



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS CERRO LARGO  
CURSO DE AGRONOMIA**

**MARCELO DA LUZ SOARES**

**COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA  
APLICAÇÃO EM MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS**

**CERRO LARGO – RS  
DEZEMBRO/2014**

**MARCELO DA LUZ SOARES**

**COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA  
APLICAÇÃO EM MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso  
Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul,  
como requisito para obtenção do título de Bacharel em  
Agronomia.

Orientador Prof. M.Sc. Mario Sergio Wolski

**CERRO LARGO - RS**

**DEZEMBRO/2014**

SOARES, MARCELO DA LUZ  
COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA  
APLICAÇÃO EM MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS/ MARCELO DA LUZ  
SOARES. -- 2014.  
24 f.:il.

Orientador: Mario Sergio Wolski.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
AGRONOMIA COM ÊNFASE EM AGROECOLOGIA , Cerro Largo, RS,  
2014.

1. MDE ASTER. 2. MDE CARTA. 3. MAPEAMENTO DIGITAL DE  
SOLOS. I. Wolski, Mario Sergio, orient. II. Universidade  
Federal da Fronteira Sul. III. Título.

MARCELO DA LUZ SOARES


**COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA  
APLICAÇÃO EM MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS**


Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador Prof.M.Sc. Mario Sergio Wolski.

Este trabalho de conclusão de curso foi deferido e aprovado pela banca em: 04/12/2024.

BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. M.Sc. Mario Sergio Wolski-UFFS

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Sidinei Zwick Radons-UFFS

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Márcio Antônio Vendruscolo-UFFS

A todos aqueles que de alguma forma colaboraram para a realização deste sonho, tornar-me um Agrônomo.

## RESUMO

Os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) são modelos representativos da superfície terrestre que, dentre as suas inúmeras aplicações, permitem gerar variáveis geomorfométricas fundamentais para explicar a variabilidade de solos em um determinado local. Esses modelos devem ser compatíveis com a escala de mapeamento adotada para se conseguir um melhor entendimento das relações solo-paisagem. O objetivo desse estudo foi avaliar diferentes MDEs (ASTER e modelo derivado da carta topográfica da DSG), para subsidiar a escolha do modelo mais apropriado para fornecer atributos do terreno para utilização em um mapeamento digital de solos na escala de 1:50000. A área estudada foi o perímetro da carta topográfica Carajzinho na escala 1:50000 (folha: SH.21-X-B-VI-1; MI - 2930/1), esta compreende parte dos municípios de São Miguel das Missões, Eugênio de Castro, Entre-Ijuis e Jóia. Situa-se na região fisiográfica denominada Missões, no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Os MDEs foram manipulados em ambiente SIG. A avaliação do MDEs foi realizada a partir da determinação da raiz quadrada do erro médio quadrático da elevação (RQEMQ) conforme o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), e avaliação das características das feições hidrográficas da base de dados original das cartas do IBGE e a drenagem derivada. O MDE CARTA obteve uma melhor representação da superfície do terreno, e pode ser utilizado na obtenção de variáveis geomorfométricas para aplicação no mapeamento digital de solos na região estudada.

Palavras-chave: MDE ASTER. MDE CARTA. Mapeamento Digital de Solos.

## **ABSTRACT**

The Digital Elevation Models (DEMs) are representative models of the earth's surface which, among its many applications can generate core geomorphometric variables to explain the variability of soils in a given location. These models should be compatible with the scale of mapping adopted to achieve a better understanding of soil-landscape relationships. The aim of this study was to evaluate different DEMs (ASTER and model derived from topographic maps of the DSG), to support the choice of the most appropriate model to provide terrain attributes for use in a digital soil mapping in scale 1: 50000. The study area was the perimeter of Carajazinho topographic map in scale 1: 50000 (sheet: SH.21-XB-VI-1, MI - 2930/1), this includes the municipalities of São Miguel das Missões, Eugenio de Castro, Entre-Ijuís and Jóiá. Located in the physiographic region known missions in the northwest of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. The DEMs were manipulated in a GIS environment. The evaluation of the DEMs was carried out by determining the square root of the mean squared error of the elevation (RMSE) as the Cartographic Accuracy Standards (PEC), and evaluation of the characteristics of the hydrographic features of the original database of the letters and the IBGE drainage derived. The DEM LETTER got a better representation of the ground surface, and can be used to obtain geomorphometric for application in digital soil mapping in the study area.

Keywords: DEM ASTER. DEM LETTER. Digital Soil Mapping.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1 OBJETIVO.....	9
1.1.1 Objetivo Geral .....	9
1.1.2 Objetivos Específicos.....	9
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>14</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>23</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Estudos da caracterização morfológica de regiões vêm sendo cada vez mais utilizados para o gerenciamento de atividades agrícolas ou gestão de recursos naturais. Esta aplicação vem associada à modelagem computacional apoiada em geotecnologias.

Modelo digital de elevação (MDE) é um conjunto de dados que levam ao conhecimento do relevo da superfície terrestre, onde a partir destes dados pode-se derivar importantes informações sobre a declividade do terreno, exposição solar e mapeamento da rede de drenagem de grandes áreas. Estas informações derivadas dos MDE's facilita o reconhecimento de áreas propícias a agricultura possibilitando a identificação da distribuição espacial das classes de solos, escolha de culturas, variedades, tipo de mecanização, necessidade de irrigação, estimativa de custos de produção, identificação de áreas de risco de erosão, identificação de áreas de preservação permanente (APP), modelagem hidrológica, entre outras. Representam uma importante fonte de informações para o gerenciamento de atividade antrópicas, sendo uma ferramenta muito útil na busca pela sustentabilidade no que diz respeito à exploração e manutenção de recursos naturais.

