

Formação de base topográfica digital (1:1.000.000) do Estado de São Paulo com dados RADARSAT-1

Márcio de Morisson Valeriano^{1*}, André Ricardo de Melo², Ludmila Alexandra dos Santos Sarraipa¹, Ivan Paulo Mendes Negreiros¹ e Wander Pallone Filho³

¹Centro de Solos e Recursos Agroambientais, Instituto Agronômico de Campinas, CSRA/IAC, Avenida Barão de Itapura 1481, C.P.28, 13001-970, Campinas, São Paulo, Brasil. ²Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, CATI, Av Brasil, Campinas, São Paulo, Brasil. ³Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas Zeferino Vaz, FEAGRI/UNICAMP, C.P. 6011, 13083-970, Campinas, São Paulo, Brasil. *Author for correspondence. e-mail: valerian@iac.br

RESUMO. Dados do sensor RADARSAT-1 foram preparados para geoprocessamento na escala 1:1.000.000 do Estado de São Paulo. A preparação consistiu na georreferência da imagem, correção de artefatos e avaliação da exatidão planimétrica e altimétrica. A base topográfica digital formada apresenta resolução de 0,005°. Foram observados artefatos relacionados à presença de torres de antenas, no oeste paulista, desenvolvendo-se uma metodologia de processamento digital para sua remoção. Ao fim da preparação, as imagens de altimetria corrigida apresentaram erro posicional médio inferior a 2 km. O erro altimétrico médio (em torno de 75 m), calculado com amostragem da altimetria sobre as cartas topográficas, foi explicado, entre outros fatores, pela combinação dos erros posicionais com a distribuição da declividade. Apesar da ligeira dispersão dos dados, a correlação encontrada entre as cotas altimétricas correspondentes da imagem e dos mapas, com coeficiente de determinação de $r^2=0,90$, não indicou necessidade de ajustes sistemáticos na imagem.

Palavras-chave: geoprocessamento, sensoriamento remoto, RADARSAT-1, topografia, georreferência, artefatos.

ABSTRACT. Constructing a digital topographical database (1:1.000.000) for state of São Paulo with RADARSAT-1 data. RADARSAT-1 topographical data were fed into a topographical database of the state of São Paulo for geoprocessing in 1:1,000,000 scale. The process consisted of georeferencing, correction of artifacts and evaluation of planimetric and altimetric accuracy. The topographical digital database was structured in a 0.005° resolution grid. Image artifacts, related to the presence of antenna towers, were observed in the west of São Paulo and a method of digital processing was successfully developed for their suppression. The resulting altimetric images presented mean positional error less than 2km. The mean altimetric error (around 75m), calculated by cartographically sampling elevation data, was explained by the combination of the positional errors with the slope angle distribution, among other effects. Despite a slight data dispersion, the correlation between the elevation of both image and topographical maps, with determination coefficient of $r^2=0.90$, did not indicate the need for systematic fits on the images.

Key words: geoprocessing, remote sensing, RADARSAT-1, topography, georeference, artifacts.

Introdução

A informação topográfica de RADAR tem sido de comprovada importância para estudos de geomorfologia (Robinson *et al.*, 1978; Ross e Moroz, 1997; Toutin e Laurence, 2000). O Modelo Numérico do Terreno (MNT, ou Modelo Digital de Elevação-MDE) formado pelos dados RADARSAT-1 constitui uma base topográfica

importante para estudos que requeiram geoprocessamento em escala estadual. Embora grande parte das aplicações desenvolvidas em SIG para manipulação de dados topográficos se adequem melhor a escalas detalhadas (Wang e Yin, 1998), este plano de informação apresenta demanda e potencial estratégicos para o reconhecimento de domínios morfoclimáticos em escala regional (Milaresis, 2001). Desdobramentos do dado topográfico RADARSAT-1 poderão ser elaborados para atender

à demanda de informações para geoprocessamento através do desenvolvimento de metodologias apropriadas de análise digital desse MNT (Turcotte *et al.*, 2001, Thompson *et al.*, 2001). Metodologias de estimativa de temperatura mensal baseadas na latitude e altitude (Pedro Jr. *et al.*, 1991) podem também ser aplicadas sobre dados RADARSAT-1 (Valeriano e Picini, 2000) para a geração de mapas digitais básicos voltados à crescente utilização de SIG em mapeamentos climáticos.

