

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N^o 66/2: 209-221
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

POTENCIAL DAS IMAGENS MULTIPOLARIZADAS DO SATÉLITE ALOS/PALSAR NA DISCRIMINAÇÃO DE COBERTURA VEGETAL DO BIOMA PANTANAL: ESTUDO DE CASO NA REGIÃO DO MÉDIO TAQUARI, MS

*Potential of Multipolarized ALOS/PALSAR Satellite Images to Discriminate
Vegetation Coverage in the Pantanal Biome: A Case Study in the Region of Medio
Taquari, MS*

Daniel Moraes de Freitas^{1,3}, Edson Eyji Sano^{1,2} & Rodrigo Antônio de Souza³

¹Universidade de Brasília – UnB

Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas

Campus Universitário Darcy Ribeiro, CEP: 70910-900 Brasília - DF, Brasil
daniel-moraes.freitas@ibama.gov.br

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

EMBRAPA Cerrados

BR-020 km 18 CEP: 73301-970 Planaltina, DF, Brasil
edson.sano@embrapa.br

³Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA

Centro de Sensoriamento Remoto - CSR

CEP: 70.818-900 Brasília - DF, Brasil
rasouzamail@gmail.com

Recebido em 31 de Janeiro, 2012/ Aceito em 08 de Maio, 2012

Received on January 31, 2012/ Accepted on May 08, 2012

RESUMO

O Médio Taquari, MS, corresponde a uma região situada em áreas de terra firme do bioma Pantanal, apresenta fitofisionomias típicas do bioma Cerrado e possui importantes tributários que contribuem para o alagamento periódico do Pantanal propriamente dito. O objetivo do presente trabalho é analisar o potencial das imagens de radar de abertura sintética para discriminar as diferentes classes de cobertura de terras representativas da região do Médio Taquari. Foram analisadas imagens do sensor PALSAR (banda L, polarizações HH, HV e VV) de 11 de junho de 2009. Essas imagens foram convertidas para coeficiente de retroespalhamento e analisadas por meio dos seguintes tratamentos estatísticos: análise multivariada discriminante, teste de Kruskal-Wallis, teste ad hoc de distância e análise de correlação de Spearman. As seguintes classes de cobertura vegetal natural e antrópica foram consideradas: Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa); Savana Florestada (Sd); Savana Arborizada (Sa); Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg); e Pastagens Cultivadas (Ap). Os resultados mostraram que é possível separar os alvos presentes na área de estudo em quaisquer das três polarizações consideradas. A única exceção ficou por conta da separação entre Sg e Ap. A polarização VV apresentou melhor desempenho, dentre as três analisadas nesse estudo. Diferença entre os retroespalhamentos provenientes da Fa e Ap ou Sg (respectivamente, os alvos com maiores e menores retroespalhamentos), foi da ordem de 4 dB a 6 dB, dependendo da polarização.

Palavras chaves: RADAR, Sensoriamento Remoto, Análise Discriminante, Processamento de Imagens.

ABSTRACT

Médio Taquari, Mato Grosso do Sul State, corresponds to a region located in highlands of Pantanal biome, presents typical phytophysionomies of Cerrado biome and has important tributaries that contribute to the periodic flooding of Pantanal itself. The objective of this study is to analyze the potential of synthetic aperture radar imageries to discriminate representative land cover classes of the Médio Taquari. We analyzed PALSAR images (L-band, HH, HV and VV polarizations; overpass: June 11, 2009). These images were converted into backscattering coefficients and analyzed by the following statistical treatments: multivariate, discriminant analysis; Kruskal-Wallis test; ad hoc distance test; and Spearman correlation. The following land use and land cover classes were considered: Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa); Savana Florestada (Sd); Savana Arborizada (Sa); Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg); and Cultivated Pasture (Ap). Results showed that it is possible to discriminate targets present in the study area using any polarization considered here. The only exception was the discrimination between Sg and Ap. The VV polarization presented the best performance among the three polarizations. Difference among the backscattering from Fa and Ap or Sg (highest and lowest backscattering coefficients, respectively) ranged from 4 dB to 6 dB, depending upon the polarization.

Keywords: RADAR, Remote Sensing, Discriminant Analysis, Image Processing.

1. INTRODUÇÃO

O bioma Pantanal corresponde a uma planície de inundação periódica conhecida pela sua alta biodiversidade e pela grande extensão de áreas úmidas (ALHO, 2005). O referido bioma foi declarado reserva da biosfera e patrimônio mundial natural pela UNESCO, está presente nos estados de Mato Grosso (40,3%) e Mato Grosso do Sul (59,7%) e ocupa uma área de aproximadamente 151.313 km² (IBGE, 2004). As funções ecológicas das áreas úmidas são imprescindíveis para manter o ecossistema local e global. Elas são responsáveis pelo armazenamento de água, transformações de nutrientes e crescimento de matéria viva, entre outras funções importantes (NOVITZKI *et al.*, 1996), e representam um dos ecossistemas mais frágeis da Terra, pois são altamente susceptíveis às ações humanas (GOPAL e JUNK, 2000).

Apesar dessa importância e fragilidade, existe forte deficiência no monitoramento dessas áreas (JUNK, 2002). Dados de sensoriamento remoto são os mais indicados para tal monitoramento por causa da cobertura sinótica e periodicidade na aquisição desses dados. Apesar de ser bastante popular, o uso de imagens ópticas para o monitoramento de áreas úmidas possui limitação por causa da freqüente cobertura de nuvens associada a essas regiões e também por causa da dificuldade em delimitar as interfaces água/solo e área úmida/área seca

nas faixas espectrais do visível e infravermelho próximo (LEWIS, 1998). Além disso, imagens ópticas são dependentes das condições de iluminação solar. Radares de abertura sintética (SAR), de certa forma, conseguem “enxergar” o solo independentemente da presença de nuvens ou de cobertura vegetal e não são sensíveis às condições de iluminação solar.

Sensores de radar operam na faixa espectral centimétrica de microondas e permitem discriminar alvos na superfície terrestre com base nas suas propriedades geométricas (rugosidade do terreno e estrutura do dossel) e dielétricas (umidade de solos e conteúdo de água nas folhas das plantas) (RANEY, 1998; PARADELLA *et al.*, 2005). A grande maioria das aplicações de dados SAR no estudo de áreas alagadas do Brasil estão concentradas na região amazônica (NOVO, 2006). No Pantanal, a maioria dos trabalhos que utilizaram imagens de radar tiveram, como objetivos principais, identificar tipos e distribuição espacial de lagoas localizadas principalmente na região de baixo Nhecolândia/MS (e.g., COSTA e TELMER, 2006, 2007; GOMES *et al.*, 2006) e mapear variações nas áreas de inundação (e.g., EVANS *et al.*, 2010).

