UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

# ALESANDRO COPATTI

# UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS LIVRES PARA AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS NA COBERTURA DO SOLO DO PARQUE ESTADUAL DO PANTANAL DO RIO NEGRO

CAMPO GRANDE 2011

### UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

### ALESANDRO COPATTI

# UTILIZAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS LIVRES PARA AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS NA COBERTURA DO SOLO DO PARQUE ESTADUAL DO PANTANAL DO RIO NEGRO

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de concentração em Diagnóstico e Avaliação de Impactos Ambientais

#### Orientador: Prof. Dr. Antônio Conceição Paranhos Filho

Aprovada em:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Antônio Conceição Paranhos Filho Orientador – UFMS

Prof. Dr. Giancarlo Lastoria UFMS - Campo Grande Prof. Dr. Vitor Matheus Bacani UFMS - Aquidauana

Campo Grande, MS

2011

# (FICHA CATALOGRÁFICA)

# DEDICATÓRIA

Aos meus pais Teolide e Avelino pelo apoio importantíssimo aos meus estudos. Aos meus filhos Gabriel e Guilherme, para que compreendam a importância da ciência para a construção de um mundo mais pacífico.

## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Antônio Conceição Paranhos Filho, pela excelente orientação, apoio e companheirismo durante este trabalho e outros, anteriores a ele.

Aos meus pais, pelo apoio moral e financeiro para este trabalho.

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	10
RESUMO	11
ABSTRACT	12
1. Introdução	13
2. Objetivos	18
2.1. Geral	18
2.2. Específicos	18
3. Área de Estudo	19
3.1. Caracterização do Meio Físico	20
3.1.1. Hidrografia	20
3.1.2. Geomorfologia	20
3.1.3. Clima	22
3.1.4. Geologia	22
3.1.5. Solos	23
3.1.6. Vegetação	24
4. METODOLOGIA	26
4.1. Imagens de Satélite	26
4.2. Georreferenciamento das imagens de satélite	26
4.3. Classificação da Cobertura do Solo	27
4.4. Avaliação das mudanças na cobertura do solo entre 2000 e 2011	30
4.5. Identificação do Desflorestamento	31
4.6. Avaliação comparativa dos Modelos Digitais de Elevação	31
4.7. Filtragem dos dados SRTM: contribuição à utilização do SRTM em áreas de gradier	nte
topográfico extremamente baixo	32
4.8. Derivação de variáveis morfométricas após a aplicação do filtro de passa-baixa de m	nédia
4.9. Elaboração dos Mapas	
5. RESULTADOS E DISCUSSOES	
5.1. Avaliação do georreferenciamento das imagens Landsat/ I M	
5.2. Classificação Automatica nao-supervisionada do PEPRN e da sua ZA	
5.3. Avanação das Mudanças na Cobertura do Solo do PEPKIN e da sua ZA	
5.4. Identificação do destlorestamento	41
5.5. Avaliação comparativa dos Modelos Digitais de Elevação	44
5.6. Correção dos dados SRTM: Utilização de Filtro Passa-Baixa de Media Movel Para a	1
Correção do "Efeito Dossel"	47
5./. Avaliação da derivação de variaveis mortométricas apos a aplicação do filtro de pas	sa-
baixa de media	
6. CUNCLUSUES E RECUMENDAÇUES	57
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	60

# SUMÁRIO

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Detalhe de região do PEPRN, mostrando sobreelevação artificial do SRTM nas
regiões das cordineiras ( ereito dosser ). Isolinnas geradas a cada 1 metro a partir do SR IM
versao 4.1, sobre a imagem Landsat de 22/04/2011, composição 4=vermeino; 5=verde;
5=azul
Figura 2 - Localização da Area de Estudo: Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro (linna
verde) e sua Zona de Amortecimento (linha azul), a) no Brasil, b) em MS e c) mostrando a
intersecção do Parque com os Pantanais da Nhecolandia, do Abobral e do Miranda20
Figura 3 – Carta-Imagem da Rede Hidrografica. Ao fundo, mosaico Landsat/ IM de abril de
2011, composição: vermelho=b4, verde=b5 e azul=b3. Fonte da malha hidrográfica: Agência
Nacional de Aguas – (ANA, 2011)
Figura 4 - Mapa Geomorfológico da área de estudo. Fonte: Plano de Conservação da Bacia
do Alto Paraguai (PCBAP, 1997)
Figura 5 - Carta de Solos da Area de Estudo. Fonte: Atlas Multirreferencial do Estado de
Mato Grosso do Sul. (MATO GROSSO DO SUL, 1990)
Figura 6 – Carta de Cobertura Vegetal do PEPRN e de sua ZA. Fonte: Atlas Multirreferencial
do Estado de Mato Grosso do Sul. (MATO GROSSO DO SUL, 1990)26
Figura 7 – Carta de cobertura do solo para o PEPRN e sua ZA (obtida da classificação da
imagem do satélite Landsat 5/TM de abril de 2000, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7)37
Figura 8 – Gráfico de pizza mostrando a relação entre os componentes mapeados para o ano
2000 para o PEPRN (gráfico da esquerda) e para o PEPRN junto com sua ZA (gráfico da
direita)
Figura 9 – Carta de cobertura do solo para o PEPRN e sua ZA (obtida da classificação de
imagem do satélite Landsat 5/TM de abril de 2011, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7)39
Figura 10 – Gráfico de pizza mostrando a relação entre os componentes mapeados para o ano
2011 para o PEPRN (gráfico da esquerda) e para o PEPRN junto com sua ZA (gráfico da
direita)40
Figura 11 – Carta das mudanças na cobertura do solo no PEPRN e em sua ZA, entre os anos
de 2000 e 201141
Figura 12 – Gráficos das alterações entre as classes de cobertura do solo mapeadas, para o
PEPRN (à esquerda) e para o PEPRN incluída sua ZA (direita), entre os anos de 2000 e 2011.
Figura 13 – Detalhe da área de estudo (Nhecolândia) sobre a imagem Landsat (composição:
banda 5=verde; banda 4=vermelho; banda 3=azul). As áreas circunscritas pelas linhas em
vermelho mostram áreas onde potencialmente houve mudança de árbóreo para pastagem,
entre 2000 (acima) e 2011 (abaixo)
Figura 14 – Detalhe da área de estudo (Abobral) sobre a imagem Landsat (composição: banda
5=verde; banda 4=vermelho; banda 3=azul). As áreas circunscritas pelas linhas em vermelho
mostram áreas onde potencialmente houve mudança de árbóreo para pastagem, entre 2000
(acima) e 2011 (abaixo)44
Figura 15 – Visualização dos marcos geodésicos do IBGE sobre o DEM GLS 2005,
correspondente à órbita 225 e ponto 074. À esquerda é mostrado o PEPRN e sua ZA. Essa
avaliação foi realizada na região envolvida pelo DEM GLS2005. Os números sobre os marcos
indicam os identificadores dos mesmos
Figura 16 - Distribuição das diferenças encontradas entre as altitudes dos marcos geodésicos
do IBGE e os três DEMs testados. As diferenças entre os marcos e o GLS 2005 foram

Figura 17 - detalhe de região no interior do PEPRN mostrando a linha sobre a qual foi extraído o perfil do SRTM e das filtragens realizadas. O sentido dos perfis é de A para A'. Ao Figura 18 - gráfico dos histogramas de frequência do SRTM original e dos filtros utilizados. Figura 19 - visualização da localização das linhas sobre as quais foram extraídos os perfis altimétricos, a partir do SRTM original e após a aplicação do filtro de passa-baixa de média móvel com janela de 25X25 pixels. Todos os perfis foram orientados de NNE para SSE. Ao fundo, imagem Landsat de 2011, composição: 4=vermelho; 5=verde; 3=azul......51 Figura 20 - Perfis altimétricos das três regiões mostradas na figura anterior. De cima para Figura 21 – Isolinhas desenhadas sobre o SRTM a cada um metro de diferença altimétrica. após a aplicação do filtro de média de vizinhança com a janela de 25x25 pixels, para uma região do PEPRN, sobre a imagem Landsat 226/073, de 22 de abril de 2011, composição: Figura 22 - Isolinhas desenhadas sobre o SRTM a cada um metro de diferença altimétrica, após a aplicação do filtro de vizinhança com a operação de média móvel com janela de 25x25 pixels, na região do Pantanal da (baixa) Nhecolândia, evidenciando o padrão de declividade Figura 23 - Mapa Hipsométrico da área de estudo, elaborado sobre o SRTM original. As faixas foram divididas de 5 em 5 metros. O azul representa as menores cotas (80 a 85 metros) Figura 24 – Mapa Hipsométrico da área de estudo, elaborado sobre o SRTM após a aplicação do filtro de 25X25. As faixas foram divididas de 5 em 5 metros. O azul representa as menores Figura 25 – Segmentos de fluxo gerados a partir do SRTM e a partir do filtro com janela de 25x25. Ao fundo, imagem Landsat de 2011, composição: vermelho=b4; verde=b5 e azul=b3. Figura 26 – Limites das bacias hidrográficas gerados a partir do SRTM e a partir do filtro com janela de 25x25. Ao fundo, imagem Landsat de 2011, composição: vermelho=b4; verde=b5 e 

#### LISTA DE TABELAS

#### LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional de Águas

*CBERS – China-Brasil Earth Resources Satelitte /* Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres

DEM – Digital Elevation Model

*ETM* + - *Enhanced Thematic Mapper Plus* 

GCP – Ground Control Point

GDAL – Geospacial Data Abstract Library

Geotiff – Geocoded tagged image file format

GIS - Geographical Information System

GLS 2005 – Global Land Survey 2005

GUC - Gerência de Unidades de Conservação de Mato Grosso do Sul

grib – grid binary – um formato matricial interno do SPRING.

IMASUL - Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Landsat - Land Remote Sensing Satellite Program

OGC – Open Geospacial Consortium

OGR Simple Feature Library - Implementa padrões vetoriais da OGC

OSGeo - The Open Source Geospacial Foundation

PCBAP - Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai

PEPRN - Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro

RMS-Root Mean Square

SAD 69 – South American Datum 1969

Shapefile - formato proprietário do ESRI - Arc View

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

TM - Thematic Mapper

UC - Unidade de Conservação da Natureza

UTM – Universal Transverse Mercator

ZA – Zona de Amortecimento (do Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro) WGS 84 – World Geodetic System 1984

#### RESUMO

COPATTI, A. (2011) Utilização de Geotecnologias Livres para Avaliação das Mudanças na Cobertura do Solo do Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro . Campo Grande, 2011. 62 p.. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

O Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro - PEPRN - é uma Unidade de Conservação da Natureza do Grupo de Proteção Integral. Entre os objetivos do Parque estão a preservação de importantes amostras de ecossistemas do Pantanal. No ano de 2011 ocorreu uma grande enchente no Pantanal, sendo assim um ano-chave para o mapeamento das áreas alagáveis. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar as mudanças na cobertura do solo para melhor compreensão da dinâmica da inundação dessa região. Para isso, utilizando-se Sistemas de Informações Geográficas Livres ou Gratuitos, a partir de imagens Landsat, foi realizada classificação automática não supervisionada, de modo a mapear quatro classes de cobertura do solo: água, úmido, arbóreo e pastagem, para o ano de 2011 e para o ano 2000, ano de criação do Parque. Por meio do cruzamento dos mapeamentos, foram avaliadas as mudanças na cobertura do solo, tanto para o PEPRN quanto em conjunto com sua Zona de Amortecimento. Os resultados mostraram que, nos períodos de cheia avaliados, os tipos de cobertura que tiveram as maiores alterações foram as classes úmido e arbóreo. O componente pastagem apresentou pequena redução porcentual. A avaliação visual das imagens sobre os vetores de alteração da cobertura vegetal permitiram compreender que a redução do componente arbóreo na área do Parque não foi devida ao desflorestamento, mas à submersão de algumas regiões. O mesmo ocorreu para a classe pastagem. Entretanto, na Zona de Amortecimento do Parque, a despeito daquele fato também ser observado, foi possível identificar parcialmente os desflorestamentos. Portanto, o método mostrou-se eficiente e econômico para o monitoramento das áreas alagáveis do Parque bem como permitiram identificar parte do desflorestamento, principal atividade antrópica que vem causando degradação dos recursos naturais da região.

Palavras-chave: Geotecnologias Livres, Áreas Úmidas, Mudanças na Cobertura do Solo, Pantanal, Unidades de Conservação da Natureza

#### ABSTRACT

COPATTI, A. (2011) Use of Free Geotechnologies for Evaluation of Land Cover Changes in the State Park of the Pantanal of Negro river. Campo Grande, 2011. 62 p. Master dissertation - Federal University of Mato Grosso do Sul, Brazil (in portuguese).

