



Análise da Qualidade dos dados SRTM ao Longo de Todo o Território Brasileiro
Quality Analysis of SRTM Data throughout the Brazilian Territory

Francisco Cristiano Orlando¹ & Edilson de Souza Bias¹

¹ Universidade de Brasília (UnB), Instituto de Geociências – IG,
Campus Universitário Darcy Ribeiro ICC - Ala Central, 70919-970, Brasília, DF, Brasil
E-mails: francisco.orlando.unb@gmail.com; edbias@gmail.com
DOI: http://doi.org/10.11137/2020_2_340_348; Recebido: 25/06/2019 Aceito: 06/03/2020

Resumo

No Brasil, diversos estudos já foram realizados visando analisar diferentes Modelos Digitais de Elevação (MDE), como os dados oriundos do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)*, entre outros, usando diferentes técnicas, sem contudo, avaliar as diferenças topográficas existentes em um país continental como é o Brasil e, estabelecendo escalas que podem ser utilizadas regionalmente e globalmente. Desta forma o objetivo principal do presente estudo é avaliar a qualidade dos dados SRTM para todo o território brasileiro, tendo como base as diferenças topográficas e, conseqüentemente as declividades, onde o resultado do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) em áreas piloto compartimentadas em classes de declividade distintas, são extrapolados para todo o território brasileiro a partir do mapa de declividade do Brasil, além de testar e apresentar novos MDEs com a melhor qualidade possível, a partir do dado SRTM, por meio da aplicação de diversos métodos de interpolação. Neste estudo, foram utilizados para análise os dados SRTM de 30 metros de resolução espacial, disponibilizado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) a partir de 2013. Para a avaliação do mesmo, foram utilizados como verdade de campo (referência), dados altimétricos medidos em campo por meio do sistema de posicionamento por satélite *Global Navigation Satellite Systems (GNSS)* pós processado. Os resultados apresentados neste estudo mostram que a qualidade do SRTM é compatível com o PEC A (Analogico) e PEC B (Digital) para a escala de 1/50.000 nas regiões norte, nordeste e centro-oeste, já para as demais regiões, sul e sudeste, a qualidade é compatível com o PEC B (Analogico) e PEC C (Digital) para a mesma escala, e que não foi possível melhorar a qualidade do SRTM após processo de interpolação para as áreas com declividade até 45% e ainda que apenas os métodos de interpolação (topo to raster) e (krigagem) foram capazes de melhorar a qualidade do SRTM nas áreas com declividade acima de 45%.

Palavras-chave: PEC; SRTM; Declividade

Abstract

In Brazil, several studies have been carried out to analyze different Digital Elevation Models (MDE), such as data from the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), among others, using different techniques, without, however, assessing the topographical differences existing in a continental country such as Brazil and, establishing scales that can be used regionally and globally. Thus, the main objective of this study is to assess the quality of SRTM data for the entire Brazilian territory, based on topographic differences and, consequently, slopes, where the result of the Cartographic Accuracy Standard (PEC) in pilot areas compartmentalized in classes of different slopes, are extrapolated to the entire Brazilian territory from the slope map of Brazil, in addition to testing and presenting new MDEs with the best possible quality, based on the SRTM data, through the application of several interpolation methods. In this study, SRTM data of 30 meters of spatial resolution, made available by the National Aeronautics and Space Administration (NASA) as of 2013, were used for analysis. For its evaluation, altimetric data were used as field truth (reference) measured in the field using the post processed Global Navigation Satellite Systems (GNSS) satellite positioning system. The results presented in this study show that the quality of the SRTM is compatible with PEC A (Analog) and PEC B (Digital) for the scale of 1 / 50,000 in the north, northeast and center-west regions, while for the other regions, south and southeast, the quality is compatible with PEC B (Analog) and PEC C (Digital) for the same scale, and that it was not possible to improve the quality of the SRTM after interpolation process for areas with declivity up to 45% and even though only the interpolation methods (topo to raster) and (kriging) were able to improve the quality of the SRTM in areas with a slope above 45%.

Keywords: PEC; SRTM; Declivity

1 Introdução

A importância de um Modelo Digital de Elevação (MDE) está relacionada a capacidade de utilização do mesmo na geração de outros produtos, como por exemplo, no processo de ortorretificação de imagens, que tem por objetivo reprojeter a cena no plano ortogonal das imagens orbitais utilizadas. (Touting, 2004).

Um modelo de elevação pode ser sobre os objetos existentes, como edificações, copas de árvores, etc. que é denominado de Modelo Digital de Superfície (MDS) ou sobre o terreno diretamente, ou seja, sobre o solo exposto, que é denominado de Modelo Digital de Terreno (MDT).

De acordo com Cruz *et al.* (2012), nos últimos anos tem-se observado um significativo aumento de sensores de mapeamento com a finalidade de permitir a extração de informações tridimensionais e, assim como os sensores, a disponibilização de *hardwares* e *softwares* cada vez mais potentes facilitam a geração de produtos cartográficos de melhor qualidade, principalmente para a concepção de Modelos Digitais de Elevação (MDE).