Outra parte importante do bioma Pantanal são as áreas correspondentes às terras firmes – porções mais elevadas do bioma – cujos tributários alimentam as áreas alagadas propriamente ditas. Nesse sentido, o monitoramento ambiental dessas regiões de terras firmes é igualmente

importante. Nelas, predominam a vegetação típica de Cerrado, principalmente no arco leste (ADÁMOLI, 1982; JUNK *et al.*, 2006), sendo compostas, de acordo com o sistema de classificação de vegetação do Brasil proposto por IBGE (1992), por formações campestres (Savana Gramíneo-Lenhosa), savânicas (Savana Parque, Savana Arborizada) e florestais (Savana Florestada, Florestas Estacionais), além da Floresta de Galeria. Essa vegetação natural vem sendo substituída principalmente por Pastagens Cultivadas (MMA, 2011).

A classificação do Cerrado em diferentes fitofisionomias é baseada essencialmente nas variações na estrutura vegetacional (diferentes proporções de arbustos e árvores sobre o extrato herbáceo). Então, a discriminação de fitofisionomias do Cerrado por meio de imagens de radar é favorecida por causa da acentuada sensibilidade das imagens SAR à estrutura da vegetação do Cerrado (SANO *et al.*, 2005). SANO *et al.* (2009) demonstraram o potencial de imagens do satélite japonês ALOS/PALSAR obtidas no modo polarimétrico (HH, HV, VH e VV) e ângulo de incidência médio de 22° para discriminação das seguintes classes de cobertura de terras representativas do Cerrado: Áreas Urbanas Consolidadas; Áreas Urbanas em Consolidação; Savana Gramíneo-Lenhosa; Savana Arborizada; Culturas Agrícolas; Floresta de Galeria; Matas Indiscriminadas; Pastagens Cultivadas; Reflorestamentos; e Reservatórios.

Uma das áreas do Pantanal que vêm sofrendo forte ocupação antrópica é a do Médio Taquari, MS (OLIVEIRA *et al.*, 2000; ABDON *et al.*, 2007). O rio Taquari nasce no município de Alto Taquari em Mato Grosso e percorre o estado de Mato Grosso do Sul por cerca de 760 km, sendo 260 km em terras firmes do Pantanal (MERCANTE e SANTOS, 2009). A vegetação natural da região do Médio Taquari é composta principalmente pelas fitofisionomias do Cerrado (formações campestres, savânicas e florestais), por vezes substituídas por pastagens cultivadas (ABDON *et al.*, 2007). O objetivo desse estudo é analisar o potencial das imagens ALOS/PALSAR (banda L, polarizações HH, HV e VV) para discriminar as diferentes classes de cobertura de terras representativas da região do Médio Taquari.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O estudo foi conduzido na região do Médio Taquari, localizado no município de Corumbá-MS, delimitada aproximadamente entre as latitudes -18° 00' S e -18° 36' S e entre as longitudes -55° 31' W e -55° 45' W (Fig. 1). Essa região foi escolhida por apresentar um mosaico fragmentado e heterogêneo de fitofisionomias representativas da porção do bioma Pantanal correspondente a terras firmes. É uma região localizada na parte alta do leque aluvial do rio Taquari, cujas alterações antrópicas influenciam todo processo de inundação da planície pantaneira.

As classes vegetacionais representativas da área de estudo (MMA, 2011) são, conforme o sistema de classificação proposto por IBGE (1992): Floresta Estacional Semidecidual Aluvial (Fa); Savana Florestada (Sd); Savana Arborizada (Sa); Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg); e Pastagens Cultivadas (Ap). Os solos da região do Médio Taquari são caracterizados por sedimentos arenosos submetidos em parte a acentuado hidromorfismo, conhecidos como Podzólico Hidromórfico (BRASIL, 1982). A pluviosidade anual oscila entre 800 mm a 1.400 mm, sendo que 80% da precipitação ocorrem entre os meses de novembro e março (CADAVID-GARCIA e CASTRO, 1986).

2.2 Materiais

Para a aquisição da imagem PALSAR (órbita ascendente 6651 e ponto 68), foi levado em consideração o período de estiagem para minimizar a influência da constante dielétrica na discriminação da cobertura de terras da área de estudo, pois o aumento no conteúdo de água nos solos tende a reduzir a capacidade de discriminar os tipos vegetacionais presentes na região de interesse (LEWIS e HENDERSON, 1998). De fato, a data da imagem considerada (11 de junho de 2009) (Fig. 2 e 3) foi obtida em condições de menor precipitação em 2009. As características de imageamento são mostradas na Tabela 1. Maiores detalhes sobre o sensor PALSAR podem ser encontradas na página eletrônica da Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA)

(http://www.jaxa.jp/projects/sat/alos/index_e.html).

Para auxiliar a interpretação de imagens de radar, foram obtidos: o mapa de cobertura vegetal natural e antrópica de 2002 do bioma Pantanal, na escala de 1:250.000, elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011); atualização do desmatamento do referido bioma para o ano-base de 2008, elaborado pelo Fundo Mundial para a Natureza (WWF, 2011), na escala de 1:50.000; e dados diários de precipitação de maio e junho de 2009 das seguintes estações pluviométricas disponíveis na página eletrônica da Agência Nacional de Águas (ANA): Coxim (-18° 30' S e -54° 44' W), União (-17° 47' S e 55° 47' W) e Rio Verde de Mato Grosso (-18° 54' S e -54° 49' W).

2.3 Métodos

A cena original, com resolução radiométrica de 16 bits, foi convertida para coeficientes de retroespalhamento [σ° ; unidade em decibéis (dB)], conforme equação abaixo (ROSENQVIST *et al.*, 2007):

$$\sigma^{\circ} = 10 * \log_{10} [DN^2] + CN \quad (1)$$

onde CF = fator de calibração (-83 dB); e DN = valor digital da imagem amplitude em

Tabela 1: características das imagens do satélite ALOS/PALSAR da região do médio Taquari, MS, adquiridas para esse estudo

Parâmetros de Imageamento	Especificações
Nível de processamento	1.5
Modo de aquisição	Polarimétrico
Polarização	HH, HV, VH, VV
Tamanho do pixel	12,5 m
Ângulo de incidência	28,8°
Comprimento de onda	23,6 cm
Área imageada	71 km x 24 km

16 bits.

