Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, 11-15 novembro 2006,
INPE/Embrapa Informática Agropecuária, p.395-404.

Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal

Márcio de Morisson Valeriano[1,2]
Myrian de Moura Abdon,[1]

[1] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Coordenadoria da Observação Terrestre/Divisão de Sensoriamento Remoto
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
valerian@dsr.inpe.br & myrian@dsr.inpe.br

[2] Bolsista do CNPq

***Resumo*:** São apresentadas as linhas gerais para o aproveitamento dos dados SRTM no ambiente do Pantanal Matogrossense. Esta área apresenta relevo extremamente baixo, com declividade média em torno de 0,08%, o que pode ser descrito como plano, sobretudo quando observado em escalas detalhadas. Sobre este terreno, o modelo de elevação dos dados SRTM apresenta numerosas feições que raramente ultrapassam 10m, ocasionalmente atingindo 20m, e que estão associadas à distribuição de formações vegetais em torno de corpos d`água. Nas condições do terreno descritas, estas feições prevalecem na derivação de variáveis topográficas e em observações locais. Este trabalho demonstra a importância de se estudarem em separado as alturas destas feições e a altitude do terreno, e apresenta uma técnica para desdobrar o modelo de elevação nestas duas componentes. As feições evidenciadas mostraram estreita relação com a estrutura da vegetação, sugerindo o potencial destes dados como subsídio para levantamentos fitofisionômicos nesta área. Uma vez livre das feições, o modelo de elevação do terreno revela uma estrutura superficial coerente em escala generalizada, apesar da amplitude e do gradiente do relevo extremamente baixos.

Palavras chaves: SRTM, banco de dados, vegetação.

***Abstract*:** The basic procedures for exploring SRTM data in Pantanal Matogrossense floodplain are presented. This area presents extremely low relief, with mean slope around 0.08%, what may be described as flat, mainly when observed in detailed scales. Overlaid on this terrain, SRTM elevation model presents numerous features which rarely pass 10m height, occasionally reaching 20m, related to vegetation communities around water bodies. On the described terrain conditions, these features prevail in the derivation of topographic variables and in local observations. This research shows the importance of separately study the features` height and the terrain elevation, and presents a technique to unfold the full model into these two components. The enhanced features showed close relation with vegetation structure, what suggests the potential of these data as auxiliary for phitophisionomic surveys in this area. Free from features, the terrain elevation model reveals a coherent surface structure under general scales, in spite of the low gradient and amplitude.

Keywords: SRTM, database, vegetation.

1. Introdução

Um fator importante a favorecer a inclusão do relevo na identificação e na análise de sistemas terrestres advém de recentes coletas de dados topográficos por técnicas de sensoriamento remoto. A utilização de bases topográficas digitais obtidas por sensores orbitais representa 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 (Sistemas de Informação Geográfica) demandam mão-de-obra e tempo expressivos nos custos de um projeto de pesquisa.

O projeto SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) advém de cooperação entre a NASA e a NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), do DOD (Departamento de Defesa) dos Estados Unidos e das agências espaciais da Alemanha e da Itália. Do total de dados coletados pela SRTM, foram processados dados da banda C para cobertura em 80% da área terrestre do planeta, entre latitudes 60^o N e 56^o S (JPL, 2003).

Entre as características indesejáveis do ponto de vista da modelagem topográfica, a sensibilidade a quaisquer objetos presentes sobre a superfície do terreno, tais como antenas, edificações e mesmo variações da cobertura vegetal, dificulta a percepção da superfície do terreno em si. Por outro lado, estudos que envolvam a superfície de dossel podem eventualmente explorar estes dados na análise fisionômica de formações florestais, conservadas as limitações devidas à sua resolução espacial e temporal. Tal potencialidade se apresenta especialmente evidente em terrenos de pequena amplitude altitudinal, onde as variações do modelo devidas à altura de dossel suplantam aquelas advindas do próprio terreno. Este trabalho apresenta uma análise dos dados SRTM aplicada à caracterização de fitofisionomias presentes no Pantanal, planície de deposição formada pela bacia do alto rio Paraguai.

2. Objetivo

O objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial dos dados SRTM como subsídio a mapeamentos da vegetação no Pantanal. Buscou-se explorar a sensibilidade destes dados a efeitos de dossel para a diferenciação de classes de vegetação em função de suas alturas predominantes entre as diversas fitofisionomias observadas na região.

