

Altura topográfica aplicada ao estudo da vegetação na bacia do alto Paraguai

Viviana Aguilar Muñoz ¹
Márcio de Morisson Valeriano ¹
Polyanna da Conceição Bispo ¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil
{viaguila; valerian; polyanna}@dsr.inpe.br

Resumo: Este trabalho apresenta o funcionamento e resultados de um algoritmo de análise da altura, desenvolvido para operar sobre Modelos Digitais de Elevação (MDE), aplicado ao mapeamento da altura da cobertura vegetal do Pantanal. Conforme trabalhos precursores, os dados coletados na banda C de radar da SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) são sensíveis ao dossel vegetal, com aumento decorrente dos valores de altitude. Este fenômeno é conhecido como efeito dossel. O algoritmo proposto perfaz a identificação de cotas mínimas dentro de um raio de busca, que são mais plausivelmente associadas ao terreno, a serem usadas como referência para o cálculo da altura correspondente às demais cotas. A subtração entre as cotas do terreno e do modelo resulta em alturas correspondentes ao efeito dossel, que reflete parcialmente a altura da vegetação. A observação conjunta de imagens óticas permitiu estabelecer níveis de fatiamento da altura relacionados a formações vegetais de porte herbáceo, arbustivo e florestal. Independentemente da abordagem em classes, a altura calculada com dados SRTM representa um dado subsidiário à caracterização remota da vegetação pantaneira, em complemento aos dados óticos tradicionalmente usados nestes mapeamentos.

Palavra s-chaves: efeito dossel, Modelo Digital de Elevação, SRTM, altura, vegetação.

Abstract: This work presents the functioning and results of an algorithm for height analysis, developed to work on Digital Elevation Models (DEM), applied on mapping of vegetation canopy height in Pantanal Floodlands. According to previous works, C-band collected data for SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) are sensitive to vegetation canopies, with increased elevation values due this effect, called canopy effect. The proposed algorithm identifies minima elevations within a search radius, which are likely to represent terrain values, to be used as reference for the height calculus respective to the other elevations. Subtracting the terrain from the model elevations results in heights respective to canopy effect, it partially reflects canopy height. The examination of optical images allowed the establishment of slicing levels related to herbaceous, shrub and tree (forest) vegetation communities. Regardless of the classified approach, height estimates from SRTM DEM represents a subsidiary data for the remote characterization of the Pantanal vegetation, to complement the traditionally used optical data.

Key Words: canopy effect, Digital Elevation Model, SRTM, height, vegetation.

1. Introdução

Os dados de sensoriamento remoto ótico e de radar trazem consigo diferentes aspectos descritivos que são tradicionalmente usados no levantamento ou na caracterização da vegetação, conforme as fitofisionomias e suas condições biofísicas causem variações no sinal de resposta. Recentemente, dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*, USGS-EROS, 2009) têm sido pesquisados como insumo, fundamentado na relação inversa, isto é, pelo potencial da topografia em indicar fatores como solo, clima, hidrologia, que controlam o desenvolvimento da cobertura vegetal e suas condições biofísicas (Bispo, 2012). Outra forma da aplicação de dados SRTM ao estudo da vegetação refere-se à estimativa de sua altura, em função do efeito dossel (Kellndorfer et al., 2004). Este decorre da capacidade parcial de penetração das ondas de radar na banda C (como os dados SRTM) em dosséis vegetais, que depende das características estruturais e dielétricas de seus componentes (Le Toan et al., 1992). Tal abordagem requer que se conheçam as cotas do terreno, para o cômputo do efeito dossel, o que é impeditivo em muitas regiões do Brasil.

No caso do Pantanal, o relevo extremamente baixo da planície de inundação fomentou uma tentativa de fazer este cálculo com estimativa das cotas do terreno, baseada nos próprios dados SRTM (Valeriano e Abdon, 2007). Numa estratégia expedita, pontos que atendessem a critérios geomorfométricos locais (declividade, curvatura, seção transversal etc.) típicos dos pontos baixos do terreno foram usados para a construção de uma superfície correspondente à “Terra nua” (*bald-Earth*). Abordagem parecida foi usada para caracterização dos canais ativos e inativos do megaleque do Taquari (Zani, 2011). Neste caso, as cotas de referência provieram da superfície de tendência ajustada à topografia do leque aluvial, cujos resíduos (desvios) resultam em cotas positivas e negativas.

