

## Qualidade cartográfica de modelos digitais de elevação para utilização em Mapeamento Digital de Solos na região das Missões, RS<sup>(1)</sup>.

**Ricardo Simão Diniz Dalmolin<sup>(2)</sup>; Mario Sergio Wolski<sup>(3)</sup>; Carlos Alberto Flores<sup>(4)</sup>; Jean Michel Moura-Bueno<sup>(5)</sup>; Alexandre ten Caten<sup>(6)</sup>; Ricardo Bergamo Schenato<sup>(7)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Parte da tese de Doutorado do segundo autor, executado com recursos do CNPq.

<sup>(2)</sup> Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM); Santa Maria, RS; dalmolin@ufsm.br; <sup>(3)</sup> Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência Solo, Universidade Federal de Santa Maria; <sup>(4)</sup> Pesquisador da Embrapa Clima Temperado; <sup>(5)</sup> Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência Solo, Universidade Federal de Santa Maria; <sup>(6)</sup> Professor Departamento de Ciências Biológicas e Veterinárias; Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos; <sup>(7)</sup> Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria.

**Resumo:** Os modelos digitais de elevação (MDE) globais, de acesso livre via internet, são as principais fontes de dados de elevação disponíveis para representação do relevo. Esses MDE vêm auxiliando o mapeamento de solos, na geração de atributos do terreno, para médias e pequenas escalas. O objetivo desse trabalho foi avaliar a acurácia vertical de diferentes MDE, que serão utilizados para o mapeamento digital de solos (MDS), num recorte coincidente com uma carta topográfica, folha SH.21-X-B-VI-1, escala 1:50.000. O estudo envolveu a avaliação dos MDE da SRTM-C (um segundo de arco), do Topodata, do Aster GDEM V2 e do MDE gerado por meio de curvas de nível e de pontos cotados da carta topográfica. Nessa área está sendo levantada a “carta de solos” da região fisiográfica Missões, situada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul. Os dados altimétricos dos modelos foram confrontados com 31 pontos de referência demarcados no campo, utilizando a tecnologia GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Foi realizado o teste de *Shapiro-Wilk* para verificação da normalidade dos dados e o Padrão de Exatidão Cartográfica para a produção de Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) foi utilizado como indicador da qualidade dos modelos. Os MDE da missão SRTM-C e Topodata apresentaram resultados superiores comparados com os modelos, Aster GDEM V2 e MDE carta.

**Termos de indexação:** mapeamento digital do solo, pedometria, geomorfometria.

### INTRODUÇÃO

A partir da metade do século XX, depois de publicada a equação de Hans Jenny, o mapeamento do solo foi vinculado ao estudo da formação do solo (Walter et al., 2007). No início do século XXI, partindo do mesmo raciocínio e agregando conhecimentos e avanços tecnológicos, McBratney et al. (2003) sugeriram uma nova equação, concebida para integrar dados e resolver quantitativamente a equação proposta por Jenny.

Tradicionalmente, a abordagem qualitativa tem sido utilizada no mapeamento de solos por intermédio da relação solo-paisagem com apoio de técnicas de fotointerpretação, exigindo do pedólogo a compreensão das relações entre a variabilidade dos solos e as formas da paisagem.

Dentro desse cenário e considerando o aumento da disponibilidade de bases de dados, especialmente do fator de formação relevo, que integra os principais processos do solo e responde pela maior parte das variáveis ambientais disponíveis, o MDE tornou-se um componente fundamental do MDS. Assim, essa utilização depende de uma correta representação do MDE, que deve ser validado e compatível com a escala de mapeamento (Giasson et al., 2013).

Existe uma diversidade de dados de MDE globais e regionais, de acesso livre ou comercial, com distintas referências altimétricas, origens construtivas, resolução do sensor e datas de aquisição que necessitam ser observados no quesito qualidade (Gesé et al., 2013).

