

## Comparação do desempenho de dados SRTM-C e X em derivações geomorfológicas

Édipo Henrique Cremon<sup>1</sup>  
Márcio de Morisson Valeriano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{cremon, valerian}@dsr.inpe.br

**Abstract.** This work presents a comparison of geomorphometric variables derived from different SRTM data, namely C-band (originally 3'') and X-band (originally 1''), both stored under the resolutions of 3'' and 1''. C/1'' data was refined from C/3'' through kriging, within the processing for the Brazilian Topodata project. X/3'' data was produced by contracting X/1'' by aggregating neighbor pixels and (subpixels). Derivation procedures were adapted from previously developed algorithms designed to perform the basic derivations of DEM through geometrical approach, digitally simulating the measurement of the topographic variables according to their theoretical concepts. Derivation procedures resulted in GIS (Geographical Information System) layers of the basic local variables height, slope angle, slope aspect, plan curvature, profile curvature and a thalweg-divide delineation for drainage analyses and watershed partition. Geomorphometric derivations on both C/3'' and X/1'' were shown to result indistinct from the point of view of numerical and spatial distribution. At the 1'' resolution, a striking roughness of the X band DEM (Digital Elevation Model) was responsible for major differences in pattern and main deviations. In addition, its sensitivity to canopy effect deprived the perception of important terrain features. Otherwise, C/1'', refined from C/3'' showed the same detail level without the undesirable disturbances described for X band. The conclusion stressed the convenience of working with X/1'' rather than with X/1'' when dealing with geomorphometric derivations.

**Palavras-chave:** SRTM, X-band, C-band, geomorphometry.

### 1. Introdução

A SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) se consolidou como um grande marco do Sensoriamento Remoto por fornecer dados altimétricos de superfície por técnicas de InSAR (interferometria de radar abertura sintética) em escala quase global, através de MDE (modelo digital de elevação) de 3'' (arcos de segundo), aproximadamente 90 m, que originalmente é de 1'', mas que foi reamostrado para 3'' para todo o globo com exceção dos Estados Unidos, suprimindo a falta de informação topográfica de muitos países, sobretudo da América do Sul e África. A missão foi operada entre os dias 11 e 22 de fevereiro de 2000, com dois pares de antenas nas bandas X e C simultaneamente, onde os dados da banda X foram processados pela DLR e os dados da banda C pela NASA-JPL. Os dados em MDE distribuídos gratuitamente em escala global correspondem aos da banda C, entretanto há MDE na banda X processados pela DLR com resolução de 1'' arco de segundo para parte do globo (Rabus et al, 2003), mas que não são distribuídos gratuitamente.

MDE consistem em uma das formas mais práticas de se representar o relevo. Geralmente dispostos numa estrutura matricial, tais modelos possibilitam a obtenção de variáveis geomorfológicas de forma rápida e automatizada. Destaque no Brasil para o projeto TOPODATA – Banco de Dados Geomorfológicos (Valeriano, 2008), que com os dados SRTM (na banda C), interpolados por krigagem de 3'' para 1'' arco de segundo, disponibilizou variáveis de declividade, orientação de vertente, curvatura vertical e horizontal, entre outras variáveis para todo o país.

Recentemente, com as plataformas orbitais da constelação COSMO-SkyMed e do TerraSAR-X/TanDEM-X, ambos operando em banda X, há uma expectativa de um novo mapeamento global de elevação da superfície, com melhor exatidão e resolução espacial em relação aos dados SRTM.

Diante do exposto, este trabalho visa avaliar a obtenção de variáveis geomorfométricas sobre os MDE-SRTM das bandas C e X, no intuito de verificar as limitações desses modelos decorrentes de dados em diferentes comprimentos de onda.

## 2. Materiais e métodos

Os dados utilizados consistem no MDE-SRTM, banda C com 3" arcos de segundo distribuído em [http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2\\_1/SRTM3](http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3) e em 1" arco de segundo processados pelo projeto TOPODATA (Valeriano & Rossetti, 2010), em [www.dpi.inpe.br/topodata](http://www.dpi.inpe.br/topodata). E MDE-SRTM na banda X, cedido pela Agência Espacial Alemã-DLR, originalmente em 1" arco de segundo e que, no intuito de comparação com os dados da banda C originais de 3", foi reamostrado pelo método *pixel aggregate*, no aplicativo ENVI, para 3" o qual faz uma média ponderada dos pixels vizinhos que considera as porções de sub-pixel.

