

EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DAS REDES DE DRENAGEM NO PANTANAL DE AQUIDAUANA: ESTUDO COMPARATIVO COM DADOS SRTM, ASTER E CARTA TOPOGRÁFICA DSG

Clódís de Oliveira ANDRADES FILHO¹

Hiran ZANI²

Frederico dos Santos GRADELLA³

Resumo

Este estudo averigua a conformidade entre drenagens extraídas automaticamente a partir de MDE's produtos SRTM das fontes USGS, EMPRAPA e TOPODATA, produto ASTER e drenagem definida na carta topográfica de Aquidauana. Para análises de cunho quantitativo e qualitativo foram realizados procedimentos de intersecção, sobreposição, obtenção de dados de densidade e análises estatísticas. Os resultados indicam baixa concordância entre as redes de drenagem obtidas, tanto na relação entre os produtos dos MDE's, como a relação destes com as linhas de drenagem presentes na carta topográfica.

Palavras-chave: Modelo digital de elevação. Rede de drenagem. Topografia. ASTER-MDE. SRTM.

Abstract

Automatic extraction of drainage networks in the Aquidauana Pantanal: a comparative study using SRTM, ASTER and DSG topographical chart

This work aims to investigate the correspondence between automatically extract drainages from SRTM-DEM products from different sources (USGS, EMBRAPA and TOPODATA), ASTER-DEM product and the mapped drainage on Aquidauana topographic chart. For the quantitative and qualitative analysis we performed the following routines: intersection, overlap, vector density calculation and statistical procedures. Our results indicate very low agreement between the drainages networks extract from all sources, particularly from the vectors mapped on topographic chart with the DEM's.

Key words: Digital elevation model. Drainage network. Topography. ASTER-DEM. SRTM.

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – Divisão de Sensoriamento Remoto – Mestrando em Sensoriamento Remoto – Av. dos Astronautas, 1758 – 12201-970 – São José dos Campos – SP, Brasil – E-mail: clodis@dsr.inpe.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – Divisão de Sensoriamento Remoto – Doutorando em Sensoriamento Remoto – Av. dos Astronautas, 1758 – 12201-970 – São José dos Campos – SP, Brasil – E-mail: hzani@dsr.inpe.br

³ Universidade Estadual Paulista – UNESP – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Doutorando em Geociências – Av. 24 A, 1515 – 13506-900 – Rio Claro – SP, Brasil – E-mail: fregradella@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A definição de unidades espaciais referentes às bacias hidrográficas, bem como o mapeamento de segmentos referentes a redes de drenagem possuem papel fundamental em estudos do âmbito das Ciências da Terra. Esta apresenta aplicabilidade no planejamento e gestão ambiental, assim como em projetos de manejo de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológicos, programas de conservação de florestas, do solo, dentre outros. Associadas a complexidade geomorfológica do Pantanal, as redes de drenagem da região se apresentam como elementos básicos de investigação (e.g. ASSINE; SOARES, 2004, p.27), porém, de difícil definição na elaboração de mapeamentos.

A disponibilização de dados obtidos pela SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) aumentou significativamente o volume de estudos que incorporaram a utilização de modelo digital de elevação na extração automática de redes de drenagem (e.g. COLOMBO et al., 2007, p.296; GHONEIM; EL-BA, 2007, p.5003; RENNÓ et al., 2008, p.3470). A distribuição gratuita, na rede mundial de computadores, dos dados de elevação do sensor ASTER (*Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer*) iniciada em Junho de 2009, sugere possibilidades de espacializações de redes de drenagem com maior qualidade, devido à melhor resolução espacial em relação aos dados SRTM.

A definição de drenagens por extração automática é apresentada na literatura por modelos e algoritmos que passam por processos de aperfeiçoamento desde o fim da década de 80 (e.g. DEFFONTAINES; CHOROWICZ, 1991, p.241; JENSON; DOMINGUE, 1988, p.1595; MARTZ; GARBRECHT, 1992, p.747; MEISELS et al., 1995, p.188; KERVYN, 2001, p.1044; CURKENDALL et al., 2003, p.181; JORDAN et al., 2005, p.170; RENNÓ et al., 2008, p.3470) passíveis de aplicação em modelos digitais de elevação. Dentre os métodos mais utilizados, destaca-se o algoritmo D8 (JENSON; DOMINGUE, 1988, p.1594), sendo um dos mais utilizados na literatura (e.g. WILSON; GALLANT, p.61; FOODY et al., 2004, p.51; GHONEIM; EL-BAZ, 2007, p.5004). Este é baseado na determinação da direção de fluxo, que envolve análise para cada pixel de uma imagem *raster*, a partir das cotas altimétricas destes pixels, indicando para qual dos oito pixels vizinhos segue a drenagem, sendo atribuída uma única direção.

Apesar da influência direta das características inerentes do algoritmo também há grande influência de fatores como a resolução espacial dos dados, espaçamento de pixel, a própria variação topográfica dentro do recorte espacial utilizado, técnica de obtenção dos dados de altimetria executada por sensores remotos, assim como o pós-processamento realizado sobre os dados.