Estes modelos, inicialmente, eram produzidos por meio da digitalização de informações topográficas coletados a campo. Recentemente são obtidos por métodos como a estereoscopia orbital e interferometria por radar que representam alternativas mais eficientes para a geração de bases topográficas, pois cobrem áreas extensas em menor tempo.

Este projeto de pesquisa foi realizado no território que abrange uma carta topográfica na escala 1:50.000 na região noroeste do Rio Grande do Sul onde serão integrados e processados em ambiente SIG, dois Modelos digitais de elevação (MDEs): ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) e o modelo gerado pela interpolação das curvas de nível da própria Carta topográfica da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico).

Este projeto avaliou os dados gerados pelos MDE ASTER e originado por meio da Carta topográfica da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico) na escala 1:50000, em termos de precisão vertical. Com isso obteve-se o modelo que melhor simula a superfície real do terreno, de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e Padrão de Acurácia e Precisão de Produtos Cartográficos Digitais (PAP-PCD). Os resultados deste trabalho poderão ser utilizados posteriormente em trabalhos e pesquisas que buscam informações do mapeamento digital da região noroeste do Rio Grande do Sul.

A região noroeste do estado do Rio Grande do Sul é caracterizada pela produção agrícola basicamente familiar ou de pequenas propriedades, porém estas ocupam extensas áreas de terra que possuem um mapeamento de solo incompatível para o planejamento agrícola ou gerenciamento de bacias hidrográficas. Por isso é importante a aplicação do mapeamento digital de solos na escala de 1:50000, sendo para isso necessário a utilização de um MDE que proporcione melhor qualidade na geração de atributos do terreno para modelar a relação solo-paisagem. A escolha desta região se justifica pela carência de informações para o Mapeamento Digital de Solos (MDS), na distribuição espacial classes de solos para a escala 1:50000.

## 1.1 OBJETIVO

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo desse estudo é o de comparar diferentes Modelos Digitais de Elevação (MDEs) para extração de variáveis geomorfométricas que poderão ser aplicadas no desenvolvimento de um mapeamento digital de solos semi-detalhado na escala 1:50000.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Contribuir por meio de um Modelo Digital de Elevação para derivação de covariáveis geomorfométricas para o mapeamento digital de solos da região noroeste do Rio Grande do Sul.

Subsidiar através das informações geradas pesquisas e estudos voltados ao gerenciamento da exploração e manutenção de recursos naturais.

Fomentar a importância deste tipo de estudo para a utilização de MDEs.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Valeriano (2008, p.21), “[...] na forma trivial, modelos digitais de elevação (MDE) são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel [...]”.

De acordo com a norma para especificação técnica para produtos de conjunto de dados geoespaciais (ET-PCDG):

[...] Modelo digital de elevação é um produto cartográfico obtido a partir de um modelo matemático que representa a altimetria, de forma contínua, a partir de dados adequadamente estruturados e amostrados do mundo real, apresentado na forma de modelos contínuos e suavizados (digital do terreno e digital da superfície) ou de modelos contínuos (numéricos de terreno e numéricos de superfície). (ET-CQDG, 2014, p. 5-3)

Para cada ponto planimétrico existe somente um valor de altitude associado a ele, por isso a função geradora do MDE é contínua. Podem ser dividido em duas representações:

- a) Superfície do solo exposto (terreno);
- b) Superfície do solo exposto com os acidentes naturais (vegetação, desastres naturais, etc.) e artificiais (edificações, pontes, cortes e aterros no terreno, etc) localizados sobre ele.

O MDE associado à representação da superfície do solo exposto recebe a denominação geral de Modelo do Terreno, que se adicionado com os acidentes naturais e artificiais localizados sobre ele, é chamado de Modelo de Superfície, conforme distinção proposta por BURROUGH (1986).

Segundo ET-PCDG (2014, p. 5-3), o modelo pode estar representado de maneira suavizada por meio de uma função ou discretizada por intermédio de uma matriz de células. No primeiro caso, (modelo digital) o modelo expresso por meio de uma função matemática suave, já no segundo caso (modelo numérico) ocorre a atribuição de um valor altimétrico para cada célula da matriz representativa do modelo.

Então, para cada modelo geral definido (terreno e superfície) existe modelos digitais e numéricos, respectivamente, sendo 4 (quatro) as formas para apresentação de um MDE relatados pela Norma para especificação técnica para produtos de conjunto de dados geoespaciais ET-PCDG:

a) Modelo Digital do Terreno (MDT), é um produto cartográfico obtido a partir de um modelo matemático que representa o solo exposto, de forma contínua e suavizada, a partir de dados adequadamente estruturados e amostrados da superfície física da Terra.

b) Modelo Digital da Superfície (MDS), é um produto cartográfico obtido a partir de um modelo matemático que representa o solo exposto e os acidentes encontrados acima do solo (edificações, pontes, corte e aterro do terreno, vegetação, etc), de forma contínua e suavizada, a partir de dados adequadamente estruturados e amostrados do mundo real.

c) Modelo Numérico do Terreno (MNT), é um produto cartográfico obtido a partir de um modelo matemático que representa o solo exposto, de forma contínua, a partir de dados adequadamente estruturados (matriz de células) e amostrados da superfície física da Terra.

d) Modelo Numérico da Superfície (MNS), é um produto cartográfico obtido a partir de um modelo matemático que representa o solo exposto e os acidentes encontrados acima do solo (edificações, pontes, corte e aterro do terreno, vegetação, etc), de forma contínua, a partir de dados adequadamente estruturados (matriz de células) e amostrados do mundo real. (ET-CQDG, 2014, p. 5-2)

Segundo, Valeriano & Rossetti (2010).