The Pantanal of Rio Negro State Park is one Nature Conservation Unit of Group Integral Protection. Among the objectives of the park are to preserve important samples of the ecosystem of the Pantanal. In 2011 a major flood occurred in the Pantanal, and is thus a key year for the mapping of floodplains. Thus, the objective was to assess changes in land cover for better understanding the dynamics of flooding in this region. To do so, using Geographic Information Systems Open Source or Free, based on Landsat images, we performed unsupervised automatic classification, to map four classes of land cover: water, wet, tree and pasture, for the year 2011 and 2000, year of creation of the park. Through the intersection of the mappings, we assessed the changes in land cover for both PEPRN and together with its buffer zone.

The results showed that in the high-water periods evaluated, the types of coverage that had the greatest changes were moist and tree classes. The component pasture was slightly reduced. The visual assessment of images of the vectors of change in vegetation cover led to understand that the reduction of the component tree in the park area was not due to deforestation, but the immersion of some regions. The same was true for the pasture class. However, in the buffer zone of the park, despite that fact also be observed, it was possible to identify part of the deforestation. Therefore, the method proved efficient and economical monitoring of the wetlands of the park and allowed the identification of the deforestation, the main human activity that is causing degradation of natural resources in the region.

Keywords: Open Source GIS, wetlands, land cover changes, Pantanal, Protected Areas

#### 1. Introdução

O Pantanal é uma das maiores áreas alagáveis do mundo, com aproximadamente 147.574 km<sup>2</sup> e abriga sítios de relevante importância pela Convenção de Áreas Úmidas RAMSAR (ANA, 2004). Está localizado na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai, que drena terras do Brasil, da Bolívia e do Paraguai. O Pantanal brasileiro foi declarado Patrimônio Nacional pela Constituição Federal (BRASIL, 1998). A 7<sup>a</sup> Conferência Internacional sobre Áreas Úmidas, realizada em 2004, indicou o Pantanal como uma das áreas inundáveis que merecem atenção especial pela sua importância global (ANA, 2004).

O Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro – PEPRN – é a única Unidade de Conservação da Natureza – UC – de Proteção Integral do Pantanal em Mato Grosso do Sul e integra as áreas núcleo da Reserva da Biosfera do Pantanal (MATO GROSSO DO SUL, 2008b). O PEPRN foi criado pelo Decreto Estadual nº 9.941, de 5 de junho de 2000, com uma área de 78.302,9781 hectares e está localizado entre os municípios de Corumbá e Aquidauana. Os objetivos do parque são: "preservar amostras de ecossistemas do Pantanal, espécies da flora e fauna nele associado, a manutenção do regime hidrológico garantindo a sua sazonalidade, a valorização do patrimônio paisagístico e cultural da região, objetivando sua utilização para fins de pesquisa científica, educação ambiental, recreação e turismo em contato com a natureza" (MATO GROSSO DO SUL, 2000).Este decreto estabeleceu um prazo de três anos para a elaboração do Plano de Manejo, que foi publicado na internet apenas em 2008 (IMASUL, 2011) junto com o Resumo Executivo do Plano em formato impresso (MATO GROSSO DO SUL, 2008b).

Posteriormente, foi publicado o Decreto nº 12.672, de 8 de dezembro de 2008 que definiu os limites da Zona de Amortecimento – ZA – do Parque e fixou regulamentação específica para esta zona (MATO GROSSO DO SUL, 2008). O artigo 5º desse instrumento legal determinou que: "para o monitoramento contínuo dos remanescentes de vegetação na Zona de Amortecimento, deverá ser feito uso de sensoriamento remoto por imagens de satélite com atualização semestral" (MATO GROSSO DO SUL, 2008a). Essa tarefa não tem sido realizada pela Gerência de Unidades de Conservação – GUC – do IMASUL, órgão responsável pela gestão das Unidades de Conservação da Natureza estaduais. Embora no Plano de Manejo não foram publicadas informações sobre as mudanças na Cobertura do Solo do PEPRN e de sua Zona de Amortecimento, foi realizado um mapeamento em escala 1:50.000 para subsidiar o manejo dessa UC, com imagens Landsat do ano de 2002 (Abdon *et* 

al., 2009).

Do ponto de vista do manejo de uma Unidade de Conservação da Natureza - UC - da classe Parque, o SNUC determina que as áreas internas aos limites da UC devem tornar-se públicas, ou seja, o órgão gestor da Unidade deve adquirir todas as terras em seu interior, porque não é permitido nenhum uso que altere expressivamente a paisagem dessa área protegida. Embora a legislação impeça a utilização dessas terras pelos proprietários, raramente são desapropriadas e os proprietários devidamente indenizados. No caso do PEPRN, apenas a menor das três fazendas foi desapropriada (Fazenda Redenção, localizada na Nhecolândia), ainda assim porque isso foi realizado com dinheiro da Conservação Internacional do Brasil - CI Brasil. Além disso, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC - (BRASIL, 2000) também permitiu que o Plano de Manejo desse tipo de UC defina uma faixa de terras ao redor da mesma, que passa a ser denominada Zona de Amortecimento – ZA – do Parque, e sobre ela as propriedade continuam a ser privadas e sob regime de utilização, porém com uso restrito conforme indicar o Plano de Manejo da UC. Sobre essa faixa, o órgão gestor da UC deve ser ouvido sempre que uma atividade antrópica for implantada, desde que expressivamente utilizadora ou modificadora dos recursos naturais, ou seja, com potencial impacto poluidor. Dessa forma, é indispensável ao gestor do Parque monitorar também essa região de entorno em relação às principais alterações que ocorrem na cobertura do solo. Não menos importante, o monitoramento deve ser eficaz, rápido e barato, para garantir a identificação das mudanças tão logo elas comecem a ocorrer. Dessa forma, as possibilidades de tomar providências no sentido de corrigi-las deverão ser maiores e a gestão da UC e consequentemente a conservação dos recursos naturais nela ocorrentes será mais eficiente.

No ano de 2011 ocorreu uma das maiores enchentes no Pantanal. Dessa forma, é uma época ideal para avaliar as mudanças nas áreas alagáveis do PEPRN e de sua ZA. Entretanto, a área inundável no Pantanal não é homogênea, podendo ser observadas grandes alterações de áreas alagadas em cheias distintas, praticamente independentes da pluviosidade da região, uma vez que as águas que inundam a Planície Pantaneira provêm dos Planaltos adjacentes. Lemos *et al.* (2011) observaram que a porcentagem de áreas inundadas durante um ciclo de cheia sofre pequena variação no Pantanal como um todo, porque o fluxo determinado para a vazante, de nordeste para sudoeste, provoca uma compensação no valor das áreas. Conforme observaram os autores, isso explica a ausência de relação aparente entre a cota do Rio

Paraguai e o porcentual de áreas inundadas no Pantanal. Temporalmente, há um lapso entre o período de chuvas na região e os maiores níveis de enchente. Esse atraso que ocorre no Pantanal facilita a avaliação das áreas inundadas a partir de imagens Landsat/TM, já que o período de inundação coincide com o período de menor pluviosidade na região e consequentemente há poucas nuvens, que dificultam a identificação dos alvos terrestres nessas imagens.

Carrijo (2005), analisando a vulnerabilidade ambiental do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, já havia observado que a utilização de SIG para as atividades de gerenciamento e monitoramento da UC facilitam a realização das mesmas, devido à delimitação precisa das feições, quantificação das áreas e álgebra de mapas.

Atualmente, com as recentes publicações de Sistemas de Informação Geográficas Livres ou Grátis e à disponibilização gratuita de produtos de Sensoriamento Remoto como imagens de satélites de um longo período de tempo e dados como os de altimetria, clima e outros, têm permitido ampla utilização das Geotecnologias para o monitoramento dos Recursos Naturais, melhorando expressivamente a relação custo/benefício de projetos dessa natureza. Portanto, a utilização desse ferramental necessita principalmente de investimentos para a formação de pessoal com capacidade para a operação e atualização desses sistemas, muito mais dinâmicos do que as soluções comerciais em Geotecnologias. Nesse sentido, o presente estudo pretende utilizar parte desse ferramental como subsídio à gestão do PEPRN e sua Zona de Amortecimento, avaliando empiricamente a viabilidade técnica e operacional desses sistemas e produtos de baixo custo principalmente no monitoramento das principais mudanças ambientais e antrópicas nos ecossistemas ocorrentes na região de estudo.

Os dados do radar interferométrico de abertura sintética SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) apresentam grande potencialidade para estudos que envolvam a altimetria ou produtos derivados desses dados, uma vez que além de estarem disponíveis gratuitamente na internet, também estão geocodificados, facilitando seu tratamento em SIG (Zyl, 2001). Avaliando globalmente esses dados, Far *et al* (2007) informaram que, para o continente sul-americano, o erro absoluto de altimetria é de 6,2 metros, o erro relativo de altimetria é de 5,5 metros e o erro absoluto de geolocalização é de 9,0 m. Esses dados foram confirmados por Rodrigues *et al.* (2006). Hyga *et al.* (2006), avaliando a precisão vertical dos dados SRTM para a BAP em MS, confrontando as altitudes do SRTM com as altitudes ortométricas dos marcos da Rede GPS do Estado, concluíram que esse produto atende ao

Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC – até a escala de 1:30.000 (Classe A) ou 1: 20.000 (Classe C).

Entretanto, a utilização do SRTM apresenta algumas limitações. Uma delas, de grande expressão na área de estudo, é o "efeito dossel", devido às características dos sensores de radar que captam como superfície o topo das estruturas encontradas sobre o modelado terrestre, sejam eles o topo de um prédio ou o dossel da vegetação. Outra limitação não menos importante para a utilização desses dados em áreas muito planas refere-se à precisão vertical desses dados, já que na área de estudo uma diferença de apenas um metro tem um significado importante. Disso decorre que ao derivar-se informações morfométricas a partir desses dados em áreas da Planície Pantaneira, ocorrem "artefatos", ou seja, a criação de feições derivadas que não representam a realidade. Isso ocorre devido à presença, na área de estudo, dessas duas condições de limitação dos dados SRTM, ou seja, baixa declividade aliado a presença de um mosaico de formações florestais intercaladas com massas d'água e áreas de pastagem nativa. A Figura 1 apresenta curvas de nível desenhadas a a partir do SRTM a cada 1 metro de diferença altimétrica, visualizadas sobre a imagem Landsat, mostrando a sobreelevação artificial do modelo de elevação do terreno, coincidindo com as "cordilheiras", onde o componente arbóreo é predominante, e portanto o "efeito dossel" é mais expressivo. Outras duas principais causas de degradação radiométrica de imagens de radar são o ruído speckle e o efeito do padrão da antena.

Valeriano (2008), descrevendo os procedimentos metodológicos adotados para interpolação e derivação de variáveis morfométricas a partir do SRTM para a elaboração do Banco de Dados Morfométricos do Brasil – TOPODATA – sugeriu que mesmo trabalhando em escalas de detalhe, alguma suavização nos dados pode ser benéfica, como forma de compensar variação excessiva, muitas vezes indesejavelmente ruidosa. Entretanto, esse tipo de procedimento pode ser utilizado para finalidades específicas, desde que alguns cuidados sejam tomados, pois essa metodologia também é acompanhada de algumas desvantagens (Valeriano, 2008).



Figura 1 - Detalhe de região do PEPRN, mostrando sobreelevação artificial do SRTM nas regiões das cordilheiras ("efeito dossel"). Isolinhas geradas a cada 1 metro a partir do SRTM versão 4.1, sobre a imagem Landsat de 22/04/2011, composição 4=vermelho; 5=verde; 3=azul.

No Pantanal, em função da baixa declividade e a quase completa ausência de feições de relevo na Planície, a vegetação arbórea é encontrada em locais mais elevados, entre um a dois metros acima da vegetação de gramíneas (Valeriano & Abdon, 2007). Esses autores aplicaram os dados SRTM para estudo da influência do dossel da vegetação no Pantanal e observam que as principais feições estão associados ao dossel da vegetação. Eles também argumentam e sugerem a possibilidade de correção de um possível erro sistemático. Comparando a distribuição geográfica de classes de altura em intervalos selecionados os autores observaram que a estrutura da vegetação foi compatível com as alturas do SRTM, quando agrupada nas classes 1) Corpos d'água, vegetação gramíneo lenhosa e brejos herbáceos, 2) vegetação arbustiva e cerrados abertos e 3) vegetação arbórea mais densa dos cerrados, cerradões e florestas (Valeriano & Abdon, 2007).