A utilização de bases topográficas digitais obtidas por sensores orbitais vem sendo apontada como uma alternativa de grande interesse para suprir a carência de mapeamentos, sobretudo na África, Oceania e América do Sul. Áreas cobertas com mapeamentos sistemáticos são também beneficiadas à medida que a preparação do material cartográfico para o processamento em SIG demanda mão-de-obra e tempo. Trabalhos recentes têm pesquisado o potencial de informação de bases topográficas mundiais obtidas por sensoriamento remoto, como o GTOPO30 (Miliarensis e Argialas, 1999), MOMS-02 (Konecny e Schiewe, 1996) e o RADARSAT-1 (Toutin e Laurence, 2000). Entretanto, são considerados três critérios para avaliar produtos de sensoriamento remoto quanto à sua utilização como base cartográfica: exatidão planimétrica, exatidão altimétrica e perceptibilidade/detectabilidade das feições a serem mapeadas. Uma vez que o terceiro critério é por si o principal alvo da pesquisa metodológica em sensoriamento remoto e geoprocessamento, a adequação da imagem RADARSAT-1 para fins cartográficos depende do atendimento aos dois primeiros.

O critério planimétrico deve ser atingido com o processo de georreferência (Eastman, 1995), para o qual os SIG dispõem de recursos específicos, designados ao preparo de qualquer produto de sensoriamento remoto. Embora as bases topográficas digitais mundiais tenham sido georreferenciadas antes de sua disponibilização, a exatidão planimétrica atinge níveis aceitáveis em escalas continentais, que podem estar inadequados quando se consideram porções menores da superfície terrestre. Além da correção geométrica em si, o processo de georreferência em SIG calcula e fornece as figuras de mérito relativas à exatidão planimétrica do produto final.

Na imagem de relevo sombreado da altimetria fornecida pelo RADARSAT-1, foram observados picos de altimetria inexistentes na informação topográfica constante em produtos cartográficos consagrados. Tal efeito foi observado em numerosos pontos da região oeste do Estado, em torno do rio

Paraná, da linha de Assis a Votuporanga, estendendo-se pelo Estado de Mato Grosso do Sul. As feições sugeridas por este efeito, referidas por artefatos, não correspondem à realidade do terreno, representando sério comprometimento da exatidão altimétrica nos locais em que ocorrem. Exames detalhados dessas ocorrências permitiram verificar que algumas correspondem a localidades onde existiam torres de antena de rádio na época dos levantamentos para cartografia sistemática (em torno de 1965), conforme registrado em folhas topográficas 1:250.000 (Figura 1).

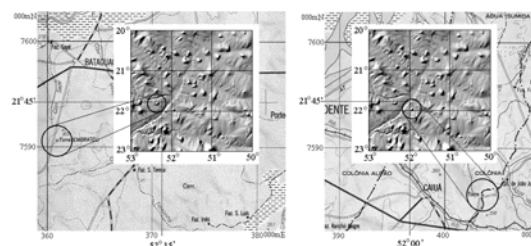


Figura 1. Correspondência entre os artefatos na imagem (detalhe) e a presença de torres: torre Embratel, município de Bataguá (esq.); torre no município de Caiuá (dir.). Folha IBGE (1:250000) SF-22-V-D

Em uma perspectiva de utilização do modelo topográfico gerado pelo RADARSAT-1 para mapeamentos com base em seus valores de altitude, é necessário remover estes artefatos. Em alternativa à correção artesanal, em que se modifica cada feição individualmente, existe a possibilidade de um tratamento digital para resolver o problema. Embora uma correção ideal exija, a rigor, a reposição das cotas verificadas em mapas, é possível tratar a imagem de modo simples para eliminar os artefatos, interpolando posteriormente os valores de sua vizinhança.

