

## Modelo Digital de Elevação da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim - ES obtido através de krigagem de dados SRTM

Reginaldo Alex Calçavara<sup>1</sup>  
Kleverson Alencastre do Nascimento<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estudante do Curso de Geografia do Centro Universitário São Camilo/Espírito Santo, Caixa Postal 234 – 29304-910 - Cachoeiro de Itapemirim – ES, Brasil  
reginaldocalcavara@gmail.com

<sup>2</sup> Professor do Curso de Geografia do Centro Universitário São Camilo/Espírito Santo, Caixa Postal 234 – 29304-910 - Cachoeiro de Itapemirim – ES, Brasil  
kleversonalencastre@saocamilo-es.br

**Abstract.** The study aims to identify what type of kriging model for to generate a DEM (Digital Elevation Model) from the data SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) Project that best represents the landforms of Hydrographic Basin of Itapemirim River. Was selected 18 samples of 30 rows by 30 columns from the SRTM data to analyze trends and acquisition of outliers data (regression). The kriging was realized after conversion to original SRTM data to cut to the area of interest in files points and the spatial resolution of the Kriging model remaked to approximately 30m (~0.000277°). After that, was done with outliers data geostatistical analisys for evaluation, through semivariograms and interpolation tests, for identify most representative kriging model to HBIR. The most representtive kriging model was done through to comparison os shading images by krige model Founded 18 semivariograms, only one (sample VA\_AR\_20) presented the exponential model like a theoric adjust model to experimental semivariogram. Others experimental semivariograms presented the Espheric model like as theoric adjust model. The Krige Mmodel has an upgrade of quality in the extraction of information for interpreting visual shaded images, especially in large scale, showing the improvement in the quality of the model which may make it more technically viable to extract morphometric landforms variables.

**Palavras-chave:** interpolation, geostistical, semivariogram, landform, interpolação, geoestatística, semivariograma, relevo.

### 1. Introdução

Um Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma representação digital de uma variação contínua do relevo no espaço (Burrough, 1986, *apud*, Almeida e Berger, 2007). O MDE, de acordo com Valeriano (2003), é um exemplo evidente da utilização dos Modelos Numéricos de Terreno (MNT), termo que designa a representação matemática e computacional da distribuição de um fenômeno espacial em uma dada região da superfície terrestre (Namikawa, et al., 2003).

Exemplos típicos de fenômenos que são representados através de MNT são os dados de relevo, informações geológicas, meteorológicas, dados geofísicos e geoquímicos, levantamentos de profundidade do mar e de rios (Felgueiras e Câmara, 2007). Estes autores listam ainda algumas aplicações para os MNT como armazenamento de dados de altimetria para geração de mapas topográficos; análises de corte-aterro para projetos de estradas e barragens; elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio à análise de geomorfologia e erodibilidade e apresentação tridimensional combinada com outras variáveis.

As análises ambientais e os projetos de engenharia solicitam frequentemente variáveis fornecidas por dados topográficos, que por sua vez, têm sido utilizados na caracterização de unidades de paisagem baseadas em variáveis morfológicas, relacionadas estritamente a feições geométricas da superfície analisada (Valeriano, 2008).

De acordo com Valeriano (2008), a identificação de sistemas terrestres ganha mais objetividade e uniformidade em relação aos métodos tradicionais (qualitativos), quando se adotam métodos paramétricos (quantitativos) que requerem a medição e mapeamento de variáveis do relevo, destacando-se dentre elas a altitude, declividade, curvaturas vertical e

horizontal, orientação de vertentes, dentre outras variáveis morfométricas, caracterizando o relevo de forma mais completa. O autor destaca que a abordagem paramétrica pode ser substancialmente facilitada por alternativas como imageamento orbital e geoprocessamento de MDEs, possibilitando a extração automática de informações da topografia, amenizando assim, a demanda de trabalho manual e a subjetividade dessas atividades (Valeriano, 2008).