3. Material e Métodos

As imagens SRTM foram copiadas da rede mundial de computadores diretamente do endereço da USGS (*United States Geological Survey*), em que permanecem disponíveis sob a

resolução de 3", ou cerca de 90m. Foram capturados dados SRTM de todos os segmentos correspondentes a folhas 1:250.000 (1^o de latitude por $1,5^o$ de longitude) que contivessem áreas do Pantanal Matogrosssense. Os dados originais disponíveis para a América do Sul apresentam resolução de 3" ou $0,000833^o$ (~90m) e o *datum* e o elipsóide de referência são WGS84, com dados de *z* em metros inteiros.

O pré-processamento dos dados consistiu na modificação do MDE SRTM original para um novo MDE, com características desejáveis para interpretação e outros desdobramentos. Entre as modificações pretendidas, listam-se: a resolução melhorada, de 1'' (~30m); a remoção das falhas; redução de artefatos; e distribuição da aleatoriedade. A krigagem dos dados SRTM seguiu basicamente o fluxo exposto em Valeriano (2002), em que as cotas com suas posições geográficas constituem amostras para análises geoestatísticas e posteriormente para a interpolação.

Os programas computacionais utilizados neste tratamento foram ENVI (Research Systems Inc., 2002): correção de falhas, seleção de área amostral e exportação de dados ASCII; MINITAB (MINITAB Inc., 2000): análise de tendência e obtenção de resíduos; VarioWin (Pannatier, 1996): geoestatística; e Surfer (Golden Software, 1995): interpolação. Após a geração do novo MDE, utilizou-se ainda Idrisi (Eastman, 1995) para operações de geoprocessamento, aplicação de testes, algoritmos de análise do relevo e extração de resultados específicos. A interpretação dos resultados envolveu também uso do programa Global Mapper, através do qual os modelos digitais de elevação foram observados sob variados códigos de cores, sombreamentos, além de examinados em transectos.

As imagens de dados SRTM na forma disponibilizada apresentam 1800 colunas por 1200 linhas em cada folha 1:250.000. Para a obtenção dos coeficientes aplicados na interpolação por krigagem, foram destacadas amostras das imagens originais SRTM, com dimensões 30x30 (linhas x colunas) para análise geoestatística. Para cada folha, estas amostras foram retiradas buscando-se diferentes condições de superfície, a fim de que a análise possa contemplar as possíveis estruturas de variabilidade espacial dos dados, expressas em coeficientes geoestatísticos. Os conjuntos de coeficientes obtidos foram agrupados em tipos semelhantes para uma aplicação por grupo em testes de krigagem. Os MDE assim interpolados foram então avaliados com base na visualização das imagens sob diferentes esquemas de apresentação (relevo sombreado, escala de cinza e perspectivas) e em diferentes escalas (**Figura 1**).

