

Avanços das pesquisas e aplicações de sensoriamento remoto no monitoramento da paisagem: contribuições aos estudos do Pantanal

João Roberto dos Santos

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT
Av. dos Astronautas, 1758 12.227-010 São José dos Campos, SP.
jroberto@dsr.inpe.br

Resumo. As ferramentas de sensoriamento remoto (RS), muitas vezes em conjunto com sistemas de informações geográficas (GIS), têm sido importantes para o mapeamento e monitoramento de vários ecossistemas, contribuindo efetivamente com as atividades de planejamento e fiscalização dos recursos naturais nele contidos. Considerando a diversidade de dados sensoriados disponíveis (em termos de características espectral, radiométrica, temporal e espacial, torna-se sempre importante estar atualizado nos procedimentos de extração de informações. Nesse contexto, esse trabalho faz uma síntese das pesquisas e aplicações atuais do uso dessas ferramentas tecnológicas em sensoriamento remoto, como mecanismo de acompanhamento das condições da paisagem e de sua dinâmica, perante os processos decorrentes da ação humana que nela atuam. Experiências demonstrando certas aplicabilidades de produtos e técnicas avançadas de análise dos dados sensoriados, que podem ser utilizadas nos estudos do Pantanal são mostradas, tornando possível uma rápida atualização de conhecimento aos usuários que trabalham no citado ecossistema.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, inventário, monitoramento, Pantanal.

Abstract. Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) techniques are important tools to map and monitor ecosystems, contributing to improve planning and control procedures of its natural resources. Taking into account that there is a large amount of remote sensing data (referring to its spectral, radiometric, temporal and spatial characteristics) it is very important to be always updated about the procedures for information extraction. In this frame, this work presents a synthesis of the current research and application on the use of these technological tools, as an instrument to verify the changes of landscape conditions, considering the processes caused by human intervention. In this paper we present experiences on the use of remote sensing products and techniques which could be used at the Pantanal, allowing a faster update of knowledge for the users of these tools.

Keywords: remote sensing, inventory, monitoring, Pantanal.

1. Introdução

Os ferramentais de Sensoriamento Remoto (SR), subsidiados por Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), têm demonstrado eficácia no suprimento de informações atualizadas às necessidades de mapeamento e monitoramento dos ecossistemas brasileiros, contribuindo sobremaneira com as formas de controle e fiscalização, no contexto da política ambiental regida pelos órgãos governamentais. Essa potencialidade, com investigações continuadas de uso de produtos e técnicas de SR, pode ser tratada sob duas visões técnicas: (1) a primeira, direcionada a análise de determinado ecossistema, cujos levantamentos visam conhecer mais detalhadamente os recursos nele contidos, com finalidade preservacionista ou de manejo sustentável, naquelas áreas onde a atuação humana muito pouco se fez presente; (2) destinada ao acompanhamento de processos tradicionais de degradação do ambiente, derivados de acelerados níveis de desmatamento e queimadas, com a conversão do habitat natural em extensas áreas agrícolas e de pastagem implantada, algumas vezes sem técnicas adequadas à manutenção de uso, tendo como resultante uma considerável perda de biodiversidade, fragmentação dos habitats, perda de condições edáficas e hídricas, algumas vezes com significativo grau de assoreamento. A partir desses fatos mencionados, levando em conta a necessidade de atualização da comunidade que lida com os estudos do Pantanal, esse artigo vem demonstrar o estágio atual e perspectivas da aplicabilidade dos produtos e técnicas de extração e manipulação de dados derivados da tecnologia de sensoriamento remoto, dentro de uma linha de raciocínio que considera a disponibilidade de dados em nível aerotransportado e orbital. Tais avanços do SR estão sintetizados nesse artigo, ilustrado com experiências diversas, fomentadas por uma especializada referência bibliográfica, que contempla variados produtos e técnicas, tanto no domínio de conhecimento nacional como internacional e que podem ser norteadores de uso específico para os domínios do Pantanal.