#### 2. Objetivos

#### 2.1. Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a aplicabilidade da utilização de geotecnologias livres ou gratuitas para a gestão do PEPRN e de sua ZA, enfocando o desflorestamento e as mudanças nas áreas alagáveis.

#### 2.2. Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

1 - Mapear a Cobertura do Solo para as classes: Áreas Alagadas / Corpos Dágua; Áreas Úmidas; Formações Campestres e Formações Arbóreas, utilizando para tanto imagens orbitais e *softwares* livres ou grátis e, deste modo, avaliar as mudanças na cobertura do solo do PEPRN e de sua Zona de Amortecimento, entre o período de cheia do ano da criação do Parque e a cheia de 2011.

2 - Avaliar os dados de altimetria oriundos do SRTM versão 4.1, TOPODATA e GLS 2005, quanto a sua acurácia vertical, comparando-os com os dados de altitude dos marcos geodésicos do IBGE, numa região que apresenta áreas elevadas e com altas declividades e também uma região de planície, no interior do Pantanal.

3 – Testar a utilização de filtro de convolução para correção do "efeito dossel" aos dados de altimetria do SRTM, numa região dos Pantanais da Nhecolândia, do Abobral e do Miranda, englobando o PEPRN e sua ZA, para avaliação da potencialidade de utilização dos dados SRTM para o Pantanal Sul-Matogrossense.

#### 3. Área de Estudo

O Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro está localizado no centro do Pantanal do Abobral, ocupando também pequena região do Pantanal da Nhecolândia ao norte, caracterizado pela presença de inúmeras "baías" e "salinas", como são conhecidas as lagoas de água doce e salobra, respectivamente, além de porções do Pantanal do Miranda ao Sul, caracterizado pelos "brejões" dos rios Negro, Vermelho, Aquidauana e Miranda. A Figura 2 mostra a localização da área de estudo e a sua sobreposição em relação aos distintos "Pantanais". Ao sul, a região faz fronteira com o Planalto da Bodoquena. Ao norte, pelo leque aluvial do rio Taquari, do qual recebe influência no regime hídrico pela Nhecolândia. Para leste, fica o Pantanal do Rio Aquidauana, para a sudoeste está limitado pelo Pantanal do Nabileque e para noroeste pelo Pantanal do Rio Paraguai.

O acesso terrestre ao Parque é possível a partir de Aquidauana, via estrada para a fazenda Retirinho/Barra Mansa ou por Corumbá, via Estrada-Parque Pantanal. Entretanto, o acesso via terrestre só é possível na estação seca, devido à inundação na região.



Figura 2 - Localização da Área de Estudo: Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro (linha verde) e sua Zona de Amortecimento (linha azul), a) no Brasil, b) em MS e c) mostrando a intersecção do Parque com os Pantanais da Nhecolândia, do Abobral e do Miranda.

#### 3.1. Caracterização do Meio Físico

#### 3.1.1. Hidrografia

A Figura 3 apresenta a Rede Hidrográfica da região de estudo (ANA, 2011). Na região nordeste, observar cursos dágua temporários formando um padrão paralelo de drenagem de direção NE-SW. Na faixa central da imagem observa-se outro padrão paralelo da drenagem, de direção WNW-ESE, característico do Pantanal do Abobral. Essa região é conhecida localmente por Brejão do Rio Negro, embora receba água também das Bacias Hidrográficas do Rio Taquari, vindas de nordeste, e dos Rios Miranda e Aquidauana, vindas de sudeste.



Figura 3 – Carta-Imagem da Rede Hidrográfica. Ao fundo, mosaico Landsat/TM de abril de 2011, composição: vermelho=b4, verde=b5 e azul=b3. Fonte da malha hidrográfica: Agência Nacional de Águas – (ANA, 2011).

#### 3.1.2. Geomorfologia

Com base nas características das inundações, o Pantanal foi dividido em nove diferentes pantanais, que refletem a compartimentação geomorfológica da planície (Assine, 2003).

A região norte da área de estudo compreende a região do Pantanal da Nhecolândia,

que corresponde à região sul do macroleque do rio Taquari e é caracterizado por extensa área flúvio-lacustre. Sua sedimentação está vinculada a cursos intermitentes e defluentes do rio Taquari quando de suas cheias. Esses cursos dágua temporários são localmente denominadas "vazantes". O padrão de drenagem é do tipo multibacinal e apresenta um grande número de lagoas, localmente denominadas de "baías", em diversos formatos, algumas de água doce, com vegetação aquática associada e outras de água salobra, sem vegetação aquática. São circundadas por "cordilheiras", que são "cordões" arenosos mais elevados do que a vizinhança e recobertos por vegetação arbórea. A conexão entre as baías quando das cheias se dá por meio de "vazantes" (MATO GROSSO DO SUL, 1990). O Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – PCBAP – denominou essa região de Pantanal do Taquari (PCBAP, 1997).

A faixa central da área de estudo é uma área bastante complexa. Daí decorre que sua classificação ainda não é consenso na literatura. Segundo o Atlas Multirreferencial de MS (MATO GROSSO DO SUL, 1990), nessa região está localizado o Pantanal do Negro-Miranda, que é caracterizado como de forte inundação e corresponde a planície de inundação do Rio Negro. Também recebe águas do Rio Aquidauana durante as cheias, através dos "corixos", que são antigos braços abandonados dos rios da região e geralmente perenes, e comporta-se como uma superfície brejosa durante vários meses num ano (MATO GROSSO DO SUL, 1990). Essa região foi denominada de Pantanal do Negro/Abobral pelo PCBAP (PCBAP, 1997).

A região sul da área de estudo corresponde aos Pantanais do Miranda, na região sudeste, e do Nabileque, a sudoeste. Esses dois Pantanais são separados pelo Rio Miranda (PCBAP, 1997). São áreas de alta inundação, mas menos inundáveis do que a região do Abobral.

O extremo sul da área de estudo limita o extremo norte da Depressão do Rio Miranda (PCBAP, 1997; MATO GROSSO DO SUL, 1990), sendo o limite sul, nessa região, do Pantanal propriamente dito. A Figura 4 apresenta o Mapa Geomorfológico da área de estudo.



Figura 4 - Mapa Geomorfológico da área de estudo. Fonte: Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (PCBAP, 1997).

#### 3.1.3. Clima

Na região, ocorre o clima Sub-Úmido a Semi-Árido em toda a sua extensão. O índice efetivo de umidade varia de -20 a 0, a precipitação pluviométrica anual varia de 800 a 1200 mm anuais, o excedente hídrico anual de 100 a 400 mm durante dois meses e deficit hídrico de 650 a 750 mm durante 6 meses (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

#### 3.1.4. Geologia

A Formação Pantanal ocorre em toda a extensão da área de estudo (MATO GROSSO DO SUL, 1990; PCBAP, 1997). É uma região de sedimentação recente e é composta por depósitos aluviais inconsolidados e semi-consolidados, constituídos por sedimentos arenosos, síltico-argilosos e alguma matéria orgânica (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

Assine (2003), analisando os trabalhos publicados sobre a geologia da bacia do Pantanal, concluiu que o conhecimento geológico sobre o Pantanal ainda é extremamente pobre, particularmente sobre tectônica, cronoestratigrafia, evolução paleogeográfica e processos sedimentares atuais.

O Pantanal é uma bacia sedimentar tectonicamente ativa, que se caracteriza por

21

dinâmica sedimentar que induz mudanças constantes na paisagem. Essas mudanças tectônicas e climáticas vem ocorrendo desde o final do Pleistoceno (Assine, 2003).

#### 3.1.5. Solos

Na área do Parque, ocorrem apenas dois tipos de solos (Figura 5). As legendas foram convertidas para o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, conforme o manual técnico de pedologia do IBGE (IBGE, 2007). Os Espodossolos, localizados ao norte, em áreas correspondentes ao Pantanal da Nhecolândia, e o Vertissolo, em áreas corresponentes aos Pantanais do Abobral e do Miranda, na região centro-sul do Parque (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

Na Zona de Amortecimento do Parque, são encontrados, além dos solos ocorrentes no Parque, manchas de Planossolo Solódico no extremo sul-sudeste, Planossolos na região sulsudoeste e ainda Neossolo Quartzarênico numa mancha na região oeste.



Figura 5 - Carta de Solos da Área de Estudo. Fonte: Atlas Multirreferencial do Estado de Mato Grosso do Sul. (MATO GROSSO DO SUL, 1990)

Os Espodossolos caracterizam-se como solos minerais, hidromórficos, mal drenados, que apresentam diferenciação entre os horizontes. São solos muito pobres, geralmente

arenosos, forte a extremamente ácidos, sobre relevo plano, erosão não aparente, formados de sedimentos quaternários e sob vegetação de savana (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

Os Vertissolos caracterizam-se como solos minerais, medianamente desenvolvidos, pouco profundos a profundos, geralmente argilosos e imperfeitamente a mal drenados. Apresentam fendas no período seco devido à presença de argila expansiva. Possuem elevada saturação e soma de bases, principalmente devido ao cálcio e ao magnésio, e alta capacidade de troca de cátions. Podem ser carbonáticos ou não e possuem, geralmente, textura argilosa ou muito argilosa, e são formados por sedimentos arenosos síltico-argilosos e areno-conglomeráticos semiconsolidados e inconsolidados do Quaternário (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

#### 3.1.6. Vegetação

No PEPRN, ocorrem 5 formações vegetacionais (MATO GROSSO DO SUL, 1990). A Figura 6 apresenta a Carta de Vegetação do PEPRN e de sua ZA. No extremo norte do Parque, ocorre uma mancha de Savana Arbórea Densa (Cerradão). Ao sul dessa região, ainda no Pantanal da Nhecolândia, ocorre uma região de Savana Gramíneo-Lenhosa. No Pantanal do Abobral, há predominância do Ecótono Savana/Savana-Estépica. No sudeste do Parque, margeando o rio Aquidauana, há uma faixa de Encrave Savana/Floresta Estacional. Na região sul, a fitofisionomia predominante é Savana-Parque. Inseridas nessa formação, há ainda uma pequena região de Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, margeando o Rio Miranda, fazendo limite com o Parque.



Figura 6 – Carta de Cobertura Vegetal do PEPRN e de sua ZA. Fonte: Atlas Multirreferencial do Estado de Mato Grosso do Sul. (MATO GROSSO DO SUL, 1990)

#### 4. METODOLOGIA

#### 4.1. Imagens de Satélite

Para a avaliação das mudanças na cobertura vegetal do PEPRN e de sua Zona de Amortecimento, foram utilizadas imagens do Satélite Landsat/TM, disponíveis gratuitamente para cópia a partir no portal do INPE. Foram escolhidas as imagens da época mais próxima do nível máximo das enchentes no Pantanal nos anos avaliados. Para recobrir o PEPRN e suas Zona de Amortecimento, foram necessárias duas cenas para cada ano avaliado, correspondendo à órbita 226 e aos pontos 73 e 74 do satélite Landsat. As cenas, correspondentes às datas de 23 de abril de 2000 e 22 de abril de 2011 foram obtidas do INPE (2011).

Do mesmo portal, foram baixadas duas cenas correspondentes às mesmas órbitas e pontos já citadas, do produto GLS 2005, originadas de composições dos satélites Landsat 5 e 7, sensores TM e ETM+, por estas estarem georreferenciadas e ortorretificadas. Essas cenas foram utilizadas como base de referência para o georreferenciamento das imagens de 2000 e de 2011 (INPE, 2011).

#### 4.2. Georreferenciamento das imagens de satélite

No software gratuito SPRING 4.3.3 (Camara *et al.*, 1996), foi criado um banco de dados em formato "dbase" e um projeto, em Sistema de Projeção *UTM*, fuso 21. Também foram criados os modelos de dados "imagem" para inserir as imagens e outro do tipo "cadastral" para os vetores correspondentes aos limites do PEPRN e da sua ZA.

Os dados das bandas 3, 4 e 5 do produto GLS2005, correspondentes à órbita 226 e pontos 73 e 74 foram importadas para o banco de dados do SPRING. Após a importação, foram realçadas por ajuste linear do histograma. Para a visualização dessa base de referência para o georreferenciamento das imagens de 2000 e de 2011, foi realizada composição colorida, em formato RGB, associando à banda 3 o canal azul, à banda 4 o canal vermelho e à banda 5 o canal verde. Para auxiliar no processo de georreferenciamento da região de estudo das imagens, foi importado o limite da ZA do PEPRN (MATO GROSSO DO SUL, 2008a) e sobreposto à base de referência.