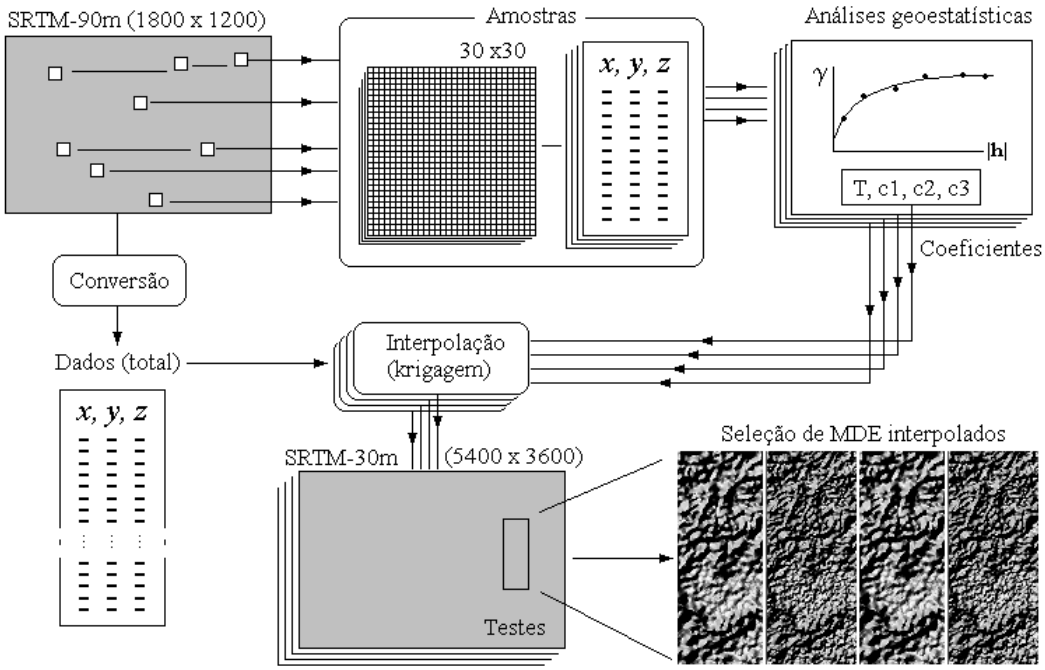

Figura 1 – Seleção de coeficientes geoestatísticos para interpolação.

Os coeficientes selecionados foram aplicados em todas as folhas que compõem a área de estudo, independentemente da folha que deu origem a este conjunto, de forma a se obter um MDE padronizado para toda a área. Cada folha interpolada passa a ter 5400 colunas por 3600 linhas após as interpolações. Após a preparação, estes dados foram desdobrados em planos de informação geomorfométricos através de algoritmos de SIG desenvolvidos para o cálculo de declividade (Valeriano, 2002b), curvatura vertical (Valeriano, 2003), curvatura horizontal (Valeriano & Carvalho Júnior, 2003), além de um delineamento de canais de drenagem e divisores de água (Valeriano, 2002).

Para a avaliar os dados do SRTM como subsídio na diferenciação de classes fitofisionômicas do Pantanal foi utilizado um conjunto de perfis estruturais obtidos em campo. Medidas de altura de árvores presentes em parcelas definidas no solo de 5x20 metros foram obtidas em diferentes áreas de Floresta Estacional Decidual (mata seca), Floresta Estacional Semidecidual (mata e mata aluvial), Savana Florestada (cerradão), Savana Arborizada (cerrado), Savana Estépica Florestada (mata chaquenha) e Savana Estépica Arborizada (chaco). Abdon et al (1998), através de dados de perfis estruturais, identificaram diferenças de 2 a 8 metros entre as alturas médias de dossel das fitofisionomias arbóreas do domínio da Savana no Pantanal.

4. Resultados e discussão

Das imagens correspondentes às 19 folhas 1:250.000 que cobrem a área de estudo, 8 se localizam por inteiro dentro do Pantanal. Nestas condições, a observação dos dados SRTM codificados em níveis de cinza mostra que a principal variação da altitude no Pantanal decorre da configuração de grandes leques aluviais, que se estendem por cerca de 300km num gradiente predominantemente E-W. O MDE se apresenta desprovido de feições de relevo além desse gradiente, porém apresenta-se marcado por um grande número de feições detalhadas e de pequena altitude, conforme a Figura 2.