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) são representações de dados topográficos passíveis de tratamento em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). O processamento destes dados em SIG permite a caracterização do estado e de processos do sistema terrestre em abordagem especializada. (VALERIANO & ROSSETTI, 2010, p. 19)

Segundo Câmara & Queiroz (2008), SIG são compostos de um conjunto de informações formado por um banco de dados, que é manipulado por softwares através de uma interface gráfica para acesso do usuário. Constituem uma ferramenta que proporcionam armazenamento e manipulação de informações da estrutura espacial de um determinado local de estudo, o que auxilia em tomadas de decisões no gerenciamento de ações antrópicas sobre uso dos recursos naturais. É uma ferramenta muito importante para o uso sustentável destes recursos.

Os SIG são muito utilizados na caracterização física de determinadas regiões, como bacias hidrográficas e territórios em estudo. Isto se deve à facilidade do acesso a informações a partir de dados e programas de manipulação confiáveis que são disponibilizados de forma gratuita (BUARQUE ET AL., 2009, p. 91).

Os MDEs atualmente são tecnologias oriundas do sensoriamento remoto, que anteriormente era obtida por técnicas de interpolação utilizando pontos cotados da superfície da Terra (CHAGAS ET AL, 2010, p. 2019).

Apesar de existirem MDE oriundos de diversos tipos de sensoriamento remoto, as curvas de nível ainda representam uma importante base de dados para sua elaboração. Segundo Hutchinson & Gallant (2000), os MDEs podem ser obtidos por várias metodologias, sendo por

interpolação de pontos cotados, curvas de nível e hidrografia, ou aquisição direta através do uso de sensores remotos.

Segundo ET-PCDG (2014, p.5-3), estes são gerados por dados altimétricos obtidos por processos indiretos como a fototriangulação ou geração de grid a partir de curvas de nível e pontos cotados, e processos diretos com medição em campo através de levantamento por LIDAR e/ou RADAR.

A comparação entre MDEs permite conhecer vantagens e restrições do uso de cada um e também proporciona informações sobre o relevo em escala maior, o que não está disponível em cartas topográficas limitando estudos mais detalhados. Também pode indicar possíveis áreas de preservação permanente, áreas que necessitam de manejo conservacionista do solo, identificação da biodiversidade, modelagem hidrológica, ortorretificação de imagens de satélite, avaliação de riscos de desmoronamentos, etc. (MELGAÇO et al., 2005, p. 1220; ALBA et al., 2010, p. 2).

Na avaliação dos MDEs temos que considerar que os erros são inevitáveis, pois representam um processo generalizado de um modelo aproximado de mapeamento da realidade. Portanto, os dados são relativamente imprecisos e dependem do método de coleta utilizado. Ainda assim os modelos são disponibilizados gratuitamente e muito usados sem que se determine a magnitude do erro ou a metodologia aplicada para sua correção (FELICÍSIMO, 1994).

Normalmente na avaliação da qualidade de MDEs utiliza-se confrontar pontos conhecidos de elevação de uma fonte de dados mais acurada e uma amostra de pontos de elevação do MDE produzido. Então se calcula a raiz quadrada do erro médio quadrático (RQEMQ) da elevação para determinar o grau de concordância entre os MDEs.

Esta abordagem pode ocasionar dois problemas: o primeiro ocorre quando são utilizados poucos pontos de amostragens, o outro é que esta metodologia não identifica a fonte do erro. Porém, esta metodologia é muito utilizada na comparação da qualidade de MDEs produzidos de diferentes fontes e métodos de interpolação (WISE, 2000).

Hutchinson & Gallant (2000) propõem a utilização de pontos de referência sem apurada exatidão, e para avaliação usar uma comparação visual entre feições vetoriais derivadas e originais, e análise das bacias.

Modelos digitais de elevação elaborados de acordo com a Norma da especificação técnica para produtos de conjunto de dados geoespaciais possibilitam a geração de dados

passíveis de serem integrados a outros produtos de conjuntos de dados Geoespaciais (ET-PCDG, 2014).

Segundo a ET-PCDG (2014, p. 5-3), para que um conjunto de dados geoespaciais do Serviço Cartográfico Nacional (SCN) do tipo MDE seja aceito como dado de referência subsidiário do mapeamento sistemático e acessório, deve ser avaliado pelo órgão competente da administração pública federal. A ET-PCDG define os intervalos de valores requeridos para que os elementos de qualidade de um produto tenham conformidade positiva e os procedimentos para essa avaliação. Em princípio, os elementos de qualidade definidos para estes produtos na ET-PCDG são os seguintes:

- a) Acurácia Posicional: Acurácia posicional absoluta altimétrica;
- b) Completude: Resolução radiométrica e espacial dentro do especificado;
- c) Consistência Lógica: Consistência de formato do arquivo.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A área total de abrangência do trabalho enquadra-se na carta topográfica (escala 1:50.000) denominada “Carajazinho” (folha: SH.21-X-B-VI-1; MI - 2930/1), esta compreende parte dos municípios de São Miguel das Missões (representando 35,75% da área), Eugênio de Castro (25,37%), Entre-Ijuis (23,99%) e Jóia (14,89%), situa-se na região fisiográfica denominada Missões, no noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 01).