Material e métodos

De todo o pré-processamento (Figura 2), duas operações, em essência, foram aplicadas sobre os dados da imagem RADARSAT-1 até a obtenção de uma imagem de altimetria corrigida: a remoção dos artefatos e a georreferência. A obtenção de uma imagem dos canais de drenagem por derivação constituiu uma etapa acessória apenas para possibilitar a georreferência.

As figuras de mérito do produto deste processo são relativas à exatidão planimétrica e à exatidão altimétrica. A exatidão planimétrica foi avaliada durante o georreferenciamento, uma vez que o Erro Quadrático Médio (EQM) é um indicador intrínseco do processo em si. A seleção dos

parâmetros da georreferência, bem como dos pontos de controle, é coordenada pelo EQM resultante. A exatidão altimétrica foi avaliada com base em análises de regressão entre pontos amostrados sobre cartas topográficas e os níveis correspondentes da imagem de altimetria corrigida. Os pontos foram amostrados das cartas 1:250.000 (cerca de 5 pontos por folha), num total de 73 amostras semi-sistemáticas.

Os dados foram processados com o uso dos programas Idrisi (Eastman, 1995), Surfer (Golden Software, 1995) e MINITAB™ (Minitab Inc., 2000), editores de texto e editores gráficos. Além desses, foram aplicados programas específicos de SIG (*macros*), como o mapeamento de feições de drenagem para a georreferência (Valeriano e Moraes, 2001) e a técnica de remoção dos artefatos, desenvolvida especialmente para este trabalho.

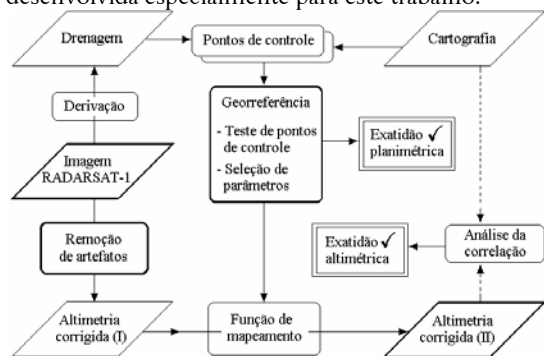


Figura 2. Pré-processamento da altimetria a partir da imagem RADARSAT-1

Dados. A imagem foi copiada da rede mundial de computadores diretamente do endereço da agência espacial RADARSAT (www.radarsat.com), que esteve disponível até meados de 2000. Na área do Estado de São Paulo, a imagem apresentou pixels retangulares de dimensões em torno de 0,00833x0,00863 graus (aproximadamente 1 km no terreno), o que dificulta o tratamento adequado da mesma, bem como sua integração com outros planos de informação. A captura do arquivo de dados RADARSAT-1 consistiu da seleção da área de interesse e o respectivo corte do arquivo, correspondente ao retângulo envolvente do Estado de São Paulo. O arquivo foi transformado para o formato do SIG, no qual se converteram os referenciais de *datum* Geodésico para Córrego Alegre (Elipsóide Internacional) antes de ser analisado e processado.

Para a extração dos pontos de controle para o georreferenciamento, foi utilizada a Base Cartográfica do Estado de São Paulo Escala 1:1.000.000 (IGC, 1982), com Elipsóide Internacional de referência, *datum* horizontal

Córrego Alegre, Estado de Minas Gerais e *datum* vertical Marégrafo Imbituba, Estado de Santa Catarina, compilado da Carta do Brasil Escala 1:250.000 (IBGE, 1974;1975;1976). Os dados de altimetria usados para avaliar a exatidão altimétrica foram extraídos das folhas 1:250.000 do Estado, nas cruzetas de referência presentes nos mapas. A tomada da altimetria desses pontos foi feita de uma forma expedita, através de interpolação visual entre as curvas de nível, que apresentam equidistância vertical de 50 m e 100 m, conforme a folha. Casos ambíguos da leitura altimétrica foram descartados e substituídos.