2. Síntese da problemática ambiental do Pantanal

O Pantanal é constituído por uma planície sedimentar com cerca de 150.000 Km², inserido na bacia do Alto Rio Paraguai (360.000 Km² em território brasileiro, que além dessa zona pantaneira dispõe ainda de planaltos adjacentes onde estão localizadas as nascentes dos rios que compõem esse específico ecossistema. Um dos formadores dessa área pantaneira é o Rio Taquari, cujo leque aluvial corresponde a 36% do Pantanal. De acordo com Santos e Crepani (1993), Galdino e Vieira (2005), três são os compartimentos geomorfológicos que constituem o percurso desse rio: o primeiro, compreende as áreas do planalto drenado, com alto poder de erosibilidade e transporte de sedimentos, sobretudo pelo uso intensivo das terras; o segundo,

há um meandramento numa planície de inundação restrita, com processos erosivos nas margens de formação côncava e condições de deposição na parte convexa do rio, retrabalhando os sedimentos depositados; o terceiro conhecido como baixo Taquari, demonstra perda do poder de erosão e transporte de sedimentos, dando origem a uma ampla faixa de depósitos aluviais, formando um delta a jusante. A intensidade e distribuição espacial de inundação dessa Planície do Baixo Taquari está associada aos níveis do regime hidrológico, de características sazonais, com alternância de períodos plurianuais de seca e cheias, na região e também, ao micro-relevo da área. A rápida expansão das atividades agrícola e pecuária na Bacia do Alto Paraguai, muitas vezes não adotando práticas conservacionistas do solo, tem como resultantes a intensificação da erosão laminar e do assoreamento, a contaminação com biocidas da rede hidrográfica e alterações limnológicas, a remoção de matas ciliares, dentre outros fatores, constituindo-se numa continuada vertente de alteração da estrutura e biodiversidade desse ecossistema pantaneiro. Em resumo, no entendimento desse quadro que ilustra o impacto das atividades humanas sobre os elementos naturais desse ecossistema, recomenda-se observar o trabalho de Silva et al (2005), que dimensionam e analisam as porções territoriais quanto ao uso da terra e seus impactos, tendo como uma das fontes primárias de informação, o uso de dados sensoriados.

3. Sensoriamento remoto e seus avanços como mecanismo de observação da paisagem pantaneira.

Para se efetivar uma análise das condições de determinado ecossistema é necessário, inicialmente, dispor de elementos de observação que possam expressar as características temporais e espaciais dos fenômenos que atuam sobre os alvos e as suas causas decorrentes, muitas resultantes do processo antrópico. Em passado recente, produtos decorrentes de sensores de baixa resolução e alta temporalidade, como o do AVHRR/NOAA, com 1 Km de resolução espacial eram amplamente utilizados na geração de índices de vegetação para análise da degradação ambiental (Meirelles et al., 2004), indicar os focos de calor decorrentes do processo de queima (Abdon et al., 1995) e até mesmo, indicar o avanço do desflorestamento (Mantovani e Amaral, 1995), sem contudo, precisar de uma melhor acurácia no que se refere a definição em área de alguns desses fenômenos. Com o advento de sensores MODIS/TERRA e AQUA, de resolução um pouco mais refinada (250m), de significativa temporalidade e uma variedade de imagens-produto, essa questão de monitorar as mudanças na paisagem, quer por alterações fenológicas numa escala perceptível pelo sensor, quer pelos processos de derrubada e queima, se tornaram mais eficientes. Isso fica comprovado pela estruturação de um importante projeto denominado DETER (<http://www.obt.inpe.br/deter/index.html>). Muito recentemente, utilizando esse tipo de imagens MODIS, a organização Conservação Internacional do Brasil realizou um levantamento das áreas desmatadas no Pantanal, indicando que 17% da cobertura vegetal original daquele ecossistema foram destruídos (<http://www.poconeonline.com/>). Com a disponibilização da série de produtos MODIS, de elevada frequência de aquisição, torna-se necessário dispor de procedimentos metodológicos mais refinados, principalmente, quando se trata das imagens EVI ou NDVI, como demonstram: Pardi Lacruz e Santos (2006) em estudos de corredores ecológicos utilizando análise harmônica para tratar séries temporais de dados sensoriados; Anderson et al.(2005) na temática de caracterização de desflorestamentos; Ratana et al (2006) nas questões de acompanhamento fenológico da cobertura vegetal nos domínios amazônico e dos cerrados. No caso específico dessa nova abordagem via análise harmônica, tratando-se séries sucessivas de imagens, é possível representar uma função

complexa como a somatória de ondas (termos) senoidais e cossenoidais, onde cada onda é definida por um valor único de amplitude e de fase (Jakubauskas et al., 2001). O comportamento dos parâmetros da análise harmônica (amplitude e ângulo de fase) em estudos da paisagem é indicativo do tipo e magnitude de mudança que está ocorrendo na área (Figura 1).