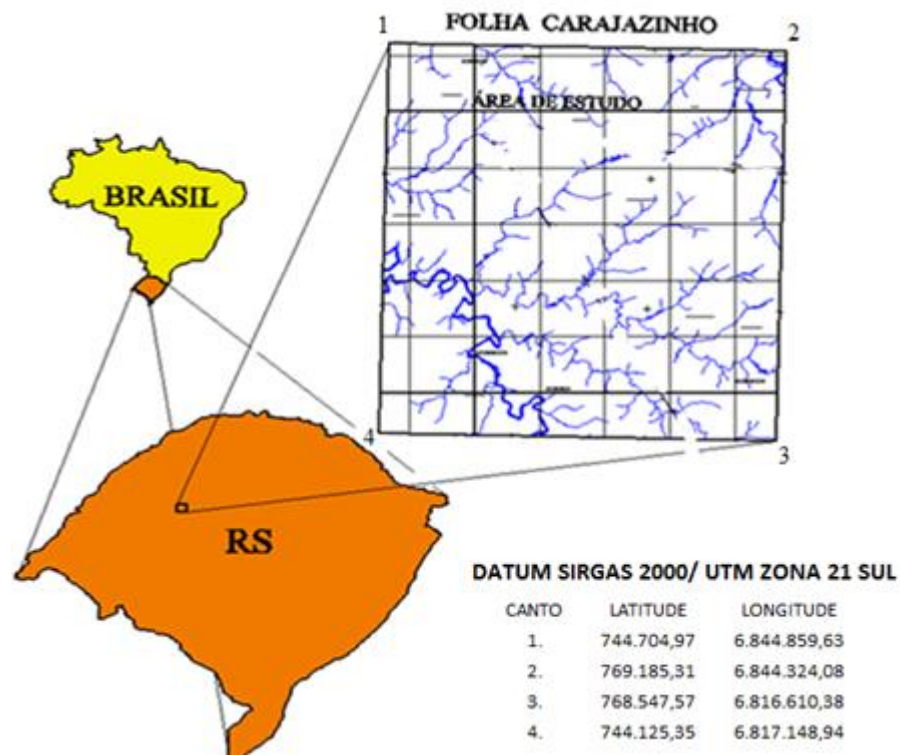


Figura 1 – Mapa de localização da carta topográfica carajazinho.

Este trabalho faz uma comparação dos dados gerados pelos modelos digitais de elevação: MDE-ASTER E MDE-CARTA. Estes tiveram como referência o recorte da carta topográfica na escala 1:50.000, na qual se avalia a precisão vertical. Com isso buscou-se resultados que comprovem o MDE que melhor simulam a superfície real do terreno, de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC).

O MDE-ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) amostrado pelo sensor ASTER, lançado a bordo do satélite Terra, é um sensor multiespectral capaz de adquirir pares estereoscópicos para quase toda a superfície terrestre percorrendo da latitude 83° S até a latitude 83° N (LANDAU & GUIMARÃES, 2011, p. 4003).

O ASTER é equipado com dois telescópios, com sistema de aquisições de imagens no espectro visível (VIS) e infravermelho próximo (IVP). Um dos telescópios possui instrumento

VIS-IVP, e gera imagens em nadir (vertical) ou com um ângulo lateral de até 8,55 graus. O outro opera na faixa do IVP, 55 segundos após esse primeiro imageamento e na mesma área do outro. Esse gera uma imagem em retro-visada de aproximadamente 27 graus, em direção oposta à órbita do satélite. Desta forma é possível obter um par estereoscópico de bandas posicionadas no IVP (bandas 3N-Nadir e 3B-Backward looking). O tempo de aquisição entre as imagens minimiza a ocorrência de diferenças radiométricas (iluminação e de cobertura de nuvens). O imageamento possuem extensão de 60 km e resolução espacial de 1 arc-segundo, resultando em células (pixel) de aproximadamente 30 m (USGS, 2010). O MDE ASTER está disponível, de forma gratuita, para download na página da USGS na internet (<http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>).

O MDE ASTER teve início a sua distribuição gratuita em Junho de 2009, sugerindo possibilidades de referenciar redes de drenagem com maior qualidade que o MDE SRTM devido à melhor resolução espacial (ANDRADES FILHO, 2009).

O MDE-CARTA foi elaborado a partir da Carta topográfica da DSG (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército).

No Brasil, esta é a fonte de dados mais comum para a geração de MDEs, e são compostas por curvas de nível que podem originar redes hidrográficas, estas cartas topográficas foram elaboradas e disponíveis pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército juntamente com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

Segundo o IBGE (2011, p.5).

Num esforço conjunto, o IBGE, através do Departamento de Cartografia da Diretoria de Geociências, e a DSG, através da 5ª Divisão de Levantamento, desenvolveram um projeto que, além de subsidiar os trabalhos elaborados internamente às instituições, tem como proposta, a disponibilização dos dados e informações referentes ao mapeamento sistemático do país através de um Mapa Índice, que passou a ter sua versão em ambiente digital no ano de 2002.

As escalas normalmente disponíveis não são adequadas para estudos mais detalhados, por esta razão, dados oriundos de imagens de sensores remotos estão sendo cada vez mais utilizados para a geração desses modelos.

Em 2005, o IBGE disponibilizou estes produtos cartográficos digitais do mapeamento topográfico, geográfico e de unidades territoriais do Brasil, para atender às demandas de vários tipos de usuários que precisam realizar o planejamento de projetos com qualidade e precisão. Estas cartas digitais agilizam a obtenção de dados e estão disponíveis para download na página do IBGE na internet ([www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)).



Os MDEs foram manipulados e processados em ambiente SIG, através dos softwares SAGA GIS (versão 2.0.8) E QUANTUM GIS (versão 2.2.0), na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 21S e datum SIRGAS 2000. O MDE-ASTER foi adquirido em formato *raster*, e recortado (QUANTUM GIS/vetor/geoprocessar/cortar) tendo como referência o limite da carta topográfica carajazinho (folha SH.21-X-B-VI-1; MI - 2930/1), gerando assim o MDE-ASTER georreferenciados para o limite da carta. Já o MDE-CARTA foi gerado através da interpolação (SAGA GIS/interpolador *Triangular Irregular network* – TIN) das curvas de nível da carta topográfica Carajazinho (folha SH.21-X-B-VI-1; MI - 2930/1), no formato digital com equidistância vertical de 20 m.