Georreferência. A preparação da imagem deve prever uma estrutura geométrica de armazenamento dos dados passível de integração com outras informações na escala e na resolução desejadas. Portanto, o pixel teve suas dimensões retangulares originais modificadas para aquelas de um quadrado de 0,005° graus. Seguindo a documentação cartográfica (escala 1:1.000.000) existente no Estado, a projeção cartográfica escolhida foi Cônica Conforme de Lambert (Snyder, 1987), sistema de coordenadas Latitude/Longitude em graus. A estrutura geométrica definida para o armazenamento das imagens contendo todo o Estado com uma margem de segurança está resumida na Tabela 1.

Tabela 1. Estrutura geométrica de imagem para o Estado de São Paulo

Eixo	Mínimo	Máximo	Resolução	Colunas/Linhas
X	-54° 00' 00"	-43° 30' 00"	0,05° (~500m)	2100
Y	-26° 00' 00"	-19° 00' 00"	0,05° (~500m)	1400

A resolução adotada nessa estrutura garante que, na escala 1:1.000.000, o mapa apresente 200 pixels por grau geográfico (aproximadamente 0,54 mm por pixel). Para a georreferência, foi aplicado sobre a imagem um procedimento especial para evidenciar canais de drenagem e divisores de água (Valeriano e Moraes, 2001), que são as feições topográficas notáveis do registro cartográfico. A coleta dos pontos de referência foi feita via monitor, utilizando-se o vetor correspondente à digitalização das fronteiras do Estado e seus principais rios. Foi possível identificar 72 pontos com correspondência entre a imagem de divisores e drenagem e a base cartográfica, os quais foram coletados sobre confluências e outras singularidades de rios. Análises prévias da georreferência levaram ao descarte de 8 desses pontos, tendo sido usados, portanto, 64 ao todo (Figura 3).

Foram testadas as funções de mapeamento linear, quadrática e cúbica, para a transformação das

coordenadas. A análise dos Erros Quadráticos Médios (EQM) e verificações visuais levaram à seleção da função cúbica. A avaliação do georreferenciamento feita pelo SIG perfaz análise dos resíduos excluindo cada ponto de controle por vez, usando os demais para a transformação das coordenadas. A EQM é calculada com base na média desses resíduos. Seleccionados os pontos de controle e os parâmetros de operação sobre a imagem de drenagem, o processo foi repetido sobre a imagem de altimetria, após a correção dos artefatos. Para possibilitar diferentes aplicações desta base, a transferência dos valores de pixel para a nova estrutura foi feita pelo vizinho mais próximo e com reamostragem (interpolador bilinear), armazenando-se os dois produtos. Conforme o objetivo e o funcionamento dos processos a que será submetido, um ou outro produto terá desempenho melhor.

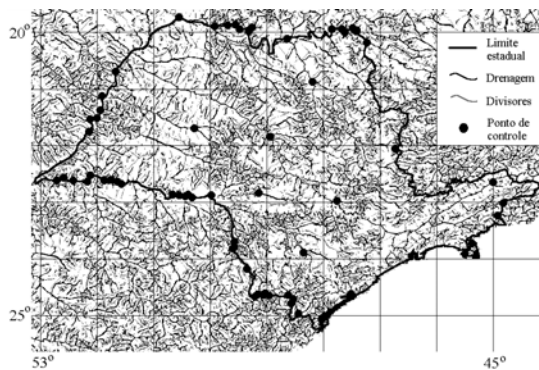


Figura 3. Imagem de drenagem/divisores e pontos de controle utilizados para o georreferenciamento

