Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 5, Nº 1 (2004) 85-93

Aplicação de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia

Digital Elevation Model (DEM) in macrogeomorphological: the case of Araguaia River Basin

Thiago Morato de Carvalho[1] e Edgardo M. Latrubesse[2]

[1]Universidade Federal de Goiás, Laboratório de Geologia e Geografia Física, LABOGEF-IESA, mestrado em Geografia
[2]Universidade Federal de Goiás, Laboratório de Geologia e Geografia Física-LABOGEF-IESA e Doutorado em Ciências Ambientais CIAMB, e-mail: latrubes@terra.com.br

Resumo
O trabalho consiste na aplicação e teste de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para estudo geomorfológico de macroescala em sistemas fluviais de grande porte. A área de estudo é a bacia do Rio Araguaia, com uma área de drenagem que se estende por 375000 km^2 ao longo do Brasil Central. Foi gerado um modelo digital do terreno (MDT) através do sensor *Interferometric Synthetic Aperture Radar* (IFSAR), obtido da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). O objetivo foi identificar o potencial desta ferramenta para estudos geomorfológicos. Os principais produtos obtidos foram imagem sombreada, mapa hipsométrico, identificação de lineamentos estruturais, mapa de declividade e rede de drenagem, assim como perfis topográficos e o perfil longitudinal do rio Araguaia. Os resultados mostraram que em geral, os modelos tridimensionais do terreno - MDT - são ferramentas bastante eficientes para análises macrogeomorfológicas em grandes bacias hidrográficas. Entretanto, a baixa resolução vertical, produz alguns resultados de declividade relativamente pobres em áreas planas.

Palavras chave: sistemas fluviais, modelos digital do terreno, mega-geomorfologia.

Abstract
The aim of this paper is to test and apply techniques of remote sensing and geoprocessing to mega-geomorphologic studies of large fluvial basins. The study areas is the Araguaia River basin which spread on 375000 km^2 along Central Brazil. A DEM (digital elevation model) was obtained from a *Interferometric Synthetic Aperture Radar*-IFSAR sensor, obtained from the *Shuttle Radar Topography Mission*-SRTM. The main objective was to identify the potential of that kind of tools for geomorphologic studies. The main performed products were shady relief map, hipsometric map, identification of structural lineaments, slope map and drainage network as well as transverse cross sections and the longitudinal profile of the Araguaia river. Our results shown that, in general, the 3D models or DEM are a very efficient tool for macrogeomorphological analysis in large fluvial basins. However the low vertical resolution produce some relatively poor results in flat areas.

Keywords: fluvial systems, digital elevations models, mega-geomorphology.

1.Introdução

Desde 1970, soluções para diversos problemas na pesquisa geomorfológica e geológica tem sido realizadas pelo avanço da manipulação de ferramentas destinadas a análise da paisagem, através da quantificação dos processos que a modelam. Tais ferramentas, como o sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas tornaram-se técnicas úteis na pesquisa em geomorfologia, vinculando-a com estudos da paisagem através da inter-relação de escala, fisionomias e processos (Walsh, 1998). Técnicas de cartografia digital, em particular aquelas voltadas à modelagem numérica do terreno, através de interferometria ou digitalização de cartas topográficas, contribuiu de forma significativa o campo de pesquisa em geomorfologia aplicada (Vitek et al., 1996;

Butler & Walsh, 1998; Miliaresis & Argialas., 1999; Walsh et al., 1998; García & Camarasa, 1999; Fernandes et al., 2001; Kervyn., 2001; entre outros).

Estudos utilizando modelos digitais do terreno derivados de dados topográficas (GTOPO30), serviram para análises fisiográficas na Great Basin sudoeste dos Estados Unidos, e na zona central do Irã (Zagros Ranges) (Miliaresis & Argialas, 1999). Além destes estudos, os quais apresentaram excelentes resultados, a modelagem hidrológica na bacia do Mekong também teve por base o MDT (Kite, 2001). Da mesma forma, modelos digitais do terreno derivados por interferometria, foram de grande valia para determinar a evolução tectônica do rift Rukwa (SW da Tanzânia) e análise topográfica do vulcão Bulusan nas Filipinas (Kervyn, 2001).

Especificament, para o estudo de grandes bacias hidrográficas, a manipulação de técnicas de mapeamento em macroescala, com base em cartas topográficas, aerofotos e imagens de satélites, pode resultar em dados defasados e/ou excessivamente dispendiosos. Neste sentido, o objetivo deste estudo é a aplicação de técnicas de modelagem digital do terreno, os quais possibilitam uma visão em macro escala do relevo, com vista à elaboração de produtos básicos como mapas de declividade, hipsométrico, rede de drenagem, perfis topográficos e longitudinal, a análise e interpretação do ambiente físico em grandes sistemas fluviais. A escolha da bacia do Araguaia como área teste se deve ao rojeto equipe de pesquisa do Laboratório de Geologia e Geografia Física -LABOGEF da Universidade Federal de Goiás, a qual vem desenvolvendo diversos projetos de caráter multidisciplinar nessa bacia.