A área do estudo consiste num quadrante do noroeste do estado do Paraná, delimitado pelas coordenadas 22°52'28"S, 53°2'36"W e 22°59'50"S, 52°51'34"W cuja litologia predominante é dos arenitos do Grupo Caiuá, com relevo plano, suavemente ondulado e áreas mais declivosas em algumas cabeceiras de drenagem.



Figura 1. Área do estudo – Quadrante vermelho no noroeste Paranaense.

Os passos da derivação foram programados no programa *Idrisi* (Eastman, 1995), em cujo módulo de programação (IML - *Idrisi Macro Language*) foram criadas as rotinas de processamento do MDE, nos mesmos moldes utilizados no âmbito do TOPODATA (Valeriano e Albuquerque, 2010). Estes foram adaptados às especificações dos diferentes MDE testados. Tais adaptações advêm da relação entre as coordenadas nominais destes dados, georreferenciados em latitude/longitude (sem projeção), e as correspondentes distâncias horizontais: as derivações foram aplicadas sobre os dados sem que se alterassem as especificações cartográficas (coordenadas em WGS84) dos dados originais, exceto a resolução. Portanto, as resoluções (que definem os intervalos de derivação) foram calculadas à parte, em função da latitude, e inseridas como variáveis escalares. Dessa forma, os MDE foram derivados nas variáveis declividade, curvatura vertical, curvatura horizontal e orientação de vertentes, além de um delineamento de talvegues e divisores de água.

O princípio básico adotado para a declividade fundamenta-se no cálculo da soma de vetores ortogonais da declividade, calculados em função dos desníveis recíprocos (em “xis”: nos lados Leste e Oeste e nos lados Norte e Sul) e da resolução espacial em torno de cada ponto analisado. Os testes com controle levaram a computar o valor máximo dos desníveis recíprocos e a aplicar este mesmo método, antes nos eixos N-S e E-W, nas diagonais (em

“cruz”: NE, SE, SW e NW). A declividade finalmente computada corresponde ao vetor máximo obtido entre estas duas resultantes (Valeriano e Albuquerque, 2010).

Para as curvaturas, foi simulada a segunda derivada em cada direção de octante, com o uso de janelas móveis de 3x3 pixels. Para a curvatura vertical foram calculadas diferenças altimétricas dos lados recíprocos (anterior e posterior, relativos a uma dada direção), do pixel central em cada posição da janela e subtraídas, resultando num valor de curvatura naquela direção. As curvaturas calculadas em cada direção têm seu significado restrito às áreas com a correspondente orientação de vertente. Portanto, foi necessário classificar as orientações de vertentes nos mesmos octantes usados para a geração de imagens booleanas (0: não; 1: sim) e aplicá-las na sobreposição das diferentes direções de curvaturas (Valeriano e Albuquerque, 2010). Como resultado, obtém-se um único PI de curvatura (valores numéricos). A curvatura horizontal foi calculada pelos mesmos princípios, porém aplicados sobre os resultados de orientação de vertentes em vez da altitude. Dessa forma, o resultado final expressa a variação de direção por unidade de distância ( $^{\circ}/m$ ), a mesma unidade da curvatura vertical (Valeriano e Albuquerque, 2010).

As curvaturas foram discretizadas em classes (côncavo, convexo e retilíneo, na vertical, e convergente, divergente e planar, na horizontal) em função de limiares escolhidos com base na comparação entre as áreas testadas e descrições da literatura. Da mesma forma, mapas de formas de terreno (combinação de ambas curvaturas) e classes de declividade foram editados através da elaboração e síntese dos resultados geomorfométricos. Por fim, foi realizado um processamento envolvendo a curvatura horizontal e uma modelagem da seção transversal para o delineamento de talvegues e divisores de água, que foi sobreposto a uma representação da orientação de vertentes, como insumo para o desenho de sub-bacias (ADD – *Aspect, Drainage and Divide*).