Atualmente os MDEs podem ser adquiridos por sensores orbitais como é o caso dos dados do Projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) que é fruto da cooperação entre as agências espaciais dos Estados Unidos, da Alemanha e da Itália e que usa o mesmo instrumento utilizado no programa *Spaceborne Imaging Radar-C/X-Band Synthetic Aperture Radar* (SIR-C/X-SAR), a bordo do ônibus espacial *Endeavour*, adaptado para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre através de interferometria. Esses dados, entretanto, apresentam um grande número de vãos e outros pontos espúrios, como valores extremamente altos (picos) ou extremamente baixos (vórtices) além de os corpos d'água e as linhas de costa apresentarem-se mal definidos (Valeriano, 2004).

Os pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), através do projeto Brasil em Relevo efetuaram um trabalho de correção e padronização a partir dos dados SRTM, eliminando falhas e distorções dos mesmos a fim de disponibilizar informações sobre o relevo do território brasileiro (Miranda, 2005).

Os dados SRTM corrigidos pela EMBRAPA podem ser adquiridos gratuitamente através do site <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>, onde os mesmos encontram-se recortados em mosaicos estaduais com articulação de folhas em escala 1:250.000 compatíveis com as folhas 1:250.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Valeriano (2008) afirma que a preparação dos MDEs é um ponto-chave para sua viabilidade técnica, destacando trabalhos de pesquisa dedicados exclusivamente à preparação e à avaliação de MDEs através de métodos e dados diversos e aponta a krigagem, um interpolador inexato, como o método que melhor expressa as formas do relevo em relação a outros interpoladores exatos.

A krigagem é um método de interpolação no qual a cota de um ponto de interesse é calculada através da média ponderada das amostras vizinhas, distribuindo os pesos de acordo com a variabilidade espacial, determinada por meio de análise geoestatística, que por sua vez, fornece coeficientes, utilizados para controle da interpolação, que descrevem, em semivariogramas, a variabilidade espacial do conjunto analisado (Valeriano, 2008).

Por ser fundamentada na estatística, a krigagem está ligada à população de dados sobre estudo o que implica no fato de que conjuntos diferentes de dados apresentam diferentes coeficientes geoestatísticos, que, por sua vez, imprimem características distintas aos MDEs (Valeriano, 2004).

Assim, o presente trabalho objetiva identificar qual o modelo (coeficientes) de krigagem para a geração de um MDE que melhor expresse as formas do relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim – ES.

## **2. Metodologia de trabalho**

A Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim está localizada na região sul do Estado do Espírito Santo, Brasil (Figura 1) e abrange os municípios de Cachoeiro de Itapemirim, Castelo, Conceição do Castelo, Venda Nova do Imigrante, Muniz Freire, Alegre, Jerônimo Monteiro, Atílio Vivácqua, Ibitirama e parte dos municípios de Maratáizes, Itapemirim, Presidente Kennedy, Muqui, Vargem Alta, Iúna, Irupí e Ibatiba, totalizando 5.951,12 Km<sup>2</sup> de área, sendo que um pequeno trecho encontra-se no Estado de Minas Gerais.

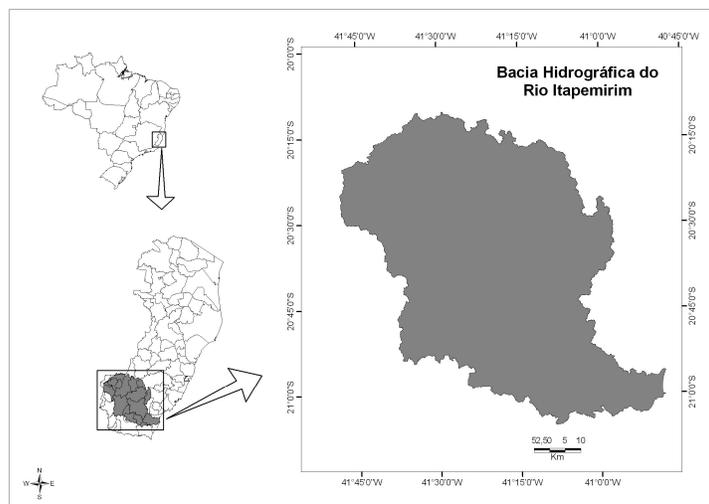


Figura 1 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim – ES.

Foram utilizados para o desenvolvimento deste trabalho os dados SRTM disponibilizados pela EMBRAPA, correspondentes às folhas SF-24-V-A e SF-24-V-C, em destaque no mosaico da Figura 2, que abrangem a bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim (BHRI).