2. Área de estudo

A área foco deste estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Araguaia, cuja porção norte está coberta pela floresta Amazônica e a porção sul pelo Cerrado, cobrindo aproximadamente uma área de 377.000Km2, com vazão média anual de 6.420m^3/s^2 do Rio Araguaia.

O relevo, durante seu percurso se apresenta com altitudes entre 100 e 1000 m, predominando variações entre 200 e 500m. O rio Araguaia nasce na Serra dos Caiapós e direciona-se para o norte, prolongando-se por uma extensa planície fluvial, caracterizada por grandes áreas pantanosas, na qual forma a denominada ilha do Bananal, com aproximadamente 80 km de largura por 350 km de comprimento, onde ocorre a confluência com seu principal afluente, o rio das Mortes, além de outros afluentes importantes, como o rio Cristalino. Durante o percurso do Araguaia, as altitudes variam de 850 m na porção sul e diminuem para norte com cerca de 100 m na foz, onde se encontra com o rio Tocantins nas proximidades de Marabá, PA.

O alto e parte do médio Araguaia abrangem cerca de 900 km desde Registro do Araguaia, início do médio Araguaia, até as proximidades de São Félix do Araguaia (Ilha do Bananal), formando neste trecho uma bem desenvolvida planície aluvial constituída por várias unidades morfo-sedimentares, como a Planície de Inundação de Escoamento Impedido, Unidade Dominada por Paleomeandros e Planícies de Barras e Ilhas Acrescidas (Latrubesse & Stevaux, 2002).

3. Materiais e Métodos

Para as análises fisiográficas foram utilizadas imagens *Interferometric Synthetic Aperture Radar* - IFSAR, derivados da *Shuttle Radar Topography Mission* SRTM. Segundo Duren (1998), o projeto SRTM teve como objetivo mapear 80% do globo terrestre, entre as latitudes 54°S a 60°N, gerando modelos digitais do terreno por interferometria (duas cenas de radar da mesma área, formando interferograma), através dos sensores *Spaceborn Imaging Radar C-band/X-band Synthetic Aperture Radar (SIR-C/X-SAR*, comprimentos de onda 5.6cm e 3cm respectivamente), modificados e acoplados ao Space Shuttle. O sistema SIR-C escaneia 225km de largura e o SAR-X com uma faixa de 50km, cuja órbita é determinada por um sistema GPS (formado por dois receptores e duas antenas), referenciado ao sistema World Geodetic Survey 1984 - WGS-84. Os produtos possuem resolução horizontal global de 90m (SRTM-3arc-seconds) e 30m para os Estados Unidos (SRTM-1arc-second e uma acuidade vertical absoluta de 16m (Duren et al., 1998).

Os produtos nos formatos HGT (Height), TIFF (Tag Image File Format), ARCGRID (Arc/Info), BILL (Band Interleaved by Line) e GRIDFLOAT (Floating Point Data) são disponibilizados gratuitamente através do Eros Data Center (Serv. Geológico Americano, USGS).

Ao todo foram processadas 126 cenas IFSAR no formato HGT, utilizando-se para tanto o programa de processamento de imagens ENVI 3.6. Inicialmente, as imagens IFSAR, georeferenciadas ao sistema internacional WGS-84, foram reamostradas para o sistema SAD69.

Para uma visão geral da área de estudo, foi gerada uma imagem sombreada (shade-relief) a qual foi fatiada em cores para um melhor realce de aspectos estruturais e geomorfológicos.

Para o estudo em segunda aproximação, foi elaborado um transecto do alto e metade do médio curso do rio Araguaia, a partir do qual foram elaborados alguns produtos como imagem sombreada, declividade, hipsometria, vetorização de feições geológicas estruturais, mapa geomorfológico, perfis topográfico e drenagem. Alguns destes produtos foram estendidos ao modelo geral da bacia do Araguaia.

4.Resultados e Discussão

As imagens SRTM foram úteis para visualizar a morfologia da Bacia do Araguaia (Fig. 1). Por se tratar de um Modelo Digital do

Terreno - MDT, este com dados dos eixos de coordenadas x, y e z, longitude, latitude e altimetria respectivamente, possibilitou elaborar produtos dos quais pode-se extrair informações quantitativas e qualitativas da morfologia da região de estudo,