Essa conversão foi feita meio do aplicativo MapReady 1.0, desenvolvido pelo Alaska Satellite Facility (ASF, 2011), georreferenciada para o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), referencial geodésico horizontal WGS84 e zona 21S e exportados para o formato geotiff. As imagens em formato geotiff foram georreferenciadas tendo as imagens geocover (cenas ortoretificadas do satélite Landsat ETM+, disponíveis na página eletrônica da NASA) como referência. O registro imagem-imagem foi efetuado por meio de 15 pontos de controle distribuídos por toda a área

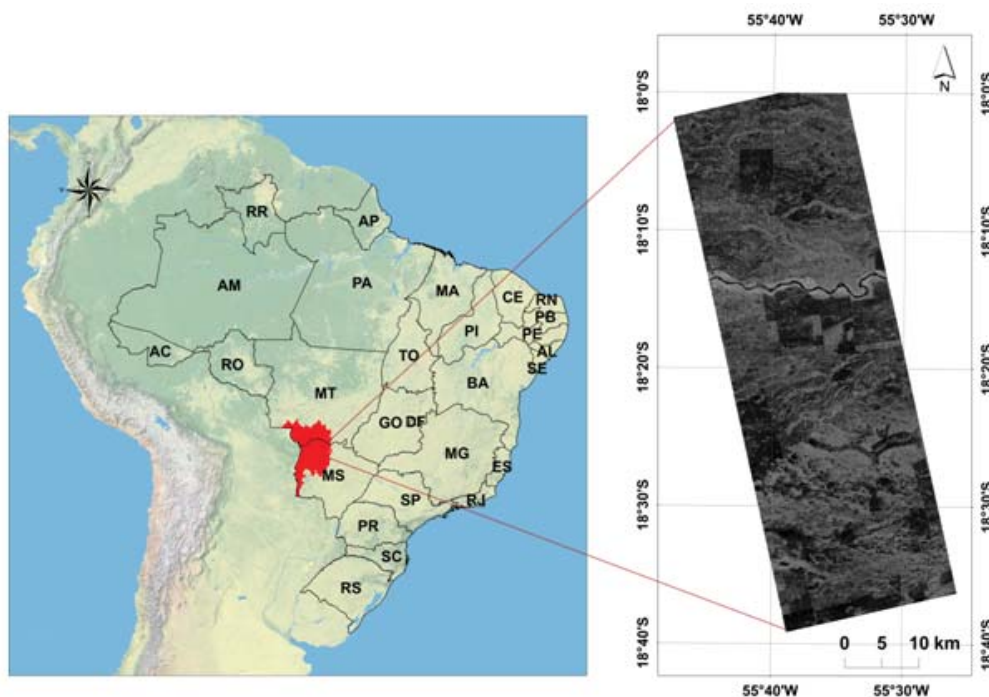


Fig. 1 - Localização da área de estudo no bioma Pantanal, mostrada por meio de uma imagem do satélite ALOS/PALSAR (banda L, polarização HH) de 11 de junho de 2009.

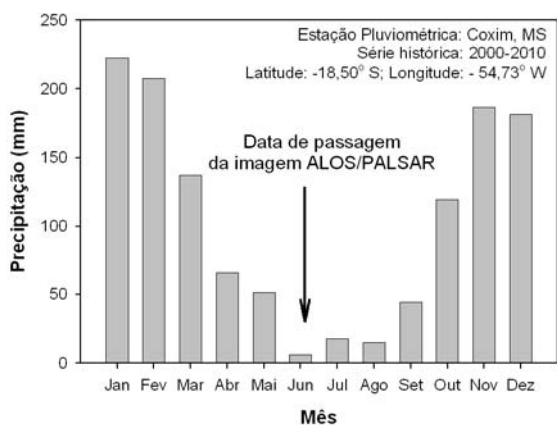


Fig. 2 - Precipitação média mensal (período de 2000-2010) representativa da área de estudo, obtida da estação pluviométrica de Coxim do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

coberta pelas imagens do PALSAR. O erro do georreferenciamento foi inferior a 1 pixel.

Por meio da ferramenta Hawth's Tools, disponível no aplicativo ArcGIS™ 9.3, foram gerados 100 pontos aleatórios em cada classe de cobertura vegetal analisada nesse estudo (Fa, Sd, Sa, Sg e Ap). Nessa etapa, tomou-se cuidado para que esses pontos situassem o mais próximo possível dos centróides dos polígonos maiores de cada classe analisada. Cada ponto foi formado por um conjunto de pixels que variou de 25 a 30 pixels, o qual foi convertido para um único valor de σ° , correspondente à média aritmética simples. Tal procedimento foi feito para as imagens com polarizações HH, HV e VV.

Para cada polarização e para cada classe temática, foram calculadas as médias (μ) e os correspondentes desvios-padrões (σ) de 100 valores de σ° . Todos os valores fora do intervalo $\mu \pm \sigma$ foram desconsiderados. As seguintes análises estatísticas foram conduzidas: análise multivariada discriminante, teste de Kruskal-Wallis, teste *ad hoc* de distância e análise de correlação de Spearman.

A análise discriminante é utilizada para identificar variáveis que permitem separar diferentes grupos. Este modelo de análise pode ser generalizado no caso de vários grupos com vários descritores. O problema consiste então em definir as combinações lineares de descritores que maximizam a diferença entre grupos, diminuindo a variabilidade das classes de estudo (VALENTIM, 2000). A análise discriminante foi utilizada para determinar qual seria a melhor polarização para distinguir as cinco classes de vegetação. O teste de Kruskal-Wallis é aplicado quando se comparam três ou mais grupos de dados independentes e não-paramétricos, que é o caso dos dados de radar analisados nesse estudo. O referido teste foi aplicado para verificar a existência de diferenças entre classes nas polarizações consideradas. Esse teste apenas indica se há diferença entre as classes. Para identificar entre quais classes estão as diferenças estatísticas, foi aplicado então o teste *ad hoc* (DE MARCO e PAGLIA, 2003). A correlação de Spearman permitiu verificar a