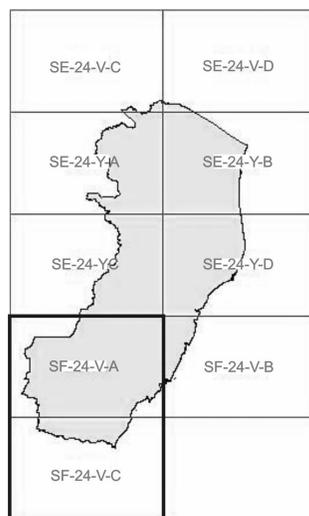


Figura 2 – Articulação das folhas SRTM 1:250.000 para o Estado do Espírito Santo, com destaque para as folhas utilizadas neste trabalho. Fonte: adaptado de EMBRAPA.

O presente trabalho baseia-se na metodologia proposta por Valeriano (2002, 2003 e 2004) e Valeriano e Abdon (2007) com algumas adaptações para os *softwares* aqui utilizados. Nesta metodologia, são selecionadas áreas amostrais de 30 linhas por 30 colunas a partir dos dados SRTM originais para análise de tendência e obtenção de resíduos (regressão). É realizada então, sobre os resíduos, análises geoestatísticas a fim de se avaliar, através de semivariogramas e testes de interpolação (krigagem), o melhor modelo de krigagem para a área total de estudo.

Os *softwares* utilizados para o desenvolvimento deste trabalho, na seqüência das atividades, foram *Global Mapper 8*: exportação de arquivos xyz e seleção de áreas amostrais;

*Microsoft Office Excel 2003*: análise de tendência e obtenção de resíduos (regressão); *GS+ for Windows*: análises geoestatísticas e *ArcMap 9.2*: conversão dos arquivos raster em pontos, interpolação (Krigagem) e avaliação dos resultados.

Foram selecionadas 18 amostras no total sendo uma amostra para cada Tipo de Modelado (RadamBrasil, 1983) mais significativo da BHRI a fim de se obter amostras em diferentes condições de superfície para que a análise contemple as possíveis estruturas de variabilidade espacial dos dados (Valeriano e Abdon, 2007).

Os semivariogramas obtidos para cada amostra (18 semivariogramas no total), foram agrupados, em função do modelo teórico de ajuste ao semivariograma experimental, e em seguida de acordo com o  $R^2$  (fator de ajuste), distinguindo três grupos: grupo A com  $R^2 > 0.95$ ; grupo B com  $R^2$  entre 0.95 e 0.9 e grupo C com  $R^2 < 0.9$ . Os testes de krigagem foram realizados tendo como referências:

- os parâmetros obtidos com a média do grupo A (de maior  $R^2$ );
- os parâmetros da amostra que mais se aproximou da média do grupo A;
- os parâmetros da média total das amostras de mesmo modelo teórico de ajuste e;
- os parâmetros da amostra que mais se aproximou da média total de cada modelo teórico.

A krigagem foi realizada após a conversão dos dados originais SRTM (matriz), recortados para a área de interesse, em arquivos de pontos, sendo a resolução espacial dos modelos krigados reamostrada para aproximadamente 30m ( $\sim 0,000277^\circ$ ).

A seleção do melhor modelo de krigagem para a BHRI foi realizada através da comparação de imagens sombreadas dos modelos krigados, pois, de acordo com Valeriano (2008), as imagens sombreadas expressam a aparência do relevo em função dos ângulos de exposição, revelando implicitamente a qualidade do modelo. O modelo selecionado, por sua vez, foi comparado, através de imagens sombreadas, da geração de isolinhas (curvas de nível) e de perfis com o modelo original SRTM (Valeriano 2004 e 2008).

### 3. Resultados e discussão

Dos 18 semivariogramas obtidos, apenas um (amostra VA\_AR\_20) apresentou o modelo Exponencial como modelo teórico de ajuste ao semivariograma experimental, sendo portanto, os parâmetros desta amostra os únicos a representar o modelo exponencial nos testes de krigagem. Os demais semivariogramas experimentais apresentaram como modelo teórico de ajuste o modelo Esférico. Assim, pode-se notar que o padrão de modelo de ajuste para a Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim é o modelo esférico.