Remoção de artefatos. A técnica desenvolvida para a remoção dos artefatos consistiu em (a) identificar os locais afetados; (b) eliminar sua área de influência; (c) exportar cotas altimétricas válidas; e (d) interpolar valores de cota. As etapas (b), (c) e (d) são procedimentos básicos de geoprocessamento, envolvendo as funções SIG reclassificação, sobreposição, conversão raster-vetor, exportação e interpolação. Foi necessário, entretanto, um desenvolvimento particularizado para a etapa (a) de identificação dos artefatos.

A identificação dos artefatos foi feita através da operação de filtros espaciais, elaborados especificamente para este fim. Filtros, aplicados na forma de janelas móveis sobre imagens digitais, podem ser arbitrariamente dimensionados, atribuindo-se à célula (pixel) central o resultado de um polinômio definido pelos pesos atribuídos aos pixels vizinhos. Esta operação é repetida por toda a imagem, resultando numa imagem com novos

valores. Os filtros utilizados neste trabalho foram dimensionados em 21 linhas por 21 colunas e fazem uma comparação entre as cotas dos quatro cantos em relação à cota central (Figura 4). A escolha de sua dimensão foi baseada na área de influência em torno dos artefatos, observada sob grande ampliação. Para reconhecer os artefatos, tipicamente cônicos, são necessárias duas condições: o ponto central deve ser destacadamente superior em relação às bordas e estas devem estar relativamente no mesmo nível. As duas condições pressupõem limiares, que foram selecionados mediante testes com apreciação visual de seus resultados.

O modelo geométrico do artefato teorizado para o desenvolvimento dos filtros tem a forma de uma pirâmide. O primeiro filtro calcula a diferença de nível entre o pixel central e a base, resultando numa imagem, a qual chamaremos de *altura*; uma série de outros quatro filtros atribui ao mesmo ponto central (em outra imagem) o desvio de cada canto em relação à altitude média da base formando quatro imagens, que foram sobrepostas para o cálculo do desvio padrão entre os cantos. A *altura* foi, diretamente, uma das condições pelas quais se identificaram os picos existentes na imagem. Testes permitiram estabelecer uma altura mínima de 70 metros como uma boa indicação inicial dos artefatos.

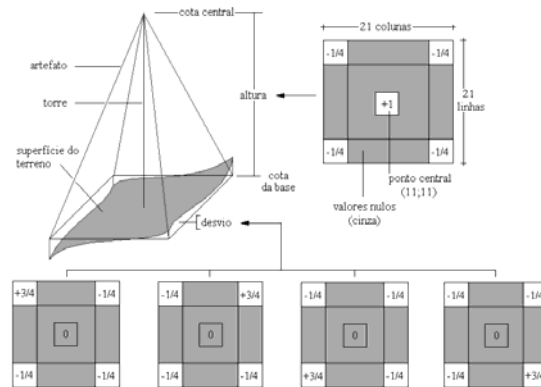


Figura 4. Modelo geométrico dos artefatos e filtros espaciais para a sua identificação

Uma nova sobreposição foi feita dividindo-se a imagem de *altura* pelo desvio padrão da base, resultando em valores (imagem *proporção*) que indicam a possibilidade de cada ponto corresponder a um formato cônico. Quanto maior o valor de *proporção*, maior a semelhança da superfície do terreno em relação a um formato cônico. Com limiares baixos, foram assinalados numerosos pontos, incluindo picos que realmente existem na topografia. Com limiares altos, somente os artefatos mais pronunciados foram assinalados. Os limiares

foram testados até que se estabelecesse um valor crítico de *proporção* ao redor de 4 unidades. Fatiando-se nesse nível de corte e selecionando-se pontos de altura calculada maior do que 70 m, foram definidas as áreas onde se encontram os artefatos.