## 2. Resultados e Discussão

Com a generalização do MDE-SRTM banda X de 1” para 3”, foi possível realizar a comparação com o MDE-SRTM banda C em 3” e do MDE refinado para 1” (do projeto TOPODATA). A visualização dos MDE pela orientação de vertentes, conforme Figura 2, mostra uma maior rugosidade dos dados em banda X com 1” arco de segundo. O produto generalizado, X/3”, fica mais suavizado, muito semelhante ao dado da banda C na mesma resolução. Todos os modelos apresentam artefatos não-topográficos na superfície, conforme detalhe em vermelho.

Algumas considerações sobre estas observações são oportunas do ponto de vista prático. Teoricamente, o detalhamento da aquisição dos dados na banda X indica seu potencial para detecção de feições relativamente pequenas, em correspondência com sua resolução espacial, em torno de 30m. Em contraposição, os dados de resolução 3” (~90m) não têm este potencial. No entanto, o detalhamento das feições de terreno possibilitado pelos dados X/1” mostrou-se compatível com aquele exibido pelos dados C/1”, que foram refinados a partir de dados adquiridos sob resolução de 3”. Observa-se que há um maior detalhamento nos dados X/1”, porém restrito a feições não-topográficas, que se apresenta como um padrão de rugosidade por toda a superfície do MDE. Embora terrenos com essa rugosidade existam, a explicação mais plausível para este padrão deve ser procurada na natureza do retroespalhamento da banda X, cujo centro de fase reflete o nível altimétrico do primeiro elemento vegetal com que interage (Leckie & Ranson, 1998), normalmente no topo do dossel suprajacente ao terreno. Além desse mecanismo, deve-se lembrar que em levantamentos topográficos em solo, as cotas são coletadas em alinhamentos seqüenciais, em que vários elementos da superfície são abstraídos para que não se obscureça a percepção topográfica do terreno. Tal procedimento não é realizado pelo sensor, que “mede” cotas em espaçamentos regulares, independentemente de alinhamentos. Como decorrência da interação destes dois mecanismos,

a superfície do MDE X/1'' mostra-se expressivamente perturbada por inúmeras feições não-topográficas.