As análises foram realizadas com base na aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfico, definido pelo Decreto 89.817 de 20 de Julho de 1984 (BRASIL, 1984), que incluem o cálculo da RMSE e da tolerância vertical.

Os MDEs foram avaliados quantitativa e qualitativamente. Para avaliação do nível de erro dos dados avaliados, utilizaram-se 47 pontos de elevação (pontos de controle) extraídos da carta topográfica carajazinho. Foi utilizada a avaliação através da raiz quadrada do erro médio quadrático (RQEMQ) da elevação, obtido pela equação 1. (CHAGAS, p. 221, 2010).

$$\text{RQEMQ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}}$$

(Eq.1)

A variável de “*d*” na equação corresponde à diferença de elevação entre os MDEs avaliados e os pontos de elevação conhecidos (47 pontos de controle) e “*n*” é o número de pontos de elevação utilizados. O RQEMQ se refere ao grau de diferença entre os valores interpolados e os valores de elevação mais prováveis, sendo que a elevação verdadeira é considerada desconhecida.

As características de elevação do terreno podem determinar as direções dos fluxos hidrológicos e interações com os atributos do solo. Para contornar as limitações da utilização do RQEMQ na avaliação dos MDEs, foi avaliada sua qualidade na comparação entre a drenagem mapeada e a drenagem derivada pelos diferentes MDEs e análise das bacias de contribuição derivadas, conforme sugerido por HUTCHINSON & GALLANT (2000) e WISE (2000).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 temos os valores de altitude (mínima, máxima e média) dos modelos estudados e da amostra de pontos (pontos de controle) extraído da carta topográfica carajazinho, sendo a altitude mínima dos pontos de controle, 215m, superior ao MDEs CARTA e ASTER apresentando os valores de 204m e 202m, respectivamente. Por sua vez, a altitude máxima apresentou valores semelhantes, sendo 362m para os pontos de controle, 363m para o MDE CARTA e 365m para o MDE ASTER. Já a altitude média, os pontos de controle apresentaram valor superior ao MDEs (tabela 1).

O erro padrão diminui com o aumento do tamanho da amostra, refletindo o aumento de precisão da estimativa com o tamanho da amostra, para ambos modelos estudados o erro padrão da amostra aleatória de 47 pontos cotados apresentou valor 6m. Este valor determina a diferença da média aritmética da primeira amostra com uma nova amostra aleatória, caso seja realizada.

Tabela 1 – Resultados estatísticos dos MDEs estudados.

MDE	Altitude mínima	Altitude máxima	Altitude média	Erro padrão	Desvio padrão	RQEMQ
Pontos (amostra)	215	362	308	6	38	-
ASTER	202	365	303	6	41	32
CARTA	204	363	304	6	38	25

O cálculo da RQEMQ foi o primeiro método para determinação do modelo com melhor desempenho. Na tabela 1 podemos observar que os valores da RQEMQ produzidos pelo MDE CARTA e MDE ASTER são valores distintos apresentando uma diferença superior pelo segundo, sendo a RQEMQ o grau de diferença entre os valores interpolados (MDEs) e os valores de elevação mais prováveis (pontos cotados), o MDE CARTA possui uma representação da superfície melhor em relação ao MDE ASTER. Os valores de desvio padrão (tabela 1) mostram que o MDE CARTA apresentou melhor valor igual ao desvio padrão dos pontos mostrados na carta topográfica, o que confirma a característica de melhor representação da superfície do terreno.

Os valores da RQEMQ encontrados nesse estudo são elevados, quando comparados a outros estudos. Em estudo similar, Miceli et al. (2010), obteve para o MDE ASTER o valor da RQEMQ igual a 15,687m, sendo este, o modelo com maior RQEMQ dentre os estudados, resultando em desempenho inferior aos outros.

Chagas et al. (2010), avaliando MDEs para mapeamento digital de solos, obteve valor da RMSE do MDE ASTER aproximado ao deste estudo (37m), apresentando também o pior desempenho entre os MDEs avaliados. Neste mesmo estudo, Chagas et al. (2010), o MDE CARTA obteve valor da RQEMQ (14m), valor distante do encontrado nesse estudo (25m) conforme tabela 1. As prováveis explicações para esses resultados distintos entre os trabalhos, incluem as características do terreno, a presença de nuvens nas imagens (captura), a falta de pontos de controle terrestres adequados e também o software empregado para obtenção do MDE. Os valores elevados da RQEMQ, também pode estar relacionado ao número de pontos de controle utilizados e a qualidade dos valores de altimetria desses pontos (Hirano et al., 2003).

Em relação à Acurácia Posicional dos MDE ASTER e MDE CARTA, foram observados valores constantes (tabela 2) do Padrão de Acurácia Posicional para Produtos Cartográficos Digitais (PAP-PCD), previsto na especificação técnica para aquisição de dados geoespaciais vetoriais (ET-ADGV) do Departamento de serviços geográficos do exército (DSG, 2008).

Tabela 2 – Padrão de Acurácia e Precisão de Produtos Cartográficos Digitais (PAP-PCD): 4 classes (A, B, C e D); e Padrão de Exatidão cartográfica (PEC): 3 classes (A, B, C), ambos com valores de precisão e acurácia.

PEC	PAP-PCD	1:25.000		1:50.000		1:100.000	
		RQEMQ (m)	Desvio Padrão(m)	RQEMQ (m)	Desvio Padrão(m)	RQEMQ (m)	Desvio Padrão(m)
-	A	6,25	3,75	12,5	7,5	25	15
A	B	12,5	7,5	25	15	50	30
B	C	20	12,5	40	25	80	50
C	D	25	20	50	40	100	80

Fonte: ET-ADGV (DSG, 2008).