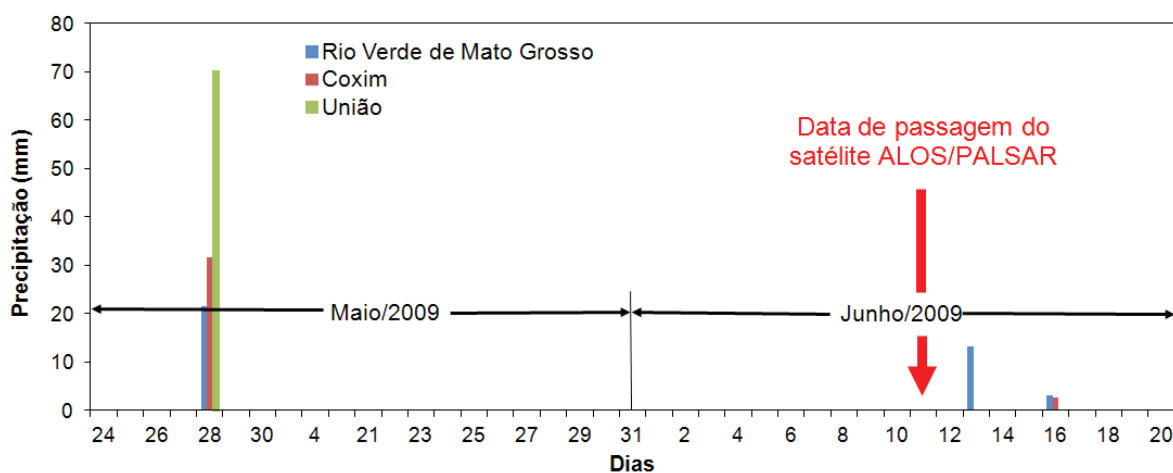


Fig. 3 - Regime diário de precipitação registrada por três estações pluviométricas (Rio Verde de Mato Grosso, Coxim e União), localizadas próximo à área de estudo e referente a 30 dias antes da passagem do satélite.

existência de redundância ou não entre os valores de σ° derivados das polarizações HH, HV e VV. Finalmente, a técnica multivariada de análise de agrupamento hierárquico permitiu a geração de um dendrograma no qual foi possível verificar a existência de similaridades entre as classes ou possíveis agrupamentos entre elas (CRUZ e REGAZZI, 2001).

Uma campanha de reconhecimento de campo foi conduzida no período de 13 a 17 de outubro de 2011 (final da estação seca). Foram percorridas as vias de acesso que cruzavam as cinco classes vegetacionais. Nessa campanha de campo, foram obtidas fotografias digitais, coordenadas GPS (latitude e longitude) e descrição qualitativa de algumas características (fitofisionomia, altura do dossel, estrutura da vegetação) das classes de vegetação encontradas no campo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fotografias de campo representativas das cinco classes de cobertura vegetal da área de estudo são mostradas na Fig. 4. Na classe Fa (Fig. 4a), destaca-se a presença de muitas folhas, troncos e galhos, com pouca exposição de solo. O dossel é bem fechado, predominando árvores de porte relativamente elevado. Nas imagens de radar, essas áreas tendem a aparecer com tonalidades mais claras por causa do intenso retroespalhamento volumétrico - espalhamento múltiplo dos sinais de radar - que ocorre dentro do dossel (JENSEN, 2009). Na área de estudo, essa classe acompanha o leito do rio Taquari, beneficiando-se da umidade relativamente mais elevada nos solos. A biomassa verde mais densa e a umidade de solos mais elevada são os principais responsáveis por valores relativamente mais altos de σ° (KASISCHKE e BORGEAU-CHAVES, 1997).

A classe Sd (Fig. 4b), apesar de ser ainda uma vegetação florestada, apresenta uma arquitetura estrutural (troncos e galhos) mais simples e menor biomassa em comparação com a classe Fa. Nesse caso, a tendência é a de que os valores de retroespalhamento de Sd sejam ainda relativamente altos, porém, mais baixos que os de Fa. A classe Sa (Fig. 4c) é representada por árvores baixas, de fustes finos e tortuosos, entremeadas de arbustos (altura

máxima de 12 metros). Corresponde à forma de vegetação escleromorfa, composta por várias estruturas, segundo um gradiente fisionômico, ou seja, é constituído por fisionomias campestres, arbustivas e florestais. Ela possui camada menor de folhas em relação às duas classes anteriores, resultando em um menor retroespalhamento. A classe Sg (Fig. 4d) – “gramados entremeados por plantas lenhosas raquíticas” (IBGE, 1992) - aparece em áreas baixas e periodicamente inundadas. A ocorrência é de espécies campestres, com ausência de árvores e arbustos. Por causa da baixa densidade de biomassa verde e de elevada exposição de solos com baixa umidade, os valores de σ° associados a essa classe normalmente são baixos. A classe Ap (Fig. 4e) ocorre em áreas não-inundáveis, podendo haver presença ou ausência de arbustos (rebrotas), dependendo do manejo dessas áreas. De forma similar à classe Sg, nas imagens de radar, essas áreas tendem a aparecer com tonalidades escuras em função dos baixos índices de biomassa, superfície predominantemente lisa e com baixa umidade de solos na data de aquisição da cena.

As classes Fa e Sd apresentaram os valores mais altos de retroespalhamento para todas as polarizações, enquanto as classes Sa, Sg e Ap apresentaram os valores maior baixos (Fig. 5). Surpreendentemente, os valores de σ° extraídos da área de estudo mostraram-se mais altos (~ -2 dB a -12 dB, dependendo da cobertura vegetal e da polarização) em relação a valores de σ° derivados do ALOS/PALSAR por outros estudos envolvendo variados ambientes. Por exemplo, EVANS *et al.* (2010) encontraram, para a polarização HH, retroespalhamentos em torno de -7,5 dB, -11 dB e -15 dB para formações florestais, savânicas e campestres do baixo Taquari, MS. Nesse estudo, tais formações apresentaram valores em torno de -2 dB, -5 dB e -6 dB, respectivamente. De acordo com SANO *et al.* (2009), os valores típicos de σ° para as pastagens cultivadas do Distrito Federal situaram-se em torno de -14 dB (polarização HH), enquanto nesse estudo, os valores ficaram em torno de -6,5 dB. Para a polarização HV, no estudo conduzido por ALMEIDA FILHO *et al.* (2009), os valores de σ° de uma área de floresta primária no estado do Amazonas situaram-se em torno de -15 dB, muito menor em relação aos das formações florestais do Médio Taquari



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 4 - Fotografias panorâmicas de campo ilustrando as diferentes classes de cobertura vegetal: (a) Floresta Estacional Semidecidual aluvial (Fa); (b) Savana Florestada (Sd); (c) Savana Arborizada (Sa); (d) Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg); e (e) e Pastagem Cultivada (Ap).

(~ -6 dB).