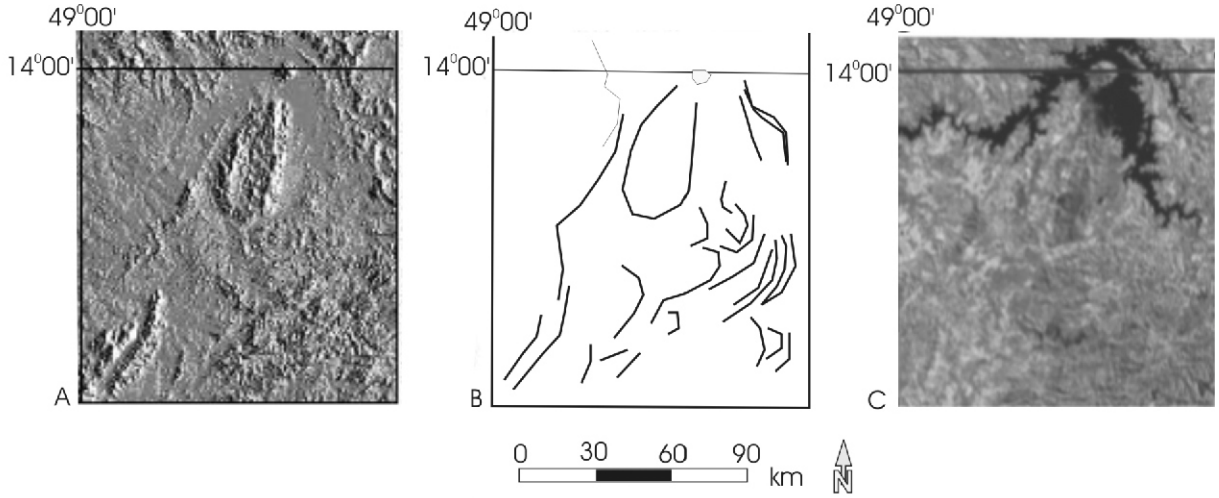

Figura 1. A) Imagem sombreada, evidenciando estruturas geológicas. B) Interpretação da imagem A, destacando feições estruturais. C) Imagem Landsat 7 ETM+, na qual não há percepção de profundidade, dificultando a interpretação geológica.

servindo para analise do terreno em perspectiva planar e em três dimensões.

A imagem sombreada (shade-relief) na qual se identificou alguns aspectos texturais, estruturais, topográficos, longitudinais e hidrológicos, atribuindo-se características como grau de dissecação do relevo e formas estruturais, foi útil na identificação de formas e unidades morfológicas, conforme estudos citados anteriormente (Miliaresis & Argialas 1999 e Kervyn 2001).

Alguns resultados são discutidos separadamente a seguir como contatos litológicos e feições estruturais, identificação de geoformas e perfis topográficos, perfil longitudinal, rede de drenagem, declividade, hipsometria e perspectivas em três dimensões.

4.1. Contatos Litológicos e Feições Estruturais

O realce do relevo através da simulação de diferentes geometrias de iluminação, proporcionou o sombreamento no relevo, dando a impressão de concavidade e convexidade, permitindo a identificação de feições estruturais, como contatos litológicos e lineamentos estruturais (Fig.1). A técnica utilizada, baseada nos MDTs, derivados das imagens IFSAR, mostraram detalhes do terreno que possibilitaram identificar feições planares, lineares positivas-negativas, e tabulares do relevo que não são identificadas com detalhe em MDTs derivados de cartas topográficas. Este problema de precisão é devido à escala da carta, número de pontos cotados no terreno, eqüidistância das cotas altimétricas, e também o tipo de interpolação utilizada para gerar o modelo do terreno. Os MDTs do GTOPO30, por terem sido obtidos de cartas topográficas mundiais em escala 1:1.000.000, também possuem precisão inferior a das imagens SRTM.

4.2. Identificação de Geoformas e Perfis Topográficos

Mapas topográficos são utilizados para visualização morfológica e hipsométrica do relevo, através da geração de modelos tridimensionais interpolados a partir de curvas de nível. Fotografias aéreas, assim como imagens de satélites também são excelentes ferramentas para interpretação geológica, porém necessitam de um processamento mais trabalhoso com relação aos MDTs, derivados de fontes, como cartas topográficas, aerofotos, imagens de satélites e radar, entre outros.

O uso do MDT permite melhor precisão nos estudos geológicos e geomorfológicos, por ser um produto digital que possui informações x, y e z (longitude, latitude e altitude). Seu objetivo é permitir análises quantitativas e qualitativas do terreno com o uso de programas específicos de SIGs (Sistemas de Informações Geográficas).

Os perfis topográficos são úteis para compreensão das variações topográficas, auxiliando na determinação de unidades estruturais e compartimentos morfológicos. Esta ferramenta torna-se importante por possibilitar traçar transectos na imagem, salientando aspectos morfológicos da região em estudo, numa perspectiva do terreno em 2D, indicando variações da curvatura do relevo. A aplicação do modelo, por exemplo, permitiu identificar, claramente, testemunhos, serras e planícies no

