

## Comparação de Modelos Digitais de Elevação gerados com dados oriundos de levantamentos de voçorocas com *laser scanner*

Carlos Magno Moreira de Oliveira <sup>1</sup>  
Márcio Rocha Francelino <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ  
BR 465, km 7 - 23890-000 - Seropédica - RJ, Brasil  
cmagnoliveira@hotmail.com  
marcio.francelino@gmail.com

**Abstract.** Digital elevation models are data structures that present a numerical spatial coordinates x, y and z terrain. These models can be divided into vector, by means of dots or lines or raster feature values that cover the surface regularly without overlapping and full coverage. The main source of data for most common MDEs are still developing the contours mainly provided by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), which in many cases do not attend some studies by the lack of detail, making each are used more data from remote sensors. The laser scanner is a tool that makes it possible to obtain three-dimensional information of the study area, with high accuracy and speed in the survey. The system generates and emits laser pulses that reach the surface of the scanned object at various points. These objects reflect the pulses of these and return to the system, thus enabling the calculation of the distance between the sensor and the object by the time of emission and reflection of the pulse. This study aimed to evaluate the effectiveness of three software for generating digital elevation models with data from scans of gullies located in the municipality of Brooms (RJ). The softwares were backed ArcGIS 10.0 (ESRI), with the the top to raster tool, FUSION 3.10 (Forest Service of the United Stated Department of Agriculture) and Microstation 08:09 (Bentley Systems).

**Palavras-chave:** remote sensing, DEM, erosion, sensoriamento remoto, MDE, erosão

### 1. Introdução

A obtenção de modelos digitais de elevação com uma boa acurácia é de grande importância para o estudo e análise em diversas disciplinas que lidam com questões relacionadas à organização, planejamento e gestão do espaço geográfico.

Um modelo digital de elevação (MDE) se define como uma estrutura numérica de dados que representa a distribuição espacial da altitude da superfície do terreno. De forma geral a unidade básica de informação de um MDE é um valor de altitude, z, a que acompanha os valores correspondentes de x e y, expressados em um sistema de projeção geográfica para uma precisa representação espacial. Os modelos digitais de elevação são divididos basicamente em dois grupos em função da concepção básica da representação dos dados: vetorial e *raster*. Os modelos vetoriais estão baseados em entidades, basicamente pontos e linhas, definidas por suas coordenadas. Nos modelos *raster*, os dados interpretam como o valor médio de unidades elementares de superfície não nula que tecem o terreno com uma distribuição regular, sem sobreposição e com recobrimento total da área representada (Felicísimo, 1994).

No Brasil a fonte de dados mais comum para geração de MDEs ainda são as curvas de nível e, de forma complementar, a rede hidrográfica, obtidas em cartas topográficas, principalmente aquelas elaboradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE; entretanto, 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 (Chagas et al, 2009).

Equipamentos como o laser scanner utilizados na obtenção de informações tridimensionais da área de interesse proporcionam um aumento no detalhamento e conseqüentemente um aumento na precisão dos dados levantados. O sistema *laser scanner* gera uma nuvem de pontos com coordenadas X, Y e Z (latitude, longitude e altitude) sobre uma superfície. Através de pulsos de laser, que são gerados e emitidos pelo sistema, e com

auxílio de um espelho de varredura, estes são direcionados, atingindo a superfície dos objetos em vários pontos. Estes objetos refletem o pulso incidente e parte do pulso volta para o sistema. Com isto, a distância entre o sensor e o objeto é determinada através do intervalo de tempo entre a emissão e a reflexão (retorno) do pulso (Dalmolin e Santos, 2004). Este sistema de levantamento topográfico permitiu a solução de diversos problemas encontrados durante levantamentos topográficos, pois concilia a precisão dos dados com a geração de milhões de pontos em um curto intervalo de tempo, reduzindo assim o tempo de realização de levantamentos topográficos.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de três softwares para geração de modelos digitais de elevação a partir de dados de varreduras de voçorocas obtidos com *laser scanner*.