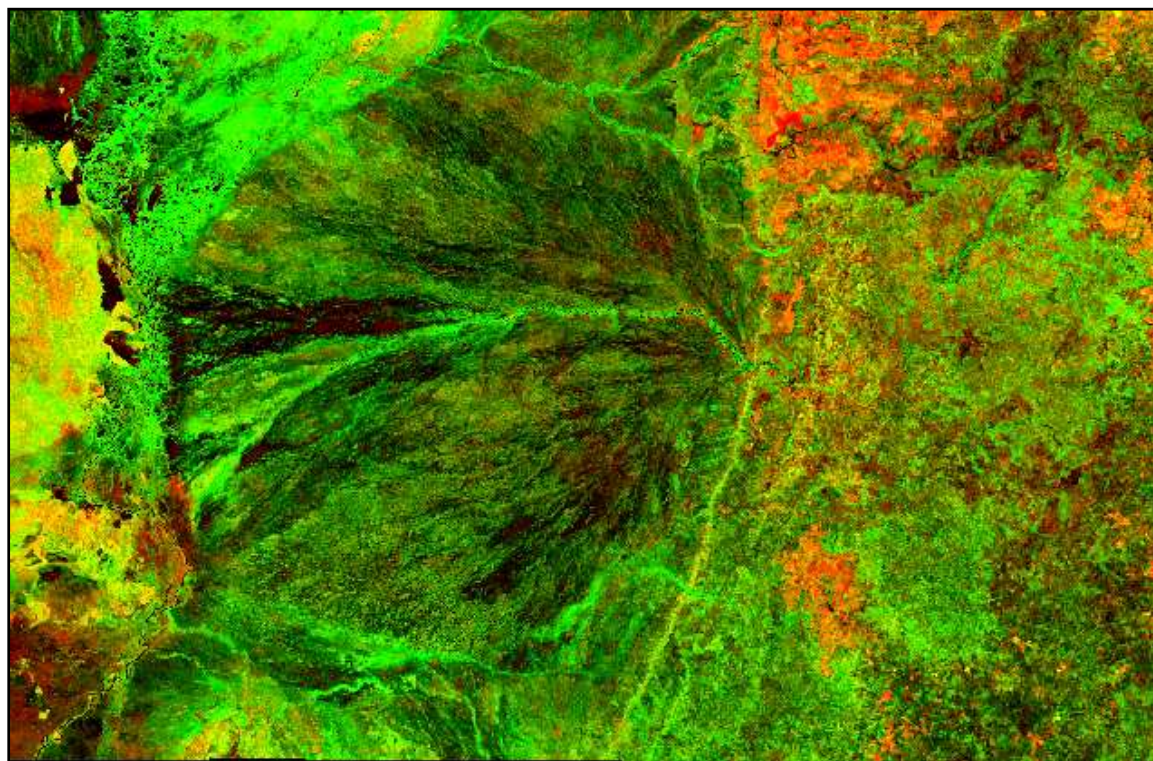


Figura 1. Aspecto do leque aluvial do Rio Taquari a partir de imagens MODIS, numa composição colorida da amplitude (1 harmônico) (R) e o termo aditivo (G).