Segundo Hühle & Hühle (2009), atualmente na produção cartográfica em escalas médias e grandes de mapeamento, são produzidos MDE/MDS, principalmente, por Fotogrametria Digital e *Light Detection And Ranging* (LIDAR). Os dois métodos são eficientes, obtendo uma alta densidade de pontos planialtimétricos.

Gomes (2011) afirma que a National Imagery and Mapping Agency (NIMA) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA) foram as instituições responsáveis pela missão SRTM, e os dados de radar foram coletados no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000 (durante 11 dias), a bordo da nave espacial Endeavour, nesse período, a nave realizou 16 órbitas diárias na Terra, o que correspondeu a 176 órbitas durante toda a missão.

Conforme Valeriano & Rosseti (2012), o SRTM foi obtido no ano de 2000 pelo sensor SIR-C/X-SAR, por meio da interferometria, possibilitando a geração de um modelo digital de elevação com resolução de 30 metros, porém, inicialmente o SRTM de 30 m de resolução não estava disponível para a América do Sul. Em 2013, a NASA disponibilizou o produto com 30 m para todo

o mundo, passando o Brasil a poder implementar estudos com este produto de melhor resolução. A área de cobertura do SRTM compreende às latitudes de 60° N até 56° S.

Outros produtos desta natureza foram sendo disponibilizados ao longo dos anos e trazendo consigo uma melhoria significativa nas resoluções espaciais, por exemplo os dados ASTER GDEM (resolução de 30 metros), além dos dados *Advanced Land Observing Satellite Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (ALOS PALSAR) (resolução de 12,5 metros), além da previsão de disponibilização do MDE AW3D (resolução de 5 metros).

O satélite Terra, lançado em 1999 pela NASA como parte do *Earth Observing System* (EOS), possui diversos sensores, como por exemplo o ASTER, que oferece a possibilidade de se gerar modelo de elevação por meio de pares estereoscópicos adquiridos na mesma órbita com dois sensores idênticos, um deles na posição Nadir e o outro Off-Nadir. A primeira versão do ASTER GDEM, foi lançada em junho de 2009, com resolução de 30 m, cuja cobertura compreende 83°N a 83°S, cobrindo 99% da crosta terrestre.

O modelo digital de elevação do ALOS, foi lançado em janeiro de 2005 pela Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) e disponibilizado pela NASA no geoportal da LP DAAC – Land Processes Distributed Active Archive Center, com uma resolução espacial de 12,5 metros.

Ressalta-se que existem vários sensores orbitais gerando modelos digitais de elevação em todo o mundo. No entanto, o MDE SRTM é o modelo digital de elevação global mais popular, isto porque foi a primeira missão que fez o registro de altitude de grande parte do globo terrestre e também por ter sido o primeiro modelo disponibilizado gratuitamente, possuindo uma grande base de usuários e aplicações das mais diversas possíveis em todo o mundo.

Santos *et al.* (2005), estudando a região amazônica, concluíram que o SRTM atende a escala de 1/100.000 em áreas planas. Outros estudos, como realizado por Orlandi (2016), demonstraram resultados semelhantes para a avaliação do MDE SRTM em outras áreas no território brasileiro, com diferenças de declividade. De acordo com Rabus *et al.* (2003), a precisão estimada a priori pela NASA para o SRTM é de 16 m em 90% dos dados, sendo

compatível com a escala de 1/100.000.

No estudo de Moura *et al.* (2014), quando avaliaram a acurácia dos MDE's globais SRTM v4, Topodata, HydroSHEDS e o ASTER v2, utilizando um mapeamento na escala de 1/10.000 como referência, concluíram que o TOPODATA teve a melhor acurácia, com um desvio padrão de 4,91 metros, e a pior acurácia foi o HydroSHEDS, e que todos os MDE's avaliados são compatíveis com a escala de 1/50.000 em relevo pouco movimentado e 1/100.000 para maiores declividades.

O advento das imagens de alta resolução espacial abriu um novo campo de possibilidades e carências de produtos. Os produtos orbitais já demonstram, em estudos como o de Pinto & Amorim (2011), que possuem capacidade de atender até a escala de 1/10.000, entretanto para a sua aplicação como elemento de mapeamento, torna-se necessário o uso de um MDE, que nem sempre é possível em razão da limitada cobertura cartográfica do território nacional.

Observa-se que no Brasil as cartas topográficas oficiais são de competência da União, nos termos do artigo 21 da Constituição da República Federativa do Brasil (1988), e são elaboradas e distribuídas pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e pela DSG – Diretoria de Serviço Geográfico do Exército.

No entanto, o IBGE disponibiliza apenas, menos de 2% (dois por cento) do território brasileiro, o mapeamento na escala de 1/25.000, de forma que, as informações planialtimétricas disponíveis para todo o território brasileiro, são provenientes de produtos existentes na escala de 1/250.000, comprometendo a qualidade dos trabalhos em grandes escalas.

A importância do mapeamento em grandes escalas, se dá pelo fato dos detalhes obtidos em mapeamentos cadastrais, além da própria acurácia, requisitos demandados cada vez mais pela sociedade.