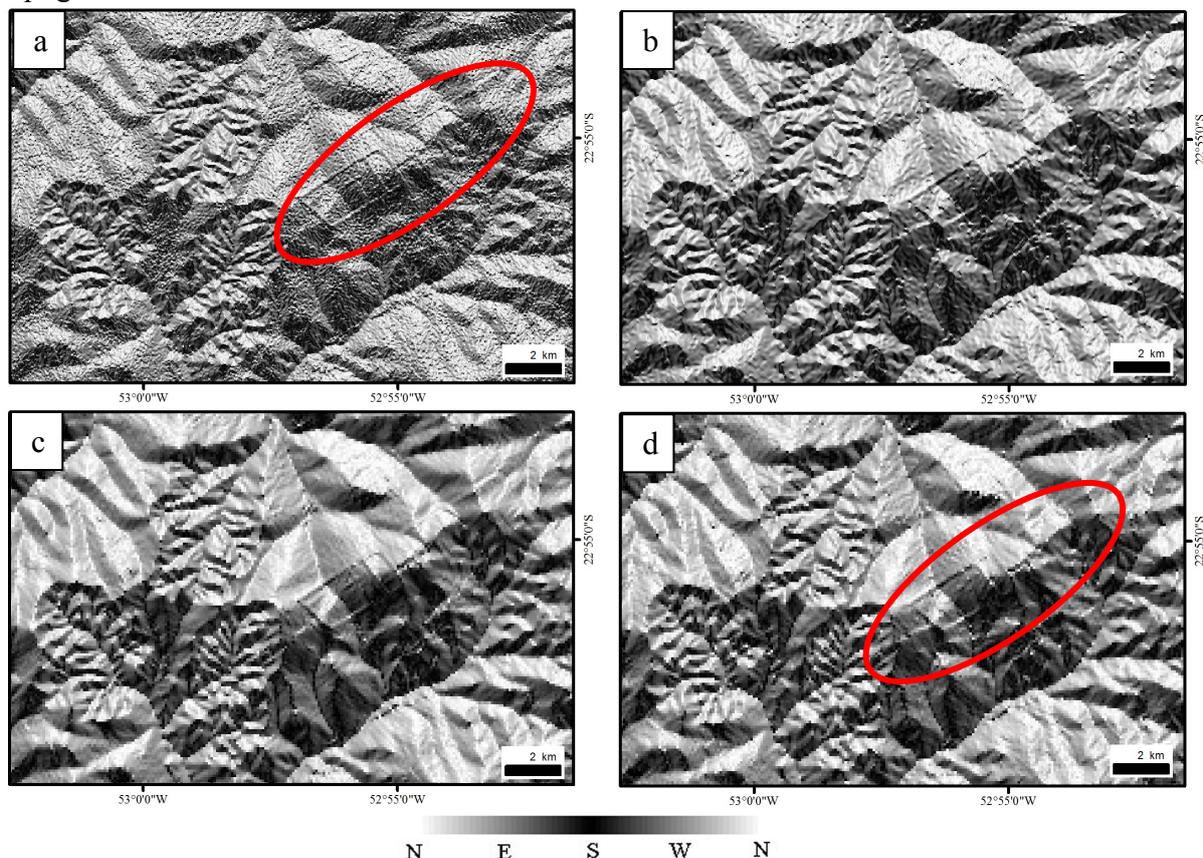


Figura 2 - Orientação de vertente derivada dos MDE-SRTM a) X/1''; b) C/1''; c) X/3''; e d) C/3''. O detalhe em vermelho demarca artefatos não-topográficos registrados nos MDE.

A variável geomorfométrica que se mostrou mais sensível a diferença desses modelos foi a de declividade. Na Figura 3, é apresentada esta variável em intervalos de classes, em que é possível notar o incremento da classe compreendida entre 8-20% no dado da banda X com 1'' em relação ao da banda C na mesma resolução. Entretanto, para 3'' os dados da banda X e C são semelhantes, com poucas variações das classes ilustradas.

Uma análise da estatística descritiva dos dados de declividade exemplifica ainda mais essa diferença dos dados com 1'' e as semelhanças para 3'' (Tabela 1), em que é possível observar maior valor de média e de desvio padrão da banda X/1'' em relação aos dados da banda C/1''. Confrontando esta observação com as distribuições apresentadas na Figura 3, verifica-se que a diferença entre os produtos de 1'' das bandas X e C se deve ao efeito da rugosidade do MDE X/1''. Os elementos de textura da superfície do MDE X/1'' correspondem a elevações flanqueadas com declividades entre 8% e 20%, em áreas que seriam descritas como planas (declividades de 0% a 8%). Não houve detalhamento da distribuição de declividade, propriamente dito, e as faixas de altas declividades mostraram-se mais espessas, com coalescência de suas manchas ocasionais a frequentes. As perturbações deste MDE obliteraram a percepção das planícies fluviais presentes nas bacias hidrográficas ao Sul da área representada. A parcial penetração da banda C em dosséis vegetais (LeToan, 1992) permitiu observar uma faixa delgada de planície em torno do rio principal desta bacia, que se evidencia somente na derivação do produto C/1''.

Os dados com 3'' as variáveis para a banda X e C são bastante semelhantes, por esse motivo não serão apresentados graficamente desse ponto em diante.