No módulo IMPIMA (do SPRING) cada uma das seis bandas (bandas 1 a 5 e 7) de cada uma das cenas dos anos de 2000 e de 2011 foi convertida para \*.grb (*grib*), um formato

interno do SPRING e pré-requisito para o processo de georreferenciamento de imagens neste software.

No módulo principal do programa foram então georreferenciadas as bandas 1 a 5 e a banda 7, de cada uma das cenas, com um número mínimo de GCPs de dez, para cada cena e distribuídos no interior ou proximidades da ZA do PEPRN. Foi utilizado polinômio de grau 1, até atingir um patamar de RMS menor do que 0,5 pixel, num processo iterativo de criação de novos GCPs e remoção dos pontos com erro acima da tolerância. A fim de facilitar a localização visual dos alvos, foi realizado um realce de contraste das imagens a serem georreferenciadas, realizado empírica e apenas temporariamente, ou seja, durante o processo de georreferenciamento.

As cenas de 2000 e de 2011, após corrigidas geometricamente e em formato \*.grb (grib) foram importadas para o banco de dados no SPRING com o comando "importar arquivos grib".

Para a conferência visual final para o processo de georreferenciamento, foi utilizado o recurso de "acoplar imagens" do SPRING para sobrepor as cenas 226/73 e 226/74, de 2000 e de 2011, às GLS 2005, a fim de verificar a qualidade final do georreferenciamento, após o realce de contraste por ajuste de histograma. Nessa avaliação, na tela do computador, foram aceitos erros menores do que um pixel.

Finalizada a conferência visual da qualidade do georreferenciamento das quatro cenas, para a região de estudo, todas as bandas foram exportadas em formato geotiff para posterior classificação no software livre GRASS 6.4.1 (*GRASS DEVELOPMENT TEAM*, 2011).

#### 4.3. Classificação da Cobertura do Solo

Essa etapa do trabalho foi realizada no software GRASS GIS 6.4.1. Nesse SIG, foi criada uma nova "localização" (*location*) utilizando o conjunto de mapas (*mapset*) padrão (*default*) do sistema, denominado "*PERMANENT*". Os parâmetros de projeção e *datum* para a criação do projeto foram lidos pelo software a partir de uma das imagens georreferenciadas anteriormente, em formato *geotiff*.

Os arquivos vetoriais contendo os limites do PEPRN (MATO GROSSO DO SUL, 2000) e também de sua ZA (MATO GROSSO DO SUL, 2008a) foram importados em formato shapefile para a mesma locação da classificação, utilizando o comando "v.in.ogr" (importar tipos comuns de vetores, utilizando a biblioteca OGR). Esses arquivos foram

convertidos para o formato raster automaticamente com o comando "v.to.rast" (vetor para raster), para serem utilizados como "máscara" limitadora do processamento nos arquivos raster. Essas máscaras foram utilizadas também para a mensuração das classes de cobertura do solo mapeadas e das classes de mudança no uso do solo, conforme será explicado detalhadamente nas seções correspondentes.

A extensão geográfica da "localização" a ser utilizada foi definida abrangendo um retângulo ao redor da Zona de Amortecimento do PEPRN, pois dessa forma todos os procedimentos serão realizados apenas nessa região, economizando tempo de processamento e evitando geração e armazenamento desnecessário de dados. Isso foi conseguido com o comando "g.region", indicando o arquivo vetorial da ZA do Parque como extensão máxima da região computacional.

Todas as bandas 1 a 5 e 7 de cada uma das quatro cenas processadas foram colocadas num mesmo diretório do sistema de arquivos do sistema operacional e a seguir todas foram importadas de uma vez só, com o comando "r.in.gdal" (importar formatos de raster comuns) utilizando a opção "Importar Diretório", por meio da biblioteca *GDAL*. As cenas 226/73 e 226/74 do ano de 2000 foram mosaicadas, com o comando "r.patch" utilizando a opção "-z" (usar zero como transparência ao invés de "*null*"). O mesmo foi feito para as cenas referentes ao ano de 2011.

Os histogramas de frequências das bandas 1 a 5 e 7 dos mosaicos Landsat de 2000 e de 2011 foram então equalizados com o comando "r.colors" (tabelas de cor) utilizando a opção "-e" (equalização do histograma) e foi utilizada a tabela de cores "grey255", disponível no software. Para a visualização de composições coloridas para os dois anos foi feita uma composição com o comando "r.composite", associando à banda 3 o canal azul, à banda 4 o canal vermelho e à banda 5 o canal verde.

Para o processo de classificação no GRASS foram agrupadas e subgrupadas as bandas dos dois mosaicos de 2000 e de 2011 que serão utilizadas no processo de classificação com o comando "i.group", ou seja, as bandas 1 a 5 e 7. Cada ano corresponde a um grupo de imagens. Criado o grupo e subgrupo contendo as bandas a serem classificadas, realizou-se o processo de agrupamento das classes que foram mapeadas com o comando "i.cluster", com os seguintes parâmetros: número inicial de classes = 4, arquivo contendo as assinaturas espectrais = assinaturas\_226\_74\_b1a5e7\_xxxx\_4classes (onde "xxxx" corresponde ao ano), número mínimo de pixels numa classe = 25, arquivo contendo o relatório =

relatorio cluster b1a5e7 xxxx 4 classes.txt. (os demais parâmetros foram mantidos os "default", sendo "convergência porcentual"=98,0%, "número de iterações máximas" = 30, "separação dos agrupamentos" = 0,0 e "número mínimo de pixels numa classe" = 17). O nome do arquivo de assinaturas espectrais deverá ser guardado porque será a entrada para a segunda etapa do processo de classificação, enquanto o relatório contém um resumo estatístico do processo. Foram escolhidas apenas 4 classes porque o foco do trabalho é a avaliação das mudanças entre os principais ecossistemas aí ocorrentes, ou seja, corpos dágua, áreas úmidas, as áreas de pastagem nativa, geralmente inundáveis no pico da enchente, e o componente arbóreo, aí incluídas as Florestas, os Cerradões e os Cerrados. Essas últimas fitofisionomias refletem, em geral, as áreas pouco ou não inundáveis do Pantanal, localizadas nas regiões mais elevadas ("cordilheiras"). Dessa forma, o estudo das mudanças ocorridas foi simplificado, permitindo melhor compreensão das mudanças ocorridas, em grande parte naturais. De outra forma, para o manejo do Parque, é mais importante identificar as mudanças nas áreas inundáveis do que uma mudança de Cerrado para Cerradão, ou vice-versa. Além disso, o menor número de classes pode, em certa medida, reduzir os erros de mapeamento sobretudo porque a inundação pode mascarar alterações no componente "arbóreo". Optou-se por apenas 4 classes, incluindo a classe "solo exposto" junto com a vegetação gramíneoarbustiva (pastagem), pois aquela é bastante dependente da seca, do fogo e do pastoreio do gado e da fauna nativa. Dessa forma, solo exposto e pastagem podem ser vistas como o mesmo ecossistema, em épocas distintas. O componente "nuvens" não foi abordado separadamente por dois motivos principais: Primeiro porque essas áreas são facilmente distinguíveis nas imagens por meio de interpretação visual. Dessa forma, mesmo que sejam identificadas mudanças no uso do solo pela classificação automática, na conferência visual dessas áreas isso é facilmente visualizado. Em segundo lugar porque é difícil a separação desse ruído das classes de uso mapeadas, porque o topo das nuvens é confundido com solo exposto e a sombra das nuvens no solo é confundida com áreas úmidas, dificultando a separação desse componente.

Na segunda etapa do processo de classificação automática não supervisionada, utilizou-se o algoritmo *MLC – Maximum-Likelihood Classifier* (classificador de máxima verossimilhança). Esse algoritmo lê os grupos/subgrupos criados, as assinaturas espectrais criadas com o comando "i.cluster" e grava um raster de saída classificado. Além disso, também grava um mapa de "Rejeitos" (*holding reject threshold results*). Esses dois mapas

raster classificados, respectivos aos anos de 2000 e de 2011 foram então convertidos para vetores com o comando "r.to.vect" com os parâmetros "área" (gerar apenas vetores do tipo poligonais fechadas), "arredondar cantos das áreas" a fim de evitar o efeito serrilhado característico desse processo e "usar valores do raster como categorias em vez de uma sequência única" a fim de manter os nomes das classes que o sistema identificou e nomeou automaticamente. A seguir foram eliminados todos os polígonos menores do que 25 hectares, para apresentação visual dos resultados, devido ao grande número de pixels individuais englobados por classes de maior expressão na vizinhança daquele. Assim, um grande número de polígonos de pequena extensão mas que aumentam expressivamente os custos computacionais são desprezados, facilitando o foco nas alterações sobre áreas maiores. Não foram previstos trabalhos em campo no âmbito deste trabalho, devido às dificuldades de acesso já mencionadas, durante a época cheia.

#### 4.4. Avaliação das mudanças na cobertura do solo entre 2000 e 2011

Para avaliação das mudanças na cobertura do solo da área de estudo, foi realizado o cruzamento das classificações de 2000 e de 2011 da região compreendendo os limites do PEPRN. Para a limitação do processamento apenas aos limites do Parque, foi criada uma máscara com o comando "r.mask", utilizando o arquivo raster correspondente aos limites do PEPRN. Dessa forma, os mapas de cobertura do solo de 2000 e de 2011 em formato raster foram então cruzados com o comando "r.cross" (cruzamento de mapas raster), para avaliar as mudanças na cobertura do solo no Parque, entre as datas avaliadas.

A partir do cruzamento das informações dos mapas de 2000 e de 2011 contendo 4 classes de cobertura do solo, obtêm-se um novo mapa com 16 novas classes, oriundas de todas as combinações possíveis entre as classes de entrada. Ou seja, para cada n classes de entrada, o mapa de saída conterá 2<sup>n</sup> classes. Assim, a entrada de um número menor de classes facilita a avaliação das principais mudanças na cobertura do solo.

A seguir, a máscara de processamento criada anteriormente foi substituída pela máscara representando à Zona de Amortecimento do Parque e a seguir executado novamente o comando "r.cross", dessa vez para avaliar não só as mudanças no Parque, mas também na sua Zona de Amortecimento.

Finalizando esta etapa, foi realizado a mensuração de cada uma das classes mapeadas, para a classificação de 2000, para a de 2011 e para o cruzamento das informações desses

mapas, tanto para o PEPRN como também incluindo a ZA do mesmo. Esses dados foram obtidos com o comando "r.report" utilizando a opção unidades = hectares. O relatório foi gravado como arquivo texto (\*.txt) para elaboração das tabelas e gráficos, os quais foram obtidos por meio da planilha eletrônica "scalc", incluída na suíte livre de aplicativos para escritório BrOffice 3.1.1 (EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO *BROFFICE*, 2010).

#### 4.5. Identificação do Desflorestamento

Moreira (2011), monitorando o desflorestamento em Unidades de Conservação em MS e em suas Zonas de Amortecimento, aplicou correção atmosférica e utilização do NDVI para a detecção das mudanças. Naquele trabalho, os resultados foram satisfatórios. Entretanto, estudou-se a viabilidade de detectar essas mudanças a partir de um procedimento mais simplificado e rápido.

O mapa vetorial resultante do cruzamento das classificações dos anos de 2000 e de 2011, foi exportado para o formato shapefile, incluindo a opção "gravar arquivo \*.prj" para gravar os dados da projeção e *datum* desses dados. O *shapefile* resultante foi aberto no software *GVSIG* 1.9 "portável" (*GVSIG DEVELOPMENT TEAM, 2011*), com os mesmos parâmetros de projeção e *datum* definidos para esse conjunto de dados. Nesse *software*, foi executado um filtro para a seleção correspondente à mudança da cobertura do solo de "arbóreo" para "pastagem". A seguir o arquivo contendo o resultado do filtro foi exportado como novo arquivo *shapefile*. Esse arquivo foi importado novamente no GRASS e sobreposto às imagens de 2000 e de 2011 para avaliação visual dos resultados.

#### 4.6. Avaliação comparativa dos Modelos Digitais de Elevação

Os dados de altitudes geométricas da Rede Geodésica Brasileira dos satélites GPS relativos ao Estado de MS foram baixados do Banco de Dados Geodésicos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE – (IBGE, 2010). Foram utilizados os dados em coordenadas geográficas (sem projeção) e *datum* SAD-69.

A seguir os pontos contendo as altitudes geométricas foram agrupados em um arquivo vetorial único (a partir de arquivo no formato \*.csv) e a seguir esse arquivo foi importado como amostras de elevação num modelo numérico no SPRING, permitindo a sobreposição desses dados com os demais produtos avaliados. Nesse software, o modelo numérico é utilizado para o tratamento de dados de altimetria, ou seja, o valor contido na célula da grade

é interpretado pelo sistema como cota ou valor z.

