



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**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**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº

DANIEL MORAES DE FREITAS

Brasília-DF
Abril 2012



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**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**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DANIEL MORAES DE FREITAS

Orientador:

Dr. Edson Eyji Sano

Examinadores:

Dra. Adriana Chatack Carmelo (interno)

Dr. João dos Santos Vila da Silva (Embrapa Informática Agropecuária)

Brasília - DF
Abril 2012

Dissertação a ser submetida ao Instituto de Geociências, Departamento de Geologia Geral e Aplicada da Universidade de Brasília, em cumprimento ao requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geociências Aplicadas.

Autor:

Daniel Moraes de Freitas

Banca Examinadora:

Dr. Edson Eyji Sano

Orientador

Dra. Adriana Chatack Carmelo

Membro Interno

Dr. João dos Santos Vila da Silva

Embrapa - Membro Externo

Brasília - DF
Abril 2012

Com 100 anos de escória uma lata aprende a rezar.
Com 100 anos de escombros um sapo vira árvore e cresce
por cima das pedras até dar leite.
Insetos levam mais de 100 anos para uma folha sê-los.
Uma pedra de arroio leva mais de 100 anos para ter murmúrios.
Em seixal de cor seca estrelas pousam despidas.
Mariposas que pousam em osso de porco preferem melhor
as cores tortas.
Com menos de 3 meses mosquitos completam a sua
eternidade.
Um ente enfermo de árvore, com menos de 100 anos, perde
o contorno das folhas.
Aranha com olho de estame no loço se despedra.
Quando chove nos braços da formiga o horizonte diminui.
Os cardos que vivem nos pedrouços têm a mesma sintaxe
que os escorpiões de areia.
A jia, quando chove, tinge de azul o seu coaxo.
Lagartos empernam as pedras de preferência no inverno.
O vôo do jaburu é mais encorpado do que o vôo das horas.
Besouro só entra em amálios se encontra a fêmea dele
vagando por escórias...
A 15 metros do arco-íris o sol é cheiroso.
Caracóis não aplicam saliva em vidros; mas, nos brejos,
se embutem até o latejo.
Nas brisas vem sempre um silêncio de garças.
Mais alto que o escuro é o rumor dos peixes.
Uma árvore bem gorjeada, com poucos segundos, passa a
fazer parte dos pássaros que a gorjeiam.
Quando a rã de cor palha está para ter – ela espicha os
olhinhos para Deus.
De cada 20 calangos, enlanguescidos por estrelas, 15 perdem
o rumo das grotas.
Todas estas informações têm uma soberba desimportância
científica – como andar de costas.

Manoel de Barros.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho especialmente:

Minha filha Júlia: seu sorriso é capaz de eternizar a maior felicidade e paz que um homem possa sonhar em ter.

Minha esposa Monique: Minha companheira guerreira a cada dia me deixa mais orgulhoso e vem me surpreendendo com seu jeito meigo e forte de enfrentar a vida.

AGRADECIMENTOS

Agradecer a todos que ajudaram a construir esta dissertação não é tarefa fácil. A maior injustiça que se coloca para o agradecimento de um trabalho é no esquecimento de alguém. Então, a meus amigos que, de uma forma ou de outra, contribuíram com sua amizade e com sugestões efetivas para a realização deste trabalho, gostaria de expressar minha profunda gratidão.

A todos os funcionários da Universidade de Brasília por toda dedicação, educação e presteza a mim dispensados.

Aos professores do Instituto de Geociências pelas aulas ministradas passando grande conhecimento para a inclusão nessa dissertação.

Ao Centro de Sensoriamento Remoto do IBAMA que possibilitou uma excelente infraestrutura para o andamento desse trabalho.

Um agradecimento especial a meu orientador e amigo Edson Eyji Sano, aprendi mais do que os limites da dissertação, seu jeito simples e prestativo enaltece seu trabalho.

Gostaria de expressar meus agradecimentos a minha banca examinadora por me darem à honra de dividirem este momento comigo, dando sentido as idéias e declarações aqui propostas.

Obrigado aos meus amigos do IBAMA, em especial a turma do CSR; Humberto Mesquita – grande incentivador e motivador para os estudos acadêmicos, colaborou diretamente para a aquisição das imagens Alos e me ajudou nas discussões da dissertação; Silvia Viana – Silvinha, colega de mestrado, me ajudou muito na construção dessa dissertação com suas opiniões efusivas; Felipe Luis – Felipeira, grande amigo e exemplo de dedicação e motivação; Marcos Bauch – Marcola, amigo para todas as horas, um pessoa sem limites; Werner Luis – Barbixa, amigo de pelada que sempre tá pronto para um *happy hour*.

Esta pesquisa é em boa parte o resultado dos esforços e discussões de vários meses com meu amigo de trabalho Rodrigo Antônio de Souza ou simplesmente Toninho, com seu jeito cartesiano, enriqueceu meu trabalho com sugestões pertinentes e foi essencial na base estatística do trabalho.