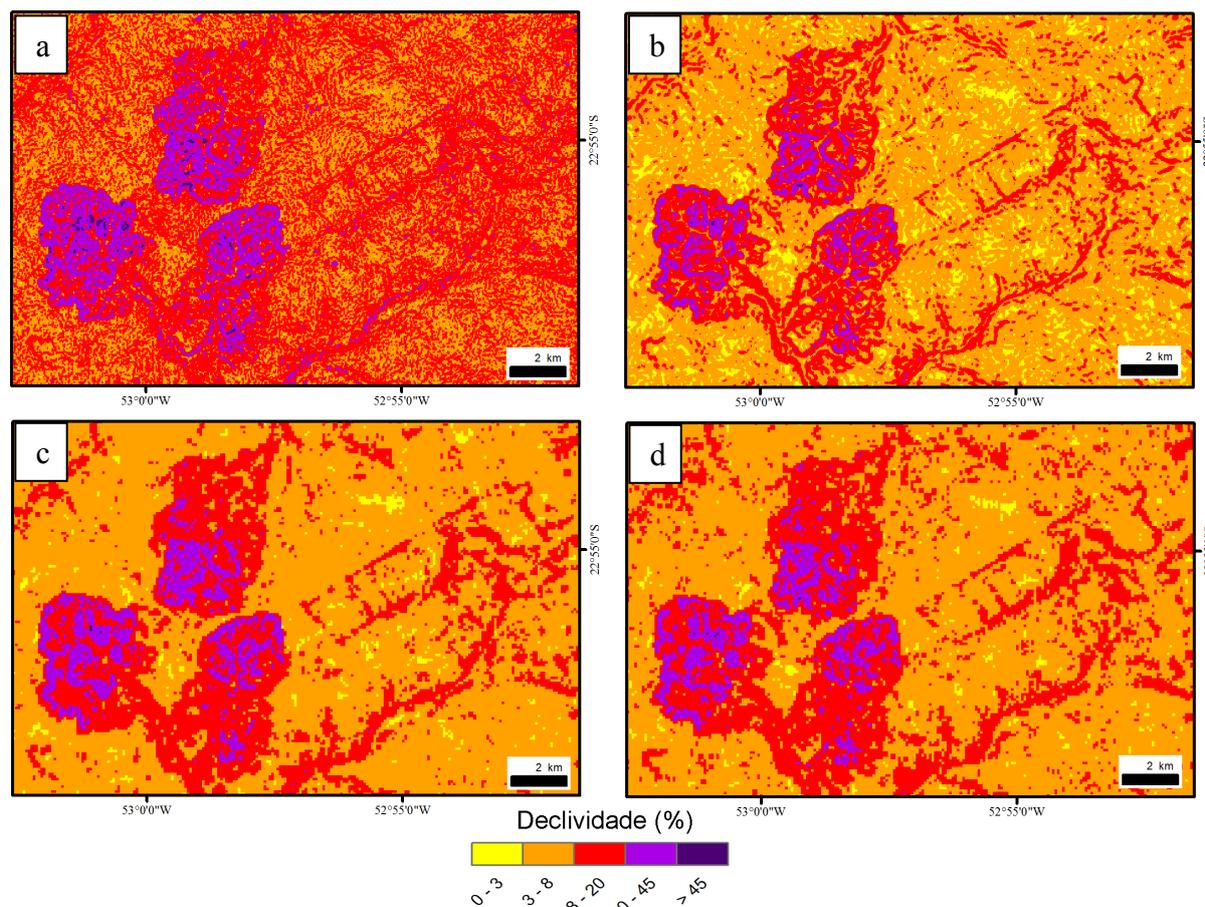


Figura 3 – Classes de declividade derivadas dos MDE-SRTM a) X/1"; b) C/1"; c) X/3"; e d) C/3".

Tabela 1. Estatística descritiva da declividade dos MDE-SRTM nas bandas X e C

MDE-SRTM	Resolução (arco de seg.)	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Banda X	1"	0	187	10,62	5,13
Banda C	1"	0	55	6,84	3,70
Banda X	3"	1	50	7,46	3,82
Banda C	3"	1	49	7,67	3,71

Para os dados de curvatura vertical, as áreas mais planas (declividades menores do que 8%) apresentaram um incremento das curvaturas, côncavas e convexas, para os dados da banda X em relação à banda C, para 1" (Figura 4). Este efeito decorre do mesmo mecanismo descrito para as diferenças observadas para a declividade, naturalmente, dada a relação de natureza matemática entre estas variáveis. O fato desta perturbação mostrar-se mais evidente em áreas mais planas se explica pela proporção entre os desníveis dos artefatos não topográficos e os desníveis do terreno. Em áreas mais íngremes os desníveis do terreno tendem a superar o efeito dos artefatos.

De modo geral, o processamento das curvaturas é acompanhado de processos intensos de filtragem em pré e pós-processamento para redução da variabilidade espacial destas derivações de segunda ordem. No caso das curvaturas em classes, tal cuidado foi intensificado para suavização das manchas mapeadas (Valeriano & Albuquerque, 2010). Tal processo explica a relativa atenuação das diferenças observadas na Figura 4.