Miranda (2010) descreve que interpolação pode ser entendida como o processo de determinar valores desconhecidos usando valores conhecidos ou amostrados, assumindo que o valor que está sendo determinado é aproximado, em função do modelo matemático usado, e os valores desconhecidos são calculados de acordo com esta função. Os melhores resultados são obtidos quando a função matemática se comporta de maneira similar ao fenômeno.

Burrough & McDoneel (1998), afirmam que os interpoladores são divididos em duas categorias: os determinísticos e os estocásticos.

Os determinísticos geram superfícies considerando apenas as funções matemáticas e não se preocupam com a variabilidade espacial, e segundo Mazzini & Schettini (2009), os interpoladores estocásticos fazem uso da teoria da probabilidade, e incorporam critérios estatísticos na determinação do peso atribuído aos pontos amostrais para o cálculo das interpolações.

Os métodos de interpolação mais conhecidos e que serão analisados neste estudo são: *Triangular Irregular Network* (TIN), *Inverse Distance Weighting* (IDW), *Topo to Raster*, *Kriging*, e *Natural Neighbor*.

Estudos de Hutchinson *et al.* (2009), mencionam a existência de vários interpoladores para diversas finalidades, um deles é o método “Topo to Raster”, onde a interpolação dos dados é feita utilizando a soma ponderada dos quadrados dos resíduos a partir dos dados de elevação da superfície representada pela grade amostral. No estudo de Celestino (2014), após várias pesquisas acerca de interpoladores, chegou-se a conclusão que, para refinar modelos digitais de elevação, o método “Topo to Raster” era suficiente, obtendo assim, o mesmo resultado do estudo de Hutchinson *et al.* (2009), quando concluiu que o método ANUDEM (no qual o “Topo to Raster” é baseado) é indicado para gerar modelos de elevação acurados.

O método da krigagem não é um método simples de interpolação, pois utiliza geoestatística para efetuar a interpolação, o que em muitos casos, é uma grande vantagem sobre outros métodos, pois esta técnica, por ser estocástica, considera a variação do relevo em função da distância, sendo assim, a krigagem requer, além dos dados de entrada, informações geoestatísticas (coeficientes), que controlam a distribuição dos pesos para o cálculo dos valores interpolados. De acordo com Carmo (2015) a krigagem define o grau de dependência ou correlação espacial entre as amostras por semivariograma, e é a partir desta definição, que se define os melhores pesos para as amostras.

2 Áreas de Estudo

A partir do mapa de declividade oficial do Brasil, foram delimitadas 6 áreas para avaliação do SRTM, sendo estas áreas, separadas pelas classes de declividade: plana (0 a 3%), suave-ondulado (3 a 8%), ondulado (8 a 20%), forte-ondulado (20 a 45%), montanhoso (45 a 75%) e escarpado (acima de 75%), conforme ilustra a Figura 1.