Ao amigo Walfrido Tomás, exímio pesquisador da Embrapa Pantanal, que me deu relevante ajuda durante estágio na Fazenda Nhumirim, oferecendo a oportunidade de conhecer os meandros desse admirável bioma.

Existem duas pessoas especiais que me ajudaram muito mais do que na escrita dessa dissertação, fizeram com que essa etapa fosse apenas mais um passo na escalada da vida, meus pais, Paulo Eduardo e Mara Regina. Meu maior agradecimento é dirigido a eles, por terem sido o contínuo apoio em todos estes anos, ensinando-me, principalmente, a importância da construção e coerência de meus próprios valores. Fizeram com que tivesse os fundamentos essenciais de um ser humano, dedicação, perseverança e humildade, demonstrando que a educação é o pilar para abrir caminhos.

E um agradecimento especial ao meu pai, por ter apoiado e enfrentado comigo a saída de campo no meio da planície pantaneira, claro que aproveitamos a paisagem e a vida selvagem da região, mas sem ele ao meu lado, não seria possível a coleta dos dados – seria um excelente biólogo.

Aos meus irmãos, Frederico e Fernando, meus melhores amigos, mesmo com a distância, estão sempre presentes nas horas mais importantes. Tenho orgulho de vocês.

A minha esposa Monique e Minha filha Júlia, são as duas pessoas que estão sempre ao meu lado, dando apoio, motivação e inspiração para que eu continuasse a enfrentar os desafios que apareceram nessa caminhada. Cada passo da minha vida é sempre pensando nelas, essa dissertação é dedicada especialmente para vocês – Amor incondicional!

Ao meu sogro e amigo Armando, grande companheiro do futebol e tênis, sendo responsável para eu “esfriar” a cabeça e me dar força para seguir em frente. A minha sogra Ludmila, sempre prestativa e altruísta ajudando nas horas mais difíceis.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
1. CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Justificativa.....	2
1.3 Objetivo geral.....	3
1.4 Objetivos específicos.....	4
1.5 Estrutura da dissertação.....	4
2. CAPÍTULO 2 – ÁREA DE ESTUDO.....	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 Localização.....	6
2.3 Solos.....	8
2.4 Clima.....	8
2.5 Cobertura vegetal.....	9
3. CAPÍTULO 3 - REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	14
3.1 Históricos de ocupação.....	14
3.2 Cobertura e uso da terra.....	16
3.3 Sensoriamento remoto por radar	20
3.3.1 Características gerais.....	20
3.3.2 Radares de abertura sintética.....	24
3.3.3 Parâmetros de imageamento.....	26
3.3.4 Características dos Alvos.....	32

3.3.5 O sistema ALOS	36
4. CAPÍTULO 4 – APLICAÇÕES REGIÃO DO MÉDIO-TAQUARI, MS	40
4.1 Materiais.....	40
4.2 Métodos.....	41
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
6. CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
ANEXO	

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Denominações das bandas espectrais dos sensores de radar com os seus respectivos comprimentos de onda e frequência.....	27
Tabela 3.2 – Critério de rugosidade superficial para três diferentes sistemas de radar com ângulos de depressão diferentes.....	33
Tabela 3.3 – Característica orbital do sistema PALSAR.....	38
Tabela 3.4 – Características de imageamento do satélite ALOS/PALSAR.....	38
Tabela 4.1 – Características das imagens do satélite ALOS/PALSAR da região do Médio Taquari, MS, adquiridas para esse estudo.....	41
Tabela 4.2 – Resultados estatísticos da análise discriminante. CP = componente principal; R = correlação canônica; WL = teste de Wilks' Lambda; GL = grau de liberdade; p = nível de significância.....	53
Tabela 4.3 – Resultado da análise discriminante na determinação da importância relativa de cada polarização na discriminação de classes de cobertura vegetal da área de estudo.....	54
Tabela 4.4 – Resultados do teste de Kruskal-Wallis. H = teste de Kruskal-Wallis; GL = grau de liberdade; N = número de amostras; p = nível de significância.....	54
Tabela 4.5 – Teste ad hoc referente à distância entre as classes nas três polarizações. Valores seguidos de asterisco não mostraram diferenças significativas.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – 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.....	5
Figura 2.2 – Localização das sub-regiões do bioma Pantanal.....	7
Figura 2.3 – Distribuição das fitofisionomias dentro da área de estudo.....	10
Figura 3.1 – Espectro eletromagnético e as bandas da região de microondas.	21
Figura 3.2 – Parâmetros envolvidos em uma aquisição de imagens por um SAR.....	25
Figura 3.3 – Ilustração de como a banda L age em diferentes tipos de alvo.	28
Figura 3.4 – Variação do retroespalhamento conforme o ângulo de incidência.	29
Figura 3.5 – A variação da polarização é conforme a direção do campo elétrico.....	30
Figura 3.6 – Tipos de difusores em uma imagem de radar, rugosidade superficial e formato dos alvos.....	34
Figura 3.7 – Satélite ALOS com seus três sensores e a antena de captação solar.....	37
Figura 4.2 – Fluxograma da metodologia geral do trabalho.....	42
Figura 4.3 – Pontos selecionados aleatoriamente para cada classe na área de estudo.....	44
Figura 4.4 – Regime diário de precipitação registrada por três estações pluviométricas localizadas próximo à área de estudo (referente a 30 dias antes da passagem do satélite).....	45
Figura 4.5 – Fotografias panorâmicas de campo ilustrando as seguintes classes de cobertura vegetal representativas da área de estudo: Floresta Estacional Semidecidual aluvial (Fa) (a); Savana Florestada (Sd) (b); Savana Arborizada (Sa) (c); Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg) (d); e Pastagem Cultivada (Ap) (e).....	46
Figura 4.6 – Dispersão de valores de retroespalhamento entre as polarizações HH e VV (a), HH e HV (b) e VV e HV (c). Fa = Floresta Estacional; Sd = Savana Densa; Sa = Savana Arborizada; Sg = Savana	