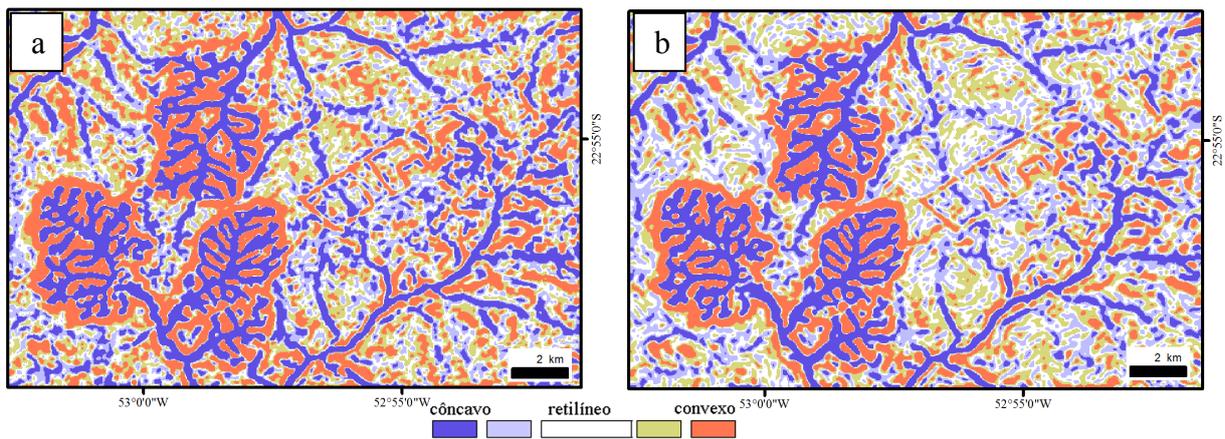


Figura 4. Curvatura vertical dos MDE-SRTM a) X/1''; b) C/1''.

Das variáveis geomorfométricas observadas, a de curvatura horizontal foi a que mostrou mais semelhança entre os modelos das bandas X e C (Figura 5). Como observado anteriormente, os processos de suavização internos ao programa de derivação da curvatura horizontal forçaram a semelhança entre os resultados vindos de X/1'' e C/1''.

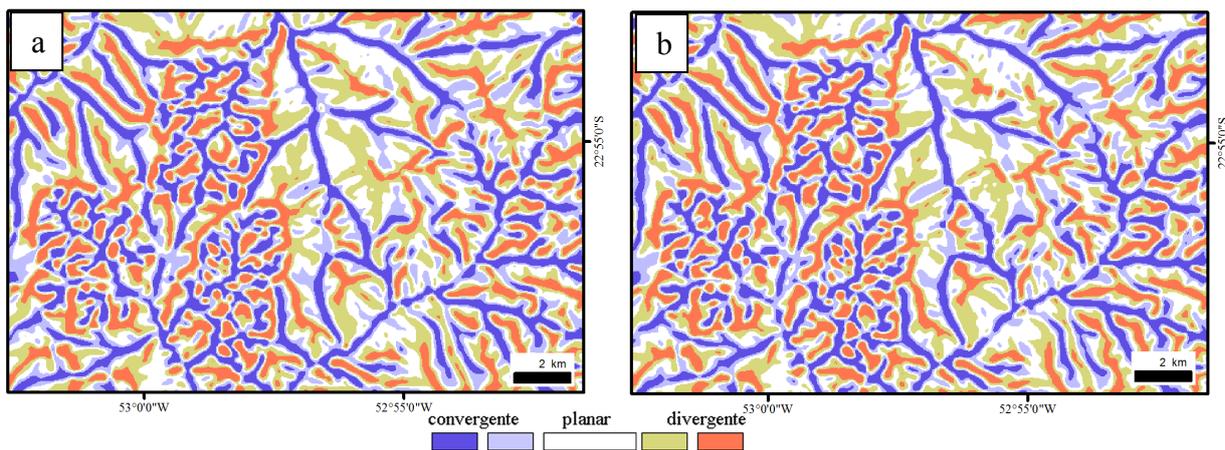


Figura 5. Curvatura horizontal dos MDE-SRTM a) X/1''; b) C/1''.

Ao verificar a variável de forma de relevo (Figura 6), assim como na curvatura vertical, é visto que as áreas de menor declividade foram as mais sensíveis na obtenção dessa informação. Os divisores d'água amplos na banda C predominam a classe divergente-retilínea, enquanto na banda X há um incremento de classe divergente-convexa nesses locais.