No tema de caracterização de fitofisionomias e suas variações fenológicas, utilizando-se imagens numa escala de melhor resolução (por exemplo, do TM/Landsat ou HRV/SPOT), podem-se citar como experiências pioneiras no Pantanal o trabalho de Abdon e Silva (1995). Nessa linha de aplicabilidade, mas com imagens recentes do CCD/CBERS-2, Giraldelli e Paranhos Filho (2006) avaliaram a relação entre variáveis estruturais de fitofisionomias do bioma cerrado (região de Coxim-MS) e valores de NDVI. Com a disponibilização dos dados da série CBERS (Figura 2) tornou-se necessário o desenvolvimento de novas abordagens, que inclusive permita a comparação/integração com outros dados multi-sensores, de radiometrias distintas, mas de bandas espectrais correlatas, sobretudo na aplicabilidade destinada a detecção de mudanças de uso e cobertura da terra, o que seria uma significativa contribuição ao monitoramento do Pantanal. Aproveita-se para relatar então, uma nova técnica fundamentada em rotação radiométrica controlada por eixo de não-mudanças, desenvolvida por Maldonado (2004), conforme reportada por Santos et al. (2005), cuja fundamentação baseia-se numa transformação linear, que gera uma rotação dos eixos ortogonais do espaço de atributos radiométricos das imagens (de uma mesma banda espectral em datas diferentes), em relação ao eixo formado pela reta de regressão dos pontos rotulados no campo como não-mudança. Este eixo descreve a correlação entre os pixels de não-mudança nas imagens da primeira e segunda data. Uma vez gerada tal imagem detecção através de formulações matemáticas específicas, efetua-se um fatiamento e rotulação com 4 limiares dessa nova imagem, permitindo assim, a estratificação do espaço de atributos espectrais em 5

classes temáticas: duas de degradação, duas de regeneração e uma de não-mudança. Na configuração do fatiamento, a moda máxima da distribuição de frequência dos pixels representa o centro das classes de não-mudança entre datas; a partir do valor da moda (centro da classe de não-mudança), consideram-se como mudanças na paisagem valores da ordem de 1 e 2 desvios-padrão de distância, respeitando-se como condição de estratificação, uma restrição de simetria entre limiares de classes de degradação ou recuperação. A magnitude da mudança radiométrica entre datas indica como sub-classes de recuperação aquelas áreas da imagem-diferença situadas em valores de distância menores que aquele da moda, na área que representa a categoria de não-mudança. Por outro lado, valores de distância maiores que a moda irão representar as sub-classes de intensidade de degradação. Uma área no Mato Grosso, de intensa diversidade temática, serviu de sítio investigativo, onde houve a integração de informações derivadas de imagens ASTER/TERRA e CCD/CBERS-2 para estabelecer o tipo e a intensidade das mudanças.



Figura 2. Aspecto parcial da depressão pantaneira com as zonas de planalto limítrofes, vistas através de imagem CCD/CBERS-2.

Num outro patamar de investigação e que já vem trazendo resultados promissores tem-se os dados LIDAR (Light Detection and Ranging), que estão cada vez mais sendo tratados pela comunidade técnico-científica para poder disponibilizar aos usuários uma nova ferramenta de levantamento de questões ambientais. No espaço de mensurações tri-dimensionais da estrutura florestal, por exemplo, têm-se as referências de LIM et al. (2003) e Loos e Niemann (2006). O espectro de aplicação do LIDAR é cada vez mais diversificado nos estudos de ecossistemas, desde estimativas do conteúdo de umidade, até a elaboração de modelos digitais de superfície (DSM) e modelos de elevação do terreno (DTM), conforme ilustrados na Figura 3 (Rombach et al., 2006), permitindo inclusive avaliar o tipo de degradação em ambientes florestados, como demonstram ZHANG et al. (2006) em áreas de manguezais. WATT et al. (2004) avaliam as variações nas predições da altura de povoamentos florestais

derivadas de dados LANDSAT/ETM+, IKONOS e LIDAR, fazendo ainda uma análise da relação das informações LIDAR com aquelas mensurados em trabalho de campo. Estudos como o monitoramento do corte de árvores, a determinação do crescimento da floresta e mesmo detecção de mortalidade de árvores no dossel, são experiências LIDAR reportadas por Andersen et al. (2005).