Os dados de elevação SRTM e ASTER são exemplos de produtos obtidos com técnicas distintas. O primeiro gerado através da técnica de interferometria por sensoriamento remoto operante na faixa de microondas, o segundo produto de imagens estereoscópicas obtidas na faixa do infravermelho próximo (YAMAGUCHI et al., 1999, p.1421). Além disso, os dados SRTM para o território nacional estão disponíveis em diferentes fontes. Destacam-se a USGS (*United States Geological Survey*), a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e o Projeto TOPODATA. Tais fontes disponibilizam os dados como produtos de diferentes processamentos digitais e assim, os MDE's obtidos a partir destes dados, podem apresentar diferenças significativas em relação às informações extraídas. Já os dados ASTER estão disponíveis em sua primeira versão pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*).

OBJETIVO

Este trabalho compreende dois objetivos: 1) obter automaticamente a rede de drenagem a partir das diferentes fontes de dados SRTM (USGS, EMBRAPA e TOPODATA) e ASTER no limite do Pantanal de Aquidauana com o Planalto de Maracajú; 2) identificar diferenças e compatibilidades entre si das redes de drenagem extraídas automaticamente, e em relação às drenagens presentes na carta topográfica.

MATERIAL E MÉTODOS

A base de dados levantada para esta pesquisa é referente à área de contato do Pantanal de Aquidauana com o Planalto de Maracajú, na Região Centro-oeste do Brasil. O volume de dados abrange os MDE's da missão SRTM obtidos em diferentes fontes e ASTER, carta topográfica e pacotes de SIG (Sistema de Informação Geográfica).

Área de Estudo e Bases Utilizadas

Em relação à área de estudo, o recorte espacial utilizado abrange uma área de aproximadamente 1.894 km² e perímetro de 180 km. Compreende porções com grandes variações topográficas podendo ser compartimentadas em planície, com uma variação altimétrica de 119 a 210 m em média, e a porção de planalto variando em média de 210 a 684 m (Figura 1).

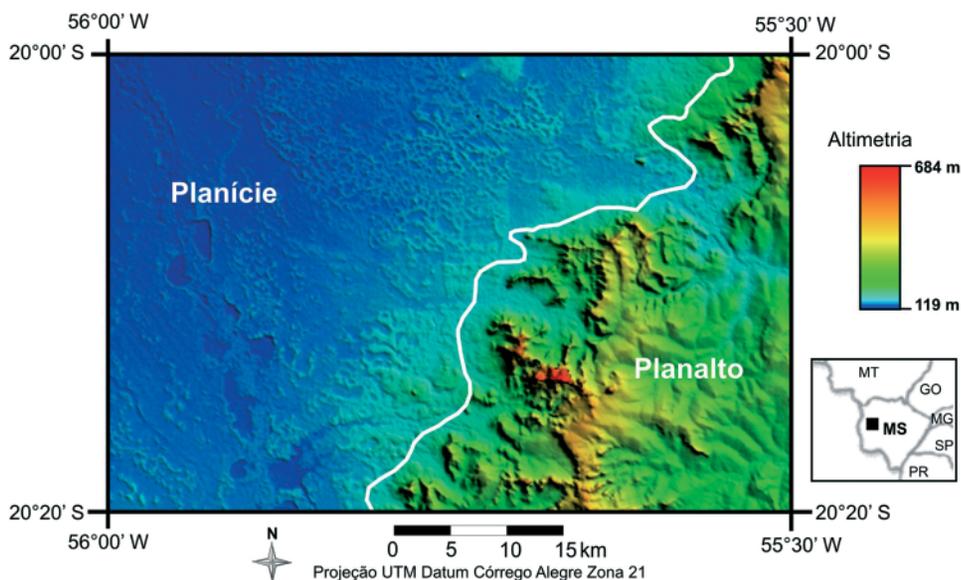


Figura 1 - Altimetria por dados SRTM e compartimentação utilizada na área de estudo

Dentre as bases utilizadas está primeiramente um setor da folha topográfica SF.21-X-A-III (Aquidauana) elaborada pela Diretoria de Serviço Geográfico, ano de 1972, na escala 1:100.000 conformada no sistema de coordenadas UTM e Córrego Alegre como datum de referência. Os dados de sensoriamento remoto compreendem os provenientes da missão SRTM, desenvolvida em parceria, pela NASA, o Centro Aeroespacial Alemão (DLR) e a Agência Espacial Italiana (ASI). Este sistema radar operou baseando-se na técnica de interferometria a fim de obter dados para elaborar um modelo digital de elevação em escala quase global. Os modelos interferométricos são obtidos por um sistema que possui dois pontos ligeiramente diferentes para a tomada de dados de elevação da superfície. Em banda C, este sistema cobriu aproximadamente 80% da superfície terrestre, e os dados obtidos estão disponibilizados em resolução espacial de 3 arco de segundo (~ 90 m) para América do Sul. Os valores de elevação (z) são expressos em metros inteiros, e datum de referência WGS84, a acurácia vertical absoluta e a acurácia relativa do MDE é de aproximadamente 16 m, e 6 m, respectivamente (RABUS, 2003, p.242).