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos para avaliar MDE globais e regionais com aplicação em MDS, como os realizados por Chagas et al. (2010), Pinheiro et al. (2012), Giasson et al. (2013), Teske et al. (2014) entre outros. Os resultados mostram diferenciações entre os modelos e tipos de relevo avaliados.

Inserido nessa premissa, o trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de diferentes MDE e determinar qual desses modelos é o mais apropriado para aplicação em MDS na região das Missões, no noroeste do estado do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000.

### MATERIAL E MÉTODOS

A área de abrangência do trabalho enquadra-se na carta topográfica denominada Carajazinho (folha SH.21-X-B-VI-1), escala 1:50.000. Situada na região fisiográfica denominada Missões, no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, possui um relevo suave ondulado, com uma variação altimétrica de



aproximadamente 200 metros. A área caracteriza-se pela predominância de solos profundos, com a incidência do Latossolo Vermelho Distroférico típico na maior parte da área.

Para esse trabalho, foram usados os MDE da missão SRTM-C (resolução um segundo de arco) e do Aster GDEM V2, obtidos por meio de sensores remotos instalados em plataformas orbitais e o MDE do projeto Topodata (Valeriano & Rossetti, 2010). Também foi usado o MDE obtido por processo indireto, gerado a partir das curvas de nível e de pontos cotados da carta topográfica da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG).

Para a obtenção dos pontos de controle (PC), foram utilizados receptores GNSS de dupla frequência no modo de operação estático, seguindo as especificações técnicas de posicionamento relativo GNSS propostas por Monico (2008).

Na distribuição dos PC, foi considerado a densidade de informações temáticas que serão levantadas no mapa de solos como sugerido por Atkinson Gordo et al. (2001), observando que cada quadrante da carta contivesse, no mínimo, 20% dos pontos da amostra e os pontos, afastados a uma décima parte da diagonal da carta (MPLMIC, 1999).

Na área de abrangência da carta foram implantados 31 pontos de controle em locais livres da interferência do uso do solo (distante de florestas densas e construções). Para testar a normalidade dos dados da amostra foi realizado o teste de *Shapiro-Wilk*.

Para comparar as discrepâncias entre as altitudes obtidas nos pontos de controle com aquelas obtidas nos pontos homólogos dos MDE, realizou-se, primeiramente, a unificação dos sistemas de referência cartográficos.

As altitudes fornecidas pelos dados do SRTM-C, do Topodata e do Aster GDEM V2 são ortométricas e vinculadas ao modelo geoidal EGM96 (*Earth Gravitational Model* 1996), enquanto que as altitudes dos pontos de controle GNSS foram obtidas pelo modelo de ondulação geoidal MAPGEO2010 (IBGE, 2010). Sendo assim, num segundo momento, efetuou-se a unificação dos datum de altitude e padronizou-se o tamanho do pixel em 30 metros.

A avaliação da acurácia posicional da componente altimétrica e a determinação da escala máxima, que os dados dos modelos podem ser considerados acurados, foi vinculada ao PEC-PCD, de acordo com as Especificações Técnicas para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (Brasil, 2011).

Outra avaliação contemplou a extração de perfis de elevação em área de referência e em posições geográficas homólogas nos MDE e a observação de

diferenças entre as direções de linhas de fluxos (*flow lines*) geradas no software SAGA GIS.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de *Shapiro-Wilk* resultou no valor de  $W_c = 0,969 > W_t = 0,929$ , com p-valor de  $0,494 > 0,05$ . Dessa forma pode-se afirmar, com 95% de confiança, que os pontos de controle da amostra possuem uma distribuição normal.

A **figura 1** ilustra a relação existente entre as altitudes dos pontos de controle GNSS e as altitudes homólogas em cada MDE. O resumo do tratamento estatístico para cada MDE em relação aos pontos de controle é apresentado na **tabela 1**.