Em estudos relacionados a solos, o cálculo da altura foi enfim alvo de uma metodologia específica, em atendimento a seu conceito fundamental, que envolve a percepção de uma cota mínima por cada região de análise (Muñoz, 2009). Este trabalho visa à apresentação desta metodologia e sua aplicação no Pantanal, para o mapeamento da altura do dossel vegetal.

2. Material e Métodos

A área de estudo está localizada dentro da planície de inundação do Pantanal Brasileiro, entre as latitudes 17°S e 17°30’S e as longitudes 57°W e 55°30’W, região norte do megaleque do rio Taquari. Drenam na área trechos dos rios Cuiabá, São Lorenço e Piquiri. Ali as cotas altimétricas variam entre 90m e 198m e as declividades entre 0,05% e

0,08%. Para interpretação e análises junto a imagens óticas selecionaram-se três subáreas, identificadas com as letras A, B e C na **Figura 1**.

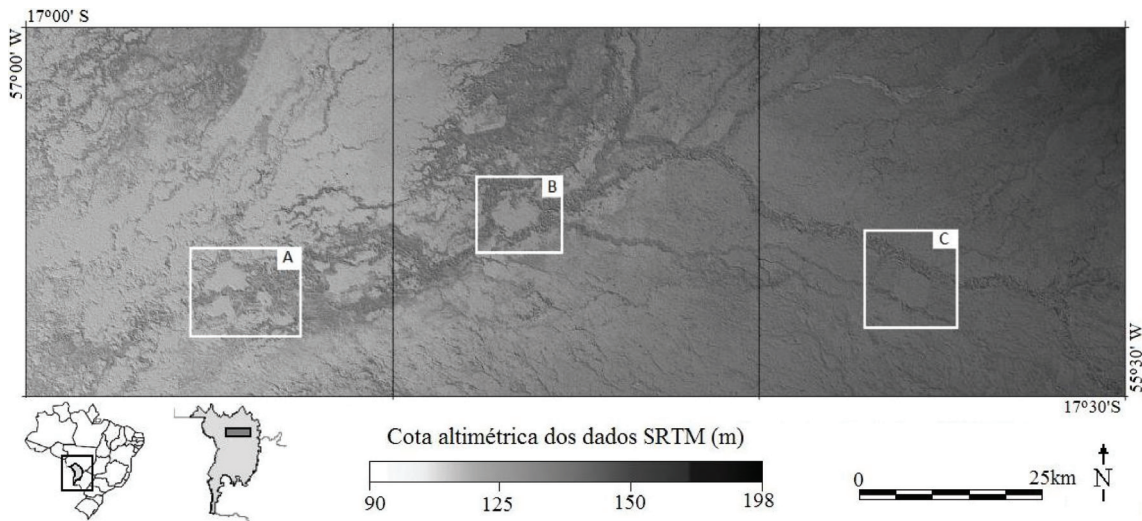


Figura 1. Área de estudo. Os requadros destacados com as letras A, B e C representam as três áreas selecionadas para interpretação detalhada dos resultados.



O Pantanal Brasileiro é uma área de inundação estacional (eng. *seasonal wetland*), localizado na depressão superior da bacia do Rio Paraguai. Devido à grande heterogeneidade de sua geomorfologia, o Pantanal é composto de um mosaico de habitat de áreas inundadas e não inundadas (Sarmiento e Monasterio, 1975; Zeilhofer e Schessl, 1999). A vegetação sazonalmente inundada consiste em gramíneas e em diferentes tipos de florestas. Algumas das florestas periodicamente inundadas dentro do Pantanal são constituídas por espécies monodominantes, ou por algumas espécies codominantes (Pott e Pott, 1994). As matas ciliares que acompanham os rios são descritas na literatura como o tipo de floresta de inundação de maior riqueza em espécies (Wittmann et al., 2008).