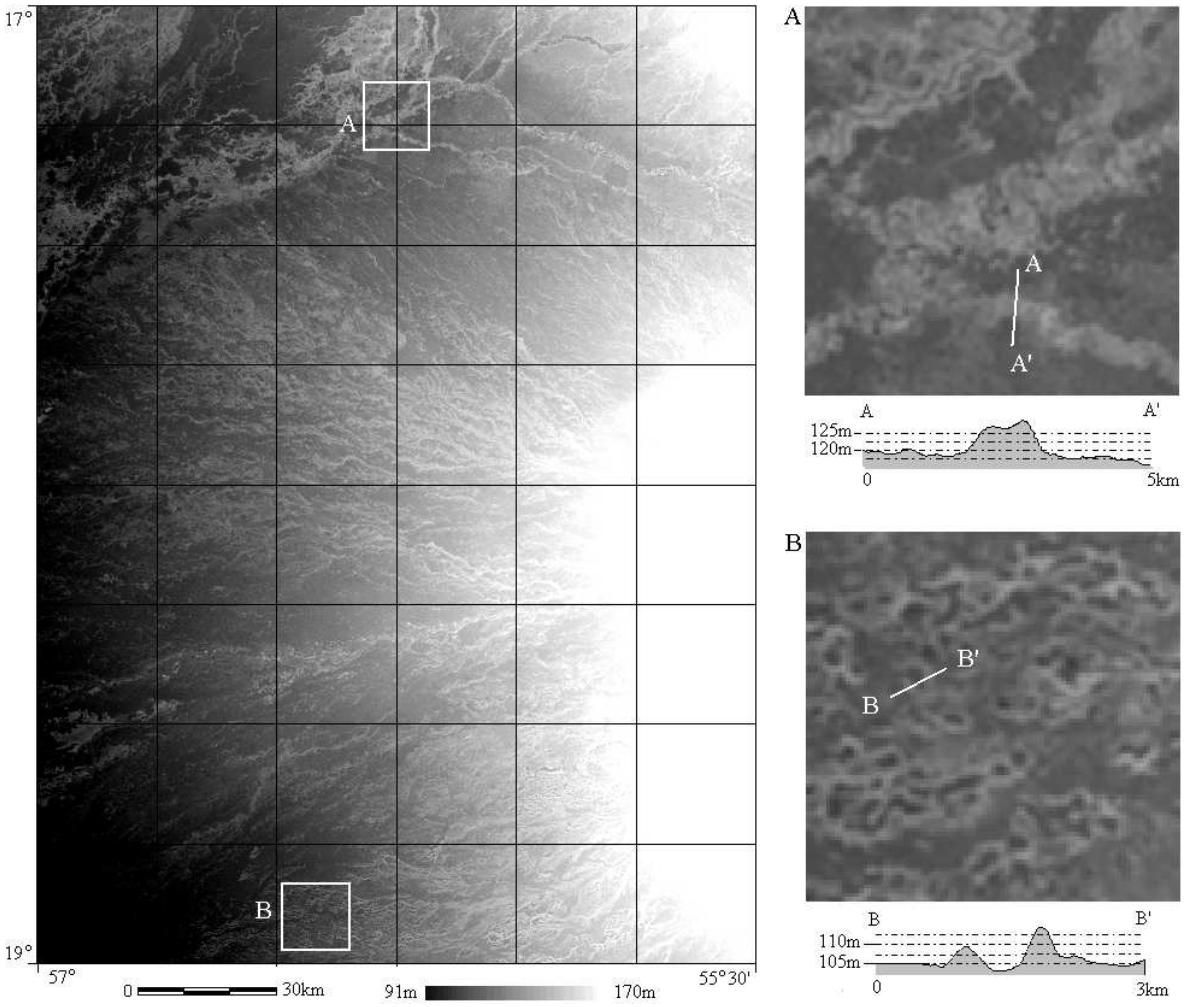

Figura 2 – Aspecto do MDE do pantanal em níveis de cinza. Detalhes de mata ciliar em torno de canais de drenagem (A) e de lagoas (B). (Folhas SE-21-X-C e SE-21-Z-A).

Embora as feições observadas configurem, em escala generalizada (Figura 2, à esquerda), redes de drenagem, a relação altimétrica se apresenta invertida, isto é, têm cotas mais elevadas do que o terreno ao seu redor. Um exame detalhado (Figura 2, à direita) mostra que este desnível está geralmente em torno de 10m ou menos, compatível com a altura de dosséis vegetais, que afetam a altimetria SRTM. A vegetação no Pantanal, como em todo ambiente alagável, está distribuída espacialmente em função da sua capacidade de suportar mais ou menos tempo a inundação. A vegetação gramíneo-lenhosa geralmente ocupa lugares que permancem mais tempo inundado e, num extremo oposto, a vegetação arbórea, formadora de florestas deciduais ou semideciduais e os cerradões, ocupam regiões mais altas, onde a inundação as atinge eventualmente e por pequenos períodos.