Estes dados foram obtidos através de diferentes fontes na rede mundial de computadores. O modelo digital de elevação da SRTM distribuído pelo governo norte-americano está disponível, no sítio da USGS (<http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html>). Estes possuem imperfeições representadas por presença de falsas depressões, picos anômalos, além da ocorrência de áreas/pontos com ausência de informação (MIRANDA, 2005). O dado disponível pela EMBRAPA, no endereço eletrônico <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>, possui o mesmo valor de espaçamento de pixel (~ 90 m) que o dado da USGS. Este modelo é produto de uma série de processamentos computacionais que englobam correções de cortes e preenchimentos ("corte/aterro") com patamares altimétricos bem definidos, além de interpolações e produção de dados vetoriais. Parte do procedimento de correção dos dados SRTM pautou-se na utilização de MDE's disponibilizados pela FAO/UNEP (*Food and Agriculture Organization/United Nation Environmental Program*) (MIRANDA, 2005). Os dados disponíveis do TOPODATA (<http://www.dpi.inpe.br/topodata/data/grd/>) também sofreram correções no sentido de inclusão de informação em pontos/áreas com ausência de dado. Passou por um processamento computacional para refinamento no tamanho da célula (pixel) para ~ 30 m, ao contrário dos dois modelos citados anteriormente. Este refinamento foi realizado a partir de interpolação de todo universo de dados pelo método de *krigagem*, processo embasado na análise geoestatística da variabilidade dos dados, onde se definem coeficientes que melhor respondem ao modelo de superfície real. Além dos dados de entrada, o processo exige as informações geoestatísticas (coeficientes) que controlam a distribuição dos pesos para o cálculo dos valores interpolados, e assim este método oferece flexibilidade para comportar as características espaciais dos dados (VALERIANO; ROSSETTI, 2009, p.12).

O sensor ASTER, com desenvolvimento vinculado ao METI (*Ministry of Economy, Trade and Industry*) do Japão, possui três subsistemas óticos, VNIR (*visible and near-infrared radiometer*), SWIR (*short-wave-infrared radiometer*) e TIR (*thermal infrared radiometer*). Para obtenção dos dados de elevação da superfície o sensor opera no modo estereoscópico com as bandas 3N (nadir) e 3B (*backward*) correspondentes a faixa do infravermelho próximo (0,78 – 0,86 μ m) (YAMAGUCHI et al., 1999, p.1416). A primeira versão está disponível desde 29 de Junho de 2009 (<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp>) e os dados de MDE do ASTER possuem cobertura quase global, entre 83° S e 83° N de latitude. Resultantes de cobertura temporal de 2000 a 2008, estão disponíveis na resolução espacial de 1 arco de segundo (~ 30 m) no sistema de coordenadas Lat/Long e datum WGS84.

Definição da Rede de Drenagem

A partir da carta topográfica foram vetorizadas as linhas de drenagem a fim de obter um plano de informação referente à rede de drenagem na escala 1:100.000 (Figura 2).

Com uso dos MDE's foram extraídas as redes de drenagens, no formato vetorial, de modo automático a partir da ferramenta *ArchHydro Tools* obedecendo os seguintes procedimentos: i) aplicação do comando *fill sinks*, que confere a consistência da drenagem, eliminando possíveis áreas de sumidouros que ocasionam retenção de fluxo; ii) cálculo da direção de fluxo (*flow direction*), baseado no algoritmo D8; iii) obtenção da matriz com acumulação de fluxos; iv) geração da rede de drenagem, onde é definido o tamanho mínimo de bacia hidrográfica através da indicação do número de células pelo usuário; v) segmentação de rede de drenagem; vi) delimitação da grade de bacias; vii) conversão da grade para formato vetorial, obtendo os limites das bacias na forma de vetor; viii) conversão da rede de drenagem na forma matricial em vetorial; ix) conexão entre os canais e as bacias.

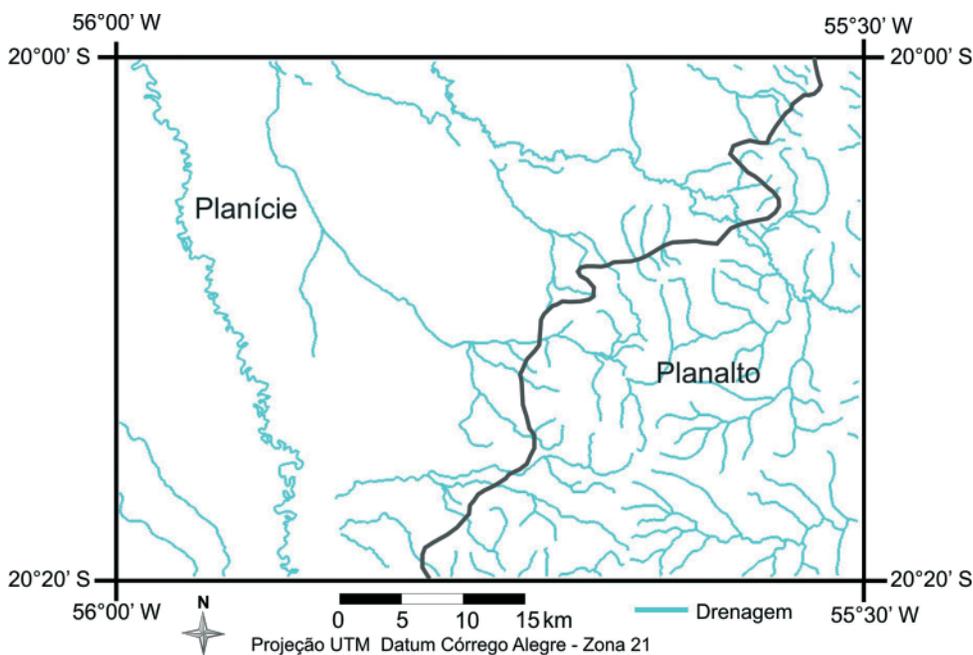


Figura 2 - Drenagem mapeada num setor da Folha topográfica SF. 21-X-A-III (Aquidauana)