## 2. Metodologia de Trabalho

O município de Vassouras está localizado na região do Médio Vale do Paraíba do Sul (Figura 1). Tem uma população de aproximadamente 34.000 habitantes e uma extensão territorial de aproximadamente 552 Km<sup>2</sup> (IBGE, 2009). Localiza-se a uma latitude de 22°24'14" Sul e longitude 43°39'45" Oeste.

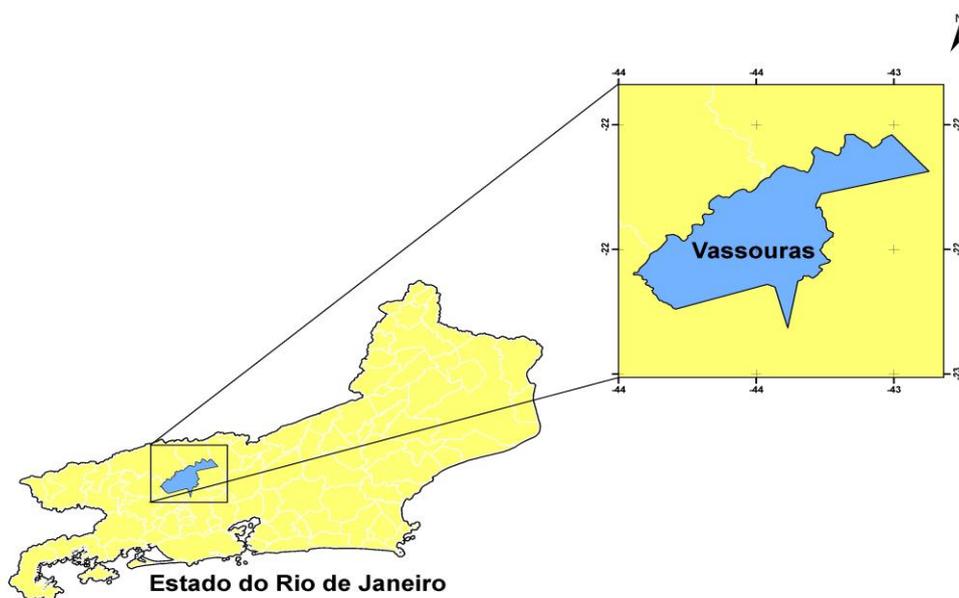


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

Para o levantamento de dados no campo foram utilizados os equipamentos GNSS (Global Navigation Satellite Systems) da marca Leica modelo 1200x, que coleta pontos na área com alta precisão e um *laser scanner* modelo Quarryman Pro da marca MDL.

No estudo foram escaneadas duas voçorocas, denominadas de Voçoroca 1 e Voçoroca 2 e em cada uma foram coletadas coordenadas nos locais onde foi estacionado o *laser scanner* e um ponto de referência para orientação do equipamento. Tanto para Voçoroca 1 quanto para Voçoroca 2 foram feitas duas varreduras, sendo que o equipamento foi configurado usando o modelo de varredura em retângulo com distância entre pontos de 20cm, isto é, o aparelho fazia o levantamento de pontos de 20x20cm tanto no sentido horizontal como na vertical.

Após o trabalho de campo os dados foram descarregados em um computador e processados no software da MDL model 1.10. O arquivo gerado na varredura possui uma grande quantidade de pontos que foram refletidos fora da área de interesse devido a

configuração de varredura do aparelho (retângulo). Os pontos gerados fora da região de interesse foram excluídos e então o arquivo resultante foi exportado para o formato dxf.

Para avaliação da qualidade dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) foram realizadas interpolações em três softwares, sendo: ArcGIS versão 10.0 – desenvolvido pela ESRI; MicroStation versão 08.09– desenvolvido pela Bentley Systems; FUSION versão 3.10 – desenvolvido pela Forest Service of the United States Department of Agriculture. O ArcGIS e o Microstation são softwares pagos e o FUSION possui licença gratuita.

A variação da interpolação em diferentes softwares possibilita uma avaliação da qualidade dos modelos gerados, isto porque cada software usa um algoritmo diferente para interpolação dos dados, fazendo com que os dados estimados sejam mais ou menos próximos ao seu valor real.

A ferramenta *Topo to Raster*, do ArcGIS, interpolou os pontos gerando um arquivo *raster* com células com dimensões de 10 cm de aresta.