**Tabela 1** – Estatísticas da comparação entre as altitudes dos pontos de controle e MDE.

Estatística	Topodata	SRTM-C	Aster	Carta
r	0,99	0,99	0,99	0,95
RMSE	1,41	1,66	7,44	8,84
M	0,73	0,66	6,47	1,72
ME	3,64	4,28	15,14	20,78
$\sigma$	1,23	1,55	3,75	8,92

\* r = coeficiente de correlação; RMSE = raiz quadrada do erro médio quadrático; M = diferença média; ME = erro máximo  $\sigma$  = desvio padrão.

Percebe-se que todos os modelos têm uma associação significativa entre as altitudes. Os MDE Topodata e o SRTM-C mostram uma baixa dispersão e não apresentam tendência nos dados. No MDE do Aster GDEM percebe-se tendência geral de subestimar os valores medidos e um desvio consistente em muitos pontos. Isso acontece do mesmo modo com o MDE resultante da carta topográfica que apresenta também desvios e dispersão.

Em relação à classificação de acordo com o PEC-PCD, todos os modelos atenderam à escala 1:50.000, sendo que os modelos Topodata e SRTM-C apresentaram os melhores resultados. Os dois modelos apresentaram mais de 90% dos pontos avaliados com valores de discrepâncias posicionais altimétricas menores que o valor do PEC\_PCD para a classe 1:25.000 (**Tabela 2**). Também apresentaram o RMSE das amostras com valores abaixo do erro padrão (EP) fixado na especificação técnica. A análise isolada desses resultados permite validar a viabilidade de uso no MDS, para essa área específica, até a escala 1:25.000 (PEC classe "A"), caracterizando um bom desempenho dos modelos SRTM-C e Topodata nesse quesito.

Analisando os perfis da **figura 2**, observa-se que o SRTM-C é o que mais se aproxima do perfil do terreno, o Aster GDEM possui picos de altitude com variações abruptas deformando a rugosidade



superficial do terreno, enquanto que os MDE gerados a partir da carta topográfica, SRTM-C e Topodata possuem traçado de relevo mais suave com menos rugosidade.

**Tabela 2** – Valores do PEC-PCD altimétrico dos MDE estudados.

PEC-PCD	1:25.000 (CN 10m)		1:50.000 (CN 20m)	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A <sup>1</sup>	2,70	1,67	5,50	3,33
B <sup>1</sup>	5,00	3,33	10,00	6,66
C <sup>1</sup>	6,00	4,00	12,00	8,00
D <sup>1</sup>	7,50	5,00	15,00	10,00
Topodata <sup>2</sup>	93,5% < 2,70	1,41	PEC-PCD Classe A	
SRTM-C <sup>2</sup>	93,5% < 2,70	1,66	PEC-PCD Classe A	
AsterGDEM <sup>2</sup>	PEC-PCD Classe C		93,5% < 12	7,44
CartaMDE <sup>2</sup>	PEC-PCD Classe D		96,7% < 15	8,84

<sup>1</sup> Dados tabelados, <sup>2</sup> Dados calculados.

As linhas de fluxo (**Figura 3**) permitiram verificar que os modelos SRTM-C, Topodata e Carta MDE possuem continuidade das elevações na toposequência. Já no modelo Aster GDEM, pode-se visualizar direções opostas em alguns pontos com desvios de fluxo em vários pontos.

## CONCLUSÕES

Baseados nos dados estatísticos e na análise visual dos perfis topográficos e linhas de fluxo apresentados, pode-se concluir que o SRTM-C e o Topodata apresentam os melhores resultados, comparado com o Aster GDEM V2 e o MDE da carta. Nesse sentido, comprova-se que os MDE gerados por esses sensores remotos podem contribuir, na geração de covariáveis do terreno, para aplicação em MDS em escalas até 1:25.000, na região fisiográfica das Missões.

Este estudo confirma a necessidade de uma pré-avaliação da qualidade dos dados altimétricos dos MDE antes de serem utilizados no MDS.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de recurso financeiro para execução desse projeto e também pela concessão da bolsa PQ ao segundo autor.