As figura 2 e 3 apresentam gráficos demonstrativos da configuração das classes, as quais se enquadram os MDEs tendo como parâmetro a RQEMQ. Estes gráficos são derivados da classificação pelo Padrão de exatidão cartográfica - PEC (figura 1) e Padrão de Acurácia e Precisão de Produtos Cartográficos Digitais - PAP-PCD (tabela 2).

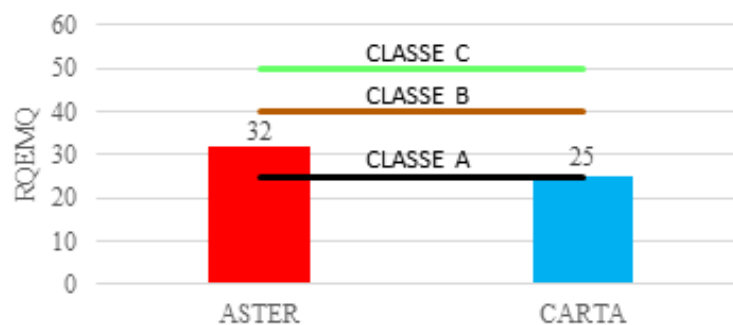


Figura 2 – Enquadramento dos valores da RQEMQ nas classes do PEC (escala 1:50000).

O MDE ASTER obteve, a partir do valor da RQEMQ (32m), enquadramento no Padrão de Exatidão cartográfica (PEC) classe B. O MDE CARTA recebeu enquadramento na classe A (figura 2). Para o enquadramento no Padrão de Acurácia e Precisão de Produtos Cartográficos Digitais (PAP-PCD), o MDE-CARTA teve enquadramento na classe B e o MDE-ASTER teve enquadramento na classe C (figura 3). Estes enquadramentos são referentes a escala 1:50000.

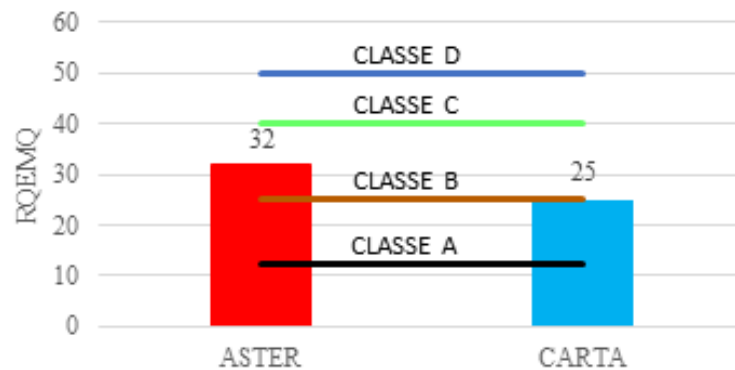


Figura 3 – Enquadramento dos valores da RQEMQ nas classes do PAP-PCD (Escala 1:50000).

Na figura 4 pode-se observar dois perfis de elevação dos MDEs avaliados (transversal A-a; longitudinal B-b), onde é possível verificar através do corte dos perfis a diferença nos valores de elevação entre o MDE ASTER (vermelho) e o MDE CARTA (azul).

Pode-se observar que há uma diferença de maneira geral em ambos os cortes, onde o perfil que representa a superfície MDE ASTER é mais elevada que a do MDE CARTA, observando-se apenas poucos locais de picos superiores do MDE CARTA sobre o MDE ASTER no perfil longitudinal (B-b) entre o intervalo da distância 0 a 12500m.

As maiores diferenças entre as distâncias dos MDEs estão localizadas nos picos ou locais com altitudes mais elevadas e também em áreas com as maiores declividades. Esta diferença ocorre tanto na seção longitudinal(B-b) quanto na transversal(A-a).