Ocorrem nesta área regiões fitofisionômicas Savana (Cerrado), com formações vegetais que variam de densa a gramíneo lenhosa; Floresta Estacional decidual; e área de tensão ecológica de contato Savana – Floresta Estacional, com agrupamentos de Floresta semidecidual de dossel emergente (RADAMBRASIL, 1982), como se observa na **Figura 2**. Mais especificamente, nas regiões em destaque da **Figura 1** ocorrem as fitofisionomias Savana arbórea densa – Sd (A), Savana arbórea aberta sem floresta de galeria – Sas (B e C), Savana parque sem floresta de galeria – Sps (B e C), Savana gramíneo-lenhosa sem floresta de galeria – Sgs (A e B), contato Savana-Floresta Estacional semidecidual aluvial com dossel emergente – Fae1 (A, B e C), e contato Savana-Floresta Estacional semidecidual de terras baixas com dossel emergente – Fbe1 (B).

Estruturalmente, a Savana é constituída por pequenas árvores espaçadas, com casca corticosa e grandes folhas, dispersa sobre um tapete misto de gramíneas e plantas lenhosas latifoliadas. De modo geral esta tipologia se situa em regiões mais planas. Por sua vez, a Floresta Estacional decidual é bastante heterogênea, com seu estrato superior dominado por um grande número de espécies vegetais arbóreas decíduas. Esses elementos possuem altura média variando em torno de 20m com diversas espécies emergentes, as quais geralmente apresentam estacionalidade foliar em época desfavorável. A área de contato Savana-Floresta Estacional é a de maior extensão, expressiva ao longo dos rios; as formas graminóides predominam nas áreas do pantanal enquanto os encraves de florestas estão nas partes altas em locais conhecidos como cordilheiras.

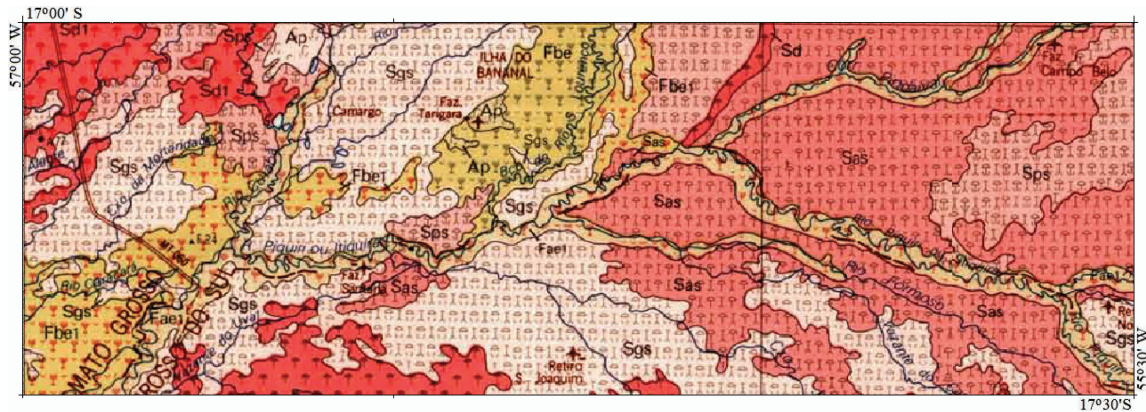


Figura 2. Mapa de vegetação da área de estudo (RADAMBRASIL, 1982). Destacam-se as regiões fitofisionômicas Savana (Sd: arbórea densa, Sas: arbórea densa sem floresta de galeria, Sps: parque sem floresta de galeria, e Sgs: gramínea lenhosa sem floresta da galeria); Floresta Estacional Decidual (Ap: área agropecuária de pastagem); e Área de Tensão Ecológica (Sd1: contato Savana-Floresta Estacionaria e Savana arbórea densa, Fae1: contato Savana-Floresta Estacional Floresta Semidecidual aluvial dossel emergente, e Fbe1: contato Savana-Floresta Estacional Floresta Semidecidual terras baixas dossel emergente).



Os dados de altitude utilizados neste trabalho foram coletados do banco de dados de variáveis topográficas Topodata (Valeriano e Rossetti, 2012), e correspondem a um excerto da folha 17_57. O MDE deste banco de dados corresponde ao refinamento dos dados SRTM 3" (90m) para 1" (30m) por krigagem (técnica de interpolação por geoestatística).

Os recursos de análise utilizados foram Surfer (Golden Software, 1995), para visualização de superfície, a linguagem de programação IML- Idrisi Macro Language (Eastman, 1995), para extração da altura, e Global Mapper (Global Mapper Software Llc, 2007) para testes de geoprocessamento e geração de saídas gráficas. Na avaliação visual e interpretação dos resultados foram utilizadas imagens óticas e outros recursos disponíveis em *Google Earth*.