Um procedimento especial foi isolar a região das serras do Mar e Paranapiacaba de todo o processo, pois o relevo acidentado dessa região não permitiu que se separassem artefatos de picos naturais. Na hipótese da presença de artefatos nessa região, estes foram deixados como estavam. Outro detalhe igualmente contornado no processo de correção foi a presença de uma formação local conhecida como Morro do Diabo, localizado na área de maior incidência dos artefatos, próximo ao Pontal do Paranapanema. Estas ressalvas foram feitas delimitando-se as áreas a serem mantidas através de imagens booleanas, que controlam a abrangência geográfica da correção, assim como de qualquer processamento.

Um operador de distância foi aplicado sobre os artefatos identificados para ampliar um pouco a área a ser removida, pois estas tiveram somente a porção central assinalada. As áreas removidas corresponderam, portanto, à região de influência das torres sobre a altitude sensoriada pelo RADAR. A remoção consistiu em atribuir valores nulos para as áreas assinaladas, mantendo-se o valor de cota original para o restante da imagem. No processo de exportação de dados para uma interpolação, os pixels de valores nulos são desprezados. O processo de interpolação foi feito sobre uma estrutura geométrica idêntica à original, de modo que os valores de altimetria fossem preservados onde não houvesse correção.

Resultados e discussão

A georreferência foi sensivelmente favorecida com a derivação da imagem de altitude RADARSAT-1 na imagem de drenagem e divisores de água. Observou-se, no entanto, que os canais de drenagem evidenciados apresentaram largura de dois ou mais pixels, o que corresponde à precisão esperada dos pontos de controle. De fato, o processo resultou em Erro Quadrático Médio (EQM) de 0.018° (aproximadamente 1,8 km no terreno ou 2 mm no cartograma). Embora a resolução de armazenamento esteja em torno de 500 m, a qualidade de georreferência atingida na escala do Estado abarca erros posicionais até cerca de 2 km. Uma vez que esta medida corresponde a aproximadamente 4 pixels, estes erros devem causar desvios altimétricos absolutos, sobretudo em áreas de grandes declividades (Imhoff, 1982).

A superioridade das funções de mapeamento

não-lineares indicada durante o georreferência se deve à forte distorção, além do deslocamento, do produto RADARSAT em relação à base cartográfica. Apesar dos números razoáveis da aferição da georreferência, devido à função cúbica de mapeamento, erros posicionais importantes podem ocorrer nas áreas desprovidas de pontos de controle.

A técnica de remoção dos artefatos produzidos pelo RADARSAT-1 mostrou resultados satisfatórios, e a imagem corrigida, após a interpolação, adquiriu o aspecto natural da topografia (Figura 5), coerente com o relevo da região afetada.

Algumas implicações indesejáveis da remoção destes efeitos devem ser consideradas. A primeira é que as informações das áreas corrigidas são estimadas por interpolação das áreas vizinhas, ao passo que toda a informação restante provém de sensoriamento remoto. Como advêm de torres, estas feições ocorrem em pontos relativamente altos e planos, o que faz da interpolação da altitude circunvizinha uma prática razoável.

Apesar disso, a técnica apresentada pode descaracterizar ocasionais detalhes morfológicos do terreno em torno desses pontos. Uma vez que a identificação dos artefatos foi feita por processamento automático, sem uma rigorosa supervisão sobre as cartas topográficas, é possível que feições reais do terreno sejam eliminadas. Com problemas semelhantes, Miliareis e Argialas (1999) reconheceram artefatos sobre base topográfica similar (GTOPO30) e os corrigiram baseados no conhecimento da fisiografia local. O erro oposto (manutenção dos artefatos) também é possível em todo o Cinturão Orogênico do Atlântico, serras de Botucatu e São Roque, uma vez o processo não foi aplicado onde teria causado a remoção de feições topográficas reais.