Em função da baixa declividade e a predominante ausência de relevo dentro da planície do Pantanal, a vegetação arbórea é encontrada em locais mais elevados, de um a dois metros acima da vegetação de gramíneas. Quando esta elevação tem a forma de cordões distribuídos pela planície, acompanhando a direção do escoamento das águas, são chamados regionalmente por cordilheiras. Transectos foram obtidos nas cartas com informações altimétricas geradas a partir dos dados do SRTM, em lugares do Pantanal préviamente selecionados em função do conhecimento da vegetação que ocupa essas regiões. Os dados existentes confirmam ser a vegetação a principal responsável pelas variações de altitude

diferenciadas nas cartas de topografia geradas com os dados SRTM. Próximo ao canto NW do detalhe A ampliado, pode-se ver uma dessas cordilheiras em que a vegetação não impediu a percepção da calha do rio. Ao sul das folhas apresentadas na Figura 2 (detalhe B), observam-se numerosas lagoas, cada uma margeada por uma ligeira elevação, também associada à vegetação. Nesse caso, a topografia exibida pelo MDE mantém a configuração de lago, com o centro mais profundo do que as bordas. Na Tabela 1 pode ser observada a relação aproximada existente com a altura de dossel, estimada com a altura média das árvores mais altas, entre diversas classes de vegetação presentes no Pantanal, elaborado com base em perfis estruturais obtidos em campo.

Tabela 1 – Relação entre classes de mapeamento da vegetação e sua altura média

Classes de mapeamento	Altura (metros)
Florestas decídua e semidecídua	Até 25
Cerradão	12 a 18
Cerrado denso	8 a 12
Cerrado	6 a 8
Formações Pioneiras	3 a 5*
Campo com arbustos	1 a 3
Gramíneas	1
Corpos de água	0

* Havendo a presença de Cambará (*Vochysia divergens*) essas formações podem atingir até 20 metros de altura.

A sensibilidade dos dados SRTM em relação à altura do dossel pode ser aplicada ao mapeamento de tipos florestais numa mesma mancha de vegetação, desde que garantidas variações mínimas na própria altitude do terreno. Isso pode ser facilmente observado em escalas detalhadas, uma vez que o terreno apresenta uma declividade muito baixa, podendo ser considerado localmente plano.

Numa perspectiva de exploração da altura de dossel expressa nos dados SRTM para estudos da vegetação através de recursos digitais, resta fazer com que o modelo expresse a altura das feições existentes sobre o terreno em vez da altitude em si. Em uma área plana, bastaria subtrair a altitude do terreno da altitude exibida pelo MDE. No entanto, a pequena declividade do terreno, quando considerada a extensão do Pantanal, é suficiente para promover diferenças independentes da altura de dossel. Na extensão das folhas 1:250.000, que medem 100km em latitude por 150km em longitude, a amplitude altimétrica da planície de inundação do pantanal chega a 80m, o que corresponde a uma declividade entre 0,05% e 0,08%. A retirada dessa variação sutil da altitude permitiria que os dados SRTM sejam simplesmente fatiados de acordo com intervalos expressivos do ponto de vista da altura dos dosséis que tipicamente ocorrem no local.

O primeiro passo para atingir esta condição é a determinação de pontos (x,y,z) do MDE que correspondam às áreas de baixio, livres de elevações advindas de objetos presentes sobre o terreno, como é o caso dos dosséis associados aos corpos d'água. Pode-se presumir uma série de características morfométricas que ajudem na identificação das áreas de baixio. Essas características podem ser buscadas nos planos derivados do MDE referentes à declividade, curvatura vertical, curvatura horizontal e ao delineamento de canais de drenagem e divisores de água, todos passíveis de obtenção automática em SIG. Presume-se que áreas de baixio tenham: declividade baixa; curvatura vertical negativa (concavidades); curvatura vertical negativa (convergências); e que pertençam a pontos de talvegue. A partir de uma grade de amostragem sistemática, estas condições foram sobrepostas para a seleção de um subconjunto esperado a ocupar as áreas de baixio (Figura 3).