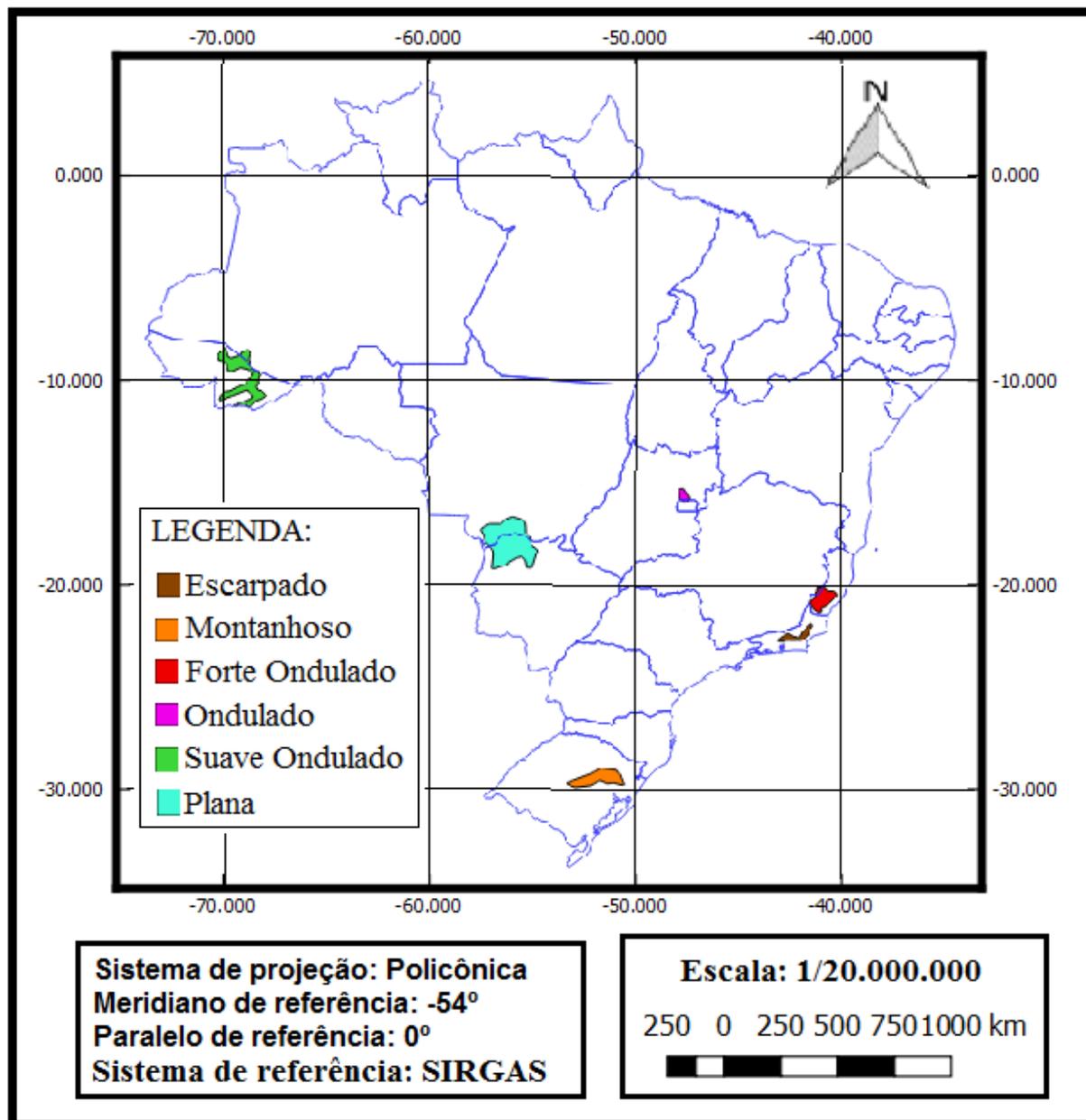


Figura 1 Áreas de Estudo (Fonte: Limites estaduais elaborados pelo IBGE).

Foi selecionada uma área ao norte do Estado do Mato Grosso do Sul e sul do Estado do Mato Grosso, com pouco mais de 50.000 km², tendo sua declividade classificada como sendo do tipo plano, conforme mostra a Figura 1.

Além desta, foi delimitada também uma área ao leste do Estado do Acre, com pouco mais de 16.000 km², tendo sua declividade classificada como sendo do tipo suave ondulado, conforme ilustra a Figura 1.

Já para a declividade classificada como sendo do tipo ondulado foi escolhida uma área na parte noroeste do Distrito Federal, pegando parte do

Estado de Goiás, com pouco mais de 2.000 km², de acordo com a Figura 1.

Uma área na parte sul do Estado do Espírito Santo e parte do Estado de Minas Gerais, totalizando pouco mais de 6.000 km², cuja declividade é classificada como sendo do tipo forte ondulado, foi demarcada também para avaliação conforme é representado na Figura 1.

A Figura 1 ilustra uma área da parte centro-leste do Estado do Rio Grande do Sul e da serra gaúcha, com pouco mais de 9.000 km², onde sua declividade é classificada como sendo do tipo montanhoso, a qual será objeto de estudo.

Foi selecionada uma área da parte central do Estado do Rio de Janeiro constituída pela serra de Petrópolis, Teresópolis, Silva Jardim e outras, acumulando uma área de pouco mais de 4.000 km², tendo sua declividade classificada como sendo do tipo escarpado, conforme mostra a Figura 1.

Vale ressaltar que não houve seleção de área na região nordeste para evitar duplicidade, uma vez que as classes de declividade ali presentes já foram selecionadas nas demais regiões do Brasil.

Os dados de referência, obtidos por meio

de sistema GNSS, de diversas áreas do território brasileiro foram cedidos pelo IBGE, sendo distribuídos da seguinte forma: 309 pontos na área plana, 102 pontos na área suave ondulado, 58 pontos na área ondulada, 248 pontos na área forte ondulado, 222 pontos na área montanhosa e por fim 511 pontos na área escarpada.

3 Método

A estrutura metodológica da presente pesquisa é apresentada na Figura 2.