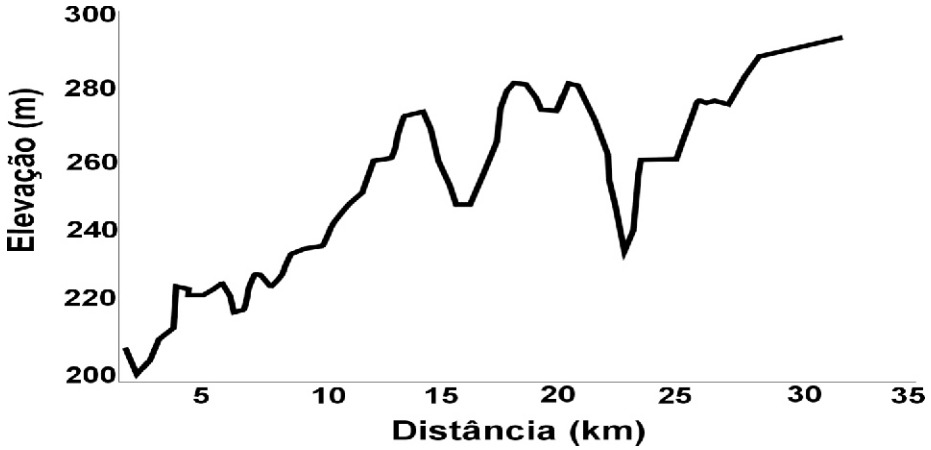

Figura 2 . Perfil topográfico L-W, 1345'00"S 5100'00"W do transecto obtido na imagem SRTM.

claramente, testemunhos, serras e planícies no sentido L-W da bacia hidrográfica do Araguaia (Fig. 2).

Esta técnica pode ser útil para diversos estudos, desde uma rápida descrição das geoformas do terreno, identificadas pelas irregularidades do relevo; para estudos estratigráficos e pedológicos, nos quais são acrescentadas informações estratigráficas ou pedológicas obtidas em campo e indicadas no gráfico do perfil topográfico; estudos de biogeografia, em especial da vegetação e sua relação com o relevo; estudos para implementação de diversas obras como estradas de rodagem; implementação para construção de linhas de transmissão de energia elétrica e outras.

O uso de cartas topográficas não permite uma real interpretação das feições morfológicas do terreno, apresentando um traçado topográfico mais homogêneo com relação aos transectos elaborados em MDTs. A homogeneização, provocada por perfis elaborados de cartas topográficas, poderá ocultar formas do relevo, suavizando acidentes topográficos, e consequentemente, gerando produtos com valores de declividades e geoformas que não representam a verdade terrestre (Fig. 3).

4.3. Perfil Longitudinal

O percurso que o rio descreve ao longo da planície quando traçado numa carta topográfica, por exemplo, possibilita obter informações de seu gradiente das nascentes à foz.

Em termos gerais, pode-se dizer que o perfil longitudinal é côncavo devido à tendência de diminuição do gradiente do rio à medida que aumenta a vazão. Porém, muitos fatores afastam este perfil do ideal teórico, como a presença de afloramentos rochosos ao longo do canal, que produzem ajustes parciais do perfil longitudinal, atuando como *knickpoints* e variações no nível de base ao longo do tempo, que não tenham permitido o ajuste integral do perfil longitudinal.

O perfil longitudinal aproximado de declividade para um certo segmento é importante para avaliar o comportamento morfohidráulico do sistema e o comportamento do padrão do canal.

Se comparado o perfil obtido com MDT com o perfil longitudinal do rio elaborado através de uma carta topográfica, pode-se perceber pouca precisão nos detalhes dos acidentes topográficos ao longo do percurso do rio, pois há falta de pontos cotados na planície, sendo o MDT mais favorável para esta aplicação. Para elaboração de um perfil longitudinal com o uso de carta topográfica é necessária a digitalização e interpolação das curvas de nível, com o intuito de gerar um modelo topográfico do relevo; dependendo do interpolador utilizado e do intervalo das cotas altimétricas, este pode não ser fiel à realidade morfológica do terreno, prejudicando a fidelidade do perfil longitudinal, ocorrendo o mesmo com o perfil topográfico.

O perfil longitudinal (Fig. 4) o qual foi traçado no canal do rio Araguaia, indicou grosseiramente seu gradiente fluvial desde a nascente até à foz, apresentando alguns picos anormais, como saliências no trajeto do rio. Tais irregularidades deve-se a pontos plotados fora do leito do rio, incorporando ao perfil longitudinal áreas elevadas da planície aluvial e/ou áreas com afloramentos graníticos nas margens do curso fluvial. Contudo, determinadas descontinuidades no perfil longitudinal podem estar relacionadas a existência de *knickpoints* produzidos por afloramentos rochosos e/ou controle tectônico.

O modelo foi satisfatório para a elaboração e compartimentação regional do perfil longitudinal onde foram adequadamente identificados os trechos correspondentes a alto, meio e baixo Araguaia, representados na figura 4. Porém o modelo não é suficientemente preciso para ser utilizado em estudos específicos de dinâmica fluvial, em função da sua baixa