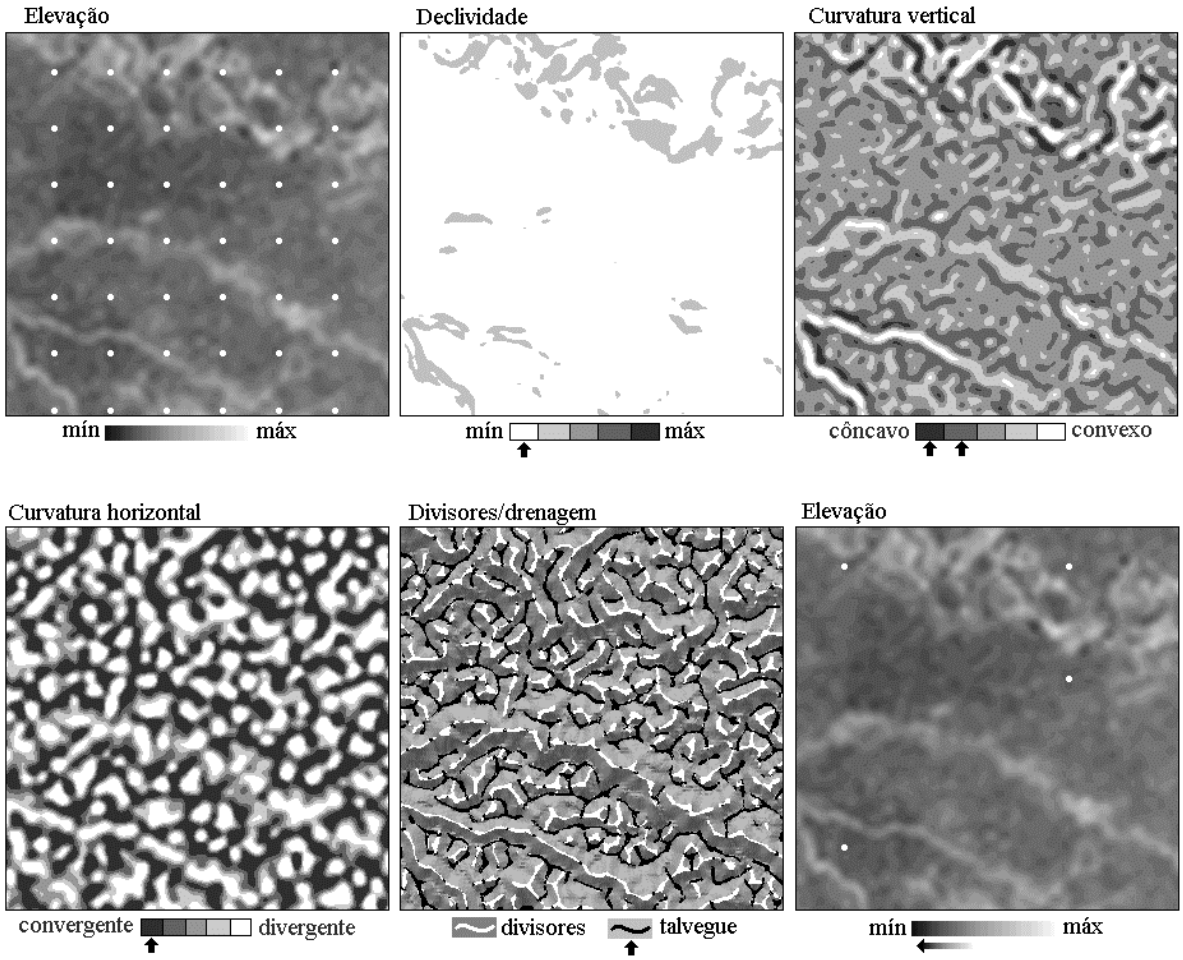

Figura 3 – Detalhe da seleção de amostras das áreas de baixios através da sobreposição de condições morfométricas atribuídas às mesmas, indicadas pelas setas nas legendas.

Os pontos selecionados nesse processo foram submetidos ao mesmo procedimento desenvolvido para interpolação dos dados SRTM, com a diferença que os coeficientes da krigagem foram obtidos uma única análise geoestatística, aplicada à totalidade destes mesmos dados. Coerentemente, os coeficientes obtidos para estes pontos indicaram uma superfície mais suave, com alcance (distância) da dependência espacial muito maior do que aquele observado inicialmente para as cotas altimétricas SRTM. Estes coeficientes foram então aplicados na interpolação dos dados selecionados para a criação de um modelo digital de elevação correspondente aos pontos de menor cota (baixios) do terreno. O modelo digital da altura foi calculado subtraindo-se esta superfície do MDE e em seguida fatiado em classes de altura (**Figura 4**).