A altura topográfica foi obtida segundo a metodologia desenvolvida em Muñoz (2009). Neste trabalho entende-se a altura como a elevação acima do ponto mais baixo dentro de um raio busca. Pela aplicação de filtros direcionais de dimensão 27x27 pixels (aproximadamente 800m de lado ou ainda 400m de raio) de sobre o MDE (30m), foram identificadas as cotas mínimas a partir das quais foi gerado o modelo da terra nua (*bare-Earth*) ou superfície de cotas mínimas locais. O resultado advém da diferença aritmética entre o MDE e o modelo do terreno (**Figura 3**).

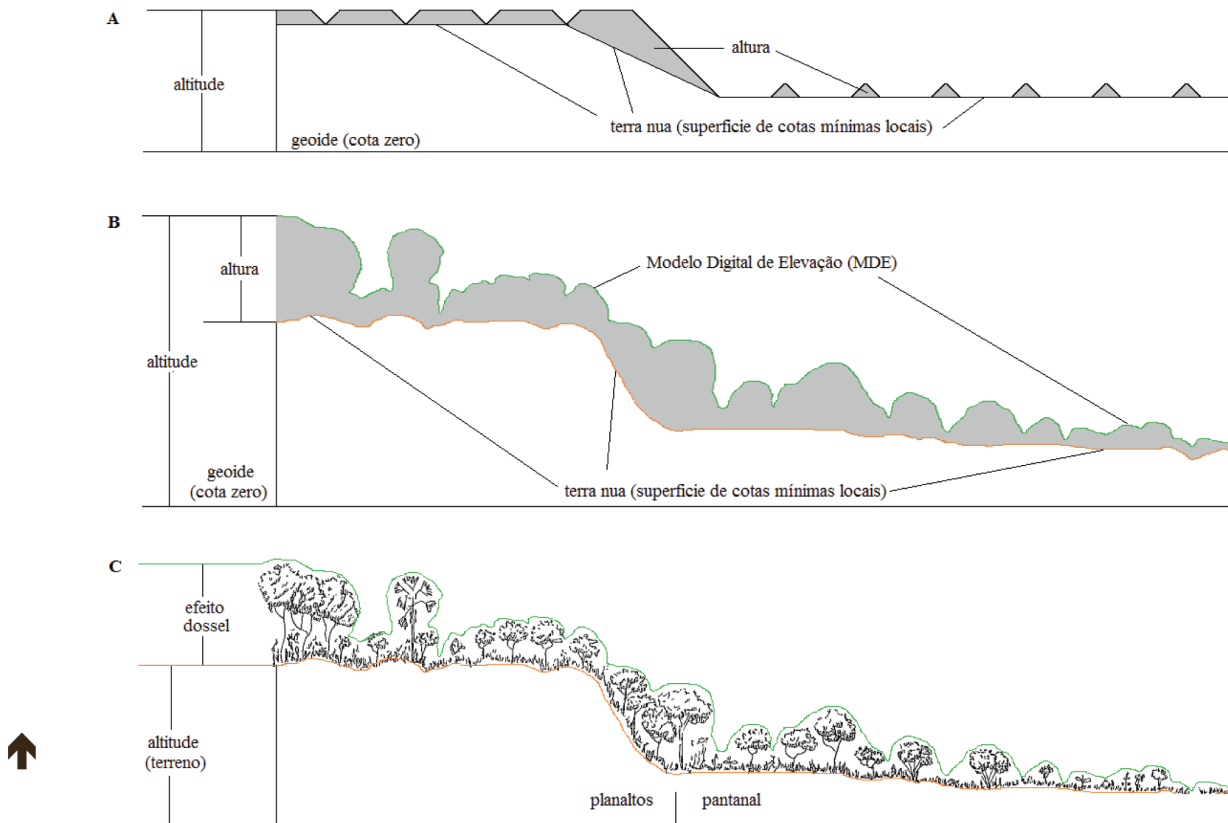


Figura 3. Modelo hipotético geral da altura topográfica (A), e modelo hipotético da altura topográfica no pantanal (B, C).