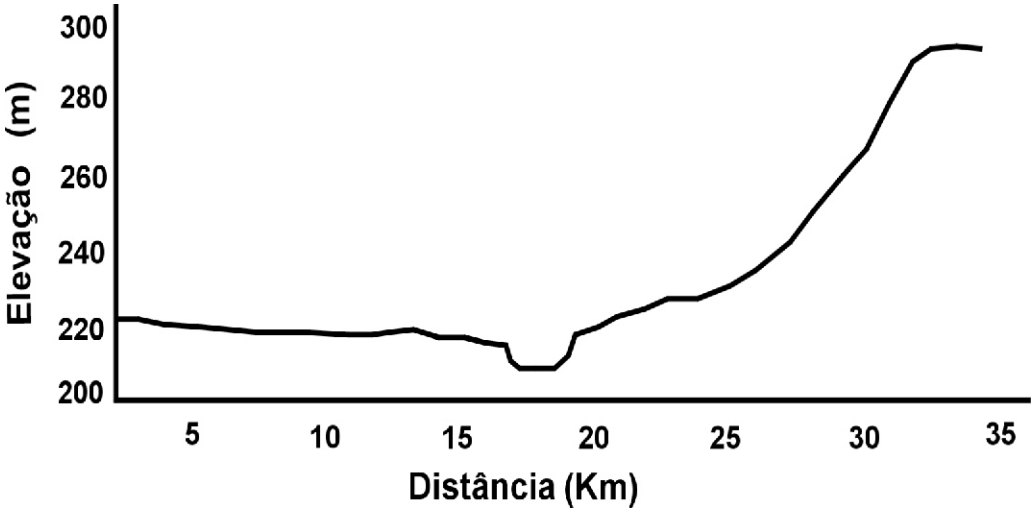

Figura 3 - Perfil topográfico L-W, 1345'00"S 5100'00", obtido na carta topográfica IBGE SD.22-X-C, sul de Bandeirantes, GO.

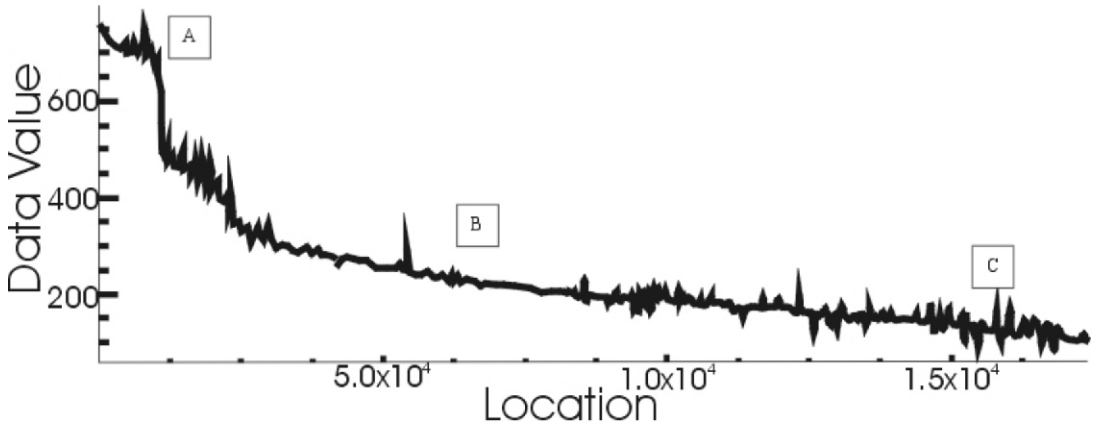

Figura 4 - Perfil longitudinal do rio Araguaia, da nascente à foz. Descontinuidades (picos) estão correlacionados com afloramentos graníticos e áreas elevadas do terraço aluvial ao longo da planície de inundação.

resolução vertical o que impede a obtenção de valores reais de declividade.

4.4. Rede de Drenagem

Basicamente, há três modos de extração da rede de drenagem, sendo: o manual através de cartas topográficas, o manual por imagens de satélites, radar, aerofotos ou MDTs; e o automático, gerado em MDTs. Estudos utilizando MDTs para análises hidrográficas tem contribuído para identificação de redes de drenagem como Walsh et al.(1998), assim como García & Camarasa (1999) em seu estudo na bacia Carraixet (Valencia, Espanha) que aplicaram os métodos automático e manual para extração de drenagem, sendo que o automático derivado de MDTs apresentou alguns problemas, podendo ser aplicável nas nascentes da bacia hidrográfica e tornando-se problemático no médio e baixo curso da bacia hidrográfica, mas em sistemas distributários, principalmente nos setores de fans aluviais, gerando informações confusas devido aos processos morfológicos como paleocanais, meandros abandonados, diques de irrigação em lavouras, etc. Neste estudo foram testados dois métodos, o manual extraído de cartas topográficos e o manual extraído do MDT.

A figura 5 mostra um exemplo de como se pode observar, com a imagem sombreada, o sistema de drenagem no terreno. Na imagem "A" foi plotada a rede de drenagem obtida das cartas topográficas. Na imagem sombreada se verifica que diversos cursos não foram vetorizados, além de se constatar o deslocamento de alguns rios

vetorizados das cartas topográficas em relação à drenagem do MDT. A imagem "B" mostra uma nova vetorização da drenagem, abrangendo um maior número de cursos fluviais.