A quarta etapa deste procedimento exige a interferência do usuário na definição do limiar (i.e. número de células) indicado que corresponda o nível de detalhamento pretendido. Assim foram admitidos valores compatíveis com o grau de detalhe das drenagens representadas na carta topográfica. Em efeito da condição distinta de espaçamento de pixel entre os dados, foi admitido o valor de 100 pixels para as bases SRTM obtidas pela USGS e EMBRAPA, e 900 pixels para a base obtida pelo TOPODATA e os dados ASTER. Esta proporcionalidade assegura a consistência nos procedimentos e a compatibilidade entre os resultados para posterior comparação.

Análise Comparativa

Baseada em informações numéricas e visuais, os dados foram organizados na forma de gráficos, tabelas e mapas. Esta etapa exigiu a compatibilização dos dados num mesmo sistema de coordenadas e datum. A forma de análise direta da compatibilidade foi calculada na intersecção de áreas entre pares dos planos de informação (matricial) entre as redes de drenagem obtidas por MDE's e a intersecção destas com a rede de drenagem obtida pela carta topográfica. O processo foi executado para todo conjunto da área de estudo e por compartimentos (i.e. planície e planalto). Esta etapa foi realizada por meio de tabulação cruzada, ferramenta disponível no SIG SPRING. Para tanto, é necessário que todos planos de informação apresentem a mesma resolução espacial horizontal e vertical e mesmo número de linhas e colunas (pixels), além de compreender as mesmas coordenadas no terreno. Todos os planos de informação passaram por um processo de conversão do formato vetorial (Figura 3A) para o formato matricial (Figura 3B). Sendo definida a resolução vertical e horizontal da imagem de saída o valor de 90 m.

A densidade de drenagem também foi obtida para avaliação da compatibilidade entre todos planos de informações. Foram elaborados mapa e gráficos do tipo *box plot* para análises da compatibilidade entre as redes de drenagem obtidas pela diferentes bases, assim como entre os compartimentos de relevo definidos.

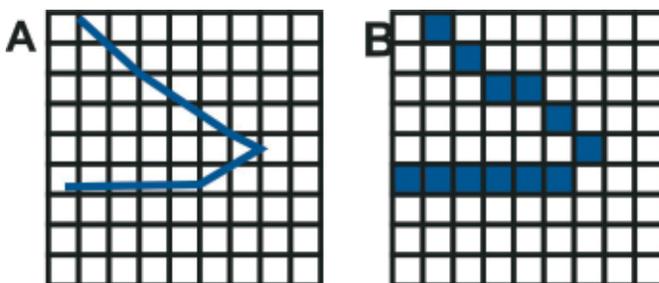


Figura 3 - Representação da conversão de uma linha no formato vetorial (A) para formato matricial (B)

A avaliação visual foi baseada na sobreposição de drenagens para análise da concordância entre os diferentes produtos. Também foram observadas as sobreposições das redes de drenagens mapeadas e os MDE's visualizados através de aplicação de paleta de cores, no intuito de relacionar possíveis anomalias dos dados do MDE com o traçado das linhas de drenagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificadas diferenças expressivas entre as redes de drenagem obtidas pelos MDE's, assim como a relação destas com a drenagem mapeada na carta topográfica. De acordo com a figura 4 é indicada o baixo grau de conformidade em relação à intersecção entre os planos de informação referentes às drenagens obtidas com MDE's. De modo geral, a conformidade é mais baixa na relação entre o resultado obtido com ASTER e as três fontes

de dados SRTM. O maior valor de conformidade ocorre na intersecção entre os dados TOPODATA e USGS e o valor mais baixo entre os dados ASTER e EMBRAPA. Nas análises comparativas não é considerada a distinta data da elaboração da carta topográfica e da obtenção dos dados de MDE's SRTM e ASTER. No entanto, há reconhecimento da possibilidade de que a dinâmica de evolução das drenagens na planície pantaneira ao longo dos anos tenha influência nas diferenças observadas entre os diferentes produtos.