3. Resultados e Discussão

Os resultados de altura, quando observados em escalas gerais, evidenciam prontamente as singularidades do MDE na área de estudo, e promovem o realce de feições positivas, que contrastam com as extensas áreas homogêneas de menor altura. Essas feições correspondem a regiões de Floresta Semidecidual aluvial, dossel emergente (Fae1) e Floresta Semidecidual de terras baixas com dossel emergente (Fbe1), associadas aos canais de drenagem e lagoas, cujas alturas se sobressaem à das formações de Savana que predominam em seu entorno (**Figura 4**). Entre estas, áreas de notável uniformidade na metade oeste da faixa apresentada correspondem às Savanas de gramínea lenhosa sem floresta de galeria (Sgs, **Figura 2**).

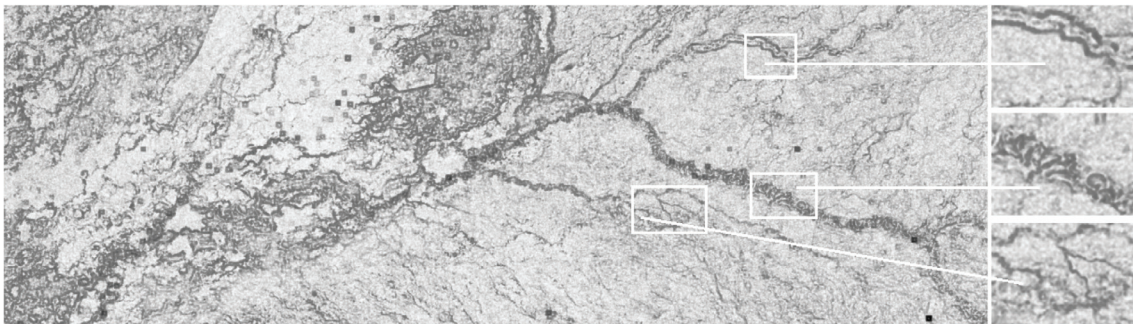


Figura 4. Resultados da altura topográfica na área de estudo. Em detalhe (direita), observa-se a sensibilidade do algoritmo às feições associadas à drenagem.

Um artefato recorrente observado nos resultados é o mapeamento de feições quadradas, decorrente de pontos de referência em condição isolada e abaixo da cota circunvizinha. Soluções para isto podem recair sobre a janela móvel, com modificações na área de análise, para que a superfície estimada do terreno resulte livre daquelas singularidades negativas. Alternativas podem recair sobre o próprio MDE, com algum pré-processamento que elimine estas singularidades ou, menos plausivelmente, sobre operações de pós-processamento a incidirem diretamente nos resultados de altura.

A observação conjunta dos resultados de altura e das imagens óticas (**Figura 5**) mostrou que as principais feições se devem à altura da vegetação ao longo dos rios. No entanto, diferenças graduais de densidade de elementos arbóreos resultam em alturas intermediárias àquelas da cobertura arbórea e herbácea, indicadas pelas transições de altura notáveis no detalhe B(I) e em menor grau em C(I). O contato abrupto de áreas florestais e não florestais (detalhe A) resulta nos maiores valores de altura e contraste entre as feições. As diferentes transições refletem o efeito dossel, integrado na resolução de 90m do dado SRTM, conforme a densidade de elementos arbóreos que compõem a altimetria média (Kellndorfer et al., 2004).