Para geração do MDE no Microstation é necessário a extensão Geopak, também elaborado pela Bentley Systems. Foi importado o arquivo de pontos no formato dwg, e então gerado um TIN (*Triangular Irregular Network*) a partir da nuvem de pontos. A partir do TIN foi gerado um *Lattice*, que propicia a suavização das complexidades do relevo, proporcionando um efeito visual mais agradável e mais próximo do real que o TIN. O *Lattice* é uma malha de linhas georreferenciada com coordenadas nos planos x, y e z, variando sua complexidade de acordo com a necessidade de detalhes exigida pelo usuário. Quanto maior a riqueza de detalhes, maior é o tempo de processamento dos dados até o resultado final.

Para o processamento dos dados no software FUSION foi necessário a utilização de uma imagem georreferenciada, dispensada nos outros softwares, para situar o arquivo de pontos. Para trabalhar com os dados, o arquivo deve estar no formato .lda ou .LAS. Gera-se a partir dos pontos um DTM, posteriormente exportado para ASCII. Esta última extensão possibilita o manuseio dos dados junto ao ArcGIS, podendo-se posteriormente lançar mão de ferramentas para extração de informações e avaliação dos modelos.

Os MDEs gerados por esses softwares foram então importados no ArcGIS para comparação dos resultados. Para tal procedimento foram extraídos pontos de controle da nuvem de pontos original, estando estes pontos situados do lado interno do limite traçado para cada voçoroca. Com a ferramenta *Extract Multi Values to Points* do ArcGIS, foi extraído os valores de elevação dos *rasters* gerados para então comparar destes valores com os reais. Para um melhor embasamento e comparação dos resultados obtidos da comparação dos valores dos pontos altimétricos, foram desenhados perfis topográficos cima dos MDEs para uma comparação.

### **3. Resultados e Discussão**

#### **3.1 Voçoroca 1**

Na varredura realizada na Voçoroca 1 foi gerado uma malha contendo 256.422 pontos. Essa malha de pontos foi interpolada gerando três MDEs em programas diferentes e a partir desses foram retirados dados altimétricos de pontos com coordenadas x e y já conhecidos, tendo-se então valores reais que podem ser comparados com valores estimados pela interpolação de pontos (Figura 2). Para essa análise foram selecionados 76.744 pontos e a partir destes foram extraídos os valores altimétricos (z) estimados dos MDEs. Os dados extraídos foram exportados e avaliados através dos resíduos gerados.

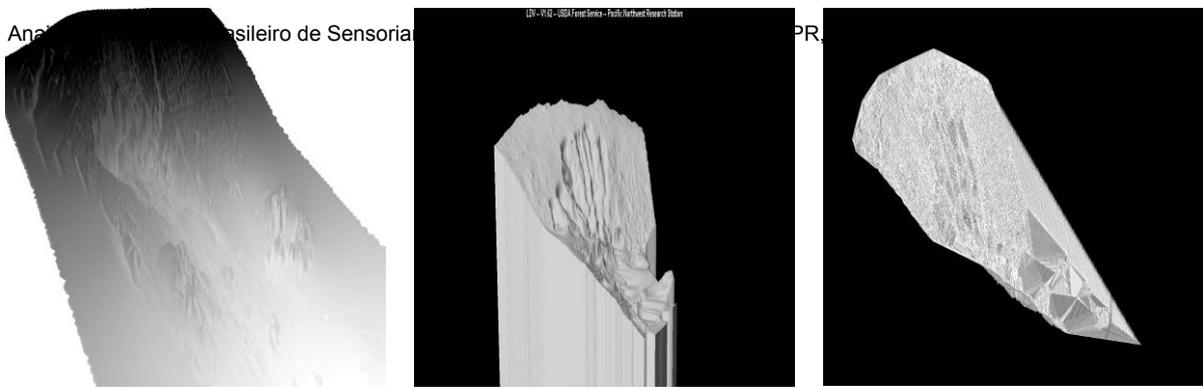


Figura 2. MDEs gerados no ArcGIS, FUSION e Microstation, respectivamente.

