ em torno de 7,0 m para dados levantados na Amazônia. Para os Estados Unidos, Gesch (1999) estimou em 3,5 m o EMQ a partir de 13.000 pontos de DGPS distribuídos por todo o país. Neste trabalho, com um erro médio de 1,6 m e precisão muito próxima do padrão sub-métrico, os dados SRTM mostram-se bastantes confiáveis e enquadram-se perfeitamente dentro da categoria A do Padrão de Exatidão Cartográfica. Entretanto, quando comparados com dados de DGPS há uma maior ocorrência de valores positivos dos dados SRTM o que significa uma resposta do sinal anterior ao contato com o solo, como a vegetação é muito baixa, pode-se atribuir esta variação à interferência que o sinal do sensor recebe ao longo de seu trajeto.

Tabela 5 - Análise do erro médio quadrado dos pontos de DGPS e SRTM

Varição	PEC	EMQ	média	erro padrão	desvio padrão	mínimo	máximo	N
SRTM – DGPS	A	1,8	1,6	0,1	0,7	0,1	2,9	20

Aproximadamente 88% dos dados apresentam-se com maior altitude elipsoidal. Segundo Pinheiro (2006) as altitudes medidas com o MDE SRTM são superestimadas, mesmo assim observam-se valores mais próximos da realidade que outras fontes de MDE, como cartas topográficas e GPS de navegação.

Conclusões

1. Conclui-se que, apesar da influência da cobertura vegetal na variação altimétrica, os dados SRTM apresentam-se confiáveis para regiões com vegetação típica do semiárido.
2. Os dados SRTM para a região do estudo apresentam um erro médio de 7,7 m. Entretanto, a classe de vegetação com maior porte apresenta menor acurácia, com erro médio de 14,0 m e vegetação de menor porte erro em torno de 1,8 m. Para a região semi-árida os dados se enquadram nas categorias A e B do Padrão de Exatidão Cartográfica na escala de 1:100.000 exceto a vegetação matas úmidas com altura de 6,0 m que não atenderam a nenhuma categoria do PEC.

Referências

- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. *Revista Acta Botanica Brasilica*, v. 19 n. 03, p. 615-623, 2005.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2006. 237 p.
- BOURGINE, B.; BAGHDADI, N. Assessment of C-band SRTM DEM in a dense equatorial forest zone. *Computes Rendus Geoscience*, v. 337, n. 14, p. 1225-1234, 2005.
- BRASIL. Decreto n.89.817 de 20 de junho de 1984. Dispõe sobre as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 22 jun. 1984.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas de evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 05, n. 01, p. 89-97, 1997.
- CEARÁ. Secretaria do Planejamento e Coordenação do Ceará (SEPLAN). **Projeto Áridas**: grupo de trabalho 1, recursos naturais e meio ambiente. Fortaleza, 1994. 221 p. 2 v.
- CHIEN, P. Endeavour maps the world in three dimensions. *Geoworld*, n. 37, p. 32-38, 2000.

- FERREIRA, D. F. **Sistema de análise de variância de dados balanceados SISVAR**: pacote computacional. Lavras: UFLA/DEX, 2000.
- GESCH, D. B.; VERDIN, K. L.; GREENLEE, S. K. New land surface digital elevation model covers the earth. **American Geophysical Union**, v. 80, n. 06, p. 69-70. 1999.
- GONDIM, R. S. *et al.* Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 12, p. 1657-1664, 2008.
- LUDWIG, R.; SCHNEIDER, P. Validation of digital elevation models from SRTM X-SAR for applications in hydrologic modeling. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 60, n. 05, p. 339-358, 2006.
- MEDEIROS, P. H. A.; ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A. Interception measurements and assessment of Gash model performance for a tropical semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**. v. 40, n. 02, p. 165-174, 2009.
- MILIAREISIS, G. C.; PARASCHOU, C. V. E. Vertical accuracy of the SRTM DTED level 1 of Crete. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 07, n. 01, p. 49-59, 2005.
- PINHEIRO, E. S. Comparação entre dados altimétricos Shuttle Radar Topography Mission, cartas topográficas e GPS: Numa área com relevo escarpado **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 58/1, p. 1-9, 2006.
- RABUS, B. *et al.* The shuttle RADAR topography-a new class of digital elevation models acquired by space borne RADAR. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 57, n. 04, p. 241-262, 2003.
- RAMIREZ, G. M. *et al.* Comparação de dados dos satélites Ikonos-II e Landsat/ETM+ no estudo de áreas cafeeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 04, p. 661-666. 2006.
- SANTOS, P. R. A.; GABOARDI, C.; OLIVEIRA, L. C. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**, n 58/01, p. 101-107, 2006.
- SOUSA, B. F. S.; TEIXEIRA, A. S.; LEÃO, R. A. O.; COSTA FILHO, A. B. Uso do solo da bacia hidrográfica do Alto Piauí através de imagens do satélite CBERS. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 04, p. 327-334, 2007.
- TONIOLO, E. R.; DANTAS, M. J. B. **Mapeamento da Cobertura Florestal Nativa Lenhosa do Estado do Ceará**. Fortaleza: PNUD/FAO/IBAMA/SDU/SEMACE, 1994. 45 p. (Documento de campo, 27).
- TOUTIN, T. Error Tracking of Radargrammetric DEM from RADARSAT Images. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 37, n. 05, p. 2227-2238, 1999.
- TOUTIN, T. Impact of terrain slope and aspect on radargrammetric DEM accuracy. **ISPRS Journal Photogrammetry & Remote Sensing**. v. 57, n. 03, p. 228-240, 2002.
- TOUTIN, T.; GRAY, L. State of the art of elevation extraction from satellite SAR data. **ISPRS Journal Photogrammetry & Remote Sensing**. v. 55, n. 01, p. 13-33, 2000.
- VALERIANO, M. M.; ABDON, M. M. Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 59/01, p. 63-71, 2007.