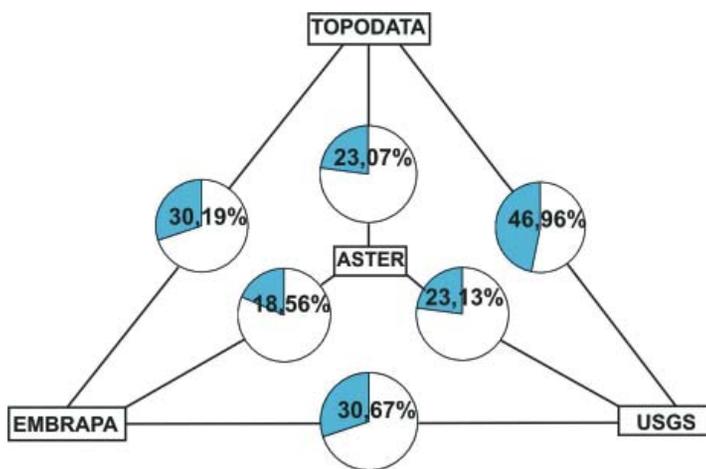


Figura 4 - Conformidade entre as redes de drenagem obtidas a partir das diferentes fontes

Na análise em distinção dos setores de planalto e planície, as porcentagens de conformidade (Tabela 1) indicam que a topografia influenciou na conformidade entre os planos de informação visto que os maiores valores obtidos referem-se ao setor de planalto, alcançando entorno de 65% na relação entre o dado TOPODATA e USGS. Na porção de planície os valores de conformidade são baixos, principalmente na paridade entre os dados ASTER e as demais fontes, com porcentagens entorno de 15 % de conformidade.

Tabela 1 - Conformidade entre as redes de drenagem obtidas por MDE's de diferentes fontes

Planície	Planalto	EMBRAPA	USGS	TOPODATA	ASTER
EMBRAPA		-	37,65 %	41,20 %	31,98 %
USGS		28,08 %	-	65,22 %	43,83 %
TOPODATA		26,04 %	40,16 %	-	43,15 %
ASTER		16,30 %	15,69 %	14,80 %	-

A maior concordância atingida das linhas de drenagem no planalto em relação à planície é expressiva também a partir da visualização da sobreposição dos planos de informação (Figura 5). Na porção referente à planície as sobreposições indicam muitos setores com forte discordância entre as redes de drenagem obtidas pelas diferentes fontes e refor-

ça a condição observada de maior conformidade entre as drenagens extraídas no setor de planalto, que apresenta maior amplitude altimétrica em decorrência do relevo mais acidentado.

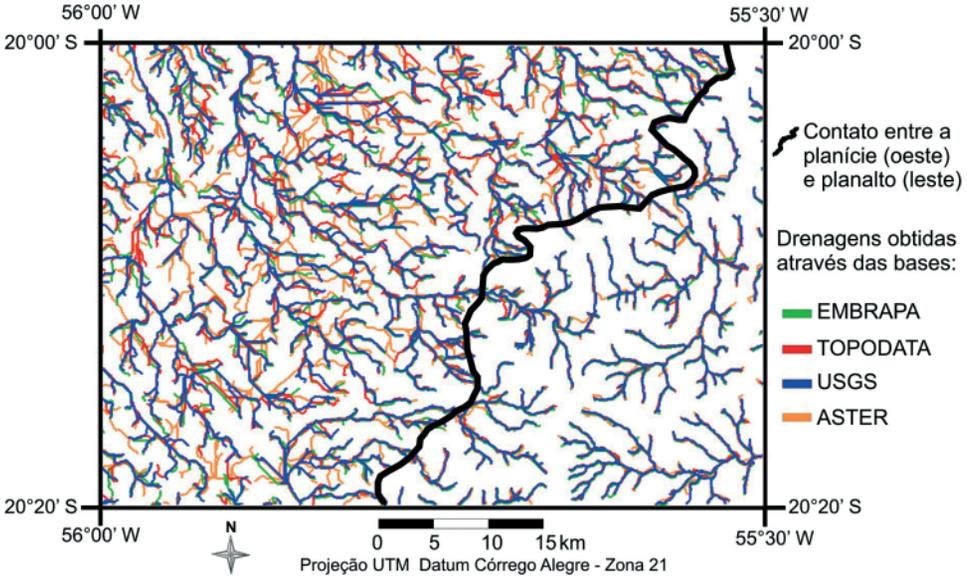


Figura 5 - Sobreposição das drenagens extraídas nas porções de planície e planalto

No que diz respeito à relação entre as redes de drenagem extraídas dos MDE's e a drenagem da carta topográfica, os valores de conformidade obtidos são baixos tanto na análise do conjunto da área (Figura 6a) como a partir da distinção em compartimentos (Figura 6b e Figura 6c). No entanto, no setor de planalto os valores de conformidade obtidos são aproximadamente duas vezes maiores que as porcentagens alcançadas no setor de planície, provavelmente devido à maior amplitude altimétrica no planalto que limita a existência de divergências no processo de definição das linhas de drenagem.