Situação similar foi encontrada também para a polarização VV. ABOUD NETA (2009) publicaram valores de σ° entre -6 dB a -10 dB para floresta primária da região de Santarém/PA, enquanto nesse estudo, os retroespalhamentos para as formações florestais, de menor porte, situaram-se em torno de -3,8 dB. Motivos para esse retroespalhamento mais elevado precisam ser esclarecidos em pesquisas futuras envolvendo imagens de outras datas e com melhor controle de

campo dos parâmetros biofísicos que controlam o retroespalhamento (biomassa, estrutura da vegetação, rugosidade do terreno e umidade de solos e das plantas).

Observou-se uma forte relação linear positiva ($p < 0,05$) entre as polarizações HH x HV, HH x VV e HV x VV (Fig. 6), apresentando um valor de r^2 superior a 0,79 nos três gráficos. Isto significa que, quanto maior a estrutura vegetal nas classes (dossel volumoso, troncos mais grossos e pouco espaçamento

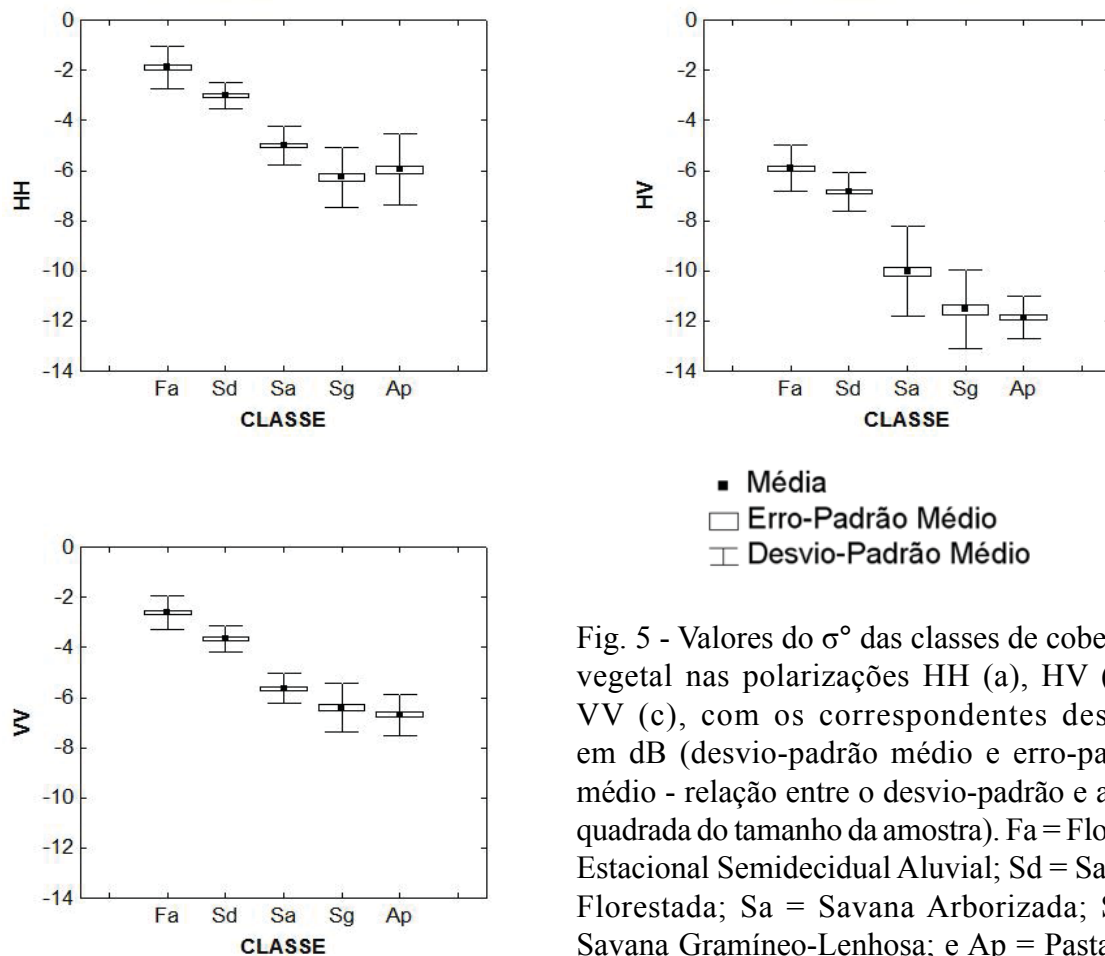


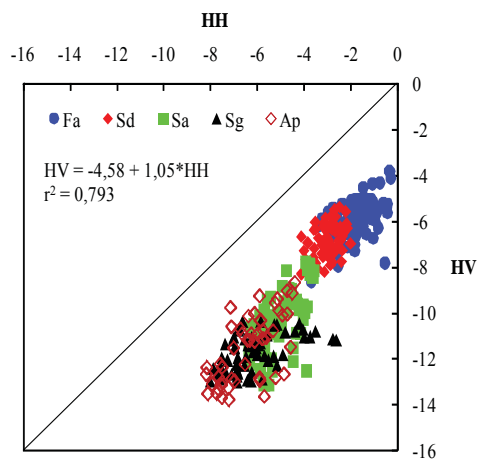
Fig. 5 - Valores do σ° das classes de cobertura vegetal nas polarizações HH (a), HV (b) e VV (c), com os correspondentes desvios em dB (desvio-padrão médio e erro-padrão médio - relação entre o desvio-padrão e a raiz quadrada do tamanho da amostra). Fa = Floresta Estacional Semidecidual Aluvial; Sd = Savana Florestada; Sa = Savana Arborizada; Sg = Savana Gramíneo-Lenhosa; e Ap = Pastagem Cultivada.

entre as árvores), maiores são os coeficientes de retroespalhamento, independentemente do tipo de polarização. Essa figura mostra ainda a possibilidade de discriminação de três grupos de classes de cobertura vegetal: Fa (valores mais altos de retroespalhamento, cobertura vegetal densa), Sd (valores intermediários de retroespalhamento, cobertura vegetal menos densa) e um conjunto de classes formado por Sa, Sg e Ap (valores mais baixos de retroespalhamento, cobertura vegetal menos densa). Houve uma pequena tendência nos valores de retroespalhamento da polarização HH serem maiores do que na polarização VV (Fig. 7) o que pode estar relacionado com predomínio de galhos orientados horizontalmente no dossel (KUPPLICH, 2003). Menores valores de σ° foram encontrados para a polarização HV, concordando com os trabalhos citados no parágrafo anterior e também com outros estudos como os desenvolvidos por HASHIMOTO *et al.* (1997) e ALMEIDA FILHO *et al.* (2008). Na polarização