Foram gerados perfis topográficos por meio de transectos traçados em três regiões, um ao longo do comprimento da feição (A-B), um no terço superior (C-D) e outro no terço inferior (E-F), para analisar a variação do relevo em cada MDE.

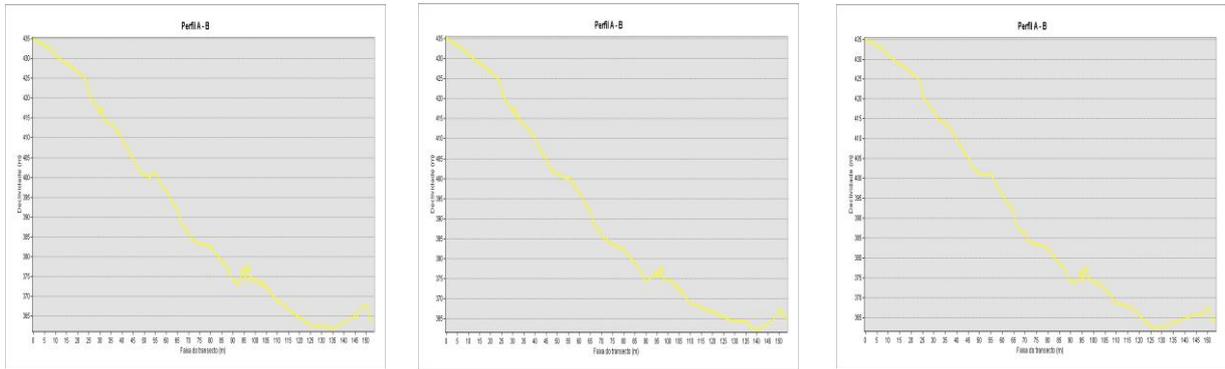


Figura 3. Perfil A – B dos MDEs dos softwares ArcGIS, FUSION e Microstation.

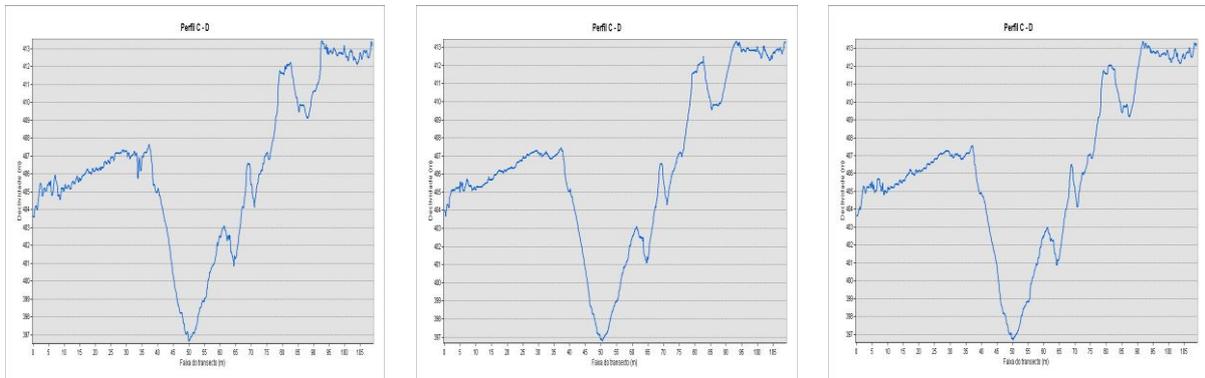


Figura 4. Perfil C – D dos MDEs dos softwares ArcGIS, FUSION e Microstation.