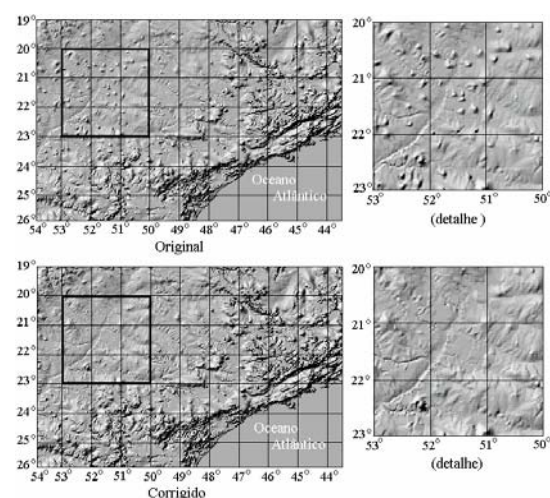


Figura 5. Eliminação dos artefatos da imagem de RADARSAT-1

A avaliação da exatidão altimétrica da imagem corrigida não mostrou diferenças entre os métodos de atribuição de cotas na georreferência, vizinho mais próximo e interpolação (Figura 6). A análise de correlação das imagens com as cartas topográficas resultou em coeficientes de determinação altos ($r^2 \sim 0,90$), e a regressão indicou uma relação mapa-imagem próxima da identidade (coeficiente angular 1 e constante nula), não se recomendando nenhum ajuste sistemático para este caso.

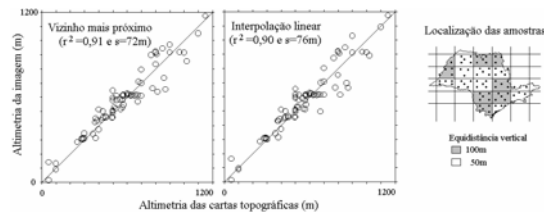


Figura 6. Exatidão altimétrica da imagem em relação às cartas topográficas (r^2 : coeficiente de determinação; s: erro padrão)

Os níveis de erro padrão das duas imagens se apresentaram em torno de 75 m, altura compatível com a equidistância vertical com que foram lidas as cotas altimétricas na verificação. A despeito da escala 1:1.000.000 de representação do terreno, este erro equivaleria a um Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) classe C, ou inferior, se tomarmos como referência os mapas na escala 1:250.000. Estão incluídos nesse erro médio, além do erro de mapeamento em si, a imprecisão do método de leitura da altimetria sobre as cartas topográficas e o efeito do erro posicional da imagem. A dispersão se mostrou maior nos dados de maior altitude. No relevo paulista, essas áreas correspondem também a maiores declividades e, coerentemente (Imhoff, 1982), o coeficiente de determinação decresceu para cerca de $r^2=0,50$ quando se analisaram somente dados acima de 650 m.

Conclusão

Os dados RADARSAT-1 puderam ser preparados como base topográfica para geoprocessamento de informações estaduais na escala 1:1.000.000. A estrutura do dado fornecido mostrou-se adaptável para armazenamento em imagem digital de SIG e em arquivos de cotas (x,y,z), passível, portanto, de interpolações e migração entre diferentes programas. Estudos demandando informação altimétrica em formato digital na escala 1:1.000.000 ou menores podem ser supridos com o dado RADARSAT-1.

A informação altimétrica contida na imagem digital permitiu que técnicas de derivação

evidenciassem pontos de controle, associados à drenagem, para a realização do georreferenciamento. O erro posicional médio atingido para o Estado de São Paulo foi menor do que 2km. A menor correlação da altimetria entre as cartas topográficas e a imagem em áreas de grandes altitudes foi explicada em parte pela combinação dos erros posicionais com a distribuição da declividade.