Os dados de altimetria do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) foram copiados em formato *geotiff* do portal do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – (INPE, 2008) e importados para o banco de dados do SPRING. Nesse produto, os valores de altimetria estão em números com ponto flutuante (reais). Os parâmetros de projeção e *datum* são idênticos aos do SRTM.

A fonte dos dados GLS2005 foram descritos na seção "Georreferenciamento das imagens" e, para esse objetivo, os dados de altimetria correspondem à órbita 225 ponto 74, banda L5225074\_07420050414\_DEM.tif. Esses dados foram importados para o banco de dados do SPRING. Os valores de altimetria estão em números inteiros, em projeção *UTM* e *datum WGS* 84.

Os dados do *SRTM* versão 4.1 foram baixados da internet (Jarvis, 2008) e a seguir importados para o banco de dados no SPRING. Esses dados estão no formato de números inteiros, sem projeção (em coordenadas geográficas) e *datum WGS 84*.

Para o tratamento desses dados, foi criado um banco de dados e um projeto no SPRING, em projeção *UTM*, *Datum SAD 69*, fuso 21. Nesse banco de dados do SPRING, foram importados os dados da grade *SRTM* versão 4.1 e reprojetados automaticamente pelo sofware. Da mesma forma, foram importados os dados TOPODATA e GLS 2005. A seguir foram coletados os valores de altimetria desses 4 produtos, nos locais onde há dados pontuais da Rede Geodésica Brasileira nessa área, e organizados numa tabela, com o software livre openoffice calc, disponível na suíte de aplicativos para escritório BrOffice. A seguir foram obtidas as diferenças entre os 3 produtos DEM e os valores de altimetria dos marcos da Rede Geodésica.

# 4.7. Filtragem dos dados SRTM: contribuição à utilização do SRTM em áreas de gradiente topográfico extremamente baixo

Embora Marques *et al.* (2011), comparando os modelos de elevação SRTM, TOPODATA e ASTER para a delimitação automáticas de rede de drenagem e limite de bacia hidrográfica, tenham concluído que o TOPODATA apresentou melhores resultados, naquele estudo realizado sobre região de relevo bem definido, também indicaram que o tamanho do pixel não correspondeu a um modelo melhor, que no caso do ASTER (pixel de 20 m) apresentou vários problemas, conforme discutido naquele estudo. Dessa forma, será utilizado como critério para escolha do DEM para os testes de correção do modelo de elevação, aquele a partir do qual for obtida a menor quantidade de valores extremos, e não apenas o que apresentar os melhores resultados estatísticos.

No software GRASS, o recorte 25\_16 do SRTM versão 4.1 foi inicialmente importado para uma nova localização (*project location*) criado com os mesmos parâmetros de projeção, *datum* e extensão geográfica dos dados de entrada. Após a importação o SRTM foi filtrado com um filtro de passa-baixa ("*r.neighbors*") utilizando a operação de média, com a janela (quadrada) do filtro variando de 3X3, 7X7, 11X11 e 25X25. Esses resultados foram exportados para o formato geotiff e novamente importados para o SPRING, onde foram geradas as curvas de nível com equidistância de um metro, para comparação visual dos resultados das filtragens sobre as imagens de satélite. Neste software, também foram gerados histogramas de frequência para 3 regiões distintas envolvendo a ZA do Parque, aproximadamente orientadas de NNE para SSO, a fim de comparar graficamente os resultados. Os histogramas foram exportados para um arquivo de texto e organizados graficamente na planilha eletrônica "scalc", do pacote BrOffice.

# 4.8. Derivação de variáveis morfométricas após a aplicação do filtro de passa-baixa de média

O histograma de frequências foi utilizado como parâmetro para a avaliação preliminar das filtragens utilizadas. Após a determinação empírica do filtro mais adequado aos objetivos deste trabalho, foi realizada a derivação das variáveis "bacias" e "segmentos de fluxo". Essas variáveis matriciais foram convertidas para o formato vetorial e essas linhas foram sobrepostas à imagem Landsat de 2011, para verificação da consistência geral dos resultados. Essas variáveis foram extraídas com GRASS, com a aplicação do comando "r.watershet". Os layouts foram elaborados com QGIS.

#### 4.9. Elaboração dos Mapas

A apresentação dos resultados dos mapeamentos executados com GRASS foi elaborada com o *Quantum GIS* 1.7.0 (*QUANTUM GIS DEVELOPMENT TEAM*, 2009). Com esse programa é possível não somente ler diretamente a base de dados do GRASS, como também executar todos os comandos desse SIG, que é inicializado como "plug-in" do QGIS.

#### **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O SPRING, embora não tenha sido disponibilizado como Software Livre, pode ser utilizado gratuitamente e foi pioneiro e mundialmente conhecido, embora com limitações muito importantes em relação aos softwares comerciais na área de Sistemas de Informações Geográficas - SIGs. No Brasil, a partir desse programa desenvolvido em grande parte com tecnologia nacional, tem sido possível desenvolver soluções geotecnológicas fundamentais para o mapeamento, monitoramento, fiscalização e previsão de impactos ambientais. Desde 2002 temos utilizado, com eficácia, esse SIG desktop como principal software para essas funções no Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul - IMASUL. Entretanto, a interface do SPRING não é muito amigável, em comparação com outros concorrentes nessa área. Também há dificuldades para leitura e escrita para outros formatos de arquivos de SIG. E como software proprietário, não pode ter seu código-fonte alterado por outros programadores. Em outras palavras, não pode ser adaptado às necessidades dos usuários, embora a Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico - LEGAL - permita a geração de "scripts", ou seja, um conjunto de comandos pode ser "empacotado" e executado como se fosse um único comando. Mas algumas tarefas ele realiza eficientemente, como as apresentadas neste trabalho.

Entretanto, atualmente houve uma crescimento elevadíssimo na produção de softwares livres que tem, entre outras, a liberdade de alterar o código-fonte e isso significa a liberdade de adaptar completamente os sistemas às necessidades específicas de cada usuário. É nesse sentido que realizou-se este trabalho, buscando alternativas que melhorem a produtividade.

A opção pelo GRASS, para algumas tarefas, pareceu acertada. O software é bastante robusto. A derivação de variáveis morfométricas é extremamente simples e rápida. O trabalho com imagens, particularmente Landsat, também. A interoperabilidade do software é bastante expressiva. Além de inúmeros formatos de arquivos suportados para leitura e escrita, é possível a importação de diretórios inteiros, agilizando algumas tarefas. A modelagem visual de rotinas também é bastante simples, sendo encorajada sua utilização para tarefas repetitivas e que requeiram baixo nível de interação com o usuário. Esse foi um dos motivos para a aplicação de rotinas as mais simples e menos interativas tanto quanto possível, a fim de futuramente automatizar o monitoramento dos recursos ambientais, especialmente a supressão das formações arbóreas nativas.

A elaboração dos *layouts* com QGIS também foi muito importante, devido à qualidade da apresentação e às facilidades de aprendizado e operação de layout desse *software*. Além da

leitura/escrita de inúmeros formatos de SIG, a partir dele também foi possível ler as bases de dados criadas com GRASS e a partir delas elaborar os *layouts*, sem a necessidade de exportálas. O GVSIG foi utilizado onde necessitou-se a elaboração de layout "composto", ou seja, onde, numa mesma carta, fossem colocados mapas de diferentes blocos, ou em diferentes sistemas de projeção. Embora bastante flexível, temos optado pelo QGIS, pois inúmeros algoritmos do GVSIG apresentam problemas, sobretudo com a biblioteca Sextante. O QGIS também apresentou alguns travamentos quando leu a base de dados do GRASS, mas não chegou a comprometer a execução das tarefas, já que bastou fechar e abrir novamente o programa e ele voltou a funcionar. Já em relação a escrever diretamente no GRASS, o QGIS apresentou problemas que não foram resolvidos, motivo pelo qual não foi utilizado para essas tarefas.

#### 5.1. Avaliação do georreferenciamento das imagens Landsat/TM

O resultado do processo de correção geométrica foi considerado satisfatório, ou seja, com erros médios quadráticos menores do que 0,5 pixel e deslocamentos entre as imagens menores do que 1 pixel, quando conferidas por meio do comando "acoplar" do SPRING.

Para a cena correspondente à órbita 226 e ponto 73 de 23 de abril de 2000, o RMS obtido com os 10 pontos de controle foi igual a 0,491. A avaliação visual dessa imagem sobre a base GLS 2005 apresentou deslocamentos menores do que um pixel. A cena dessa órbita/ponto do ano de 2011 apresentou RMS igual a 0,444 e erros de deslocamento também inferiores ao limiar estabelecido.

Para a cena correspondente à órbita/ponto 226/74 de 22 de abril de 2011, o RMS obtido com os 10 pontos de controle foi igual a 0,473. A avaliação visual dessa imagem sobre a base GLS 2005 apresentou deslocamentos menores do que um pixel. A cena dessa órbita/ponto do ano de 2011 apresentou RMS igual a 0,493 e erros de deslocamento também inferiores ao limiar estabelecido.

#### 5.2. Classificação Automática não-supervisionada do PEPRN e da sua ZA

A Figura 7 apresenta a carta de cobertura do solo para o mapeamento relativo à data de 23 de abril de 2000. Notar a grande área classificada como água na região centro-oeste da figura. As áreas classificadas como pastagem estão localizadas ao norte, correspondendo em grande parte às áreas de pastagem nativa na região do Pantanal da Nhecolândia. Os dados da Figura 8 mostram que, da área total do PEPRN, em 2000, 28,19% estavam cobertas por água, 40,76% eram áreas úmidas, 26,68% estavam cobertas por cobertura arbórea e apenas 4,37% estavam cobertas por pastagens, nativas ou exóticas. Somando-se os componentes corpos dágua e áreas úmidas, observa-se que aproximadamente 70% da área do Parque está sujeita à influência direta da inundação.

Hayakawa *et al.* (2009), avaliando a acurácia das classificações automáticas supervisionada e não-supervisionada a partir de 5 classes de mapeamento (áreas úmidas, corpos e cursos d'água, vegetação arbórea, vegetação arbustiva e solo exposto) numa região de várzeas do Rio Paraná, concluíram que não houve diferença significativa entre os dois métodos. Eles também observaram que, para a classificação das áreas úmidas, o método não supervisionado apresentou os melhores resultados. Isso em grande parte pode ser creditado à dificuldade de separação visual dessas áreas com as demais classes mapeadas. Levando em consideração o fato de que a cheia no Pantanal não ocorre a partir de uma linha de cota e sim em pulsos de inundação que atravessam a planície, o estudo dessas áreas úmidas é muito dependente da data das imagens que são utilizadas para a classificação. Portanto, para os objetivos deste trabalho, o método automático não supervisionado apresentou vantagem, principalmente devido à expressiva redução de tempo para a elaboração dos mapas de cobertura do solo.



Figura 7 – Carta de cobertura do solo para o PEPRN e sua ZA (obtida da classificação da imagem do satélite Landsat 5/TM de abril de 2000, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7)



Figura 8 – Gráfico de pizza mostrando a relação entre os componentes mapeados para o ano 2000 para o PEPRN (gráfico da esquerda) e para o PEPRN junto com sua ZA (gráfico da direita)

A Figura 9 apresenta a carta de cobertura do solo para o mapeamento relativo à data de 22 de abril de 2011. Em relação à Figura 7, observa-se maior volume de água nas vazantes na região norte, drenando as águas no sentido NE-SW. Ao sul da figura, observa-se um padrão de áreas classificadas como pastagem e abaixo delas, aproximadamente ao sudoeste, áreas

classificadas como úmidas que são resultado da confusão espectral com nuvens, presentes nessa imagem. Na classificação realizada, o topo das nuvens é classificado como solo exposto/pastagem, enquanto a sombra das mesmas foi classificada como água. As nuvens não foram tratadas à parte por dois motivos principais: primeiro porque não é simples criar uma classe "nuvens", devido ao fato de que o topo das nuvens e a respectiva sombra das mesmas tem comportamento espectral bastante diferentes. Segundo porque o objetivo principal é a identificação do desflorestamento. Para isso, é indispensável a inspeção visual dos polígonos identificados como desflorestamento sobre as imagens dos anos avaliados. Por meio da inspeção visual, não há dificuldade para separar desflorestamento de nuvens. Isso agilizou a obtenção dos resultados. Evidentemente isso pode ser feito dessa forma devido à baixa cobertura de nuvens. Imagens com muitas nuvens podem comprometer os resultados. Para as condições do Pantanal do Rio Negro, com uma estação seca bem definida, em geral é possível obter pelo menos uma imagem anual praticamente livre de nuvens, coincidindo com o período de cheia.