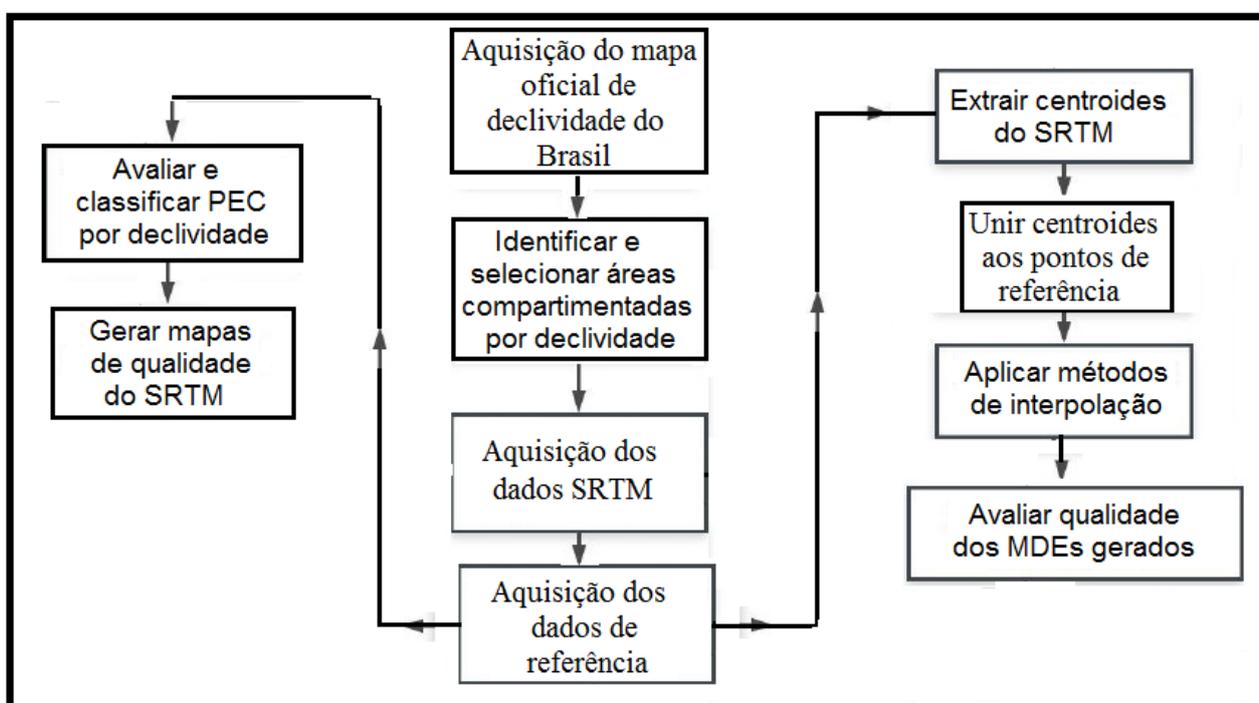


Figura 2 Fluxograma das etapas do estudo.

O controle de qualidade dos dados do SRTM foi realizado tendo por base o Decreto n° 89.917/1984, que estabelece o PEC como indicador de dispersão relativo a 90% de probabilidade, para a

acurácia de trabalhos cartográficos, ou seja, 1,6449 vezes o erro padrão. A classificação do PEC disposto no referido decreto é ilustrada na Tabela 1.

| PEC Altimétrico | Análise Qualidade | 1/25.000 | 1/50.000 | 1/100.000 | 1/250.000 |
|-----------------|-------------------|----------|----------|-----------|-----------|
| Classe A | EQM | 3,33 m | 6,66 m | 13,33 m | 33,33 m |
| | LE 90 | 5 m | 10 m | 20 m | 50 m |
| Classe B | EQM | 4 m | 8 m | 16 m | 40 m |
| | LE 90 | 6 m | 12 m | 24 m | 60 m |
| Classe C | EQM | 5 m | 10 m | 20 m | 50 m |
| | LE 90 | 7,5 m | 15 m | 30 m | 75 m |

Tabela 1 PEC Altimétrico analógico (Fonte: Brasil. Decreto n. 89.817, de 20 de junho de 1984).

Tendo as áreas delimitadas e com os pontos de referência, calculou-se o valor do Erro Quadrático Médio (EQM) para cada uma das 6 áreas, aplicando a Equação 1 e baseando-se na Tabela 1, classificou-se o PEC em cada área selecionada para este estudo.

$$EQM_{alt.} = \sqrt{\frac{(\sum \Delta H^2)}{N - 1}} \quad (1)$$

Visando obter a qualidade do SRTM ao longo de todo o território brasileiro, extrapolou-se para todo o Brasil os resultados dos PECs obtidos nas áreas de estudo separadas por classes de declividade, gerando o mapa da qualidade do SRTM. Para esta etapa, foi realizado o seguinte procedimento: Os atributos do mapa de declividade do Brasil, que são as classes de declividade, foram substituídos pelos respectivos PECs obtidos nas áreas piloto.

Para extrair do SRTM dados compatíveis com escalas melhores, realizou-se procedimentos de refinamento do mesmo em cada uma das 6

áreas delimitadas por classe de declividade, este refinamento foi efetuado em quatro etapas. A primeira foi a extração dos centroides dos *pixels* do SRTM, gerando um arquivo vetorial de pontos, tendo como atributo a informação altimétrica. A segunda etapa foi incluir, em cada um dos seis conjuntos de pontos formados pelas seis áreas de estudo, pontos de controle obtidos por meio de técnicas de rastreamento, utilizando-se o sistema GNSS.

O terceiro passo foi interpolar cada conjunto de pontos separadamente pelos seguintes métodos: *Triangular Irregular Network* (TIN), *Inverse Distance Weighting* (IDW), *Topo to Raster*, *Kriging*, e *Natural Neighbor*. Finalmente, foi avaliado o PEC dos novos MDEs gerados.