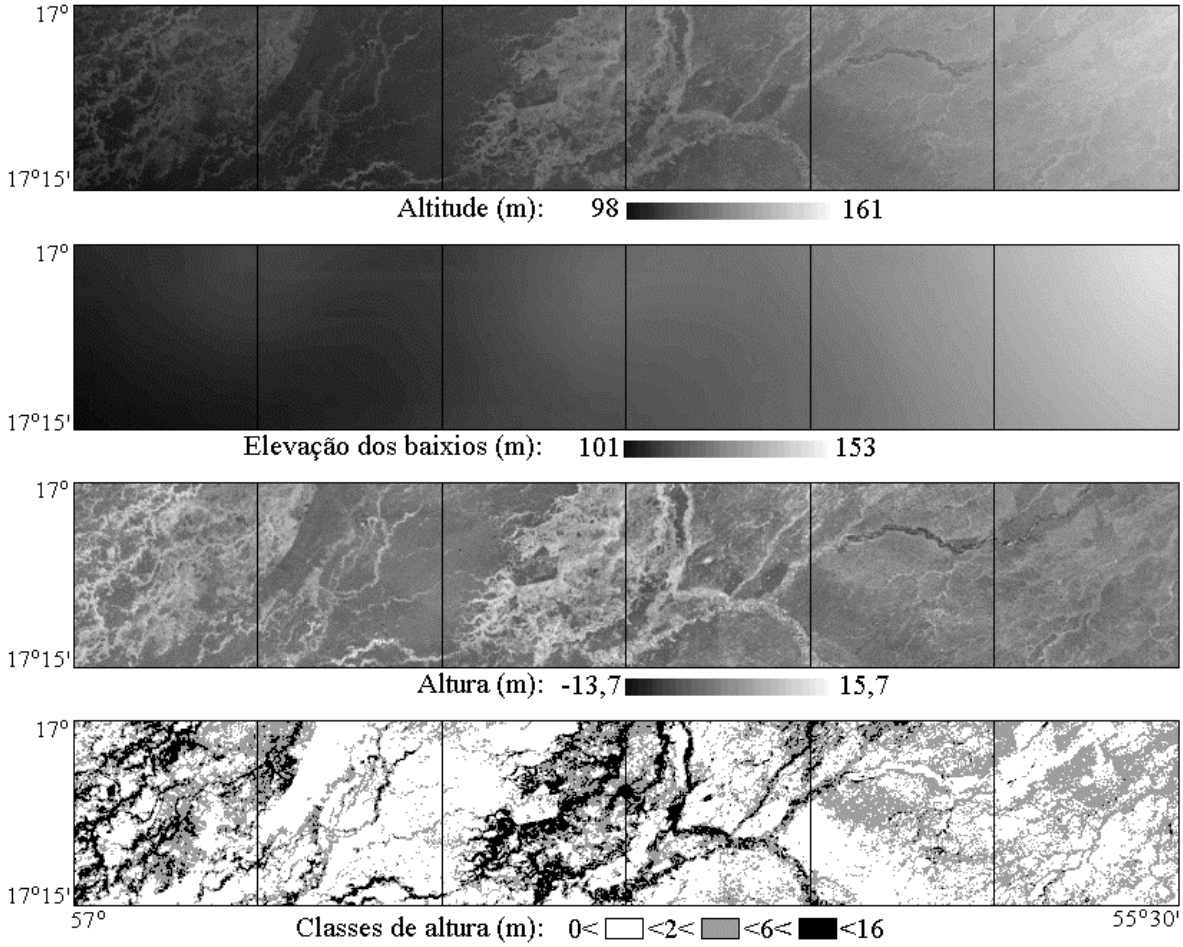

Figura 4 – Imagens das diferentes etapas do mapeamento da altura da vegetação

Nos resultados de altura, observaram-se valores negativos, de até -13,7m, em 26% da área. Evidentemente, o método para seleção de pontos de baixio não garantiu que estes fossem selecionados em sua totalidade e perfeitamente, o que resultou numa superfície abaixo da qual ainda permaneceram muitos pontos. Apesar disso, a área de alturas negativas diminui drasticamente com pequenos acréscimos de cota à altura calculada inicialmente. A um acréscimo de 2m, a área de altura negativa decresceu para cerca de 3%, o que sugere a viabilidade de correção de um possível erro sistemático. No entanto, a distribuição geográfica dos valores negativos mantém-se estruturada em regiões de maior ocorrência, indicando ser este um efeito advindo da conformação do terreno associado à distribuição dos dosséis (Figura 5). Portanto, deve-se usar com cuidado a estimativa de altura fornecida pelo método, como um indicador da altura de dosséis, adequados ao mapeamento de classes em intervalos de altura, e não como uma forma de medição.