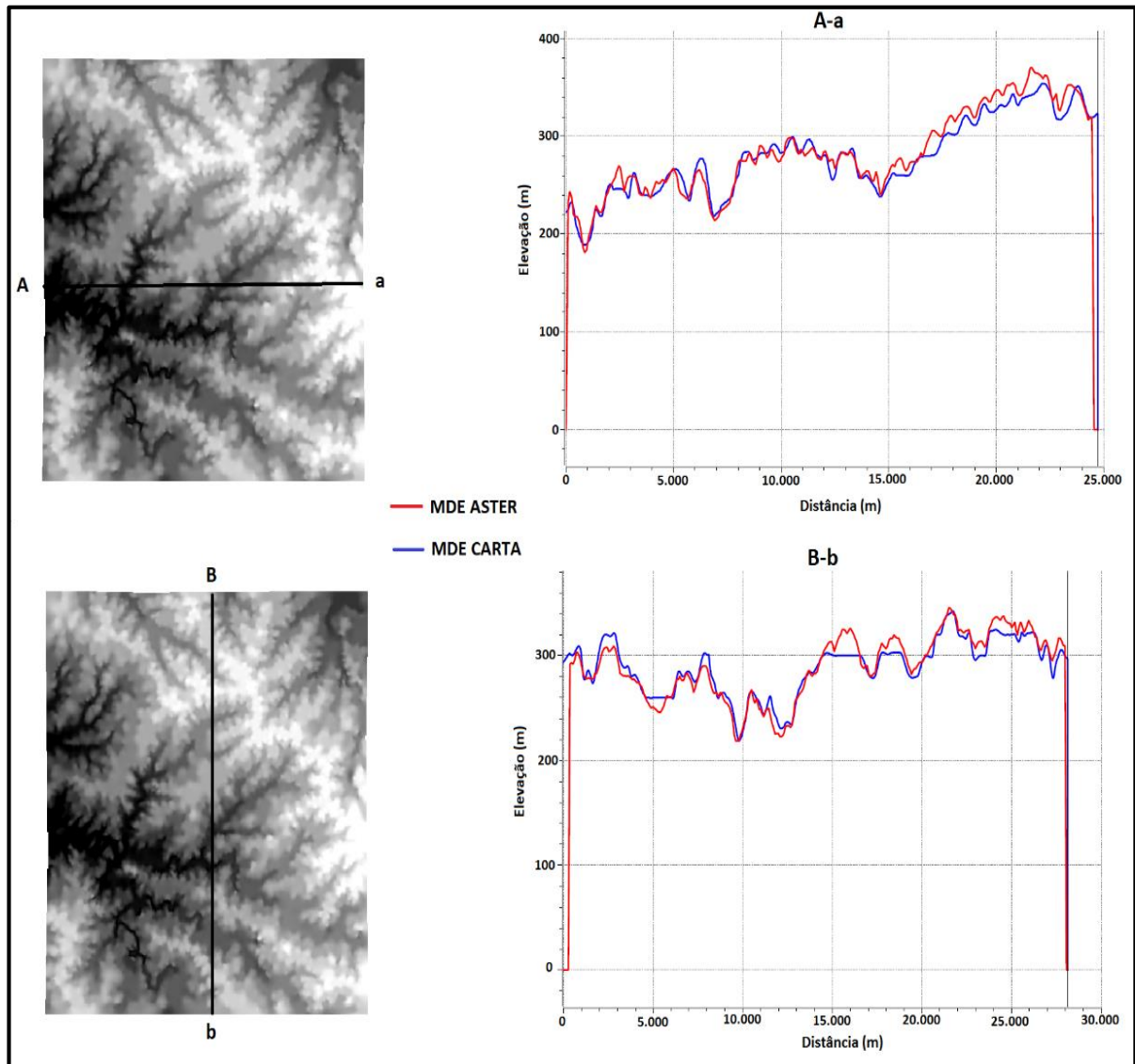


Figura 4 – Perfis de elevação dos modelos estudados.

Chagas et al. (2010), observaram comportamento semelhante dos dados de elevação superiores do MDE ASTER em relação ao MDE CARTA. Também relataram a tendência semelhante de maiores diferenças de valores de altitude na encostas.

Na busca de um MDE para derivar atributos do terreno foram avaliados de forma visual os detalhes topográficos que preservam as características do terreno. Na figura 5 foi manipulada no QUANTUM GIS, sendo sobreposta as feições hidrográficas da base de dados original das cartas do IBGE sobre os MDEs gerados. Essa observação visual é identificada através da visualização das feições da hidrografia alinhadas aos pixels com valor de elevação próxima a mínima (cinza mais escuro), originando a localização potencial da malha dos rios (bacia hidrográfica) contidas no perímetro da carta topográfica Carajzinho. As células pixels da

figura 5 que possuem a coloração mais clara próximo ao branco possuem valor de altitude mais elevada e próximas ou igual a altitude máxima do MDE.

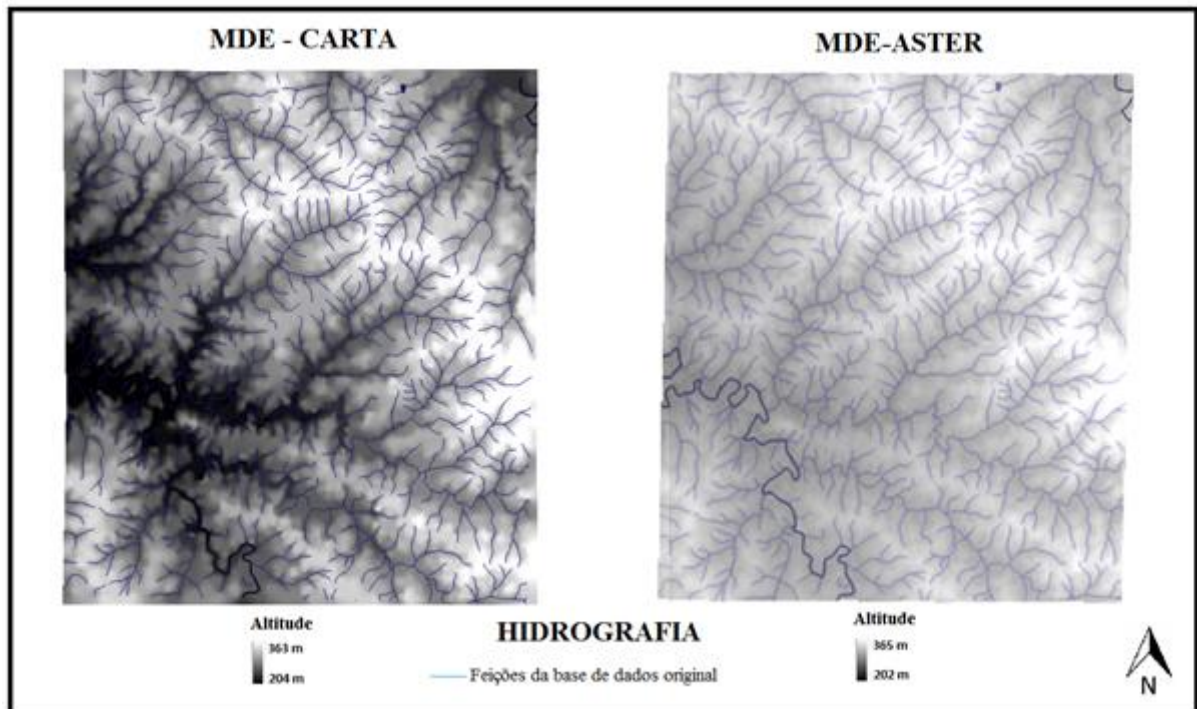


Figura 5 – Perfis de elevação dos modelos estudados.