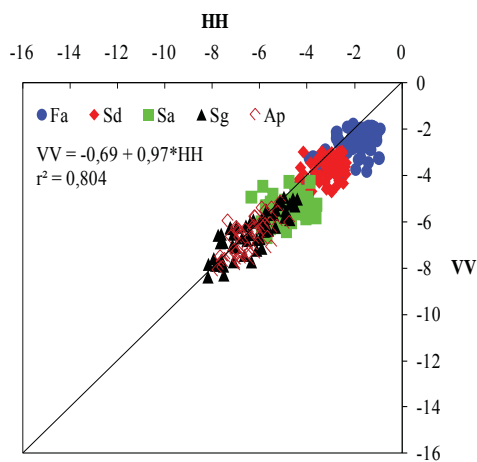
HV, predomina o retroespalhamento volumétrico. Neste caso, os múltiplos retroespalhamentos que ocorrem dentro do dossel causam redução no sinal de radar que retorna para a antena (LEWIS e HENDERSON, 1998). Convém salientar ainda que os efeitos da umidade de solos nas imagens analisadas nesse estudo foram baixos por causa do período continuado de 28 dias sem chuva antes da passagem do satélite (vide Fig. 2).

Dessa análise, denota-se que diferentes classes apresentam comportamentos distintos em termos de desvios em relação às médias e essa informação pode complementar a discriminação de alvos que geralmente é baseada apenas na análise da intensidade do retroespalhamento.

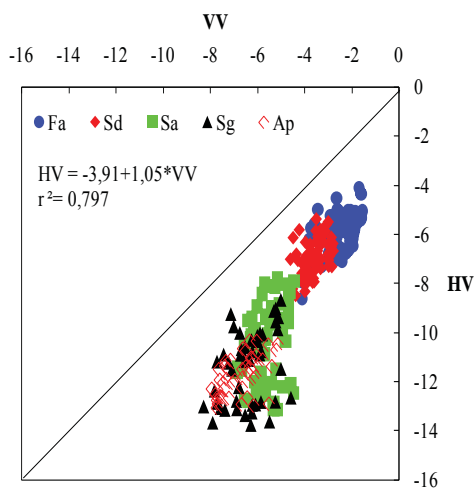
Na análise discriminante, a discriminação entre classes nas três polarizações foi significativa (Tabela 2). O primeiro componente principal (CP1) concentrou 96% de toda a variação do modelo construído ($R = 0,957$; $p = 0,000$). Na Tabela 3, é apresentada a importância de cada variável para a discriminação das classes



(a)

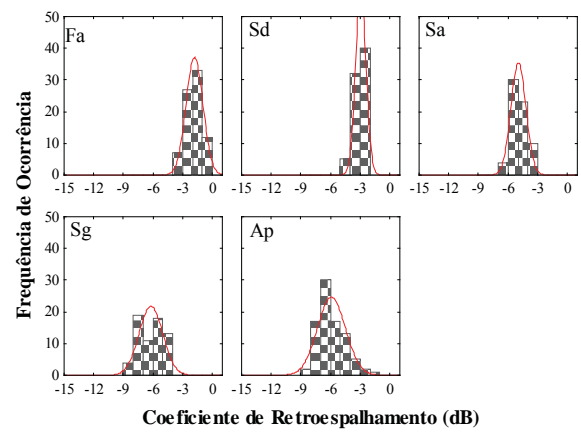


(b)

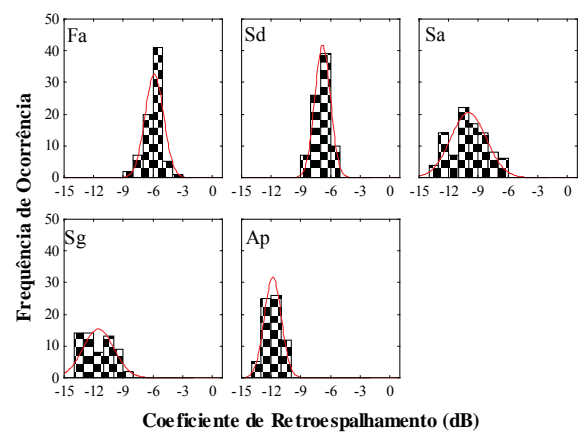


(c)

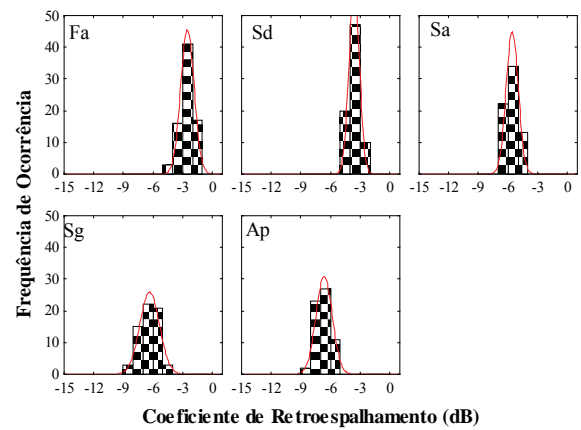
Fig. 6 - Dispersão de valores de retroespalhamento entre as polarizações (a) HH e VV, (b) HH e HV e (c) V e HV. Fa = Floresta Estacional; Sd = Savana Densa; Sa = Savana Arborizada; Sg = Savana Gramíneo-Lenhosa; e Ap = Pastagem Cultivada.



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 - Distribuição histogramática dos coeficientes de retroespalhamento da Floresta Estacional (Fa), Savana Densa (Sd), Savana Arborizada (Sa), Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg) e Pastagem Cultivada (Ap) nas polarizações (a) HH; (b) HV; e (c) VV.

nos dois eixos. A variável representada pela polarização VV apresentou a melhor resposta discriminatória entre as polarizações, seguidas das polarizações HV e HH. Em outras palavras, a variável mais importante para explicação do CP1 foi a polarização VV (peso mais alto em valor absoluto). As classes Fa, Sd e Sa apresentaram agrupamentos relativamente distintos ao longo do CP1 (Fig. 8), entretanto, as classes Sg e Ap não foram discriminadas e podem ser agrupadas numa única classe denominada “campo”, distinguindo-se das outras classes que apresentam uma estrutura vegetal maior.

Tabela 2: Resultados estatísticos da análise discriminante. CP = Componente principal; R = Correlação canônica; WL = Teste de WILKS' LAMBDA; GL = Grau de liberdade; p = Nível de significância

CP	R	WL	GL	p
1	0,957	0,077	12	0,000
2	0,207	0,934	6	0,000
3	0,152	0,976	2	0,018

Tabela 3: Resultado da análise discriminante na determinação da importância relativa de cada polarização na discriminação de classes de cobertura vegetal da área de estudo.