A extração da rede de drenagem pelo método manual derivada de cartas topográficas, mostra uma rede de drenagem relativamente

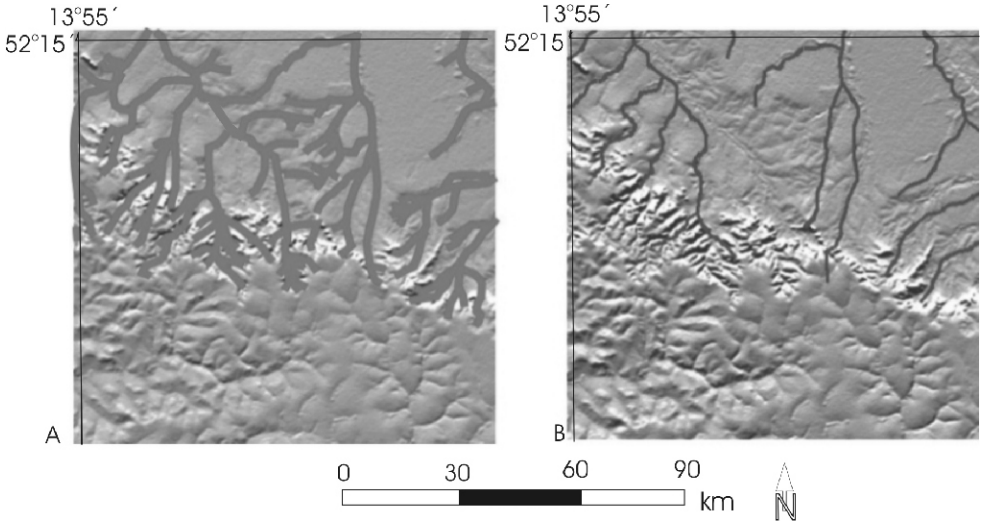

Figura 5 Par de imagens sombreadas, exemplo da drenagem do mesmo local. A) Imagem da rede de drenagem sobreposta no MDT, interpretação através de cartas topográficas. B) Imagem da rede de drenagem sobreposta no MDT, interpretação através de cartas topográficas.

pobre quando comparada a rede real obtida do MDT. Isto é particularmente notável nos cursos de menor ordem hierárquica das bacias, o que pode levar á introdução de erros significativos ao calcular diversosparâmetros morfométricos em bacias fluviais, tais como hierarquização de redes de drenagem, densidade de drenagem, coeficientes de bifurcação e outros. Se percebe então a necessidade de outros meios como imagens de satélites e/ou aerofotos e dados de campo para complementar as redes de drenagem obtidas de cartas topográficas

4.5. Declividade, Hipsometria e Perspectivas em 3D

A altimetria foi representada pelo mapa hipsométrico, mapa temático de elevação da região na qual está inserida a Bacia Hidrográfica do Rio Araguaia. Através do fatiamento da imagem, definiu-se intervalos de cotas de 200 em 200 metros, com a finalidade de gerar uma imagem que represente a altimetria da região, identificando picos mais altos e baixadas.

Imagens com perspectivas em terceira dimensão, as quais se pode rotacionar nos 3 eixos (x, y, z), são ideais para a noção de dimensão e da variação a topográfica permitindo a visualização das morfologias em diferentes ângulos, podendo ser soprepostos overlays ao modelo 3D, rios, áreas de mineração, áreas urbanas, entre outras, que são usualmente denominados de Planos de Informações - PIs, o que possibilita uma noção de espacialização destes diferentes PIs em terceira dimensão.

O mapa de declividade forneceu informações do gradiente altimétrico do terreno, servindo de base para identificação de vertentes, encostas e áreas alagáveis. Em termos gerais o modelo tem se manifestado satisfatório e de grande utilidade, em especial em áreas de relevo acidentado.

Porém, os resultados das áreas de planície servem apenas para informações qualitativas, devido ao método de classificação empregado. Neste caso, os valores de declividades processados na planície do Araguaia, área extremamente plana, representam valores que não correspondem à realidade da drenagem. A figura 6 exemplifica o que ocorre ao gerar o gradiente de declividade na planície do Araguaia, onde a real declividade do canal é mascarada pela suavização gerada no processamento automático em função da resolução do sensor.

Na planície do Bananal, a qual é cortada pelo rio Araguaia, foi gerada no sistema uma classe de declividade de 0 a 2. Embora englobados numa classe só, o sistema oferece variações com declividades iguais a 0 para a unidade do Bananal e de 0 a 2 na planície aluvial do Araguaia. O valor obtido pelo sistema para a unidade planície aluvial-canal, do rio Araguaia, não condiz com a realidade natural.

Aparentemente, o sistema plota um valor aproximado da declividade lateral entre a unidade da planície do Bananal e a planície aluvial do Araguaia, priorizando esta componente lateral em forma artificial, sobre a componente longitudinal do sistema fluvial com componente de declividade em direção a jusante; esta situação pode ser representada da como a seguir.