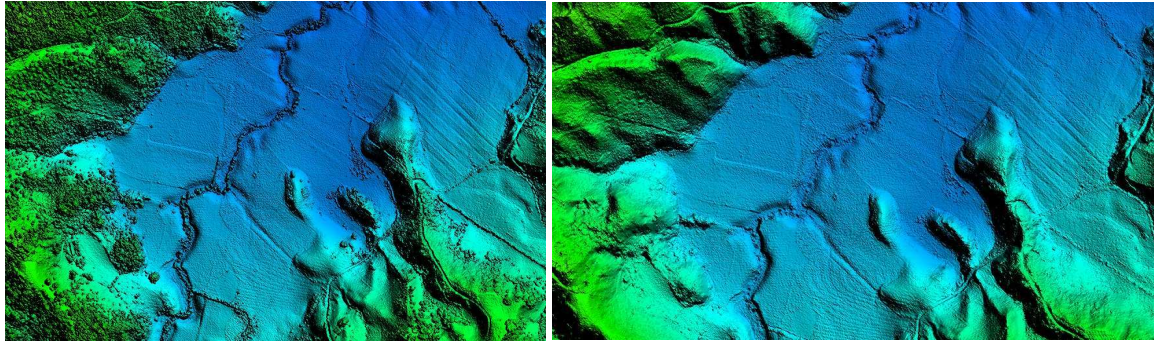


Figura 3. Configurações derivadas de um sub-sistema LIDAR ilustrando as variações do DSM e DTM da paisagem. Cortesia: Digimapas Chile.

Estudos também recentes que integram dados de radar, na sua forma PolInSAR, com dados LIDAR para estabelecer a modelagem dos parâmetros biofísicos que modelam a estrutura florestal em 3-D e por conseguinte, um melhor entendimento volumétrico ou de biomassa, podem ser encontrados nos trabalhos conduzidos por Treuhaft et al. (2006) e Kenyi et al (2006). Esse último trabalho citado reporta, inclusive, a experiência de integração com dados do SRTM, cujas experiências nesse tipo de dados já vêm sendo tratadas no Pantanal (Valeriano e Abdon, 2006), ao analisarem o modelo de elevação e suas variações topográficas (Figura 4), desdobrando-as em componentes que mostram relação com a estrutura da vegetação dessa região, sugerindo o potencial destes dados SRTM como subsídio para levantamentos fitofisionômicos nesta área. Outra importante experiência nessa questão do entendimento da estrutura topográfica, especificamente para o leque aluvial do Rio Taquari, mas com dados temporais do sensor MMRS do satélite argentino SAC-C, foi realizada por Padovani et al.(2005), com a elaboração de modelos tridimensionais das informações hipsométricas e a distribuição da malha de drenagem formadores desse leque aluvial. Esforços de monitoramento em nível global acerca da dinâmica das terras úmidas, para quantificar o efeito da sazonalidade e a extensão da inundação, têm incluído dados de microondas com medidas derivadas de sensores no visível e infravermelho, conforme mencionado por Prigent et al. (2001). No caso específico de imagens SAR, Smith (1997) comenta que múltiplas frequências e polarizações são requeridas para a discriminação temática em ambientes inundados. Na ausência desses multi-parâmetros SAR, deve haver um sinergismo de uma única polarização com dados do visível/infravermelho, sobretudo de sensores de alta resolução para o delineamento dessas áreas de inundação.