## REFERÊNCIAS

ATKINSON GORDO, A.D.J.; GARCIA BALBOA, J.L.; LÓPEZ, F.J.A.A. Los diferentes test para el control de calidad posicional en Cartografía. In: XIII CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA, Badajoz (España). 2001. 260-271p.

BRASIL. Diretoria de Serviço Geográfico. Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). Brasília, DF: Comando do Exército, Departamento de Ciência e Tecnologia, 2011.

CHAGAS, C. da S. et al. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 14(2):218-226, 2010.

GESÉ, E.N. et al. Análisis comparativo de MDEs regionales para la selección de una verda de terreno altimétrica continua em el marco del proyecto "Validation studies of Tandem-X data security and defense". In: XV Congreso de la Asociación Española de Teledetección INTA, Torrejón de Ardoz (Madrid). 2013.

GIASSON, E. et al. Avaliação de algoritmos de árvores de decisão e modelos digitais de elevação para mapeamento digital de solos. In: XXXIV CBCS, Florianópolis, 2013. Anais. Florianópolis: SBCS, 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. MAPGEO: Sistema de Interpolação de Ondulação Geoidal. Versão 1.0, Brasil: IBGE, 2010.

LÓPEZ, F.J.A.A. Calidad em La Producción Cartográfica. Ra-Ma Editorial, Madrid, Espanha, 2002. 389p.

McBRATNEY, A.B.; MENDONÇA SANTOS, M.L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. Geoderma, 117:3-52, 2003.

MONICO, J.F.G. Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: Ed. UNESP, 2008. 476p.

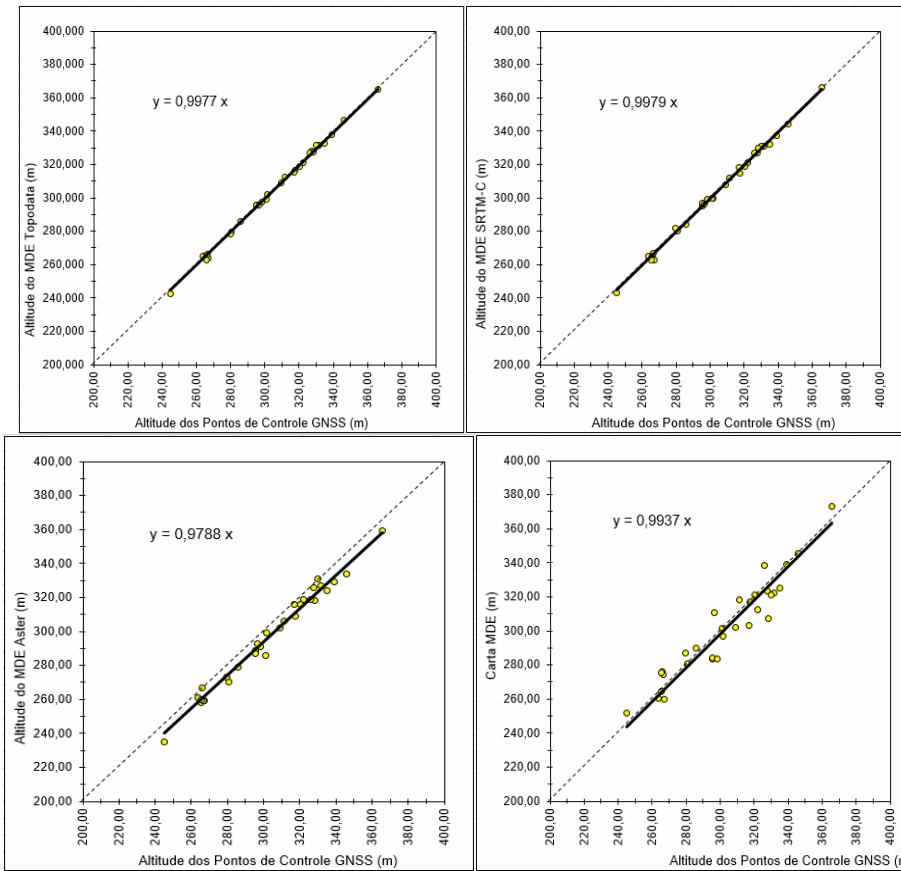
MPLMIC. **Positional Accuracy Handbook**. Minnesota Planning, Land Management Information Center, Minnesota (EE.UU.), 1999.