A figura 7A mostra esquematicamente a situação geomorfológica das duas unidades gicas

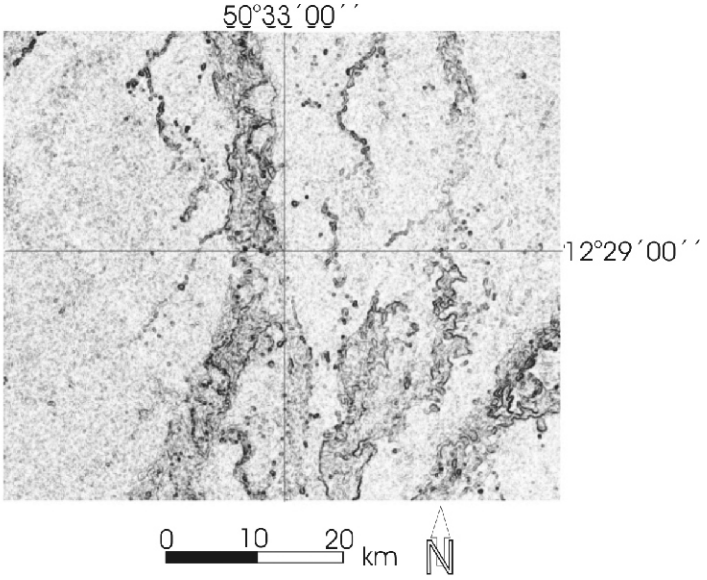

Figura 6 Mapa de declividade, transecto na Bacia do Rio Araguaia. Áreas planas são representadas em cinza, com declividades variando de 0.0° a 0.8°; em preto representa canais com declividades de 0.8° a 2.5 dos canais fluviais.

consideradas. Pode se constatar que não há declividade continua desde o Bananal até o eixo do vale fluvial. Através da fórmula de trigonometria básica, que representa o ângulo dado pelo processamento automático, h é altura e x uma distância arbitrária, obtem-se tem-se tg = h / x. O gradiente de variação na planície do Araguaia abrangeu de 0 a 2 de declividade, portanto a altura máxima pode ser estipulada pela fórmula tg 2 = h / 1km, logo h = 34m. Isto exemplifica que a cada 1km tem-se um gradiente máximo de 34m. Devido seguramente à baixa resolução espacial, o contato do vale é mascarado/englobado dentro de uma classe geral e a realidade como mostrada na figura 7B, é omitida. Concluindo, os valores obtidos não condizem com a situação real de contato entre as duas unidades geomorfológicas assim como tampouco com a componente longitudinal da planície em direção a jusante, a qual é em geral inferior a 50cm/km e no canal de >20cm/km.

Nos procedimentos não houve, para o MNT, necessidade, o que normalmente ocorre, de intercâmbio com outros softwares para o geoprocessamento, já que algumas rotinas foram de fácil manipulação, assim como modos de importação e exportação de determinadas extensões raster e vetorial. Sendo assim, o seu uso foi satisfatório para os resultados apresentados neste trabalho, como reamostragem do sistema de georeferenciamento, importação de dados vetoriais elaborados no SPRING, e uso de

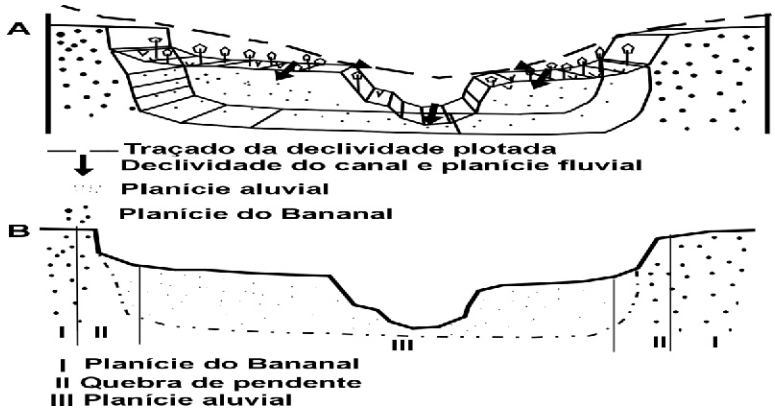

Figura 7 Perfil esquemático do canal e planície fluvial. a) A linha de pontos indica a vertente plotada artificialmente pelo sistema automático. Note que a verdadeira declividade das unidades geomorfológicas não é considerada pelo sistema o qual gera uma declividade artificial no sentido lateral entre as duas unidades. A declividade da planície aluvial, no sentido do observador, não é detectada, por tanto todo este elemento geomorfológico longitudinal e sua declividade real (em valor e direção) é omitido pelo sistema. b) situação ideal das unidades de declividade que teriam que ser identificadas pelo sistema, embora omitidas pela sua baixa resolução.

determinadas ferramentas topográficas aplicadas ao MDT para visualização dos aspectos morfológicos do terreno da região estudada no presente trabalho.

5. Conclusão

O presente estudo testou algumas ferramentas úteis para identificação, análise e interpretação de elementos do relevo utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas em modelo digital do terreno, derivado de imagens de radar por interferometria - IFSAR.