Antenas de radiodifusão alteraram a informação altimétrica do RADARSAT-1, conferindo à imagem numerosos e evidentes artefatos em forma de picos. Os mesmos puderam ser removidos com processamento digital, baseado na detecção de formas com filtros espaciais. A informação topográfica original das áreas afetadas, irremediavelmente perdida, teve que ser interpolada a partir da altimetria de pixels vizinhos.

Agradecimentos

Este trabalho integra o projeto “Padronização de metodologias para tratamento de dados topográficos de microbacias”, financiado pelo CNPq. Os autores agradecem ao Dr. Jurandir Zullo Júnior (Cepagri/Unicamp) pela captura e corte da imagem RADARSAT-1; MINITABTM é uma marca da Minitab Inc. nos Estados Unidos e outros países e foi usada neste trabalho com a permissão do fabricante.

Referências

- EASTMAN, J. R. *Idrisi for Windows – User's Guide*. Worcester, MA: Clark University, 1995.
- GOLDEN SOFTWARE. *Surfer Version 6.01- Surface Mapping System*. Golden: Golden Software, Inc., 1995.
- IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Carta do Brasil. Escala 1:250.000*. Secretaria do Planejamento da Presidência da República. Rio de Janeiro (RJ), 1974; 1975; e 1976.
- IGC-INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO. *Base Cartográfica do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000*. Secretaria de Estado dos Negócios do Interior. São Paulo (SP), 1982.
- IMHOFF, E. *Cartographic relief presentation*. New York: Walter de Gruyter, 1982.
- KONECNY, G.; SCHIEWE, J. Mapping from digital satellite image data with special reference to MOMS-02. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Amsterdam, v.51, n.4, p.173-181, 1996.
- MILAREISIS, G.; ARGIALAS, D. Segmentation of physiographic features from the global digital elevation model/GTOPO30. *Comput. Geosci.*, New York, v.25, n.7, p.715-728, 1999.
- MILAREISIS, G. Geomorphometric mapping of Zagros Ranges at regional scale. *Comput. Geosci.*, New York, v.27, n.7, p.715-728, 2001.

- MINITAB INC. *Meet MINITAB, Release 13 for Windows*. State College, Pennsylvania, 2000.
- PEDRO JÚNIOR, M. J.; MELLO, M. H. A.; ORTOLANI, A. A.; et al. *Estimativa das temperaturas médias mensais das máximas e das mínimas para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônômico (Boletim Técnico, 142), 1991.
- ROBINSON, A. H. et al. Remote sensing and data sources. In: ROBINSON, A. H. et al. (Ed.). *Elements of Cartography*. New York: John Wiley and Sons, 1978. p. 216-105.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*. Mapas e Relatório. São Paulo, SP: FFLCH/USP e IPT/FAPESP, 1997.
- SNYDER, J. P. *Map projections-a working manual*. Washington, DC.: U.S. Geological Survey, 1987 (Professional paper, 1395).
- THOMPSON, J. A. et al. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modeling. *Geoderma*, Amsterdam, n.100, p.67-89, 2001.
- TOUTIN, T.; LAURENCE, G. State-of-the-art of elevation extraction from satellite SAR data. *Comput. Geosci.*, New York, v.26, n.7, p.815-829, 2000.
- TURCOTTE, R. et al. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. *J. Hidrol.*, Wellington North, v.240, p.225-242, 2001.
- VALERIANO, M. M.; PICINI, A. G. Uso de sistema de informação geográfica para a geração de mapas de médias mensais de temperatura do Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, Santa Maria, RS, v.8, n.2. p.255-262, 2000.
- VALERIANO, M. M.; MORAES, J. F. L. Extração de rede de drenagem e divisores por processamento digital de dados topográficos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu, CD-ROM... Foz do Iguaçu, Arquivo 084.pdf. 8p.
- WANG, X.; YIN, Z.-Y. A comparison of drainage networks derived from digital elevation models at two scales. *J. Hidrol.*, Wellington North, v.210, p.775-786, 1998.

Received on September 12, 2001.

Accepted on November 09, 2001.