Figura 9 – Carta de cobertura do solo para o PEPRN e sua ZA (obtida da classificação de imagem do satélite Landsat 5/TM de abril de 2011, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7)

Os dados da Figura 10 mostram que, da área total do PEPRN, na data de 22 de abril de

2011, 29,38% das áreas estavam cobertas por água, 47,42% eram áreas úmidas, 20,9% representavam o componente árbóreo e apenas 2,3% estavam cobertos por pastagem.

Observa-se que os componentes água e úmido apresentam valores bastante próximos aos do ano de 2000, indicando que as áreas alagadas foram bastante semelhantes entre os anos avaliados, ao menos quantitativamente. O componente arbóreo e as pastagens também apresentaram pequena redução de áreas. A redução no componente pastagem poderia ser explicada provavelmente devido à maior inundação no ano de 2011, enquanto que a redução do componente arbóreo possa ser devida ao desflorestamento.



Figura 10 – Gráfico de pizza mostrando a relação entre os componentes mapeados para o ano 2011 para o PEPRN (gráfico da esquerda) e para o PEPRN junto com sua ZA (gráfico da direita)

#### 5.3. Avaliação das Mudanças na Cobertura do Solo do PEPRN e da sua ZA

A Figura 11 apresenta a Carta das Mudanças na Cobertura do Solo, entre 23 de abril de 2000 e 22 de abril de 2011. Notar na região centro-oeste da figura a grande região que mudou de água para úmido, significando áreas que em 2000, nas datas de coleta das imagens mapeadas, estavam cobertas por lâmina d'água e que em 2011 foram classificadas como úmidas. Esse fato pode ter pelo menos duas explicações prováveis. Ou isso é devido ao atraso temporal, em 2011, do pico da cheia nessa região. Ou pode ser devido a mudança espacial nas áreas alagadas, a despeito da maior inundação geral no Pantanal em 2011. De qualquer forma, observou-se que a inundação dessa região parece não ter uma relação direta com a inundação geral do Pantanal. As águas que inundam a região do Abobral provêm dos Rios Miranda, Aquidauana, Negro, Vermelho, Taboco e das vazantes que drenam águas da bacia do Taquari. Além disso, a inundação na região é maior quando o rio Paraguai está cheio, represando as águas vindas desses cursos dágua.



Figura 11 – Carta das mudanças na cobertura do solo no PEPRN e em sua ZA, entre os anos de 2000 e 2011.

Os dados da Tabela 1 e da Figura 12 mostram que, da área total do PEPRN, entre as datas de 23 de abril de 2000 e 22 de abril de 2011, as áreas permanentemente inundadas representaram aproximadamente o mesmo porcentual, com pequeno aumento de 1,19% entre os anos avaliados. O componente áreas úmidas apresentou aumento mais expressivo, de 6,66%. O componente arbóreo apresentou redução de 5,77% e as áreas de pastagem apresentaram redução de 2,07%. Em relação ao PEPRN e à sua ZA, observa-se que as maiores diferenças positivas encontradas dizem respeito às áreas úmidas e corpos dágua, que juntas apresentaram aumento de 2,37%, indicando maior magnitude da enchente na região, no ano de 2011. O componente arbóreo apresentou pequena redução, de 0,27%, sugerindo que o desflorestamento foi pouco expressivo na região avaliada. Os valores de pastagem, que apresentaram redução de 2,1% podem ser explicado porque parte das pastagens mapeadas em 2000 estavam inundadas ou encharcadas em 2011.

Tabela 1 – Porcentuais das classes de cobertura do solo e as diferenças entre os anos avaliados, para o PEPRN e para o PEPRN somado à sua ZA, entre os anos 2000 e 2011.

		PEPR	N	PEPRN + ZA		
Classe de Cobertura	2000	2011	Diferenças	2000	2011	Diferenças
ÁGUA	28,19	29,38	-1,19	24,71	25,77	-1,06
ÚMIDO	40,76	47,42	-6,66	30,29	31,6	-1,31
ARBÓREO	26,68	20,9	5,77	35,95	35,69	0,27
PASTAGEM	4,37	2,3	2,07	9,04	6,94	2,1



Figura 12 – Gráficos das alterações entre as classes de cobertura do solo mapeadas, para o PEPRN (à esquerda) e para o PEPRN incluída sua ZA (direita), entre os anos de 2000 e 2011.

#### 5.4. Identificação do desflorestamento

A Figura 13 apresenta, sobre a imagem Landsat, os contornos das áreas que foram mapeadas em 2000 como arbóreo (acima), e que em 2011 foram mapeadas como pastagem (abaixo), para comparação visual. Nas áreas 1, 2 e 5, embora se observe mistura de classes, o desflorestamento pode ser identificado. Já nas áreas 3 e 4, é possível observar que houve desflorestamento, mas nessas áreas isso não foi identificado pela classificação das imagens. A Figura 14 apresenta um recorte de outra região, brejosa, da ZA do PEPRN, e portanto de difícil acesso para monitoramento ou fiscalização terrestre, durante quase todo o ano. Na área 1, foi identificado desflorestamento pelo sistema, mas na inspeção visual da imagem de 2011 isso não foi confirmado. A área 2 corresponde a local onde houve desflorestamento que não foi identificado. Porém na área 3 o desflorestamento pode ser identificado corretamente.



Figura 13 – Detalhe da área de estudo (Nhecolândia) sobre a imagem Landsat (composição: banda 5=verde; banda 4=vermelho; banda 3=azul). As áreas circunscritas pelas linhas em vermelho mostram áreas onde potencialmente houve mudança de árbóreo para pastagem, entre 2000 (acima) e 2011 (abaixo).

578000.000

579000.000

580000.000

581000.000

Área 6

577000.000

576000.000

849000.000

574000.000

575000.000



Figura 14 – Detalhe da área de estudo (Abobral) sobre a imagem Landsat (composição: banda 5=verde; banda 4=vermelho; banda 3=azul). As áreas circunscritas pelas linhas em vermelho mostram áreas onde potencialmente houve mudança de árbóreo para pastagem, entre 2000 (acima) e 2011 (abaixo).

Dessa forma, foi possível, de forma rápida e barata, monitorar mudanças em geral e específicas na cobertura do solo, sendo possível racionalizar os esforços de fiscalização e controle dos impactos antrópicos negativos à conservação da biodiversidade, e portanto, contrários aos propósitos de criação do Parque. Em ambas as figuras, bem como em outras regiões avaliadas (não mostrado), observou-se um padrão que mostra acertos e erros por omissão na identificação do desflorestamento. Isso pode ser devido aos valores das áreas, ou seja, foram excluídas todas as áreas menores do que 25 hectares dos vetores das classificações de 2000, de 2011 e do cruzamento dessas duas. Outro problema que pode explicar essa omissão é que o desmatamento tenha sido realizado já a algum tempo e a vegetação arbórea das cordilheiras tenha crescido novamente. A área 3 da Figura 13 sugere essa possibilidade.

#### 5.5. Avaliação comparativa dos Modelos Digitais de Elevação

A Figura 15 mostra a distribuição espacial dos marcos geodésicos do IBGE sobre o DEM GLS2005. A região onde a avaliação foi realizada foi limitada por esse modelo digital de elevação, devido à ausência desses dados para a região de estudo, mostrada à esquerda da figura.

Os resultados da avaliação comparativa das diferenças de altimetria entre marcos geodésicos do IBGE e os produtos testados são apresentados na Tabela 2. As diferenças entre os dados do IBGE e os do SRTM versão 4.1 foram de, no máximo,13,3 metros. A média das diferenças é de 6,93 metros e o desvio-padrão para a amostra é de 3,32 metros.

As diferenças entre os dados do IBGE e os do TOPODATA foram bastante próximas aos valores encontrados para as diferenças IBGE-SRTM, sendo que a máxima diferença alcançada foi de aproximadamente 12,2 metros. A média das diferenças é de 6,66 metros e o desvio-padrão para a amostra é de 3,16 metros. Portanto, esses dados podem ser considerados, para o conjunto avaliado, um pouco melhores do que os dados SRTM, embora tenha sido observado que há um número expressivo de dados do TOPODATA onde os erros são maiores do que o SRTM. Dos 23 pontos comparados, observou-se que em 10 deles as diferenças IBGE-TOPODATA foram maiores que as diferenças IBGE-SRTM, indicando que a interpolação realizada nos dados TOPODATA também produziu diminuição da acurácia de alguns dados. Esse pode ser um dos motivos das variáveis morfométricas serem ressaltadas quando extraídas do produto TOPODATA, como por exemplo, as declividades acima de 45 graus. Esses resultados devem ser vistos com reservas.

Outra questão que no contexto do presente trabalho pode induzir a resultados enviezados diz respeito à validação de dados de radar (SRTM, GLS2005 e TOPODATA) a partir de marcos geodésicos. Todos os Marcos Geodésicos estão localizados em áreas "limpas", ou seja, sem vegetação arbórea. Dessa forma, é impossível afirmar com segurança se o resultado das filtragens removeu de fato o "efeito dossel" melhorando a acurácia vertical dos dados. Isso porque não há disponibilidade dos dados dos marcos geodésicos em regiões de cordilheiras.



Figura 15 – Visualização dos marcos geodésicos do IBGE sobre o DEM GLS 2005, correspondente à órbita 225 e ponto 074. À esquerda é mostrado o PEPRN e sua ZA. Essa avaliação foi realizada na região envolvida pelo DEM GLS2005. Os números sobre os marcos indicam os identificadores dos mesmos.

A avaliação das diferenças entre os marcos Geodésicos e do DEM GLS2005 apresentou os melhores resultados, com a maior diferença encontrada de aproximadamente 5,8 metros. A média e o desvio-padrão para as diferenças encontradas, em valores absolutos são, respectivamente, 2,33 e 1,50 metros. Portanto, esses dados podem ser considerados melhores do que o SRTM e do que o TOPODATA, para a região avaliada. Esse produto não foi utilizado para derivação de variáveis morfométricas na região do PEPRN e sua ZA porque para a órbita 226, pontos 74 e 75 esse DEM não está disponível.

Tabela 2 - Altitudes dos marcos geodésicos do IBGE e dos *DEMs* GLS2005, *SRTM* e TOPODATA e correspondentes diferenças altimétricas observadas em relação aos marcos. Em cinza, são ressaltados os pontos nos quais as diferenças entre os marcos e o TOPODATA foram maiores do que as encontradas para as diferenças entre os marcos e o SRTM. Os valores foram arredondados para a segunda casa decimal após a vírgula.

ponto	Altitudes				Diferenças		
IBGE	IBGE	GLS 2005	SRTM	TOPODATA	GLS 2005	SRTM	TOPODATA
1	147,37	148,00	139,00	137,74	-0,63	8,37	9,63
2	161,19	167,00	156,00	151,71	-5,81	5,19	9,48
3	623,90	623,00	621,00	622,99	0,90	2,90	0,91
4	175,58	179,00	170,00	166,05	-3,42	5,58	9,53
5	195,34	197,00	182,00	187,48	-1,66	13,34	7,86
6	651,32	655,00	648,00	649,38	-3,68	3,32	1,94
7	122,49	123,00	110,00	110,30	-0,51	12,49	12,19
8	132,81	132,00	121,00	121,14	0,81	11,81	11,67
12	568,20	563,00	557,00	556,76	5,20	11,20	11,44
13	663,93	666,00	661,00	658,98	-2,07	2,93	4,95
14	449,59	453,00	445,00	447,44	-3,41	4,59	2,15
15	437,07	441,00	435,00	434,27	-3,93	2,07	2,80
20	690,52	690,00	682,00	683,23	0,52	8,52	7,29
21	679,79	678,00	672,00	672,44	1,79	7,79	7,35
37	202,16	206,00	199,00	196,45	-3,84	3,16	5,71
38	556,36	558,00	549,00	551,74	-1,64	7,36	4,62
40	302,98	305,00	295,00	297,50	-2,02	7,98	5,48
46	215,35	216,00	207,00	206,76	-0,65	8,35	8,59
50	272,77	270,00	262,00	265,61	2,77	10,77	7,16
51	252,15	256,00	247,00	245,98	-3,85	5,15	6,17
56	534,37	536,00	529,00	529,18	-1,63	5,37	5,19
57	638,60	640,00	634,00	634,62	-1,40	4,60	3,98
59	470,44	472,00	464,00	463,27	-1,56	6,44	7,17

Na Figura 16 é apresentada a distribuição das diferenças encontradas. Como as diferenças IBGE-GLS2005 apresentaram valores positivos e negativos (erros aleatórios), esses foram convertidos para números absolutos para a avaliação quantitativa dessas diferenças. Assim, foi possível observar que essas diferenças são quase sempre bem menores do que as observadas para o SRTM e para o TOPODATA. Já as diferenças IBGE-SRTM e IBGE-TOPODATA apresentaram sempre valores positivos, mostrando que os dados SRTM e TOPODATA estão sempre subestimados em relação aos marcos geodésicos do IBGE (erro sistemático), na região avaliada. Esses dados são consistentes com os obtidos por Ludwig e Schneider (2006). Esses autores avaliaram o MDT extraído do SRTM na banda X. O MDT foi avaliado quanto ao aspecto, à declividade, ao ângulo de incidência local e uso do solo. Eles concluíram que as altitudes são superestimadas nos relevos movimentados e subestimadas nos relevos planos.