A Tabela 1 a seguir apresenta as amostras e seus respectivos parâmetros e as médias selecionadas para a aplicação de testes de krigagem.

Tabela 1 – Amostras e médias selecionadas para aplicação em testes de krigagem.

<b>Amostra</b>	<b>Modelo</b>	<b>Ef. pepita</b>	<b>Patamar</b>	<b>Alcance</b>	<b><math>R^2</math></b>
VA_BD_29	Esférico	0,1113	1,0574	0,0084	0,954
VA_AQ_11	Esférico	0,0396	1,1113	0,012	0,959
VA_AR_20	Exponencial	0,0014	1,1699	0,0054	0,969
Média Grupo A	Esférico	0,0524	1,0921	0,0099	0,973
Média total	Esférico	0,0707	1,0604	0,0083	0,914

Dentre as amostras testadas, aquela que apresentou melhores resultados foi a amostra VA\_BD\_29 que foi a que mais se aproximou da média total das amostras. Os demais testes com modelos esféricos (amostra VA\_AQ\_11 e as médias) apresentaram resultados semelhantes ao da amostra VA\_BD\_29, porém, notou-se a geração de alguns artefatos no

relevo, sobretudo, nos topos de morro e vales. Já a amostra exponencial apresentou resultado mais discrepante com significativo incremento de artefatos no relevo.

A Figura 3 mostra uma comparação entre imagens sombreadas obtidas a partir dos modelos krigados, em área do Município de Cachoeiro de Itapemirim – ES.