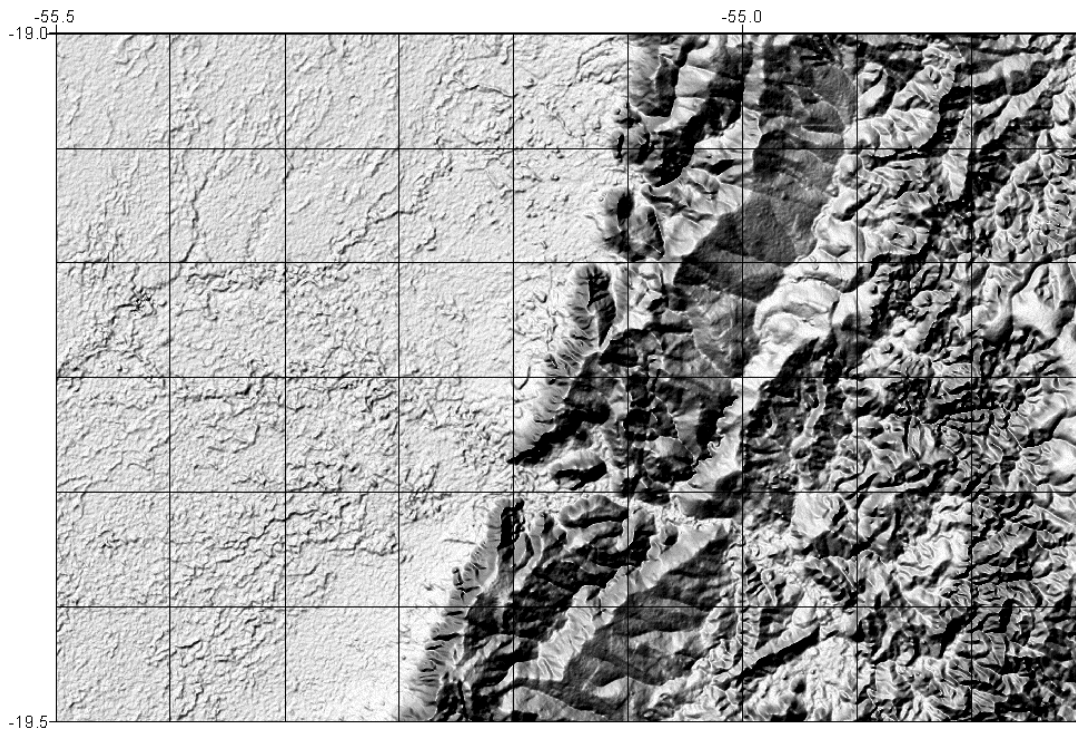


Figura 4. Aplicabilidade dos dados SRTM para a componente geomorfométrica de relevo. Fonte: Valeriano e Abdon (2006).

Uma outra fonte de dados sensoriados é aquela proveniente de imagens coloridas de alta resolução obtidas em nível aéreo, principalmente aquela do tipo “*pushbroom*” que se caracteriza por uma imagem contínua, gerada a partir de um arranjo linear de sensores (Silva e Gallo, 2006). Tais imagens de elevado nível de resolução são radiometricamente superiores aquelas obtidas por câmaras convencionais. Exemplos dessa qualidade informativa pode ser observada na Figura 5, em produtos de alta resolução nos modos visível e do infravermelho (Rombach et al., 2006).

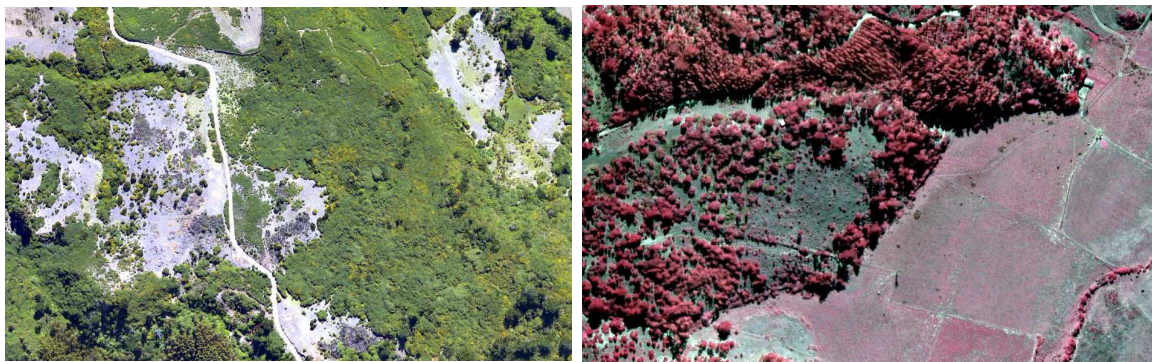


Figura 5. Orto-imagem em composição colorida derivada de bandas no visível (a) e do infravermelho (b) com pixel de 0,5m de resolução. Cortesia: Digimapas Chile.

Com o avanço tecnológico, são necessárias novas técnicas interpretativas para viabilizar o delineamento temático da paisagem, sobretudo com imagens de alta resolução, passando do uso da tradicional técnica de análise de mistura espectral, com capacidade de análise intra-pixel, em dados sobretudo de média resolução, para o uso de algoritmos de tratamento baseados em segmentação hierárquica e classificação orientada a objetos.