Figura 16 - Distribuição das diferenças encontradas entre as altitudes dos marcos geodésicos do IBGE e os três DEMs testados. As diferenças entre os marcos e o GLS 2005 foram convertidos para números absolutos (sem sinal) para a elaboração do gráfico.

## 5.6. Correção dos dados SRTM: Utilização de Filtro Passa-Baixa de Média Móvel Para a Correção do "Efeito Dossel"

Na Figura 17 é mostrada a região de onde foi extraído um dos perfis do SRTM bem como os perfis dos DEMs gerados pela aplicação dos filtros ao SRTM.

Na Figura 18 é apresentado gráfico mostrando o resultado da perfilagem, nessa pequena região no interior do PEPRN.



Figura 17 - detalhe de região no interior do PEPRN mostrando a linha sobre a qual foi extraído o perfil do SRTM e das filtragens realizadas. O sentido dos perfis é de A para A'. Ao fundo, imagem Landsat de 2000, composição: 4=vermelho; 5=verde; 3=azul.





Figura 18 - gráfico dos histogramas de frequência do SRTM original e dos filtros utilizados.

Filtro 3x3 – visualizando o histograma desse filtro sobre o histograma dos dados originais, observa-se geralmente uma pequena redução dos extremos, como esperado. Entretanto, em algumas regiões o filtro aumentou as frequências extremas, como no caso do fundo da vazante maior, na região próxima dos 5160 metros (eixo x do gráfico) e ainda inverteu feições, como próximo do ponto 6182 metros.

Filtro 7x7 – visualizando o histograma desse filtro sobre o histograma dos dados originais, observa-se uma suavização maior ainda, mas também invertendo algumas feições, como próximo do ponto 5996 metros.

Filtro 11x11 – visualizando o histograma desse filtro sobre o histograma dos dados originais, observou-se resultados bastante satisfatórios para a região avaliada no histograma, corrigindo as altas frequências porém mantendo as feições regionais. Embora também tenha invertido uma feição, próximo dos 790 metros, o filtro reduziu bastante as frequências extremas, mantendo boa aderência com as feições observadas na imagem.

Filtro 25x25 – visualizando o histograma desse filtro sobre o histograma dos dados originais, observa-se que houve uma grande redução dos valores extremos, eliminando a textura local do relevo, mantendo apenas "patamares" mais amplos.

Almeida *et al.* (2007), avaliando a utilização de filtros de convolução passa-baixa de média móvel ponderada, concluíram que, se de fato o ruído do tipo *speckle* (interferências construtivas e destrutivas por diferenças de fase) é de fato altamente positivo ou negativo em relação às cotas reais, é necessária a utilização de filtros de relativamente grandes dimensões, pois se essa distribuição for observada em pequena população, esta não será gaussiana e tenderá a criar mais artefatos. Entretanto, a escolha das dimensões do filtro é função da escala de trabalho, ou seja, para abordagem local, é necessária a utilização de filtros de filtros de filtros de dimensões menores, para que as médias frequências sejam preservadas (Almeida *et al.*, 2007).

A Figura 19 apresenta uma região mais ampla. Nessa região, coincidente com a área de estudo, foram extraídos 3 perfis para cada um dos DEMs confrontados. A Figura 20 apresenta gráficos contendo os resultados dessa perfilagem.



Figura 19 - visualização da localização das linhas sobre as quais foram extraídos os perfis altimétricos, a partir do SRTM original e após a aplicação do filtro de passa-baixa de média móvel com janela de 25X25 pixels. Todos os perfis foram orientados de NNE para SSE. Ao fundo, imagem Landsat de 2011, composição: 4=vermelho; 5=verde; 3=azul.

Observa-se na Figura 20 que o relevo mais a oeste (A) é mais plano quando comparado ao perfil C.

A Figura 21 evidencia a redução da interferência do dossel da vegetação, bem como a elevação da altimetria do fundo dos corpos dágua, na geração das curvas de nível, após a aplicação do filtro com janela de 25x25 pixels, preservando o padrão regional de elevação do terreno. Notar aproximadamente no centro da figura, uma isolinha aproximadamente retangular. Isso ocorre em parte devido ao filtro, mas principalmente porque os dados estão em números inteiros e não foram convertidos para ponto flutuante. Dessa forma, o resultado é mais grosseiro.







Figura 20 - Perfis altimétricos das três regiões mostradas na figura anterior. De cima para baixo, é apresentado o perfil da linha A, B e C, respetivamente.



Figura 21 – Isolinhas desenhadas sobre o SRTM a cada um metro de diferença altimétrica, após a aplicação do filtro de média de vizinhança com a janela de 25x25 pixels, para uma região do PEPRN, sobre a imagem Landsat 226/073, de 22 de abril de 2011, composição: 4=vermelho; 5=verde; 3=azul.

A Figura 22 apresenta as curvas de nível desenhadas a cada um metro de diferença de cota. Observa-se o padrão de declividade regional, que foi possível devido à aplicação do filtro com janela de 25X25 pixels. No extremo sudeste da figura observa-se uma "quebra de relevo", entre o Pantanal da Nhecolândia e o Pantanal do Abobral.

O tratamento evidenciou, conforme observa-se na região sudoeste da Figura 22 que a região central do Pantanal do Abobral apresenta-se mais elevada do que as suas bordas.

A Figura 23 apresenta o Mapa Hipsométrico da área de estudo, elaborado sobre o SRTM original e a Figura 24 apresenta o Mapa Hipsométrico elaborado sobre o SRTM após a aplicação do filtro de 25X25 pixels.



Figura 22 - Isolinhas desenhadas sobre o SRTM a cada um metro de diferença altimétrica, após a aplicação do filtro de vizinhança com a operação de média móvel com janela de 25x25 pixels, na região do Pantanal da (baixa) Nhecolândia, evidenciando o padrão de declividade regional.

A aplicação de filtro de média do tipo passa-baixa com o tamanho da janela de vizinhança de 25x25 pixels foi eficiente para suavizar as feições extremas (dossel de vegetação e fundos das lagoas e corpos dágua) mantendo o padrão regional de declividade do terreno. Dessa forma, a partir do DEM resultante desse processo, foi possível identificar as diferenças no relevo, particularmente entre o Pantanal da Nhecolândia e o Pantanal do Abrobral, marcada pelos brejos do Abobral ao sul e pelas Lagoas da Nhecolândia ao norte. Essa diferença pode ser observada tanto nos perfis do modelo de elevação quanto nas curvas de nível traçadas de metro em metro.

Observando-se as Figuras 23 e 24, nota-se que na 24 o padrão de declividade regional é mais nítido, enquanto a Figura 23 apresenta grande dificuldade para observar esse padrão, devido principalmente ao efeito dossel, conforme já comentado.



Figura 23 – Mapa Hipsométrico da área de estudo, elaborado sobre o SRTM original. As faixas foram divididas de 5 em 5 metros. O azul representa as menores cotas (80 a 85 metros) e o vermelho as maiores (101 a 105 metros).



Figura 24 – Mapa Hipsométrico da área de estudo, elaborado sobre o SRTM após a aplicação do filtro de 25X25. As faixas foram divididas de 5 em 5 metros. O azul representa as menores cotas (80 a 85 metros) e o vermelho as maiores (101 a 105 metros).

# 5.7. Avaliação da derivação de variáveis morfométricas após a aplicação do filtro de passa-baixa de média

A Figura 25 apresenta as derivações dos segmentos de fluxo gerados a partir do SRTM sem tratamento e a partir da utilização do filtro utilizado. A escolha desse tamanho de janela também foi em função do tamanho e padrão das formações arbóreas que maximizam esse efeito, ou seja, as formações florestais típicas dessa região, conhecidas como cordilheiras (em tons alaranjados na imagem ao fundo).



Figura 25 – Segmentos de fluxo gerados a partir do SRTM e a partir do filtro com janela de 25x25. Ao fundo, imagem Landsat de 2011, composição: vermelho=b4; verde=b5 e azul=b3.

A Figura 26 apresenta os limites das Bacias Hidrográficas geradas a partir do SRTM sem tratamento e as geradas a partir da aplicação do filtro de passa-baixa com janela quadrada de média de 25x25 pixels de tamanho.

Observa-se, nas figuras 25 e 26, que na região do Abobral os segmentos de fluxo e os divisores das Bacias Hidrográficas apresentaram um padrão aproximadamente retilíneo, indicando a produção de artefatos, o que é previsível devido à declividade extremamente baixa aliado ao fato de os dados do SRTM estarem em números inteiros, ou seja, são consideradas altitudes apenas de metro em metro, mas as diferenças reais aí encontradas são inferiores a esses valores. Ademais, aí os divisores de drenagem não estão, de fato, sempre

nos mesmos locais, já que dependem das características das enchentes.

A despeito disso, observa-se uma consistência geral entre as variáveis morfométricas extraídas do SRTM e após a aplicação do filtro de 25X25 pixels.



Figura 26 – Limites das bacias hidrográficas gerados a partir do SRTM e a partir do filtro com janela de 25x25. Ao fundo, imagem Landsat de 2011, composição: vermelho=b4; verde=b5 e azul=b3.

### 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A avaliação das mudanças ocorridas na cobertura do solo do PEPRN entre a data de criação e o ano de 2011 e a comparação com as mudanças ocorridas também na sua Zona de Amortecimento permitiram identificar se e onde está havendo supressão vegetal das formações arbóreas nas cordilheiras, um dos principais impactos antrópicos ocorrentes na região de estudo, para a formação de pastagens com capins exóticos, geralmente a braquiária humidícola, por sua relativa resistência ao encharcamento temporário.

A comparação das mudanças no Parque e em conjunto com a sua ZA permitiu mostrar que a despeito do desflorestamento no entorno do Parque ainda ser relativamente pouco expressivo, foi possível identificá-lo, ao menos aqueles que produziram mudanças mais drásticas e de áreas maiores do que 25 hectares. Inclusive identificando regiões onde o acesso é impossível a partir de veículos terrestres, durante praticamente todo o ano, como no Brejão da região do Abobral, conforme mostrado na Figura 14. Portanto, identificou-se os impactos quando eles ainda estão num patamar relativamente baixo. A partir dessas informações, é possível tomar medidas gerenciais para a correção dos problemas encontrados e dessa forma agir efetivamente para a conservação desse magnífico santuário ecológico.

Um dos aspectos mais notáveis da região de estudo, em especial no interior do Parque e que foi ressaltado nesta avaliação é em relação às áreas alagadas. Embora a cheia do ano de 2011 foi bem maior do que a de 2000, observou-se que naquele ano havia áreas alagadas e que em 2011 não estavam e vice-versa. Isso indica que embora quantitativamente as áreas alagadas mudem pouco entre as cheias, os locais que são alagados mudam expressivamente entre as cheias e durante o pulso de inundação. Esses dados devem ser vistos com cautela, devido principalmente ao fato de as nuvens presentes na cena de 2011, na ZA do Parque, não terem sido descontadas para os cálculos das alterações. Esse padrão já havia sido identificado nessa região por Lemos *et al.* (2011).

A metodologia mostrou-se simples, eficaz, rápida e barata para a execução dessas tarefas. Certamente apenas isso não é suficiente para o bom gerenciamento do Parque, mas certamente trouxe informações muito importantes ao manejo da UC. A partir das soluções apresentadas para o monitoramento das mudanças na cobertura do solo, facilmente é possível gerar um modelo automatizado para todas as tarefas. A única etapa que ainda não pode ser automatizada é a etapa do georreferenciamento das imagens, que demanda experiência do usuário, e que necessita de uma aderência excelente para evitar erros de interpretação das

mudanças. Essa etapa é crucial para a obtenção de bons resultados.