Polarizações	Componente Principal 1	Componente Principal 2
HH	-0,515	-0,796
HV	-0,622	0,509
VV	-0,671	0,052

A análise individual das polarizações (teste de Kruskal-Wallis) indicou diferenças estatísticas nas três polarizações na discriminação de alvos consideradas nesse estudo (Tabela 4). Assim, pode-se afirmar que, em cada uma das três polarizações consideradas, é possível distinguir as classes de cobertura vegetal representativas da área de estudo pelos valores de retroespalhamento. De acordo com os resultados mostrados na Tabela 5, percebe-se que há uma maior diferença entre as classes florestadas em relação às classes arbustivas/gramíneas. Não foi possível obter discriminação entre as classes Ap e Sg em nenhuma das polarizações.

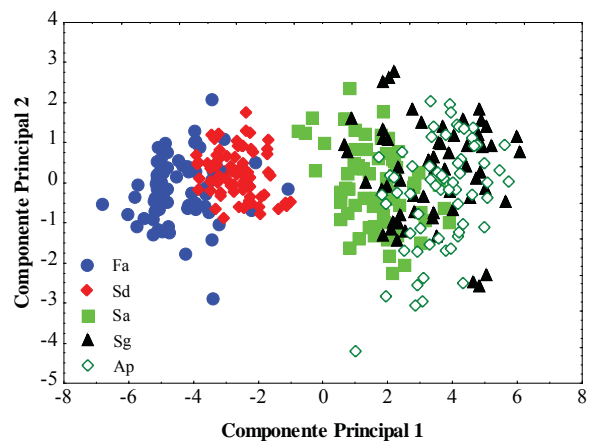


Fig. 8 - Relação entre componentes principais 1 e 2, indicando a formação de três grupos de classes de cobertura vegetal da área de estudo. Fa = Floresta Estacional; Sd = Savana Densa; Sa = Savana Arborizada; Sg = Savana Gramíneo-Lenhosa; e Ap = Pastagem Cultivada.

Tabela 4: Resultados do teste de KRUSKAL-WALLIS. H = Teste de KRUSKAL-WALLIS; GL = Grau de liberdade; N = Número de amostras; p = Nível de significância

Polarização	H	GL	N	p
HH	284,3	4	375	0,000
HV	287,3	4	378	0,000
VV	285,0	4	350	0,000

Tabela 5: Teste *ad hoc* referente à distância entre as classes nas polarizações HH (A), HV (B) E VV (C)

	Fa	Sd	Sas	Sg	Ap
Fa	1				
Sd	3,542	1			
Sas	9,600	6,147	1		
Sg	13,171	9,726	3,511	1	
Ap	13,285	9,570	2,893	0,859*	1

(a)

	Fa	Sd	Sas	Sg	Ap
Fa	1				
Sd	2,884	1			
Sas	10,135	7,320	1		
Sg	12,231	9,729	3,261	1	
Ap	13,286	10,722	4,044	0,596*	1

(b)

	Fa	Sd	Sas	Sg	Ap
Fa	1				
Sd	3,680	1			
Sas	10,042	6,464	1		
Sg	12,537	9,030	2,627	1	
Ap	13,616	10,125	3,721	1,084*	1

(c)

*Valores seguidos de asterisco não mostraram diferenças significativas.

4. CONCLUSÕES

Resultados desse estudo demonstraram que é possível discriminar as classes de cobertura vegetal natural e antrópica presentes no Médio Taquari com base nas imagens de radar do satélite ALOS/PALSAR da estação seca. A única exceção foi a incapacidade de separar Savana Gramínea-Lenhosa de Pastagem Cultivada. Dentre as três polarizações analisadas, a VV foi a que apresentou melhor desempenho. Para pesquisas futuras, recomenda-se analisar o desempenho da combinação das três polarizações na referida discriminação.

AGRADECIMENTOS

Este estudo fez parte da dissertação de mestrado do primeiro autor no Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas da Universidade de Brasília. Agradecimentos são estendidos à Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA), pela aquisição das imagens do ALOS PALSAR; ao Dr. João dos Santos Vila da Silva, pelas valiosas sugestões ao longo de toda a condução desse estudo; e ao Paulo Eduardo de Freitas, pelo auxílio na campanha de campo. Os autores agradecem ainda aos dois revisores anônimos, pelas valiosas sugestões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDON, M. M.; SILVA, J. S. V.; SOUZA, I. M.; ROMON, V. T.; RAMPAZZO, J.; FERRARI, D. L. Desmatamento no bioma Pantanal até o ano 2002: relações com a fitofisionomia e limites municipais. **Revista Brasileira de Cartografia**, n.59/01, p.17-24, 2007.

ABOUD NETA, S. R. **Uso de imagens ALOS/PALSAR multipolarizadas para detecção de incremento de desflorestamento na Amazônia**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009, 264p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) (INPE-16624-TDI/1598).

ADÁMOLI, J. O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados: discussão sobre o conceito de complexo do Pantanal. In: XXXII Congresso Nacional de Botânica, 1982, Teresina. **Anais...** Brasília: Sociedade Botânica do Brasil, 1982, p.109-119.

ALHO, C. J. R. **Conservação da Biodiversidade da Bacia do Alto Paraguai**. Campo Grande:

UNIDERP, 2005. 420p.

ALMEIDA FILHO, R.; SHIMABUKURO, Y. E.; ROSENQVIST, A.; SÁNCHEZ, A. Using dual-polarized ALOS PALSAR data for detecting new fronts of deforestation in the Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v.30, n.14, p.3735-3743, 2008.

ALMEIDA FILHO, R.; ROSENQVIST, A.; SHIMABUKURO, Y. E.; SÁNCHEZ, G. A. Using dual-polarized ALOS PALSAR data for deforestation detection in a new deforestation front of the Brazilian Amazônia. **International Journal of Remote Sensing**, v.30, n.14, p.3735-3743, 2009.

ASF. ALASKA SATELLITE FACILITY. **MapReady 1.0**. Disponível em: <<http://www.asf.alaska.edu/sardatacenter/Softwaretools>>. Acessado em: 15 out. 2011.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL. Folha SD 21 Cuiabá**. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1982. 452p. il., 5 mapas (Levantamento de Recursos Naturais, 27).

CADAVID-GARCIA, E. A.; CASTRO, L. H. R. Análise da frequência de chuva no Pantanal mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.21, n.9, p.909-925, 1986.