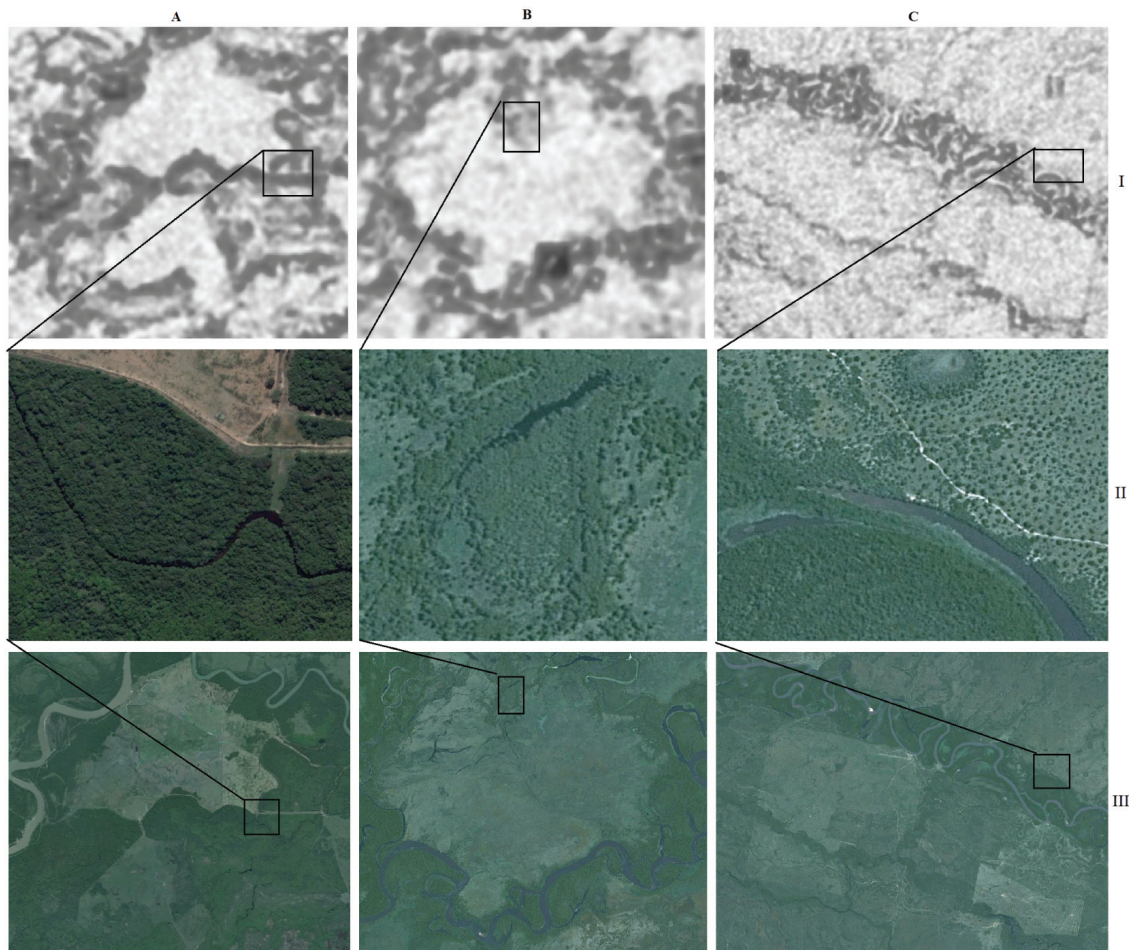


Figura 5. Comparação entre imagens óticas e resultados da altura. Áreas A, B e C selecionadas para avaliação detalhada. Linhas: I - altura obtida a partir de MDE do banco de dados Topodata; III - imagem ótica (*Google Earth*); e II - detalhe da mesma imagem.

Os valores de altura derivados do SRTM representam uma fração variável da altura de fato do dossel (Kellndorfer et al., 2004), uma vez que a penetração das ondas de radar na banda C na massa vegetal depende de muitos fatores (Le Toan et al., 1992). Na falta

de referências precisas e adequadas às formações vegetais específicas da área de estudo, pode-se considerar a relação geral obtida por Kellndorfer et al. (2004) que indica um fator de ajuste (proporção) de cerca de 0.8 (80%) da altura do dossel medida em campo para os valores de altura derivados do SRTM. Ocorre, no entanto, que esta proporção é altamente variável em função dos fatores já mencionados. Portanto, mais imediatamente aplicável do que o uso de alturas estimadas pelo seu valor absoluto, o mapeamento das diferenças em escalas geográficas mostra-se viável para separação de fitofisionomia de contrastes estruturais e como técnica de pré-amostragem para levantamentos mais detalhados.

Na tentativa de estabelecer níveis de fatiamento da vegetação na área de estudo, os valores da altura foram classificados em três categorias que poderiam indicar formações vegetais de porte herbáceo (0 a 2m), arbustivo (2 a 6m) e florestal (maiores 6m) (**Figura 6**), o que está de acordo com as faixas estruturais sugeridas pelo IBGE (1992) e com a interpretação de imagens óticas da área de estudo obtidas no *Google Earth*.