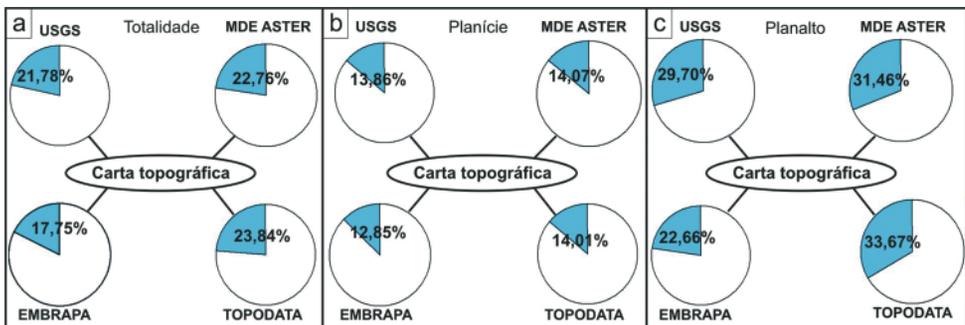


Figura 6 - Conformidade entre as redes de drenagens extraídas de MDE's e carta topográfica em relação à área total de estudo (a), o compartimento de planície (b) e planalto (c)

As diferenças entre as drenagens obtidas também são evidentes a partir da avaliação da densidade de drenagem. A espacialização indica semelhança significativa nas densidades de drenagem obtidas pelos produtos extraídos dos MDE's. No entanto, há uma forte contradição entre o dado da carta topográfica e dos MDE's. É possível observar visualmente que as drenagens extraídas dos MDE's apresentam maior densidade no setor de planície, já na carta topográfica a maior densidade é observada no setor de planalto (Figura 7).

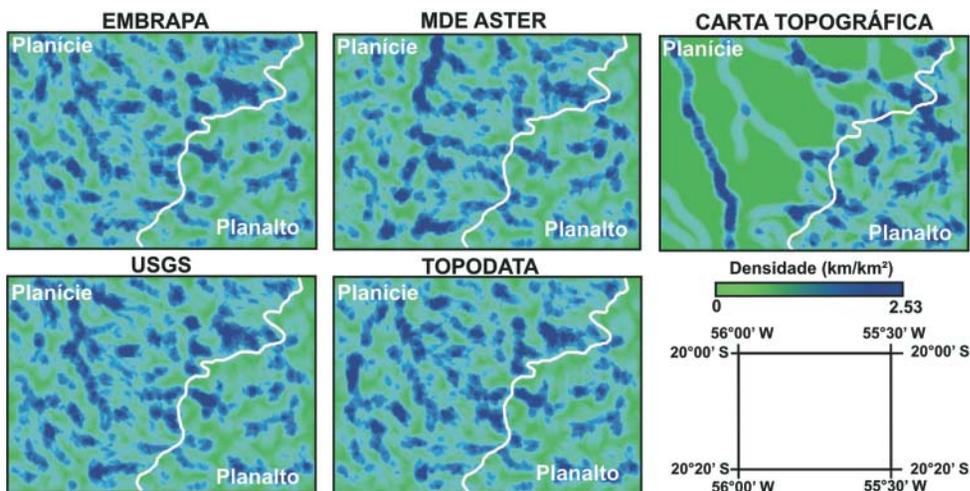


Figura 7 - Densidade de drenagem obtida através dos diferentes MDE's e carta topográfica

A figura 8 apresenta através de gráficos do tipo *box plots* informações derivadas dos dados de densidade de drenagem para cada plano de informação. Nestes gráficos cada segmento das caixas representa um quartil dos dados (i.e. 25% da distribuição), sendo a linha horizontal central o valor da mediana, as cruces vermelhas são as médias e a limitação do montante de valores obtidos representada por traços horizontais pretos nas extremidades. Os dados referentes ao conjunto da área estudo (Figura 8a) indicam alta semelhança entre os dados referentes às drenagens extraídas na forma automática. Os valores referentes à densidade de drenagem da carta topográfica são expressivamente mais baixos com forte concentração na faixa de 0 a 0,7 km/km², as demais fontes apresentaram maior concentração na faixa de densidade de 0,5 a 1,2 km/km².

Com relação aos compartimentos de relevo destaca-se a relação inversa entre as informações obtidas a partir dos MDE's e da carta topográfica, visto que os valores mais altos de densidade são obtidos na planície a partir das redes de drenagem extraídas automaticamente (Figura 8b). No entanto, a carta topográfica apresenta os valores mais baixos do universo de dados justamente no setor de planície, com maior concentração de densidade entre 0 e 0,5 km/km². Portanto, a disparidade é maior no setor plano em relação aos dados obtidos no planalto, onde a rede de drenagem definida pela carta topográfica apresentou densidade com maior concentração entre 0,4 e 0,75 km/km² e as redes geradas automaticamente apresentaram o volume de densidade entre os valores 0,38 e 1,0 km/km².