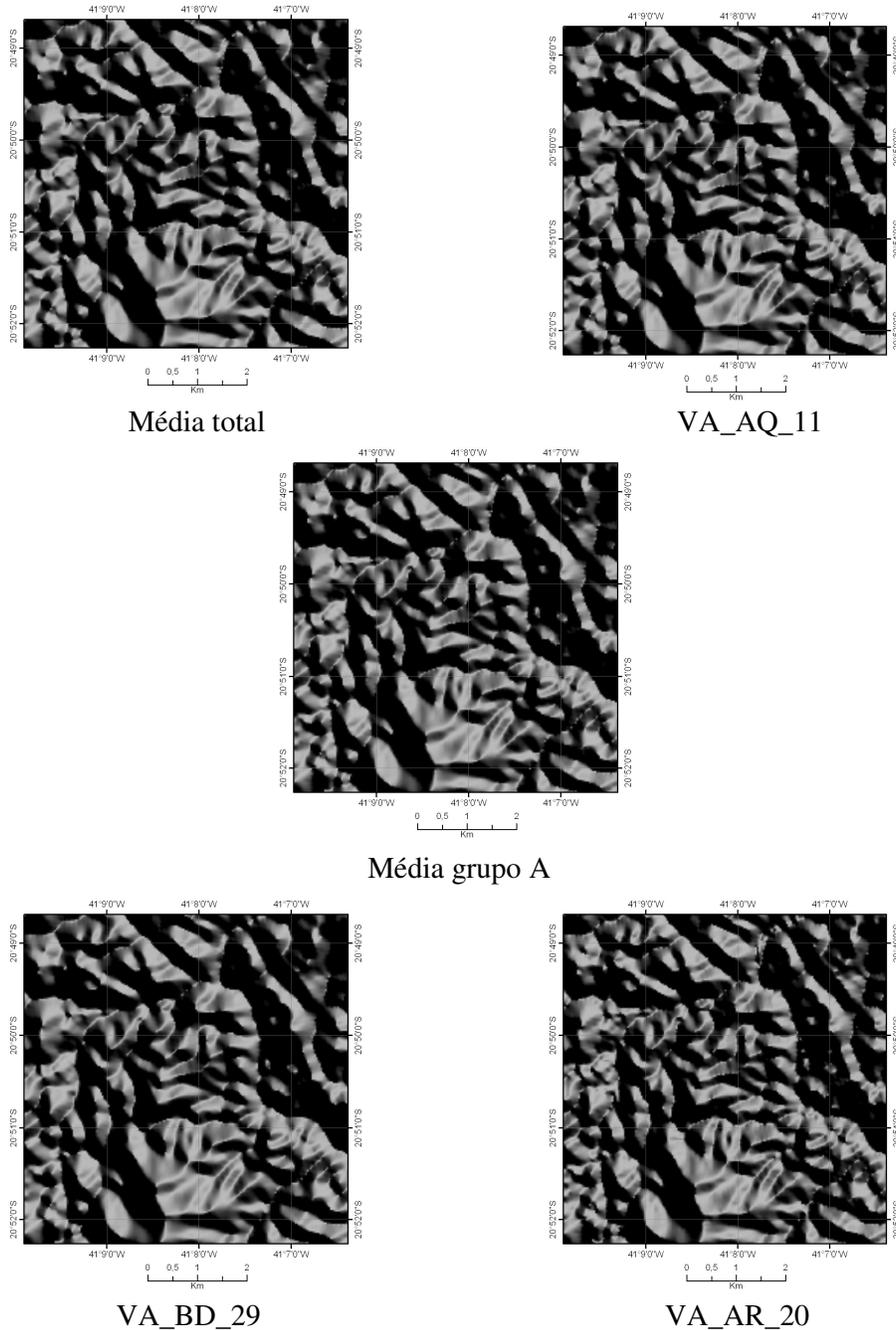


Figura 3 – Comparação entre imagens sombreadas dos modelos krigados (azimute e elevação=45°; ex. vertical=10). Escala original dos mapas igual a 1:50.000.

Devido aos melhores resultados, os parâmetros da amostra VA\_BD\_29 foram escolhidos como os que melhor modelam a Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim.

As Figuras 4 e 5 apresentam comparações entre imagens sombreadas da BHRI obtidas através dos dados originais SRTM e a partir do modelo krigado com os parâmetros da amostra VA\_BD\_29.

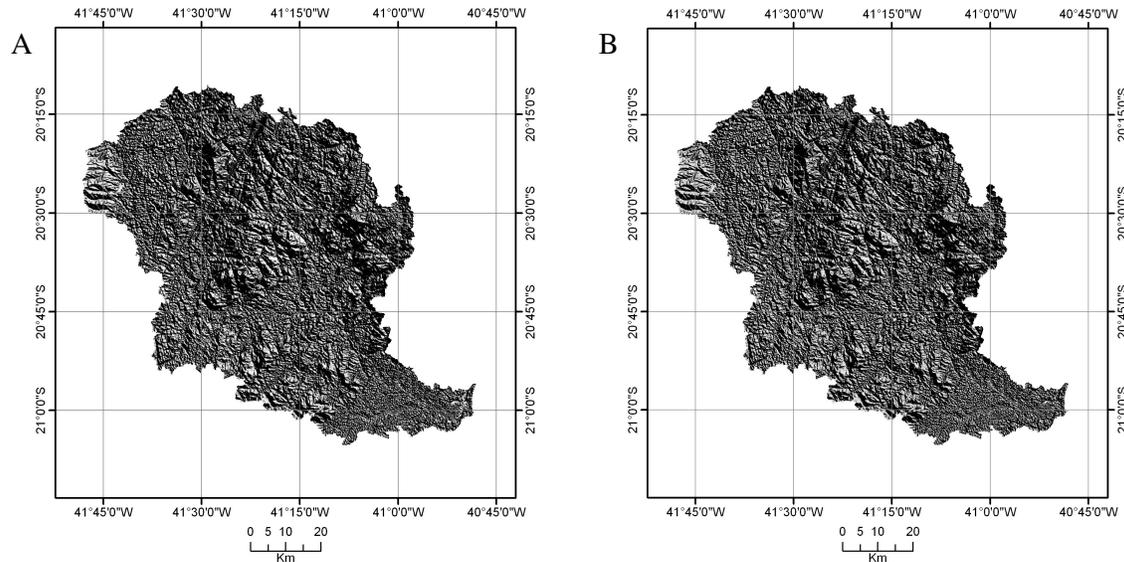


Figura 4 – Imagens sombreadas da BHRI obtidas a partir de dados originais SRTM (A) e a partir do modelo krigado (B) (azimute e elevação=45°; ex. vertical=10). Escala original dos mapas igual a 1:1.000.000.