Na avaliação visual da figura 5, pode-se visualizar os MDEs gerados a partir do ASTER e CARTA. Nota-se que, de forma geral, as principais feições do relevo (vales, drenagens, e escarpas) são comuns as duas imagens. O MDE ASTER apresentou 202m como altitude mais baixa e 365m como a mais alta, enquanto o modelo CARTA trouxe as altitudes 204m e 363m, respectivamente.

## 5 CONCLUSÃO

Na avaliação quantitativa da qualidade do MDE pelo método da RQEMQ, o MDE CARTA mostrou-se superior ao MDE ASTER. Este método não deve ser utilizado de forma isolada para determinar a qualidade do MDE.

O resultado da avaliação quantitativa do MDE ASTER foi inferior ao MDE CARTA e insatisfatório, apresentando valores de RQEMQ mais elevados que os obtidos em outros estudos. Porém, na avaliação qualitativa visual obteve avaliação equivalente ao MDE CARTA.

Os objetivos desse trabalho foram alcançados, visualizando-se a diferença de precisão dos MDEs, justificando assim a importância da comparação entre os modelos, tendo em vista a utilização do modelo com maior representação da superfície amostrada e que poderá subsidiar, através das informações geradas, pesquisas e estudos para a exploração e manutenção de recursos naturais. Obteve-se então o MDE CARTA com melhor representação da superfície do terreno e pode contribuir por meio de covariáveis geomorfométricas mais precisas para aplicação no mapeamento digital de solos no perímetro que compreende a carta topográfica carajazinho (folha: SH.21-X-B-VI-1; MI - 2930/1).

## REFERÊNCIAS

- ANDRADES FILHO, C. O., ZANI, H., GRADELLA, F.S. **Compatibilidade da rede de drenagem obtida através de dados SRTM, ASTER e carta topográfica DSG: estudo de caso no Pantanal de Aquidauana.** In: Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 7-11 novembro 2009.
- ALBA, P. J.; AMADO, T. J. C., NICOLOSO, R. S.; SCHOSSLER, D. S.; TRINDADE, B. S. **Comparação de Modelos de Altitudes com Diferentes Fontes de Dados.** In: Anais do Congresso brasileiro de agricultura de precisão, Ribeirão Preto/SP, 2010.
- BRASIL. Decreto nº 89.817 de 20 de Julho de 1984. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/1980-1989/D89817.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm). Acesso em: 23 out. de 2014.
- BUARQUE, D.C., FAN, F.M., PAZ, A.R., COLLISCHONN, W. **Comparação de métodos para definir direções de escoamento a partir de modelos digitais de elevação.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 14, N. 2, 2009. Abr. p. 91-103.
- CÂMARA, G.; QUEIROZ, G.R. Arquitetura de sistemas de informações geográficas. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à ciência da geoinformação.** Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 8 out. de 2014.
- CHAGAS, S.C., FERNANDES FILHO, E.I., ROCHA, M.F., CARVALHO JÚNIOR, W., SOUZA NETO, N.C. **Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.14, n.2, p.218-226, 2010.
- DSG – Diretoria do Serviço Geográfico, 2014. **Especificação técnica para produtos de conjunto de dados geoespaciais (ET-PCDG).** Brasília.
- FELICÍSIMO, A. M. **Modelos digitales del terreno: Introducción aplicaciones en las ciencias ambientales.** Oviedo: Universidad de Oviedo, 1994. <<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>>. Acesso em 05 nov. de 2014.
- HIRANO, A.; WECH, R.; LANG, H. **Mapping from ASTER stereoimage data: DEM validation and accuracies assessment.** ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, v.57, p. 356-370, 2003.
- HUTCHINSON, M. F.; GALLANT, J. C. **Digital elevation models and representation of terrain shape.** In: Wilson, J. P.; Gallant, J. C. (ed.). Terrain analysis: Principles and applications. New York: John Wiley & Sons, 2000. p. 29-50.
- IBGE. **Mapa índice digital mapeamento geral do Brasil.** 4º ed. 2008. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento\\_sistematico/mapa\\_indice\\_digital\\_4ed/leia\\_me\\_4ed.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/mapa_indice_digital_4ed/leia_me_4ed.pdf)>. Acesso em 21 de out. de 2014.



LANDAU, E.C.; GUIMARÃES, D. P. **Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA.** In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR (ANAIS), Curitiba- PR, 30/abril a 05/maio 2011, INPE, p. 4003.

MELGAÇO, L. M.; SOUZA FILHO, C. R.; STEINMAYER, M. **Comparação entre modelos digitais de elevação gerados por sensores ópticos e por radar.** In: Anais XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Goiânia, Brasil, 16-21abril 2005, INPE, p. 1215-1220.

MICELI, Bruna Santos et al. **Comparação da avaliação vertical de modelos digitais de elevação para médias e pequenas escalas em Diferentes configurações topográficas.** In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010, p. 001 - 007.

NASA. **Shuttle Radar Topography Mission. Mission to Map the World. Jet Propulsion Laboratory.** California Institute of Technology. Disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>. Acesso em: 09 de maio 2014.

VALERIANO, M.M.; TOPODATA: **Guia para utilização de dados geomorfológicos locais.** São José dos Campos: INPE, 2008, p.21.

VALERIANO, M.M.; ROSSETTI, D.F. TOPODATA: **Seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM.** São José dos Campos: INPE, 2010, p. 19.

WISE, S. **Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours.** Hydrological Processes, v.14, p. 1909-1929, 2000.