4. Conclusões

Nesse assunto de SR&GIS voltado ao maior conhecimento do Pantanal, fica evidente que essa síntese dos rumos técnico-científicos atuais tomados não se esgota com as referências ora citadas, mas é certo que o significativo material aqui encontrado serve de ponto de partida para uma atualização de conhecimentos, que possam suportar o inventário e a gestão continuada desse ecossistema. Os produtos sensoriados, sobretudo aqueles que permitem caracterizações em 3D onde se pode extrair informações de certos parâmetros, têm uma significativa contribuição nos variados propósitos do levantamento temático pantaneiro. Desde a contribuição no planejamento e economia local, até nos domínios da ecologia, cujo conhecimento acerca da avaliação das condições de fragmentação do habitat natural, a cronologia do assoreamento e seus conseqüentes impactos, como simples exemplos, tornam esses ferramentais integrados das geotecnologias (SR&SIGs), necessários aos gestores que lidam com o meio ambiente.

5. Referências

- Abdon, M.M.; Silva, J.S.V.; Fernandes, A.E. Detecção de queimadas do Alto Paraguai através de dados do NOAA/AVHRR. In: Encontro sobre sensoriamento remoto aplicado a estudos no Pantanal, 1., Corumbá-MS., 9-12 out., 1995. Anais.
- Andersen, H.E.; McGaughey, R.J.; Reutebuch, S.E. Estimating forest canopy fuel parameters using LIDAR data. *Remote Sensing of Environment*, v.94, p. 441-449, 2005.
- Anderson, L. O ; Shimabukuro, Y. E. ; Defries, R. S. ; Morton, D. Assessment of Deforestation in Near Real Time Over the Brazilian Amazon Using Temporal Fraction Images Derived From Terra MODIS. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, v. 2, n.3, 2005.
- Galdino, S.; Vieira, L.M. A bacia do rio Taquari e seus problemas ambientais e socioeconômicos. In: Sergio G.; Luiz, M.V.; Luiz Alberto P. (Ed. Tec.). *Impactos ambientais e socioeconômicos na bacia do Rio Taquari-Pantanal*. Corumbá: EMBRAPA Pantanal, 2005. p. 29-43.
- Giraldelli, G.R.; Paranhos Filho, A.C. Relação entre variáveis estruturais do habitat e o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) em três tipos de habitat de cerrado na Fazenda Diamante, Coxim-MS. In: *Simpósio de geotecnologias no Pantanal, 1. Campo Grande (MS), 11-15 nov., 2006. Anais [CDROM]*.
- Jakubauskas, M.E.; Legates, D.R.; Kastens, J.H. Harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 67, n 4, p. 461-470, 2001.
- Kenyi, L.; Dubayah, R.; Hofton, M.; Hyde, P.; Blair, J. B. Comparison of forest canopy structures in SRTM to LIDAR data. In: *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium – IGARSS’06*. Denver, EUA, 31Jul.-4 Aug., 2006. *Proceedings. [CDROM]*.
- Lim, K.; Treitz, P.; Wulder, M.; ST-Onge, B.; Flood, M. LIDAR remote sensing of forest structure. *Progress in Physical Geography*, v. 27, n.1, p. 88-106, 2003.
- Loos, R.; Niemann, O. Identification of individual trees and canopy shapes using LiDAR data for fire management. In: *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium – IGARSS’06*. Denver, EUA, 31Jul.-4 Aug., 2006. *Proceedings. [CDROM]*.
- Maldonado, F.D. Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal da região semi-árida. 2004, 314p. (INPE-12679-TDI/1007). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.
- Mantovani, A.C.D.M.; Amaral, S. Avaliação preliminar das imagens AVHRR/NOAA na detecção de desmatamento no Pantanal. In: *Encontro sobre sensoriamento remoto aplicado a estudos no Pantanal, 1., Corumbá-MS., 9-12 out., 1995. Anais*.
- Meirelles, M.S.; Costa, G.A.; Singh, D.; Berroir, J.P.; Herlin, I.; Silva, E.F.; Coutinho, H.L. A methodology to support the analysis of environmental degradation using NOAA AVHRR data. In: *International Society for*

Photogrammetry and Remote Sensing Congress – ISPRS. Istanbul, Turkey., Jul., 12-27, 2004. Proceedings. [CDROM].