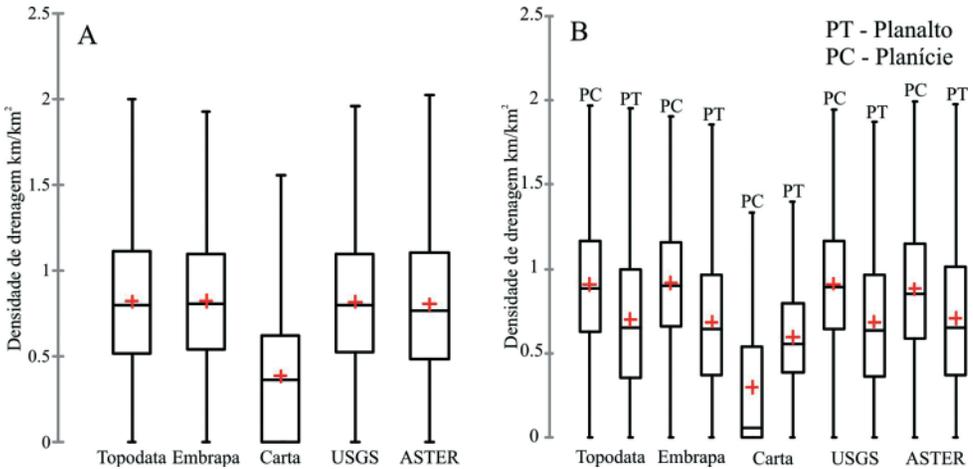


Figura 8 - Gráficos do tipo *box plots* representando a distribuição dos valores de densidade de drenagem obtida por cada base e para a área total de estudo (a) e nos diferentes compartimentos (b)

A análise visual das redes de drenagens definidas confirma a análise quantitativa, tanto em relação à concordância direta de sobreposição das redes de drenagem como em relação à densidade de drenagens. No entanto, a visualização das diferenças entre as drenagens definidas automaticamente revelou forte discordância entre a configuração dos segmentos definidos pelo dado ASTER e as diferentes fontes SRTM. Esta discordância se apresenta principalmente nas diferenças entre os setores de interflúvios e cabeceiras de drenagem observada com apoio à aplicação de paletas de cores no MDE. Há uma expressiva discordância entre uma área de interflúvio na planície considerada no dado ASTER (Figura 9a) e o dado SRTM da fonte USGS (Figura 9b).

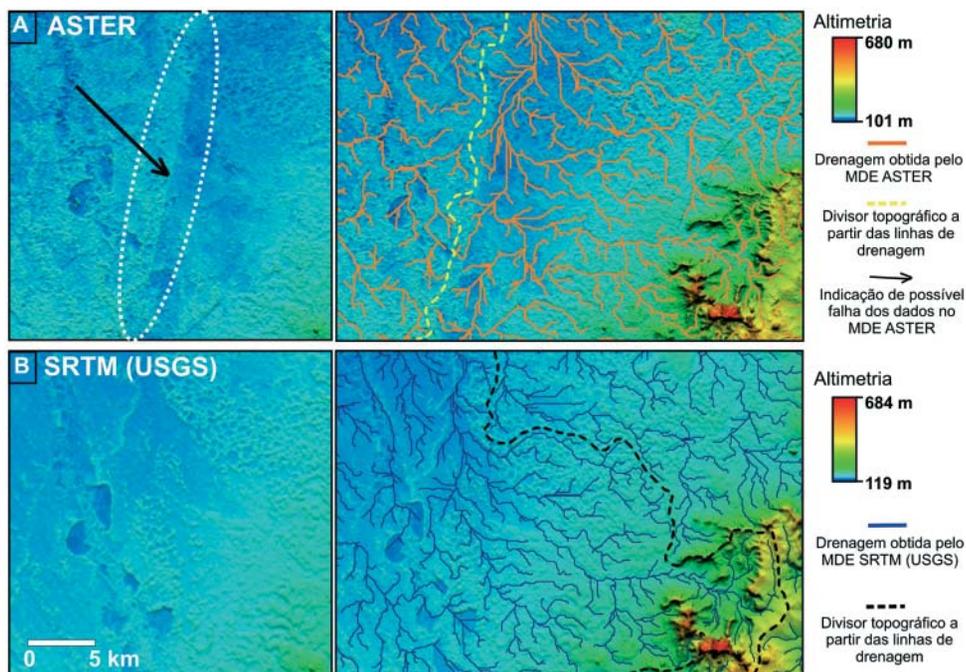


Figura 9 - Discordância entre as redes de drenagem obtidas pelo dado ASTER (A) e SRTM (USGS) (B) caracterizada pelo distinto posicionamento do interflúvio

Tal discordância ocorre devido a uma diferença abrupta de dados altimétricos apresentada visualmente através de uma linha no setor oeste da área de planície. A presença desta provável falha do MDE ASTER gera uma conformação de drenagem bem distinta indicada pelas linhas tracejadas representativas de um setor de interflúvio na área. Assim, a grande bacia de drenagem do setor oeste possui, de acordo com a carta topográfica, suas cabeceiras no setor de planalto, o que concorda com a drenagem obtida pelo dado SRTM nas suas três fontes, porém, esta conformação discorda do plano de informação obtido com o dado ASTER.

Além desta evidência, no MDE ASTER também são verificadas determinadas feições de sumidouros e feições visivelmente incompatíveis com o relevo, menos evidentes nos dados SRTM. Estas devem estar atreladas diretamente às características inerentes ao sistema sensor. Dentre outros elementos do sistema ASTER, a operação na faixa do infravermelho próximo condiciona a obtenção de dados com maior interferência da cobertura do solo e partículas da atmosfera, que resultam em feições visivelmente intervenientes na extração automática da rede de drenagem.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

São identificadas expressivas diferenças entre as redes de drenagem obtidas automaticamente a partir das fontes de dados ASTER e SRTM (USGS, TOPODATA, EMBRAPA) reveladas pela obtenção de baixos graus de conformidade entre as drenagens extraídas de

todos os MDE's. Portanto, apesar de parte dos dados terem sido originados de uma mesma base, SRTM, os processamentos posteriores sobre os dados resultam em extrações de rede de drenagem com discordâncias entre si.