4 Resultados e Discussão

A Tabela 2 apresenta os valores do EQM, do LE90 (Linear Erro), além da classificação do PEC analógico e digital obtidos nas áreas piloto.

| Análise de Qualidade | Classes de declividade | | | | | |
|----------------------|------------------------|----------------|----------|----------------|------------|-----------|
| | Plano | Suave ondulado | Ondulado | Forte ondulado | Montanhoso | Escarpado |
| EQM | 4,78m | 4,99m | 5,27m | 6,18m | 8,22m | 14,18m |
| LE90 | 7,70m | 8,82m | 9,34m | 10,81m | 11,72m | 15m |
| PEC Analógico | 50 A | 50A | 50 A | 50 B | 50 C | 100 B |
| PEC Digital | 50 B | 50 B | 50 B | 50 C | 50 D | 100 C |

Tabela 2 PEC do SRTM individualizado por classes de declividade.

Após a obtenção dos resultados, foram substituídos os atributos referentes às classes de declividade do mapa de declividade do Brasil pelos respectivos resultados do PEC analógico, apresentados na Tabela 2, ou seja, onde há presença de áreas cujas declividades são classificadas como plano, suave ondulado e ondulado no mapa de

declividade do Brasil, foram classificadas com o PEC 1/50.000 classe A, forte ondulado foram classificadas como 1/50.000 classe B, montanhoso foram classificados como 1/50.000 classe C e escarpado classificado como 1/100.000 classe B, gerando assim o mapa de qualidade do SRTM para todo o território brasileiro, conforme ilustra a Figura 3.

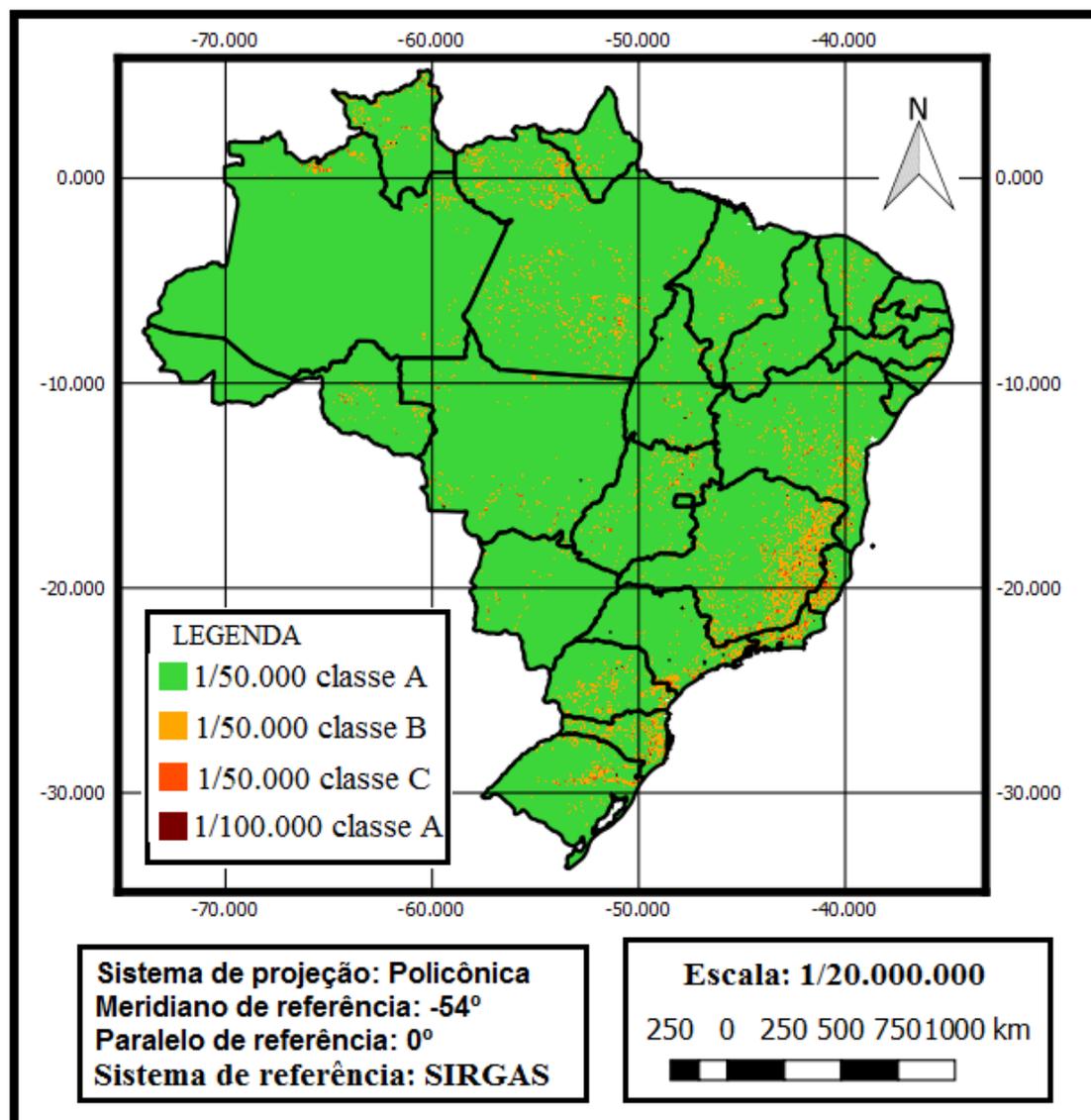


Figura 3 Mapa de qualidade do SRTM (Fonte: Limites Estaduais elaborados pelo IBGE)