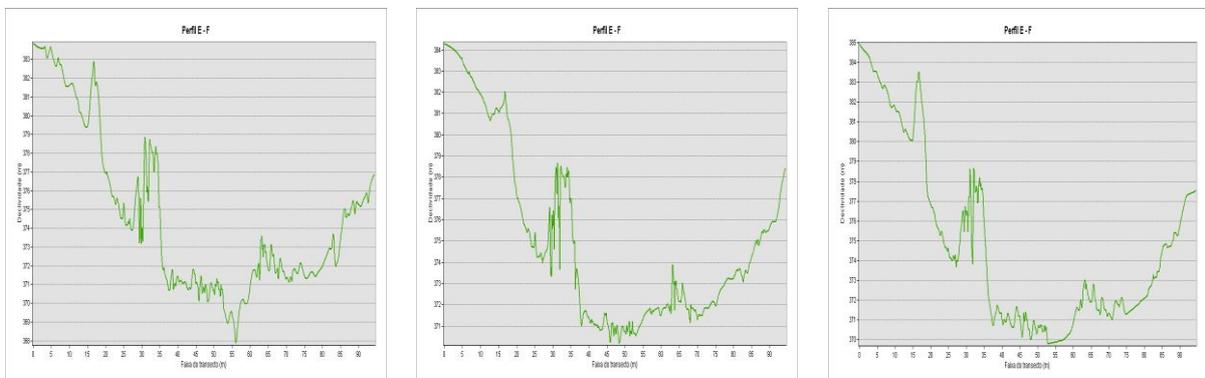


Figura 5. Perfil F – F dos MDEs dos softwares ArcGIS, FUSION e Microstation.

Através de uma observação sobre os perfis topográficos do transecto A-B, entre os intervalos 90 a 100 metros, pode-se ver uma mudança suave na modelagem do terreno no

terço inferior, na formação de um pequeno pico. Outro local que houve uma discrepância, ainda no transecto A-B, foi a partir do ponto 115m. Observa-se que essa foi a região com maior variação entre os três perfis topográficos com relação a esse transecto (Figura 3),

Os perfis topográficos gerados a partir do traçado feito no terço superior da voçoroca foram denominados de C-D. Observa-se que entre os três perfis gerados nos diferentes MDEs, o ArcGIS gerou um modelo que contém um maior detalhamento, mostrado pelas diversas irregularidades, já que se trata da representação de uma feição exposta a efeitos naturais, ainda mais quando esses efeitos são intensivos, como os processos erosivos. A angulação de alguns pontos é algo importante a ser observado, já que se espera curvaturas mais acentuadas e menos pontiagudas quando se trata de um solo (Figura 4).

O traçado feito no terço inferior da voçoroca, denominado de transecto E-F, apresentou um grande variação em todo o seu trajeto, quando se compara os três gráficos. Essa grande variação será explicada posteriormente através da análise dos resíduos gerados (Figura 5).

Os pontos foram ordenados em ordem crescente em função dos seus valores altimétricos, isto é, os pontos com menor valor numérico possuem a menor altimetria, enquanto os pontos com maior valor numérico estão localizados nas áreas mais elevadas da feição erosiva. Pela distribuição dos resíduos nos gráficos apresentados, observa-se uma tendenciosidade dos maiores resíduos estarem concentrados na região mais baixa da voçoroca, o que pode ser justificado pela distribuição dos pontos na nuvem, mostrando que as áreas com menor recobrimento no escaneamento se localiza na região mais baixa (Figura 6).

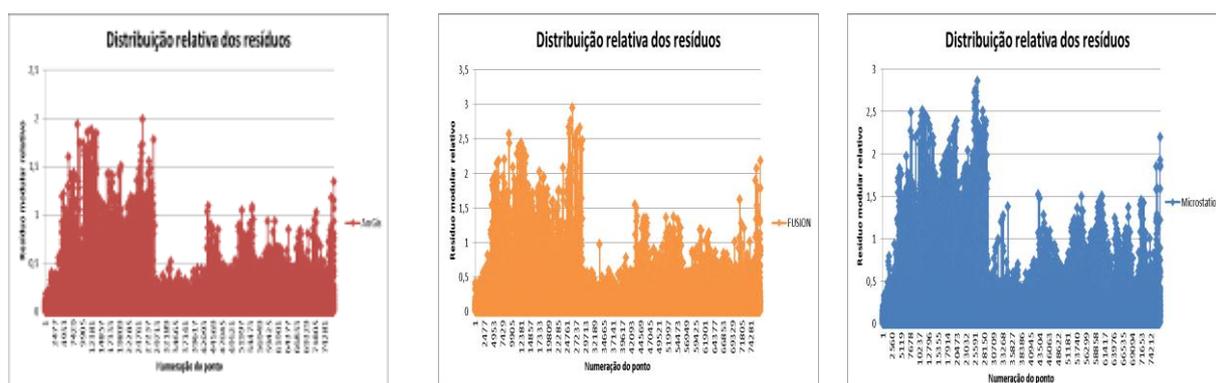


Figura 6. Distribuição dos resíduos modulares relativos.