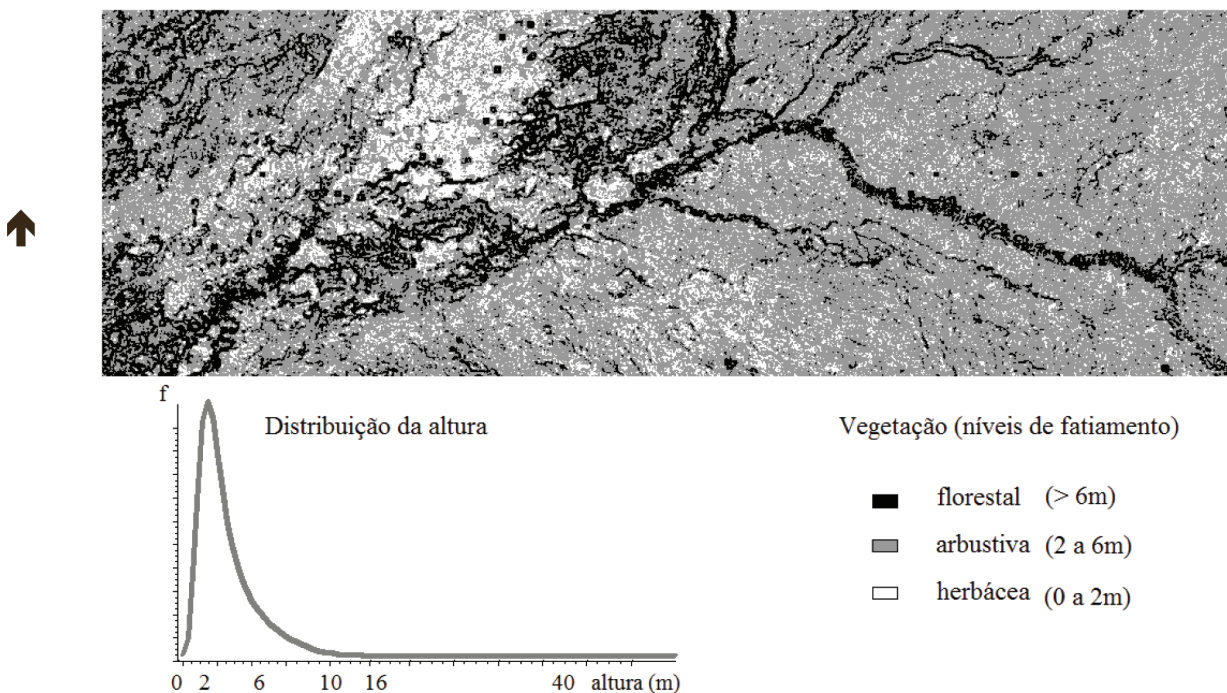


Figura 6. Níveis de fatiamento da vegetação estabelecidos com base na distribuição dos valores de altura na área de estudo.

A distribuição dos valores de altura na área de estudo (**Figura 6**) se caracteriza pela predominância de valores baixos. A pequena cauda à esquerda indica a relativa raridade dos valores extremamente baixos e a cauda a direita indica a raridade de valores acima de 10m. A distribuição restrita a valores positivos indica um ganho importante em relação à abordagem pela classificação da geomorfometria local experimentada em estudo precursor (Valeriano e Abdon, 2007). Naquele experimento, os critérios de seleção das cotas mínimas se mostraram falhos ao resultarem numa superfície de terreno com cotas acima daquelas do MDE em 25% da área testada. Isto causou o cálculo de alturas negativas de até -13,7m que, ao se compensarem com a soma de 2m, tiveram sua área reduzida para menos de 5%. Contudo, a altura remanescente teve sua amplitude potencial reduzida, com evidente comprometimento das diferenças relativas. No presente trabalho, a seleção de cotas mínimas garantiu que a superfície do terreno fosse estimada sempre abaixo da superfície do MDE.

Outra possível diferença a favor da qualidade do presente resultado refere-se aos MDE usados nos dois estudos. O MDE usado naquele primeiro estudo foi interpolado com coeficientes geoestatísticos levantados no Pantanal, enquanto o atual trabalho usa o MDE do Topodata, cujos coeficientes foram selecionados sobre base mais ampla. Na comparação entre interpolações de diversos projetos regionais em estudo retrospectivo (Valeriano e Rossetti, 2012), o Topodata fez uso do interpolador de maior poder de detalhe, enquanto o antigo MDE do Pantanal apresentou-se entre aqueles que causam suavização da superfície. Espera-se, com isso, que as alturas do presente cálculo sejam maiores e mais aproximadas às variações que ocorrem de fato.