Da análise da Figura 3, pode-se observar que a região sudeste é a região onde se concentra a maior parte das áreas com declividade mais acentuadas,

seguida da região sul, onde, após quantificar a presença de cada classe de declividade em cada região do Brasil, foi possível gerar a Tabela 3.

| Classes de declividade | Região Sul | Região Sudeste | Região Centro-Oeste | Região Nordeste | Região Norte | BRASIL |
|------------------------|------------|----------------|---------------------|-----------------|--------------|--------|
| Plano | 23,88% | 20,29% | 50,88% | 45,94% | 49,02% | 43,73% |
| Suave Ondulado | 34,58% | 33,02% | 36,61% | 33,21% | 34,06% | 34,31% |
| Ondulado | 29,53% | 28,90% | 10,02% | 15,13% | 13,30% | 15,93% |
| Forte Ondulado | 11,28% | 15,84% | 2,29% | 5,28% | 3,38% | 5,49% |
| Montanhoso | 1,14% | 1,78% | 0,19% | 0,41% | 0,22% | 0,5% |
| Escarpado | 0,08% | 0,16% | 0,01% | 0,02% | 0,01% | 0,04% |

Tabela 3 Presença em % das classes de declividade por região.

A Tabela 3 apresenta que mais de 90% dos dados tem qualidade compatível com a escala 1/50.000 (PEC-A Analógico) e 1/50.000 (PEC-B Digital) para o Brasil, além das regiões norte, nordeste e centro-oeste, sendo que mais de 90% tem qualidade compatível apenas para a escala 1/50.000 (PEC-B Analógico) e 1/50.000 (PEC-C Digital) para as regiões sul e sudeste.

Os piores resultados do PEC estão concentrados na região sul e sudeste, e pode ser

explicado em razão do tipo de relevo encontrado, escarpado, mesmo assim, o PEC analógico e digital foram compatíveis com a escala de 1/50.000.

Com o objetivo de obter um MDE compatível com o PEC A na escala de 1/25.000 para todo o território brasileiro e visando obter o conhecimento da escala máxima que o SRTM é compatível após a aplicação de métodos de refinamento, a Tabela 4 apresenta os resultados das avaliações dos MDE's gerados por diversos métodos de interpolação.

| Declividade | Análise de qualidade | SRTM original | TIN | IDW | Krigagem | Topo to Raster | Vizinho mais próximo |
|----------------|----------------------|---------------|--------|--------|----------|----------------|----------------------|
| Plano | EQM | 4,78m | 4,76m | 4,77m | 4,69m | 4,70m | 4,76m |
| | LE90 | 7,70m | 7,63m | 7,64m | 7,59m | 7,58m | 7,65m |
| | PEC Analógico | 50-A | 50-A | 50-A | 50-A | 50-A | 50-A |
| Suave ondulado | EQM | 4,99m | 4,91m | 4,90m | 4,74m | 4,84m | 4,95m |
| | LE90 | 8,82m | 8,75m | 8,74m | 8,43m | 8,35m | 8,72m |
| | PEC Analógico | 50-A | 50-A | 50-A | 50-A | 50-A | 50-A |
| Ondulado | EQM | 5,27m | 5,09m | 5,12m | 4,99m | 4,79m | 5,15m |
| | LE90 | 9,34m | 9,12m | 9,08m | 8,69m | 8,74m | 9,10m |
| | PEC Analógico | 50-A | 50-A | 50-A | 50-A | 50-A | 50-A |
| Forte ondulado | EQM | 6,18m | 5,89m | 5,86m | 5,53m | 5,62m | 5,79m |
| | LE90 | 10,81m | 10,44m | 10,51m | 10,06m | 10,13m | 10,55m |
| | PEC Analógico | 50-B | 50-B | 50-B | 50-B | 50-B | 50-B |
| Montanhoso | EQM | 8,22m | 8,03m | 8,02m | 7,35m | 7,43m | 8,05m |
| | LE90 | 11,72m | 10,89m | 11,01m | 10,15m | 10,53m | 11,05m |
| | PEC Analógico | 50-C | 50-C | 50-C | 50-B | 50-B | 50-C |
| Escarpado | EQM | 14,18m | 13,67m | 13,62m | 12,77m | 12,88m | 13,50m |
| | LE90 | 15,00m | 13,44m | 13,57m | 11,24m | 12,53m | 13,33m |
| | PEC Analógico | 100-B | 100-B | 100-B | 100-A | 100-A | 100-B |

Tabela 4 Quadro de avaliações do refinamento do SRTM por interpolação.

É possível afirmar que o processo de interpolação obtém melhores resultados em áreas com relevo mais acidentado e menos nas áreas mais planas, esse fato se justifica porque nas áreas menos acidentadas não tem grandes variações entre o dado original e o dado interpolado.