Padovani, C.R.; Assine, M.L.; Vieira, L.M. Inundações no leque aluvial do Rio Taquari. In: Sergio G.; Luiz, M.V.; Luiz Alberto P. (Ed. Tec.). Impactos ambientais e socioeconômicos na bacia do Rio Taquari-Pantanal. Corumbá: EMBRAPA Pantanal, 2005. p. 184-198.

Pardi Lacruz, M.S.; Santos, J.R. Monitoramento da paisagem de unidades de conservação. In: Bernardo F. T. Rudorff; Yosio E. Shimabukuro e Juan C. Ceballos (Org.). O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil. 1ª ed., São José dos Campos: Bookimage, 2006, v. 1, p. 171-180.

Prigent, C. Remote sensing of global wetland dynamics with multiple satellite data sets. Geophysical Research Letters, v. 28, n 24, p. 4631-4634, 2001.

Ratana, P.; Huete, A.R.; Didan, K. MODIS EVI-based variability in Amazon phenology across the rainforest-cerrado ecotone. In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium – IGARSS'06. Denver, EUA, 31Jul.-4 Aug., 2006. Proceedings. [CDROM].

Rombach, M.; Gonzalez, S.; Weinacker, Koch, B. Description and applications of LIDAR technology in combination with high resolution digital camera systems for forest inventory and forest monitoring in Chile. In: Seminário de atualização em sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas aplicados à engenharia florestal, 7. Curitiba (PR), 17-19 out., 2006. FUPEF, 2006. Anais, [CDROM].

Santos, A.T.; Crepani, E. Contribuição do sensoriamento remoto aplicado a geologia no estudo do assoreamento do rio Taquari, Pantanal Mato-Grossense. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7. 1993, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 1993. v.4, p. 261-266.

Santos, J.R.; Maldonado, F.D.; Graça, P.M.L.A. New change detection technique using ASTER and CBERS-2 images to monitor Amazon tropical forest. In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium – IGARSS'05. Seoul, Korea, 2005. Proceedings. [CDROM].

Silva, I.; Gallo, G. Qualidade das imagens de alta resolução geradas por sensores aéreos digitais. Revista Ambiência, v.2, Edição Especial 1, p.43-54, 2006.

Silva, J.S.V.; Santos, R.F.; Abdon, M.M. Avaliação do uso da terra na Bacia do Alto Taquari em 2000. In: Sergio G.; Luiz, M.V.; Luiz Alberto P. (Ed. Tec.). Impactos ambientais e socioeconômicos na bacia do Rio Taquari-Pantanal. Corumbá: EMBRAPA Pantanal, 2005. p. 140-152.

Smith, L.C. Satellite remote sensing of river inundation area, stage, and discharge: a review. Hydrological Processes, v. 11, p. 1427-1439, 1997.

Treuhaft, R.; Chapman, B.; Dutra, L.V.; Santos, J.R.; Gonçalves, F.G.; Mura, J.C.; Graça, P.M.L.A. Drake, J. Estimating 3-dimensional structure of tropical forests from radar interferometry. Revista Ambiência, v. 2, Edição Especial 1, p. 111-119.

Valeriano, M.M.; Abdon, M.M. Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. In: Simpósio de geotecnologias no Pantanal, 1. Campo Grande – MS, 11-15 nov., 2006. Anais [CDROM].

Watt, P.J.; Donoghue, D.N.M.; McManus, K.B.; Dunford, R.W. Predicting forest height from IKONOS, LANDSAT and LIDAR imagery. In: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Symposium – ISPRS (Working Group VIII/2): Laser-scanners for forest and landscape assessment. Freiburg, Germany, 3-6 Oct., 2004. Proceedings, vol. XXXVI, part 8/w2, p. 228-231.

Zhang, K.; Houle, P.A.; Ross, M.S.; Ruiz, P.L.; Simard, M. Airborne Laser Mapping of Mangroves on the Biscayne Bay Coast, Miami, Florida. In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium – IGARSS'06. Denver, EUA, 31Jul.-4 Aug., 2006. Proceedings. [CDROM].