Os resultados podem ser facilmente replicados tanto para estudos no Pantanal como em outras áreas semelhantes em relevo e na estrutura da vegetação. Representam ainda uma contribuição ao desenvolvimento de estimativas de biomassa em ambientes de fitofisionomias contrastantes, ao prover maior detalhamento da estrutura em relação às técnicas de sensoriamento remoto até então disponíveis. A modelagem de biomassa é de fundamental importância na quantificação da produção florestal. Em pesquisas da modelagem do fluxo de carbono (Brown et al., 1993) a biomassa florestal é um dos parâmetros de maior incerteza no cômputo do balanço global devido à dificuldade de obtenção de seus dados estruturais.



4. Conclusões

O cálculo da altura das formações vegetais no Pantanal foi experimentado com algoritmo computacional desenvolvido para extração desta variável específica a partir de MDE. Foi possível adaptar este algoritmo, fundamentado na análise regionalizada da dispersão de cotas altimétricas obtidas por sensoriamento remoto (radar interferométrico), para o mapeamento da altura de dossel. Devido à sua coerência com o conceito de altura topográfica, o presente cálculo mostrou-se superior a tentativas anteriores, o que ficou evidente pela sua eficiência no cômputo da superfície de mínimos. Além de superar este problema, o estudo em conjunto com o imageamento ótico permitiu avaliar o potencial e as limitações do método face às diferenças observáveis na cobertura vegetal. A seleção de níveis adequados de fatiamento permitiu o rápido mapeamento de formações de porte herbáceo, arbustivo e arbóreo. O presente estudo mostrou-se com grande potencial de aplicação em estudos florestais, tanto para a caracterização estrutural da floresta quanto para subsídio em estudos relacionados à estimativa de biomassa florestal.

5. Referências bibliográficas

- Bispo, P. C. **Efeitos de geomorfometria na caracterização florístico-estrutural da floresta tropical na região de Tapajós com dados SRTM e PALSAR**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.
- Brown, S.; Iverson, L. R.; Prasad, A.; Liu, D. Geographical distributions of carbon in biomass and soils of Tropical Asian Forests. **Geocarto International**, v.4, p.45-59, 1993.
- Kellndorfer, J. M., Walker, W. S., Pierce, L. E., Dobson, M. C., Fites, J., Hunsaker, C. Vegetation height derivation from *Shuttle Radar Topography Mission* and national elevation data sets. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, p. 339-358, 2004.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. IBGE, Rio de Janeiro, 1992. 92 p.
- Le Toan, T., Beaudoin, A., Riom, J., Guyon, D. Relating forest biomass to SAR data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, p. 403-411, 1992.

Munõz, V. A. **Análise geomorfológica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

Pott A.; Pott V.J. **Plantas do Pantanal (Plants of the Pantanal).** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Corumbá, 1994.

RADAMBRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Folha SE.21- Corumbá e parte da folha SE.20 Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra.** Rio de Janeiro: DNPM, 452 p. (Levantamento dos Recursos Naturais, v. 27), 1982.

Sarmiento G.; Monasterio, M.A. Critical consideration of the environmental conditions associated with the occurrence of savanna ecosystems in tropical America. In Golley F.B., Medina E. (eds). **Tropical ecological systems.** Springer, Berlin, pp. 223–250, 1975

USGS/EROS (U.S. Geological Survey/Earth Resources Observation and Science Center). **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).** 2009. http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/SRTM Acesso em: 13 jun. 2012.

Valeriano, M. M. ; Abdon, M. M. . Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, p. 63-71, 2007.

Valeriano, M. M. ; Rossetti, D. F. . Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**, v. 32, p. 300-309, 2012.

Zani, H. ; Assine, M. L. Paleocanais no megaleque do Taquari: mapeamento e significado geomorfológico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, p. 37-43, 2011.

Zeilhofer, P., Schessl, M. Relationship between vegetation and environmental conditions in the northern Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **J Biogeogr**, 27:159–168, 1999.

Wittmann, F.; Zorzi, B.T; Tizianel, F.A.T. Tree species composition, structure, and aboveground wood biomass of a riparian forest of the Lower Miranda River, southern Pantanal, Brazil. **Folia Geobotânica**, v. 43, p.397-411, 2008.