PINHEIRO, H.S.K. et al. Modelos de elevação para obtenção de atributos topográficos utilizados em mapeamento digital de solos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 47(9):1384-1394, 2012.

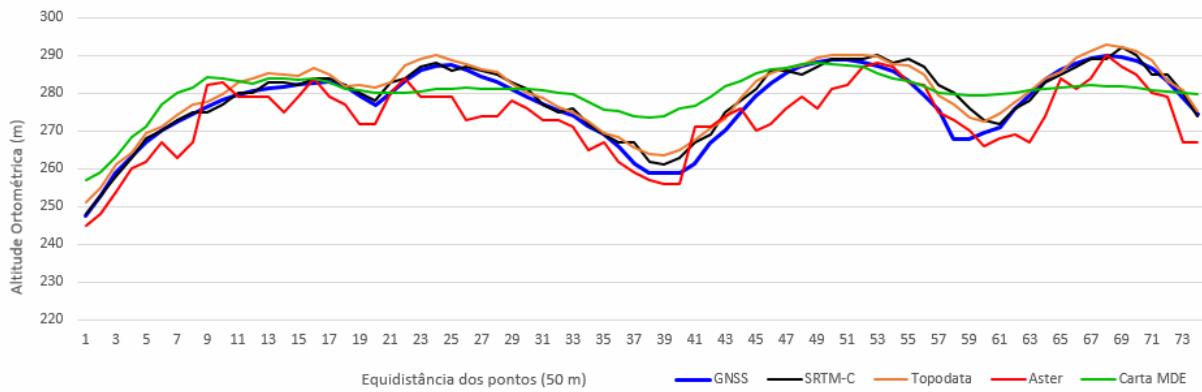
TESKE, R.; GIASSON, E.; BAGATINI, T. Comparação do uso de modelos digitais de elevação em mapeamento digital de solos em dois irmãos, RS, Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 38:1367-1376, 2014.

VALERIANO, M. de M. & ROSSETTI, D.F. TOPODATA: seleção de coeficientes geoestatísticos para refinamento unificado de dados SRTM. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-16701-RPQ/853), 2010. 74p.

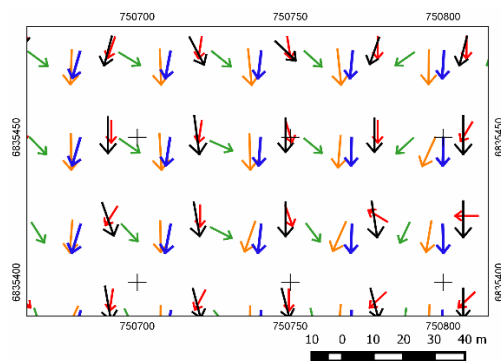
WALTER, C.; LAGACHERIE, P.; FOLLAIN, S. Integrating pedological knowledge into digital soil mapping. Geoderma, 31:281-301, 2007.



**Figura 1** – Coeficientes de correlação entre os pontos de controle (GNSS) e os pontos homólogos nos MDE.



**Figura 2** - Comparação entre os perfis topográficos extraídos dos MDE.



**Figura 3** – Representação das linhas de fluxo geradas para os MDE: Área de Referência - GNSS (seta azul); SRTM-C (seta preta); Topodata (seta sêpia); Aster GDEM (seta vermelha); Carta MDE (seta verde).