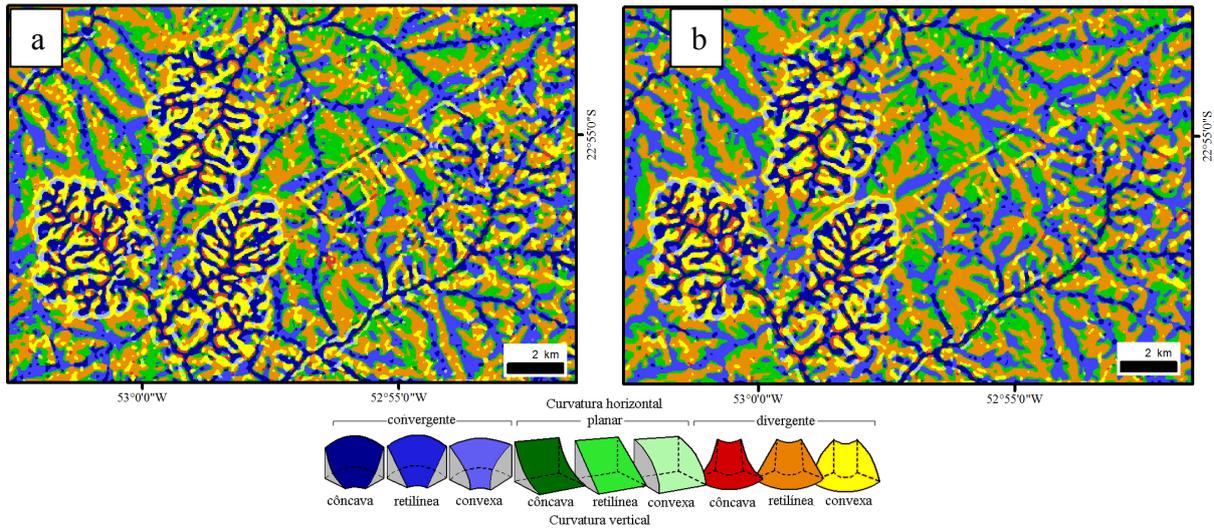


Figura 6 - Forma de terreno dos MDE-SRTM a) banda X/1''; b) banda C/1''.

O produto de delineamento de bacias e talvegues (Figura 7) foi o que apresentou maior sensibilidade à rugosidade dada pelo modelo da banda X de 1'', com incremento das demarcações de drenagens e divisores d'água em áreas planas principalmente. Esta sensibilidade se explica pelo conceito de coerência da superfície, em que se observa a dispersão das orientações de vertente observadas em áreas de pouca declividade. Nestas condições, os elementos de textura da rugosidade observada no MDE da banda X promovem desvios locais da orientação de vertente, em tal modo artificial que desfigura o paralelismo das linhas de fluxo que as vertentes desenvolvem naturalmente pelos mecanismos responsáveis pela sua formação.