Foi calculada a média dos resíduos modulares relativos, para avaliar quais dos MDEs contém informações tridimensionais mais próximas do valor real. O ArcGIS teve um resíduo modular relativo de 0,0598m; o FUSION obteve 0,0891m e 0,1355m para o Microstation. Dentre eles, o ArcGIS foi o que teve o menor valor, indicando que este seria o melhor resultado obtido em relação aos demais.

### 3.2 Voçoroca 2

O procedimento realizado para geração dos MDEs para voçoroca 2, foram os mesmos utilizados para voçoroca 1. Utilizou-se os três programas propostos, assim como para avaliação dos resultados foram traçados três transectos e calculados os resíduos gerados (Figura 7).

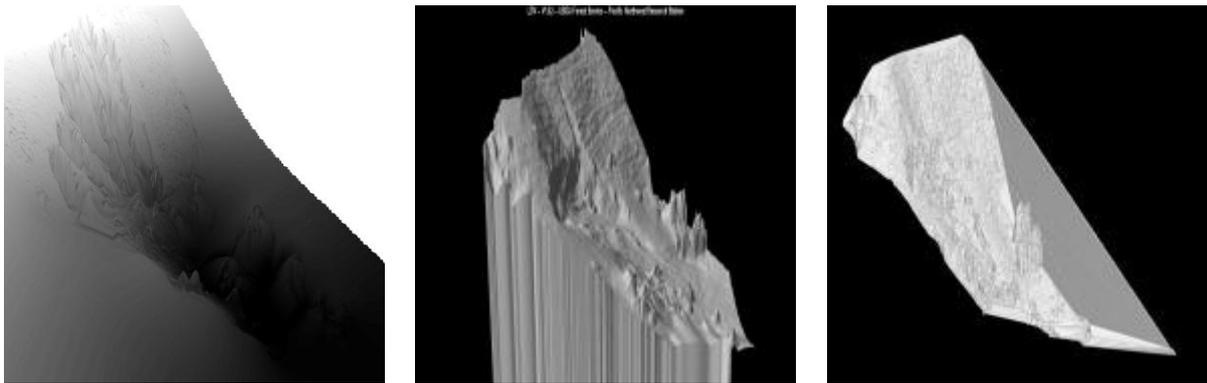


Figura 7. MDEs gerados no ArcGIS, FUSION e Microstation, respectivamente.

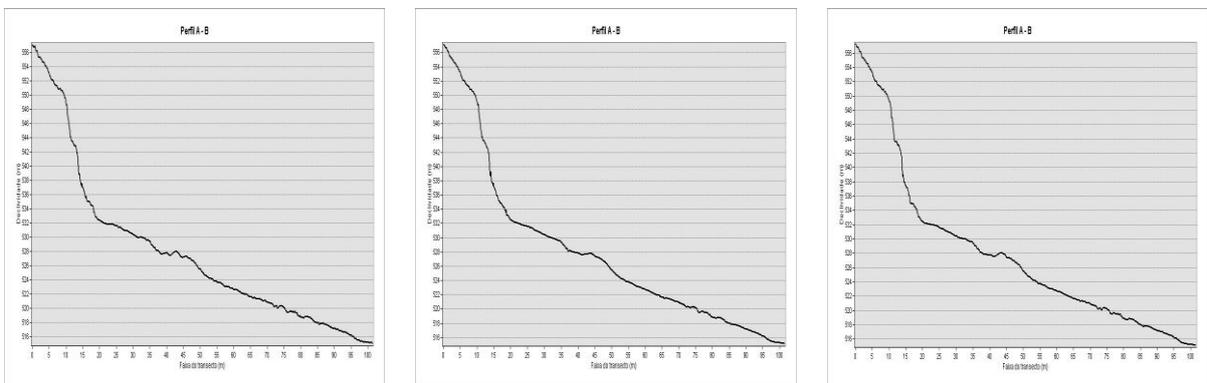


Figura 8. Perfil A – B dos MDEs dos softwares ArcGIS, FUSION e Microstation.