Nesta escala de análise (1:1.000.000) não se notam diferenças entre os modelos. Em ambos é possível notar as estruturas geológicas (Lineamento de Guaçuí na porção centro superior da imagem), as suítes intrusivas (porção central da imagem), bem como os diferentes tipos de relevo. Entretanto, à medida que se amplia a escala de observação as diferenças entre o modelo original e o modelo krigado se tornam evidentes como mostra a Figura 5.

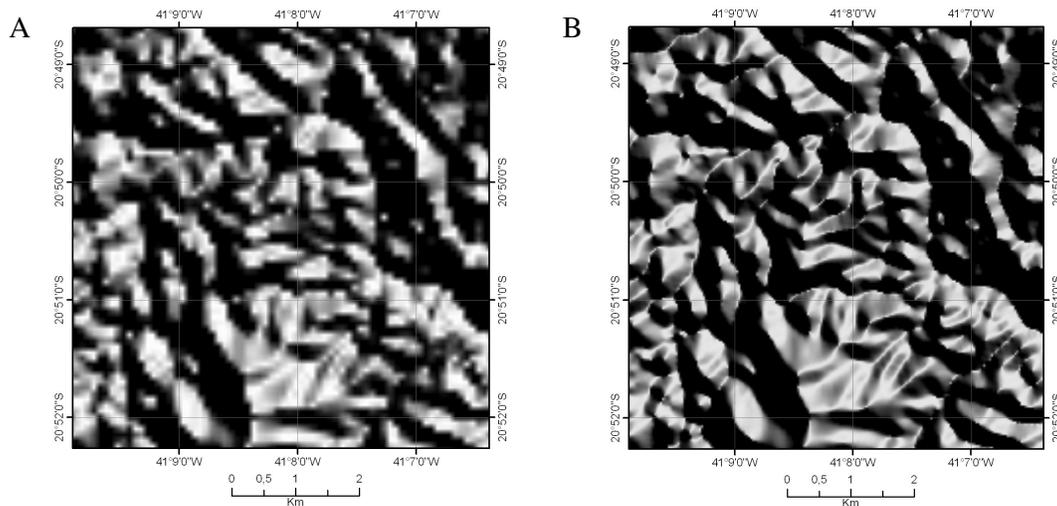


Figura 5 - Imagens sombreadas de área do Município de Cachoeiro de Itapemirim-ES obtidas a partir de dados originais SRTM (A) e a partir do modelo krigado (B) (azimute e elevação=45°; ex. vertical=10). Escala original dos mapas igual a 1:50.000.

Nota-se na Figura 5 (A) que em grande escala há uma perda na resolução da imagem com conseqüente perda de informações dos dados originais SRTM. Tem-se grande dificuldade na identificação da rede de drenagem, na definição dos topos de morro e dos vales, sobretudo nas áreas de relevo mais rebaixado e de alta freqüência. Tal observação condiz com os resultados obtidos por Valeriano (2004) em trabalho utilizando dados originais SRTM. Já o modelo tratado por krigagem (B) permite a visualização da rede de drenagem além da forma dos topos, dos vales e das vertentes.

Foram realizadas também comparações entre isolinhas (curvas de nível) e perfis topográficos extraídos dos dados originais SRTM e do modelo krigado, como mostra a Figura 6 a seguir.