Há baixa conformidade entre as drenagens extraídas automaticamente e a drenagem definida na carta topográfica. Os diferentes valores de densidade de drenagem revelam que a extração automática pelos MDE's gerou um volume elevado linhas de drenagem na área plana, que contrapõe de forma significativa a informação da carta topográfica. Nesse sentido, existe a possibilidade de realização de testes a partir de diferentes algoritmos de extração automática, ou de parâmetros inseridos nestes, para atenuação da significativa diferença em relação às densidades de drenagem da porção de planície em relação ao planalto.

Os dados do MDE ASTER apresentam setores com artefatos, expressos na visualização através de aplicação de paleta de cores. Estes promovem uma modificação na organização da drenagem em relação a uma base sem a presença de artefatos. Nesse sentido, não é sugerido o MDE ASTER para extração de rede de drenagem em escala compatível a 1:100.000.

É sugerido que sempre seja escolhida somente uma base para definição de drenagens para determinada área, visto que uma possível mesclagem de redes de drenagem obtidas por diferentes fontes pode gerar fortes discordâncias.

A área estudada no Pantanal apresenta expressiva variação de altimetria e distintos compartimentos de relevo. Porém, é sugerida a elaboração de estudos em demais compartimentos de relevo em diversas regiões, principalmente em planícies não sujeitas a inundação. A partir de maiores experimentos será possível verificar se em demais áreas de relevo plano também há menor concordância das drenagens mapeadas nas cartas topográficas em relação às obtidas através de MDE's produtos do ASTER e SRTM.

REFERÊNCIAS

- ASSINE, M.L.; SOARES, P.C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. **Quaternary International**, v. 114, n. 1, p. 23 - 34, 2004.
- COLOMBO, R.; VOGT, J.V.; SOILLE, P.; PARACCHINI, M.L.; JAGER, A. Deriving river networks and catchments at the European scale from medium resolution digital elevation data. **Catena**, v. 70, n. 3, p. 296 - 305, 2007.
- CURKENDALL, D.; FIELDING, E. J.; CHENG, T.; POHL, J. M. A. Computational-Grid based system for continental drainage network extraction using SRTM digital elevation models. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PARALLEL PROCESSING WORKSHOPS, 3., 2003, **Proceeding...** Kaohsiung, Taiwan: IEEE Computer Society, 2003. p. 181.
- DEFFONTAINES, B.; CHOROWICZ, J. Principles of drainage basin analysis from multisource data: Application to the structural analysis of the Zaire Basin. **Tectonophysics**, v. 194, n. 3, p. 237-263, 1991.
- FOODY, G.; GHONEIM, E.; ARNELL, N. Predicting locations sensitive to flash flooding in an arid environment. **Journal of Hydrology**, v. 292, n. 1- 4, p. 48-58, 2004.
- GHONEIM, E.; EL-BAZ, F. DEM-optical-radar data integration for palaeohydrological mapping in the northern Darfur, Sudan: implication for groundwater exploration. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 22, p. 5001 - 5018, 2007.
- JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 1593 - 1600, 1988.

JORDAN, G.; MEIJNINGER, B.M.L.; VAN HINSBERGEN, D.J.J.; MEULENKAMP, J.E.; VAN DIJK, P.M. Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and application for study areas in Hungary and Greece. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 7, n. 3, p. 163 – 182, 2005.

KERVYN, F. Modelling topography with SAR interferometry: illustrations of a favourable and less favourable environment. **Computers & Geosciences**, v. 27, n. 4, p. 1039 - 1050, 2001.

WILSON, J.P.; GALLANT, J.C. **Terrain analysis**: principles and applications. Nova York: Wiley, 2000. 479p.

MAIDMENT, D.R. **ArchHydro**: GIS for Water Resources. Redlands, CA: ESRI, 2002.

MARTZ, L.W.; GARBRECHT, J. Numerical definition of drainage networks and subcatchment areas from digital elevation models. **Computers & Geosciences**, v. 18, n. 6, p. 747 – 761, 1992.

MEISELS, A.; RAIZMAN, S.; KARNIELI, A. Skeletonizing a DEM into drainage network. **Computers & Geosciences**, v. 21, n. 1, p. 187 - 196, 1995.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 2 nov. 2008.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTY, A.; BAMLER, R. The Shuttle Radar Topographic Mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, n. 4, p. 241 - 262, 2003.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J.V.; HODNETT, M.G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M.J. Hand, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 9, p. 3469 - 3481, 2008.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. **TOPODATA**: seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM. São José dos Campos: INPE, 2009. On line. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/topodata/data/TDkrig.pdf>. Acesso em: 20 Nov. 2009.

YAMAGUCHI, Y.; FUJISADA, H.; KUDOCH, M.; KAWAKAMI, T.; TSU, H.; KAHLE, A. B; PNIFF, M. ASTER instrument characterization and operation scenario. **Advances in Space Research**, v. 23, n. 8, p. 1415 – 1424, 1999.