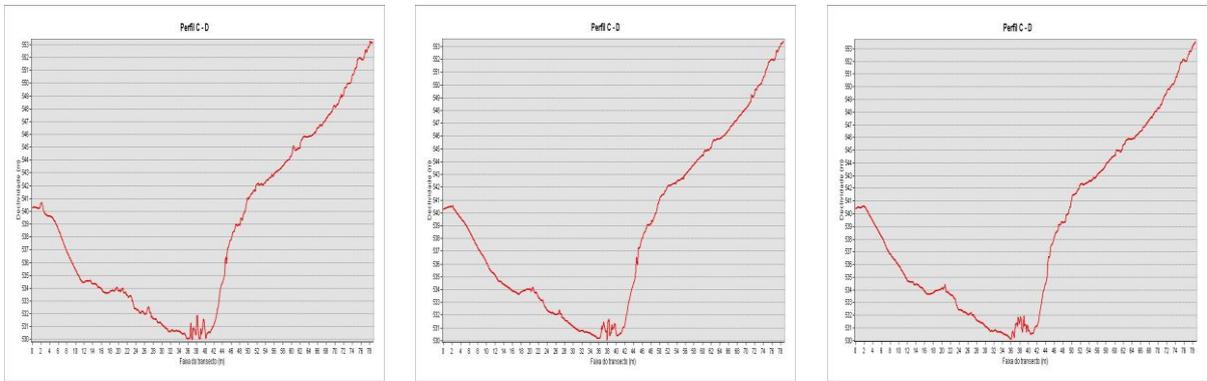


Figura 9. Perfil C – D dos MDEs dos softwares ArcGIS, FUSION e Microstation.

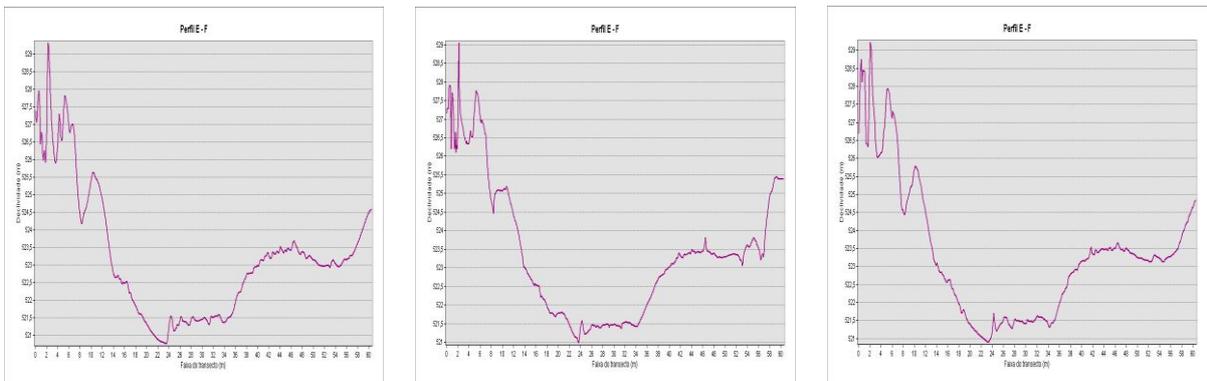


Figura 10. Perfil E – F dos MDEs dos softwares ArcGIS, FUSION e Microstation.

Os perfis topográficos gerados pelo transecto A-B não apresentaram uma diferença visualmente muito distintas entre eles. Como na voçoroca 1, no perfil topográfico gerado sobre MDE do ArcGIS observa-se uma detalhamento maior do relevo, através de suaves ondulações presentes na voçoroca. Ondulações estas, que não foram bem representadas nos outros perfis (Figura 8).

O transecto C-D foi traçado na parte superior da voçoroca. Com relação aos perfis produzidos a partir deste transecto, percebe-se uma variação no trecho que vai de 10 a 18 metros. Esta região ficou bem desenhado pelo ArcGIS e pelo Microstation, e pouco representada pelo FUSION (Figura 9).