A Tabela 4 confirma o resultado dos estudos de Celestino (2014), que indica o método de interpolação “Topo to Raster” para interpolação de modelos digitais de elevação, contudo, além do “Topo to Raster”, este mesmo quadro, indicou também que o método da krigagem, foi capaz de obter um novo MDE, nas declividades do tipo montanhoso e escarpado, com uma classificação do

PEC semelhante ao método “Topo to Raster”, esse fato pode ser explicado em função de que o método da Krigagem é um método estocástico, onde leva em consideração o peso que o modelo atribui às amostras em função da variação do terreno.

5 Conclusões

Ao se fazer uma avaliação do SRTM para o Brasil, baseando-se nos resultados apresentados, pode-se concluir que ele é compatível com as escalas de 1/50.000 (PEC-A Analógico) e 1/50.000 (PEC-B Digital) para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, assim como é compatível com as escalas de 1/50.000 (PEC-B Analógico) e 1/50.000

(PEC-C Digital) para as regiões Sul e Sudeste, e de acordo com estes mesmos resultados, 93,97% do SRTM para o Brasil é classificado com o PEC A (Analogico) e B (Digital) para a escala de 1/50.000.

É possível afirmar que, a partir dos resultados obtidos, a qualidade do SRTM varia com a declividade, obtendo menor qualidade em áreas mais acidentadas, porém, é possível melhorar a qualidade do mesmo nestas áreas mais íngremes por meio da aplicação de métodos de interpolação, associados a dados condicionantes de melhor qualidade densificando a amostra, cujos modelos mais adequados identificados neste estudo foram os métodos da krigagem e Topo to Raster.

Finalmente, pode-se afirmar diante dos resultados obtidos, que o SRTM é incompatível, até mesmo com um processo de interpolação, para geração de MDE em escala melhor que 1/25.000, em qualquer classe de declividade.

6 Referências

- BRASIL. 1984. Decreto N° 89.817 de 20 de Junho de 1984. Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em: 23 ago. 2017.
- BRASIL, 1988, Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Art. 21. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>.
- Burrough, P.A. & McDonnel, R.A. 1998. *Principles of Geographical Information System*. 2ª ed. New York, Oxford University Press, 356p.
- Carmo, E.J.; Rodrigues, D.D. & Santos, G.R. 2015. Avaliação dos interpoladores “krigagem” e “topo to raster” para geração de modelos digitais de elevação a partir de um “as built”. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 21(4): 674-690.
- Celestino, V.S. 2014. *Considerações sobre a qualidade altimétrica para projetos de usinas hidrelétricas*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Tese de Doutorado, 347p.
- Cruz, C.B.M.; Barros, R.S. & Rabaco, L.M.L. 2012. “Planialtimetric Accuracy Evaluation of Digital Surface Model (DSM) and Digital Terrain Model (DTM) Obtained from Aerial Survey with LIDAR.”. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 39: 45-48.
- Gomes, M.M. 2011. Method Expeditious on New Routes of Railway for Freight Transportation. Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, Dissertação de Mestrado, 191p.
- Höhle, J. & Höhle, M. 2009. Accuracy Assessment of Digital Elevation Models by Means of Robust Statistical Methods. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4): 398-406.
- Hutchinson, M.F.; Stein, J.A.; Stein, J.L. & Xu, T. 2009. Locally Adaptive Gridding of Noisy High Resolution Topographic Data. In: 18th WORLD IMACS CONGRESS AND MODSIM09 PROCEEDING INTERNATIONAL CONGRESS ON MODELLING AND SIMULATION, Cairns, Austrália, 2009. Cairns, Austrália, p. 2493-2499.
- Mazzini, P.L.F. & Schettini, C.A.F. 2009. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 13(1): 53-64.
- Miranda, J.I. 2010. *Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas*. 2ª ed. Brasília, Editora Embrapa Informação Tecnológica, 425p.
- Moura, L.Z.; Bias, E.S. & Brites, R. 2014. Avaliação da Acurácia Vertical de Modelos Digitais de Elevação (MDES) nas bacias do Paranoá e São Bartolomeu. *Revista Brasileira de Cartografia*, 1(66/1): 1-11.
- Orlandi, A.G. 2016. *Avaliação da acurácia do modelo SRTM para o Brasil*. Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade de Brasília, Dissertação de Mestrado, 54p.
- Pinto, M.S. & Amorim, A. 2011. Ortorretificação de imagem Quickbird com diferentes modelos digitais de terreno: análise da qualidade geométrica. *Revista Brasileira de Cartografia*, 63: 1-11.
- Rabus, B.; Eineder, M.; Roth, A. & Bamler, R. 2003. The shuttle radar topography mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS: Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57(4): 241-262.
- Santos, A.R.P.; Gaboardi, C. & Oliveira, C.L. 2005. Avaliação da Precisão Vertical dos Modelos SRTM para a Amazônia. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. p. 4473-4480.
- Touting, T. 2004. Geometric processing of Remote Sensing images: models, algorithms and methods. *International Journal of Remote Sensing*, 25(10): 1893-1924.
- Valeriano, M.D.M. & Rossetti, D.D.F. 2012. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography*. 32(2): 300-309.