Vários autores tem demonstrado a importância da utilização de Sistemas de Informações Georreferenciadas como ferramenta de suporte ao gerenciamento de Unidades de Conservação (CARRIJO, 2005). Entretanto, até recentemente o custo das licenças de *software*, somado ao custo dos dados e informações de Sensoriamento Remoto tornavam esse trabalho bastante oneroso, tornando impossível o monitoramento adequado e regular dos recursos naturais no âmbito do Governo do Estado de MS.

Dos 4 programas de SIG utilizados, dois deles já são projetos oficiais da The Open Source Geospacial Foundation – OSGeo – uma organização sem fins lucrativos cuja missão é apoiar o desenvolvimento de programas geoespaciais em código aberto e disseminar sua utilização (OSGEO, 2011). São o GRASS e o Quantum GIS. O GVSIG é um projeto em incubação, na OSGEO. Em termos práticos e no contexto desse trabalho, isso significou uma facilidade muito grande para reunir as tarefas de produção cartográfica e elaboração da apresentação final dos mapas. Elaborando os layouts com QGIS a partir das informações contidas em bancos de dados do GRASS, não é necessária a tradicional tarefa de exportação/importação. Ao contrário desses softwares, no SPRING esse é um problema importante, porque esse programa altera indevidamente as tabelas de atributos dos arquivos vetoriais, por exemplo, mesmo quando é exportado um arquivo e importado novamente para o mesmo software, no formato shapefile. Além disso, mas não menos importante, é bem conhecida a impossibilidade de leitura de vários formatos de SIG por esse software, notadamente em relação a formatos proprietários muito utilizados, como os arquivos do Autocad (dwg), por exemplo. Esses resultados encorajam fortemente a optar por soluções apoiadas pela OSGeo, pois como são projetos que trabalham independentemente, mas de forma coordenada, devem prover programas mais robustos. Foi o que verificou-se. Além das comentadas, há inúmeras outras soluções para aplicações corporativas, que extrapolam os objetivos aqui delineados, indicando que esse deve ser um caminho seguro para aplicações profissionais na área. Entretanto, isso não significa, ainda, que todos esses programas são estáveis e robustos. Em relação ao GRASS, não observamos nenhum "bug" ou erro na execução dos algoritmos, mas o QGIS e o GVSIG ainda apresentam vários problemas na execução das rotinas. Isso em grande parte pode ser creditado ao fato de serem programas novos. Uma das questões importantes que deve ser considerada na opção por SIGs Livres é em relação à atividade da comunidade de programadores, ou seja, comunidades muito ativas

devem prover muitas atualizações, o que encoraja o uso de programas providos por comunidades com essas características, já que assim os programas devem evoluir mais rapidamente, bem como os problemas tendem a ser eliminados.

Outro aspecto que merece comentários, notadamente para o monitoramento ambiental, é a atual política do Governo dos Estados Unidos da América de disponibilização gratuita das imagens dos satélites Landsat. Essa constelação de satélites tem gerado imagens sobre os recursos naturais desde 1972. Para isso, certamente colaborou o INPE e os governos brasileiro e Chinês, quando optaram pela produção e disponibilização gratuita dos produtos do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres – CBERS – inicialmente competindo com o Programa Landsat, que na época de disponibilização das primeiras imagens do CBERS-1 tinham custos expressivos. Atualmente basta vontade política e investimentos em capacitação continuada na área das Geotecnologias Livres para o atendimento das necessidades governamentais de monitoramento dos recursos terrestres, especialmente para o gerenciamento das Áreas Protegidas. Atualmente, o Governo do Estado de Mato Grosso do Sul está finalizando, junto com vários parceiros, o mapa de vegetação para o Estado, relativo ao ano de 2007, que passará a ser utilizado em 2011 ou 2012, segundo as previsões extra-oficiais. Isso resulta num atraso de 4 a 5 anos entre a produção e disponibilização das informações e o tratamento das mesmas. Dessa forma, a presente metodologia fornece uma alternativa ao monitoramento da cobertura do solo vigente no âmbito do Estado, em tempo e equipe reduzidos, desde que essa equipe seja devidamente capacitada para tal fim. Evidentemente a presente metodologia não prevê um monitoramento completo do meio ambiente, mas permite uma visão sinóptica e holística das mudanças no ambiente e separa as principais alterações naturais das antrópicas.

Em relação à utilização do SRTM para a derivação de variáveis morfométricas na área estudada, a filtragem realizada, mesmo não sendo a média ponderada, e mesmo os números sendo inteiros, os resultados pareceram animadores. Dessa forma, essa pode ser uma forma possível de correção do efeito dossel, mas esse tipo de procedimento não deve ser extrapolado para outras áreas com características distintas sem as devidas considerações.

# 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDON, M. M. *et al.* Cobertura vegetal do Parque Estadual Pantanal do Rio Negro (PEPRN) – MS. In:Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, II., 2009, Corumbá. Anais.... São José dos Campos: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009, p.674-84.

ALMEIDA *et al.* Distribuição Espacial de Diferentes Classes de Lagoas no Pantanal da Nhecolândia, MS, a Partir de dados vetoriais e SRTM: uma Contribuição ao Estudo de Sua Compartimentação e Gênese. **Revista do Instituto de Geociências – USP.** Vol. 7, n. 2. pp. 95-107. Outubro, 2007.

ANA.RedeHidrográficaCodificada.Disponívelem:<<u>http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/solicitacaoBaseDados.asp</u>>.Acessoem:03ago2011.

ANA. Implementação de Práticas de Gerenciamento Integrado de Bacia Hidrográfica para o Pantanal e Bacia do Alto Paraguai. ANA/GEF/PNUMA/OEA: Programa de Ações Estratégicas para o Gerenciamento Integrado do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai: Síntese Executiva / Agência Nacional de Águas – ANA. – Brasília: TODA Desenho & Arte Ltda. 64p. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/ProgramasProjetos/docs/Sintese\_Pantanal\_Port.p df>. Acesso em 04 ago 2011.

BRASIL. Constituição, 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil, 1998.** São Paulo: Ed. Revista dos Tribunais, 1989.

BRASIL.Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC):Lei nº9.985,de18dejulhode2000.Disponívelem :<<a href="https://www.planalto.gov.br/ccivil\_03/leis/19985.htm">https://www.planalto.gov.br/ccivil\_03/leis/19985.htm</a> Acesso em 02 ago 2011.

CÂMARA, G. et al. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS by Object Oriented Data Modelling. Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, 1996.

CARRIJO, M. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental: O Caso do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari - MS.** Campo Grande, 2005. 97p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO *BROFFICE*. *BrOffice*, versão 3.3. ASSOCIAÇÃO BROFFICE.ORG. Disponível em: <<u>http://www.broffice.org/</u>>. Acesso em: 02 ago 2011.

FAR *et al. The Shuttle Radar Topography Mission*. *Reviews of Geophysics, RG2004.* Vol, 45. p.1-33. 2007.

*GRASS DEVELOPMENT TEAM. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 6.4.1. Open Source Geospatial Foundation, 2010.* Disponível em: <<u>http://grass.osgeo.org</u>>. Acesso em: 02 ago 2011. *GVSIG DEVELOPMENT TEAM. GvSIG, versão 1.11. GvSIG Association.* Disponível em: <<u>http://www.gvsig.org/</u>>. Acesso em: 02 ago 2011.

HAYAKAWA, E. H.; PRADO, B. R.; TAVARES JÚNIOR, J. B.; SOUZA FILHO, E. E.; COUTO, E. V. Avaliação multitemporal da planície de inundação do Alto Rio Paraná (região de Porto Rico – PR) através de classificação supervisionada e não supervisionada de imagens Landsat-5/TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5865-5872. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15898-PRE/10508). Disponível em: <<u>http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.12.20</u>>. Acesso em: 02 ago. 2011.

HIGA, L. T. *et al.* Avaliação da precisão vertical do modelo SRTM para a bacia do rio Paraguai, no Estado de Mato Grosso do Sul. *In:* 1º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL, 2006, Campo Grande. Anais...São José dos Campos, SP:INPE, 2006, p. 834-840.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Manual Técnico de Pedologia. **Série Manuais Técnicos em Geociências**, número 4, 2ª Ed., Rio de Janeiro, 2007. 316 pp. Disponível em: <<u>ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursosnaturais/pedologia/manual\_tecnico\_pedologia.p</u> <u>df</u>>. Acesso em: ago 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Banco de Dados Geodésicos.** 2010. Disponível em:

<(<u>http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/bdgpesq\_googlemaps.php#tabela\_dado</u> <u>s</u>)>. Acesso em: jan 2011.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL – IMASUL. **PLANOS DE MANEJO**. Disponível em : <<u>http://www.imasul.ms.gov.br/planosmanejos.php</u>>. Acesso em: 27 ago 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Catálogo de Imagens de Satélite.** 2011. Disponível em: <<u>http://www.dgi.inpe.br/CDSR></u>. Acesso em: jun 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE.Banco de DadosGeomorfométricosdoBrasil.2008.Disponívelem:<<u>http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/geotiff/></u>.Acesso em: jan 2011.

JARVIS, A., et al. Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database. 2008. Disponível em: <<u>http://srtm.csi.cgiar.org</u>>. Acesso em: jan 2011.

LEMOS, V. B. *et al.* Uso dos sensores WFI/CBERS-2B e MODIS/AQUA no estudo das áreas inundáveis no Pantanal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1863-1870. DVD, On-Line. Disponível em: <<u>http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1094.pdf</u>>. Acesso em: 02

ago. 2011.

LUDWIG, R.; SCHNEIDER, P. Validation of digital elevation models from SRTM X-SAR for applications in hydrologic modeling. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 60, p. 339-358, 2006.

MARQUES et al. Comparação entre os modelos de elevação SRTM, TOPODATA e ASTER na delimitação automática de rede de drenagem e limite de bacia hidrográfica. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XV, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011, p. 1271- 1278.

MATO GROSSO DO SUL. Atlas multirreferencial do Estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, SEPLAN, 28p., 1990.

MATO GROSSO DO SUL. Diário Oficial de MS. **Decreto nº 9.941 de 5 de Junho de 2000.** Cria o Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro. 2000. Disponível em: <<u>http://ww1.imprensaoficial.ms.gov.br/pdf/DO5279 06 06 2000.pdf</u>>. Acesso em: 04 ago 2011.

MATO GROSSO DO SUL. Diário Oficial de MS. *Decreto nº 12.672, de 8 de dezembro de 2008. Regulamentação da Zona de Amortecimento do PEPRN. 2008a. Disponível em :* <<u>http://ww1.imprensaoficial.ms.gov.br/pdf/DO7357\_09\_12\_2008.pdf</u>>. *Acesso em: 04 ago 2011.* 

MATO GROSSO DO SUL. **Resumo Executivo do Plano de Manejo do Parque Estadual do Pantanal do Rio Negro.** Campo Grande, IMASUL, 68p., 2008b.

MOREIRA, E. S. Aplicação de Geotecnologias como Subsídio ao Zoneamento Físico do Meio: Estudo de Caso em Seis Municípios de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2011. 108p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

*OSGEO.* **Open Source Geospatial Foundation.** Sítio da Fundação. Página "Sobre a Fundação". Disponível em: <<u>http://www.osgeo.org/node/263</u>>. Acesso em: 05 ago 2011.

PCBAP. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai**. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. *In*: Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai. Programa Nacional do Meio Ambiente – PNMA. 1997.

*QUANTUM GIS DEVELOPMENT TEAM. Quantum GIS Geographic Information System, Version* 1.7.0 . *Open Source Geospatial Foundation.* 2009. Disponível em: <<u>http://qgis.osgeo.org</u>>. Acesso em: 02 ago 2011.

RODRIGUEZ, E.; MORRIS, C. S.; BELZ, E. A Global Assessment of the SRTM Performance. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.** Vol. 72, n. 3. pp. 249-260. *March*, 2006.

VALERIANO, M. M. TOPODATA: Guia de Utilização de Dados

**Geomorfométricos Locais**. São José dos Campos, SP. 2008. Disponível em: <<u>http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/guia\_enx.pdf</u>>. Acesso em: 02 ago 2011. VALERIANO, M. M.; ABDON, M. Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. **Revista Brasileira de Cartografia,** N. 59/01, p. 63-71, Abril. 2007.

ZYL, J. J. Van. *The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): A Breakthrough in Remote Sensing of Topography. Acta Astronautica*, Vol. 48, n. 5-12. pp 559-565. 2001.

Nota: SPRING ® é marca registrada do INPE, Autocad ® é marca registrada da Autodesk ®.