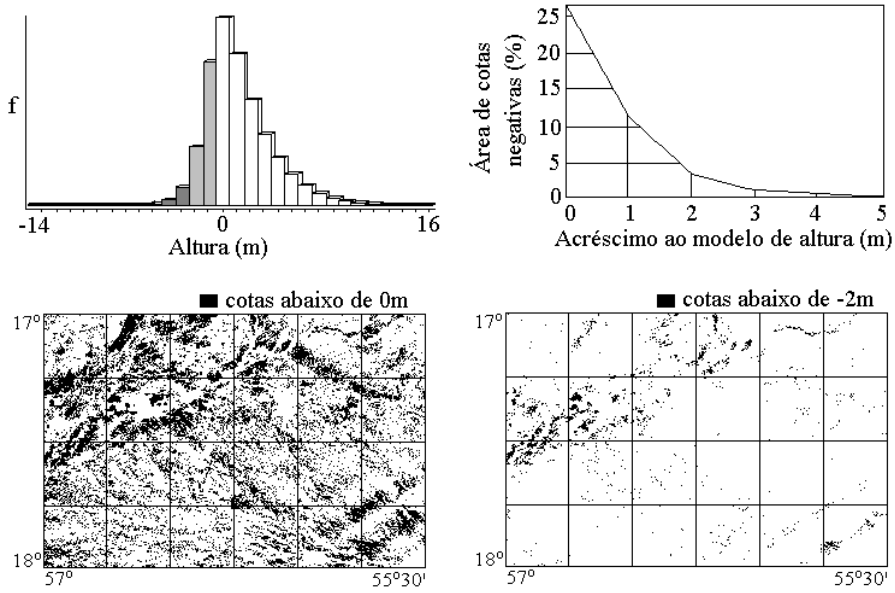

Figura 5 – Avaliação dos resultados de altura: histograma e área sob cota negativa após acréscimos (acima); distribuição espacial de alturas abaixo de 0m e –2m (abaixo).

5. Conclusões

O modelo digital de dados SRTM do Pantanal apresenta um relevo de baixa declividade, desprovido de feições topográficas e marcado por feições associadas a dosséis vegetais.

A sobreposição de condições morfométricas presumidas às áreas de baixio permitiu a seleção de pontos para a formação de um modelo de elevação do terreno para subsidiar uma estimativa da altura das feições observadas.

A distribuição geográfica de classes de altura em intervalos selecionados mostrou-se compatível com a distribuição da vegetação agrupadas em 3 classes: 1-corpos de água, vegetação gramíneo lenhosa e brejos herbáceos; 2-vegetação arbustiva e cerrados abertos, 3-vegetação arbórea mais densa dos cerrados, cerradões e florestas.

6. Referências

Abdon, M., M.; Silva, J.S.V., Pott, V.J., Pott, A., Silva, M.P. Utilização de Dados Analógicos do Landsat-TM na Discriminação da Vegetação de Parte da Sub-região da Nhecolândia no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, número especial,, p.1799-1813, 1998.

Eastman, J. R. **Idrisi for Windows**: User's Guide. Worcester: Clark University, 1995. 440p.

Golden Software. **Surfer Version 6.01- Surface Mapping System**. Golden: Golden Software, Inc., 1995.

JPL (2003). Jet Propulsion Laboratory, http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/) da NASA (National Aeronautics and Space Administration). acessado em agosto de 2003.

Minitab Inc. **Meet MINITAB, Release 13 for Windows**. Pennsylvania: State College, 2000. não paginado.

Pannatier, Y. **VarioWin: Software for Spatial Data Analysis in 2D**. New York: Springer-Verlag, 1996.

Research Systems Inc. **Environment for Visualizing Images – ENVI Version 3.6**. Colorado: Boulder, 2002. 126p.

Valeriano, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**, São José dos Campos, SP INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p., 2004.

Carvalho Júnior, O. A. Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.4, n.1, p.17-29, 2003.

Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem. São José dos Campos: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-9364-RPQ/736). 54p. 2002.

Programação do cálculo da declividade em SIG pelo método de vetores ortogonais. **Espaço e Geografia**, v.5, n.1, p.69-85, 2002b.