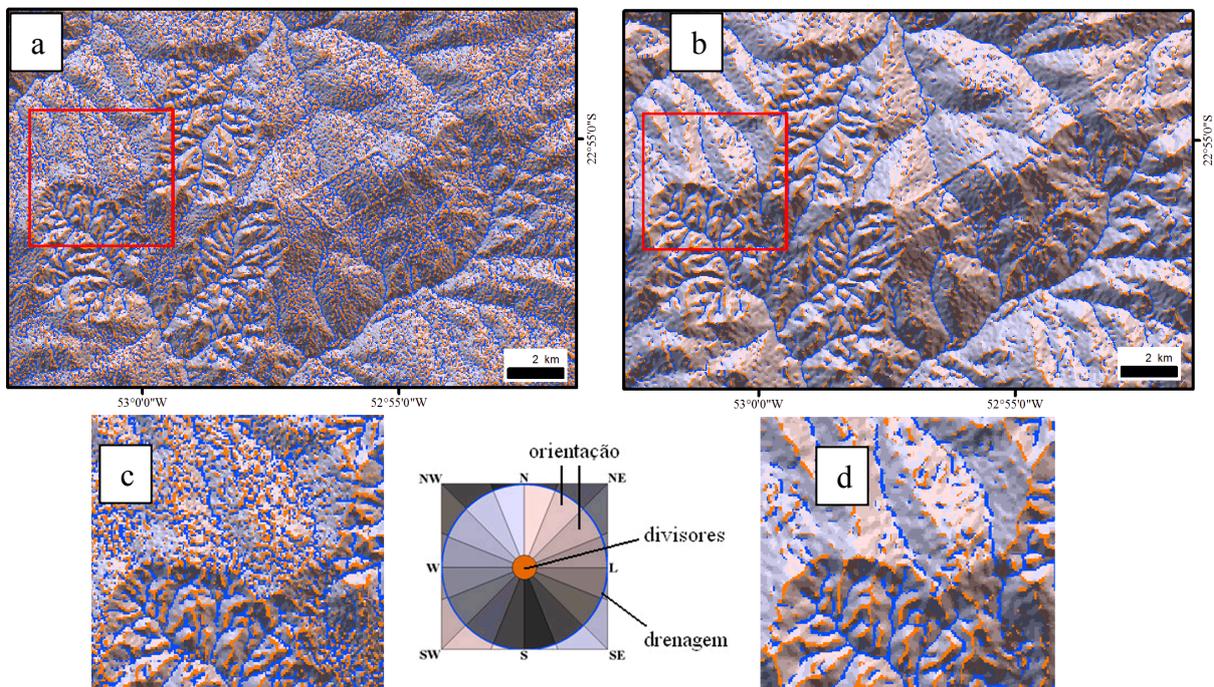


Figura 7. ADD dos MDE-SRTM a) banda X-1''; b) banda C - 1''. O quadrante vermelho localiza os detalhes d e c, respectivamente

#### 4. Conclusão

Quando tratados na resolução de 3'', os dados SRTM de ambos sensores, X e C, mostraram-se indistintos quanto aos resultados das derivações geomorfológicas. Por outro

lado, quando comparados as derivações dos dados X/1 e C/1” (este interpolado a partir dos dados C/3”), foram observadas diferenças expressivas entre estes sensores. Por estas comparações, observou-se que o maior nível de detalhamento de aquisição dos dados X/1” não trouxe melhorias na percepção de feições do terreno, tais como a estrutura de drenagem das sub-bacias, a distribuição da declividade e mesmo na definição de áreas planas. Em contraposição, as derivações de C/1” apresentaram o mesmo detalhamento de feições de interesse, porém sem o efeito de rugosidade observado para as derivações de X/1”. Este efeito mostrou-se um aspecto notável na avaliação comparativa entre estes MDE, embora não se tenham testadas técnicas de preparação dos dados X/1” previamente à sua derivação. Ao lado deste aspecto, ressalta-se a evidente diferença de sensibilidade ao efeito dossel, em que dados da banda C permitem uma atenuação do efeito, possibilitando assim uma percepção menos distante da superfície concreta do terreno. Para esta diferença não há perspectivas de cuidados em pré-processamento que motivem seu desenvolvimento, o que faz dessa limitação um problema incontornável. Como síntese prática das conclusões deste trabalho, por enquanto restritas à área de estudo, as derivações geomorfológicas extraídas de dados da banda C refinados de 3” para 1” são mais úteis e confiáveis do que as mesmas extraídas de dados da banda X adquiridos sob 1” de resolução.

## 5. Agradecimentos

A participação de Márcio de Morisson Valeriano se insere no projeto CNPq “Desenvolvimento de aplicações de dados topográficos SRTM”, CNPq, processo n. 307530/2008-6 (NV). Os autores agradecem a Agência Espacial Alemã – DLR, por fornecer os dados da banda X da SRTM e a CAPES pela bolsa de mestrado ao primeiro autor.

## 6. Referências

- Eastman, J. R. **Idrisi for Windows: User’s Guide**. Worcester: Clark University, 1995.
- Le Toan, T., Beaudoin, A., Riom, J., Guyon, D. Relating forest biomass to SAR data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing** 30, 403-411, 1992.
- Leckie, D. G.; Ranson K. J. **Forestry applications using imaging radar**. Principles and Applications of Imaging Radar. John Wiley, New York, USA, 1998.
- Rabus, B.; Eineder, M.; Roth, A.; Bamler, R. The Shuttle Radar Topography Mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, p. 241-262, 2003.
- Valeriano, M. M. & Rossetti, D. F. **TOPODATA: seleção de coeficientes geoestatísticos para refinamento unificado de dados SRTM**. São José dos Campos, SP: NPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-16701-RPQ/853). 74p., 2010.
- Valeriano, M. M. ; Albuquerque, P. C. G. . **Topodata: processamento dos dados SRTM**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-16702-RPQ/854). 79p., 2010.
- Valeriano, M. M. **TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008.