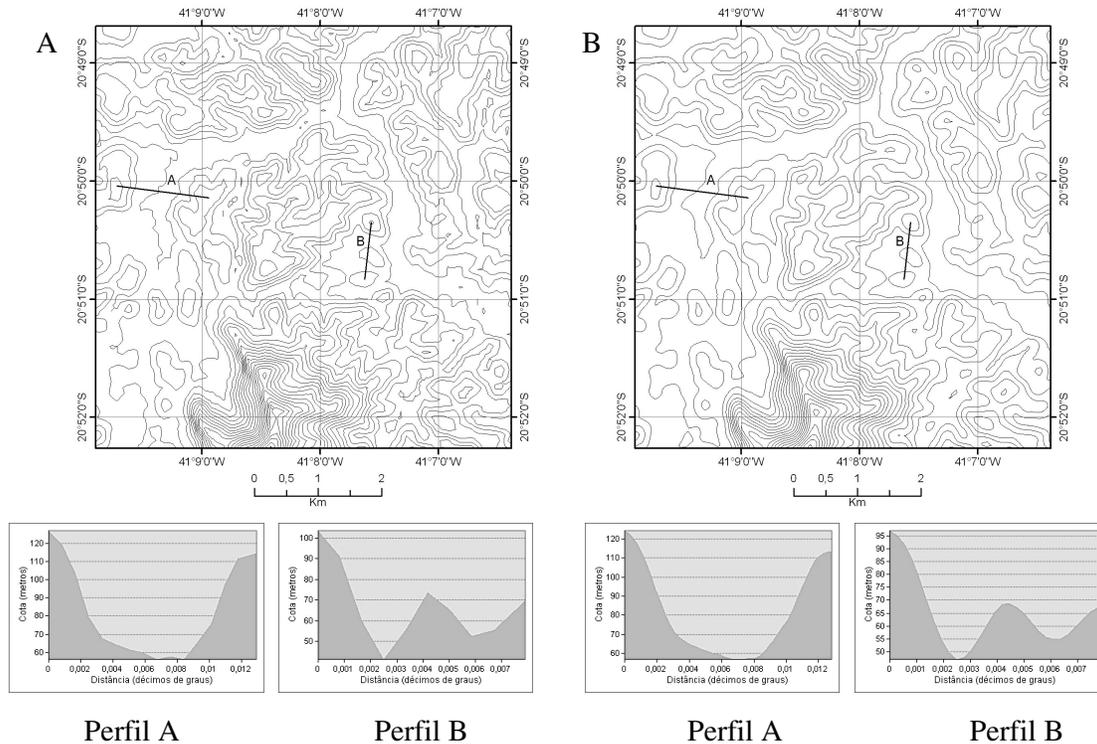


Figura 6 – Curvas de nível (eqüidistância igual a 20m) e perfis topográficos extraídos dos dados originais SRTM (A) e a partir do modelo krigado (B). Escala original de 1:50.000.

É possível observar que tanto as curvas de nível como os perfis da Figura 6, extraídos dos dados originais SRTM (A) apresentam-se serrilhados e com arestas em decorrência da resolução espacial destes dados o que não ocorre com o modelo tratado com krigagem (B).

#### 4. Conclusões

Os coeficientes fornecidos pelas análises geoestatísticas aplicados em testes de krigagem sobre os dados SRTM, possibilitaram a identificação do modelo Esférico como o modelo de krigagem que melhor expressa as formas de relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim. O modelo krigado possibilitou um ganho de qualidade na extração de informações para interpretação visual em imagens sombreadas, sobretudo, em grande escala, revelando implicitamente a melhora na qualidade do modelo o que pode torná-lo mais viável tecnicamente para extração de variáveis morfométricas do relevo como declividade, curvaturas e orientação de vertentes, dentre outras.

## Referências Bibliográficas

- ALMEIDA, A. Q. de. Comparação entre áreas de preservação permanente demarcadas a partir de diferentes escalas topográficas. In: MORAIS, A. C. de.; SANTOS, A. R. dos. (Org.) **Geomática e análise ambiental: aplicações práticas**. Vitória: EDUFES, 2007. cap. 1, p.19-39.
- FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G. Modelagem Numérica de Terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. 2002 Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2008.
- RADAMBRASIL, Projeto. **Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/Vitória, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. v. 32. Rio de Janeiro, 1983. 780 p.
- MIRANDA, E. E. de. (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 16 jun. 2008.
- NAMIKAWA, L. M.; FELGUEIRAS, C. A.; MURA, J. C.; ROSIM, S.; LOPES, E. S. S. **Modelagem Numérica de Terreno e aplicações**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003. 142 p. (INPE-9900-PUD/129).
- VALERIANO, M. de M. Dados topográficos. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. cap. 3, p. 72-104.
- VALERIANO, M. de M.; ABDON, M. de M. Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 59, 2007.
- VALERIANO, M. de M. **Modelo Digital de Elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. 72 p. (INPE-10550-RPQ/756).
- VALERIANO, M. de M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 539-546, 2003.
- VALERIANO, M. de M. **Modelos Digitais de Elevação de microbacias elaborados com krigagem**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. 56 p. (INPE-9364-RPQ/736).