Pela faixa compreendida de 10 a 12 metros representada nos perfis traçados a partir do transecto E-F, observa-se uma similaridade entre o traçado do ArcGIS e do Microstation. Seguindo um pouco a diante, esta semelhança também se mostra do trecho 40 a 60 metros nestes mesmos softwares e variando no software FUSION (Figura 10).

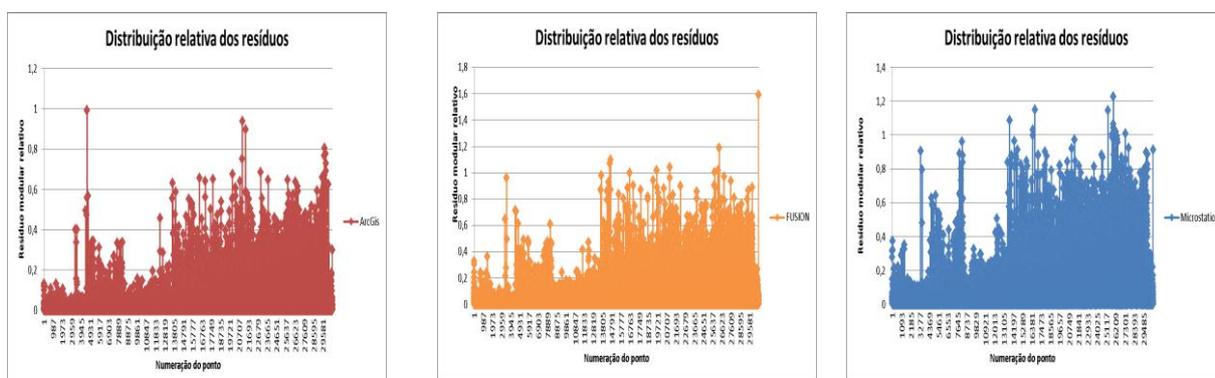


Figura 11. Distribuição dos resíduos modulares relativos.

Para esta voçoroca também foi calculado a média dos resíduos modulares relativos, para avaliar quais dos MDEs contém informações tridimensionais mais próximas do valor real. O ArcGIS obteve um resíduo modular relativo de 0,0360m; o FUSION obteve 0,0577m e 0,0828m para o Microstation. Assim como para a voçoroca 1, para esta o ArcGIS mostrou-se como o melhor software para produção de MDEs, por obter o menor resíduo modular relativo (Figura 11).

#### 4. Conclusões

O *laser scanner* mostrou-se uma ferramenta potencial para o estudo de voçorocas em virtude de sua alta precisão e rapidez na coleta de dados no campo, gerando modelos digitais de elevação com alta precisão.

Visualmente os três modelos digitais de elevação demonstram boa representação das feições estudadas. Na criação de um MDE busca-se sempre um modelo que contenha o máximo de detalhes, preservando sempre as características do terreno. Através da média dos resíduos modulares relativos calculado.

Levando-se em consideração o tempo de processamento dos dados e o valor da média dos resíduos modulares relativos, o ArcGIS com seu algoritmo *Topogrid* mostrou-se uma ferramenta potencial para a elaboração de modelos digitais de elevação com boa acurácia e alta qualidade de informações para feições erosivas.

Ressalta-se que este é um trabalho incipiente que necessita de outros levantamentos de campo com maiores repetições, aumentando o número de informações do terreno e obtendo resultados mais precisos.

## **5. Agradecimentos**

Agradeço a Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj) pela bolsa de iniciação científica concedida ao primeiro autor.

## **6. Referências Bibliográficas**

Chagas, C.S.; Filho, E.I.F.; Rocha, M.F.; Júnior, W.C. & Neto, C.S. **Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.14, n.2, p.218–226, 2010.

Dalmolin, Q.; Santos, D. R. **Sistema Laserscanner: Conceitos e Princípios de Funcionamento**. 3ª Edição – UFPR – Curitiba/PR – Brasil. 97 pg – 2004.

Felicísimo, A. M. **Modelos digitales del terreno: Introducción aplicaciones en las ciencias ambientales**. Oviedo: Universidad de Oviedo, 1994. <<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>>. 07 Nov. 2005.