COSTA, M. P. F.; TELMER, K. H. Utilizing SAR imagery and aquatic vegetation to map fresh and brackish lakes in the Brazilian Pantanal wetland. **Remote Sensing of Environment**, v.105, p.204-213, 2006.

COSTA, M. P. F.; TELMER, K. H. Mapping and monitoring lakes in the Brazilian Pantanal wetland using synthetic aperture radar imagery. **Aquatic Conservation**, v.17, n.3, p.277-288, 2007.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. 2ª ed. rev. – Viçosa: UFG, 390p., 2001.

DE MARCO JÚNIOR.; P.; PAGLIA, A. P. Estatística. Interpretação de Dados. In: CULLEN, L. J.; PADUA, C. V.; RUDRAN, R. **Métodos de Estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre**. Curitiba: UFPR, 2003. 665p.

EVANS, T. L.; COSTA, M.; TELMER, K.; SILVA, T. S. F. Using ALOS/PALSAR and RADARSAT-2 to map land cover and seasonal inundation in the Brazilian Pantanal. **IEEE**

- Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v.3, n.4, p.560-575, 2010.
- GOMES, A. R.; SOLER, L. S.; AFFONSO, A. G.; ASSINE, M. L. Classificação digital de imagem JERS-1 para identificação de lagoas na baixa Nhecolândia-MS. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1., Campo Grande, MS, 11-15 novembro 2006. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p.192-199.
- GOPAL, B.; JUNK, W. J. Biodiversity in wetlands: An introduction. In: GOPAL, B.; JUNK, W. J.; DAVIS, J. A. (eds.), **Biodiversity in Wetlands: Assessment, Function and Conservation**. Leiden: Backhuys Publishers, p.1-10, 2000.
- HASHIMOTO, Y.; TSUCHIYA, K.; IJIMA, T. Normalized backscattering radar cross section of tropical rainforest in Rondonia, Northern Brazil. **Advances in Space Research**, v.19, n.9, p.1425-1428, 1997.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE (Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 1). 1992.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de biomas e de vegetação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004 (Comunicação Social). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_impresao.php?id_noticia=169>. Acesso em: 07 fev. 2010.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**. São José dos Campos: Parentese, 2009. 598p.
- JUNK, W. J. Long-term environmental trends and the future of tropical wetlands. **Environmental Conservation**, v.29, n. 4, p.414-435, 2002.
- JUNK, W. J.; CUNHA, C. N.; WANTZEN, K. M.; PETERMANN, P.; STRÜSSMANN, C.; MARQUES, M. I.; ADIS, J. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**, v.68, n.3, p.1-32, 2006.
- KASISCHKE, E. S.; BOURGEOU-CHAVEZ, L. L. Monitoring South Florida wetlands using ERS-1 SAR imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.63, n.3, p.281-291, 1997.
- KUPLICH, T. M. Estudos florestais com imagens de radar. **Espaço & Geografia**, v. 6, n. 1, p. 71-96, 2003.
- LEWIS, A. J. Geomorphic and hidrologic applications of active microwave remote sensing. In: HENDERSON, F. M.; LEWIS, A. J. (Eds.), **Principles and Applications of Imaging Radar**. Manual of Remote Sensing. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 3ª ed., v.2, Cap.11, p.567-629, 1998.
- LEWIS, A. J.; HENDERSON, F. M. Radar fundamentals: the geosciences perspective. In: HENDERSON, F. M.; LEWIS, A. J. (Eds.), **Principles and Applications of Imaging Radar**. Manual of Remote Sensing. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 3ª ed., v.2, Cap.3, p. 131-181, 1998.
- MERCANTE, M. A.; SANTOS, E. T. Avulsões no Pantanal: dimensões naturais e sociais no rio Taquari. **Sociedade & Natureza**, v.21, n.3, p.361-372, 2009.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Mapa de cobertura vegetal dos biomas brasileiros**. Brasília: MMA/Secretaria de Biodiversidade e Florestas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=72&idMenu=3813>>. Acessado em: 15 set. 2011.
- NOVITZKI, R. P.; SMITH, R. D.; FRETWELL, J. D. Wetland functions, values, and assessment. In: FRETWELL, J.; WILLIAMS, J.; REDMAN, P. (eds.), **National Water Summary on Wetland Resources**. Washington: USGS, p.79-86, 1996 (USGS Water Supply Paper 2425).
- NOVO, E. M. L. M. Bases teóricas para o uso de imagens SAR no estudo de áreas alagadas. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1., Campo Grande, MS, 11-15 novembro 2006. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p.883-894.
- OLIVEIRA, H.; SANO, E. E.; OLIVEIRA, F. D. A.; ADÁMOLI, J. **Análise da expansão da fronteira agrícola na bacia hidrográfica do Alto Taquari utilizando sistema de informação geográfica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 24p., 2000 (Embrapa Agropecuária Oeste, Documentos, 19).
- PARADELLA, W. R.; SANTOS, A. R.; VENEZIANI, P.; CUNHA, E. S. P. Radares imageadores nas Geociências: estado da arte e perspectivas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.57, n.1, p.56-62, 2005.
- RANEY, R. K. Radar fundamentals: technical

perspective. In: HENDERSON, F. M.; LEWIS, A. J. (Eds.), **Principles and Applications of Imaging Radar**. Manual of Remote Sensing. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 3ª ed., v.2, Cap. 2, p. 9-130, 1998.

ROSENQVIST, A.; SHIMADA, M.; ITO, N.; WATANABE, M. ALOS PALSAR: a pathfinder mission for global-scale monitoring of the environment. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.45, n.11, p.3307-3316, 2007.

SANO, E. E.; FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R. Synthetic aperture radar (L-band) and optical vegetation indices for discriminating the Brazilian savanna physiognomies: a comparative analysis. **Earth Interactions**, v.9, Paper no. 15, p.1-15, 2005.

SANO, E. E.; SANTOS, E. M.; MENESES, P. R. Análise de imagens do satélite ALOS PALSAR para o mapeamento de uso e cobertura da terra do Distrito Federal. **Geociências**, v.28, n.4, p.441-451, 2009.

VALENTIN, J. L. **Ecologia Numérica: Uma Introdução à Análise Multivariada de Dados Ecológicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2000, 117p.

WWF. Word Wildlife Fund. **Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do solo na Bacia do Alto Paraguai**. Disponível em: <http://www.wwf.org.br/informacoes/biblioteca/?25181/Monitoramento-das-alteracoes-da-cobertura-vegetal-e-uso-do-solo-na-Bacia-do-Alto-Paraguai>. Acesso: 15 set. 2011.