Notou-se determinados estudos, dependendo da escala espacial, é necessário que se tenha certos cuidados ao utilizar fontes para extração de dados, como o uso de cartas topográficas na análise do sistema de drenagem, que não corresponde, em sua totalidade, à verdade do terreno, quando comparado à interpretação da drenagem por MDT. Alguns outros exemplos como elaboração do perfil longitudinal do rio Araguaia e perfil topográfico transversal da planície do médio rio Araguaia, foram úteis e de fácil manipulação para identificação das variedades topográficas da região estudada.

Os mapas de declividade e hipsométrico foram úteis na identificação das diferenças topográficas na Bacia Hidrográfica do Rio Araguaia e sua relação com as unidades geomorfológicas existentes. A elaboração de imagens do MDT em perspectiva 3D, serviu de base para aplicação em diversas áreas, como geologia, geomorfologia, entre outros estudos, proporcionando uma visão em diversos ângulos da espacialização dos aspectos morfológicos do terreno.

Embora tenha se obtido resultados geralmente satisfatórios na aplicação da análise do relevo, alguns problemas foram detectados. Enquanto o modelo trabalha bem em áreas de relevo acidentado, gerou problemas na determinação de declividades em áreas planas. Quando aplicado na planície do Bananal e na planície aluvial do Rio Araguaia, valores anômalos (irreais) de declividade foram obtidos pela interpolação lateral entre as unidades, em detrimento da componente longitudinal do sistema. Isto mostra que o intérprete/operador tem que estar atento as distorções que o sistema produz da realidade natural. Pelos presentes resultados, pode-se infer que este problema pode ser gerado em grande parte das planícies de agradação, sejam elas eólicas, fluviais, glaciais, lacustres ou costeiras.

Portanto, as classificações automáticas da rede de drenagem tem criado problemas para áreas de sistemas distributários, assim como em terrenos alagadiços, o que requer uma aplicação com extrema cautela como este tipo de ferramenta em ambientes de agradação inundáveis, tão típicos das grandes planícies Sul-americanas como Pantanal, Chaco, os Llanos do Orinoco e sistemas inundáveis da Amazonia como o Guaporé ou Ucamara, algumas para mencionar alguns.

A tecnologia de sistemas de informações geográficas, nas últimas décadas, obteve significativos avanços, o que tem possibilitado maior aproximação das condições reais em ambiente virtual, fornecendo às análises ambientais um suporte para procedimentos manipuláveis (simulações), permitindo cruzamentos de dados, dos quais se pode extrair informações geoambientais. Sua aplicação na análise geomorfológica permite visualizar um futuro promissor para o avanço do conhecimento geomorfológico, em especial do ponto de vista macrogeomorfológico.

Agradecimentos

Ao Dr. Laerte Ferreira Guimarães Junior pelas críticas e sugestões, ao professor Dr. Jorge Alberto Villwock pela sua colaboração e apoio para a realização deste trabalho assim como aos professores Tânia Ferrer e Regis Alexandre Lahm.

Referências Bibliográficas

Butler. D. R. & Walsh, S. J. (1998) The application of remote sensing and geographic information systems in the study of geomorphology: A introduction. Geomorphology 21: 179-181.

Duren, R.; Wong, Ed.; Breckenridge B.; Shaffer S.; Duncan, C.; Tubbs, E.; & Salomon, P. (1998) Metrology, attitude, and orbit determination for spaceborn interferometric synthetic aperture radar. SPIE AeroSense Conference on Acquisition, Tracking and Pointing XII, April.

Fernandes, N. F.; Guimarães R. F.; Gomes A T.; Vieira B. C.; Montgomery D. R. & Greenberg H. (2001) Condicionantes Geomorfológicas dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. Revista Brasileira de Geomorfologia v.2 N1:51-71.

García, M. J. L. & Camarasa, A. M. (1999) Use of geomorphological units to improve drainage network extraction from a DEM. JAG 1 Issue 3/4.

Kervyn, F. (2001) Modelling topography with SAR interferometry: illustrations of a favourable and less favourable environment. Computers & Geosciences 27: 1039-1050.

Kite, G. (2001) Modelling the Mekong: Hydrological simulations for environmental impact studies. Journal of Hydrology, 253: 1-13.

Latrubesse, E. M. & Stevaux, J. (2002) Geomorphology and Environmental Aspects of Araguaia Fluvial Basin, Brazil. Berlim. Z. Geomorphologie Suppl. Bd. 129:

109-127.

Miliaresis G. C. & Argialas, D. P. (1999) Segmentation of physiographic features from the global digital elevation model/GTOPO30. Computers & Geosciences, 25: 715-728.

Secretaria de Planejamento da Presidência da República; IBGE, Carta topográfica São Miguel do Araguaia SD.22-X-C 1:250000.

Vitek, J. D. Giardino J. R.; Fitzgerald, J. W. (1996) Mapping geomorphology: A journey from paper maps, through computer mapping to GIS and Virtual Reality. Geomorphology, 16: 233-249.

Walsh, S. J.; Butler D. R.; Malanson G. P. (1998) An overview of scale, pattern, process relationships in geomorphology: a remote sensing and GIS perspective. Geomorphology, 21: 183-205.