Gramíneo-Lenhosa; e Ap = Pastagem Cultivada.....	49
Figura 4.7 – Distribuição histogrâmica dos coeficientes de retroespalhamento da Floresta Estacional (Fa), Savana Densa (Sd), Savana Arborizada (Sa), Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg) e Pastagem Cultivada (Ap) nas polarizações HH (a), HV (b) e VV (c).....	52
Figura 4.8 – Distribuição histogrâmica dos coeficientes de retroespalhamento da Floresta Estacional (Fa), Savana Densa (Sd), Savana Arborizada (Sa), Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg) e Pastagem Cultivada (Ap) nas polarizações HH (a), HV (b) e VV (c).....	54

RESUMO

A região do 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 ALOS/PALSAR 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 o grande potencial das três polarizações na discriminação das classes Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, Savana Florestada e Savana Arborizada, não sendo possível diferenciar as classes Savana Gramíneo- Lenhosa e Pastagem. O teste estatístico discriminante indicou a polarização VV com o melhor resultado para a discriminação. As classes florestadas mostraram valores de restroespalhamento muito mais altos que as classes arbustivas/gramíneas.

ABSTRACT

The region of Médio Taquari, State of Mato Grosso do Sul, corresponds to a region located in highlands of Pantanal biome, presents typical phytophysiognomies of Cerrado biome, and has important tributaries that contribute to the periodic flooding of pantanal itself. The objectives of this study is to analyze the potential of ALOS/PALSAR 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 to 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 (As); Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg); and Cultivated Pastures (Ap). Statistical results showed that VV polarization presented Best performance and all land use and land cover classes were discriminated, with the exception of Sg and Ap. The statistical test indicated that the VV polarization had the best results regarding the discrimination. The forested ranges presented higher backscattering values than the grassy/bushes ranges.

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 Introdução

Com o crescente aumento do uso de dados ambientais, adquiridos por plataformas orbitais, os estudos atuais apresentam maior riqueza nas informações obtidas com maior confiabilidade nos dados. Consequentemente, as pesquisas têm se voltado para o entendimento das diferentes coberturas de terra e um controle sistemático no monitoramento dessa cobertura vegetal. O uso dos sensores ópticos e os sensores na faixa das microondas têm como um dos objetivos a discriminação das diferentes classes vegetacionais e suas possíveis mudanças que por ventura possam ocorrer (KERR e OSTROVSKY, 2003).

A utilização de imagens de radar é uma das principais ferramentas utilizadas para o mapeamento e monitoramento de recursos naturais. Sua capacidade de produzir imagens independentemente da iluminação solar e condições climáticas, torna-a particularmente adequado para o monitoramento de cobertura vegetal em países tropicais, onde os sistemas ópticos podem deixar de fornecer informações importantes e sistemáticas (KASISCHKE *et al.*, 1997).

Vários trabalhos mostram o potencial das imagens de radar em identificar efetivamente áreas florestadas e não florestadas a partir de suas estruturas e composição. Muitos estudos têm indicado uma correlação entre sinais de radar e diferentes coberturas de terra. Por exemplo, IMHOFF (1995a) encontrou alta correlação entre retroespalhamento e estrutura da floresta, ou seja, verificou-se um aumento no retorno do sinal com o aumento da biomassa. Cientistas têm constatado que a relação entre retroespalhamento e vegetação depende das características do sistema de radar, principalmente frequência, polarização e ângulo de incidência.

Novos sistemas de radar foram desenvolvidos nos últimos anos pelas agências espaciais da Europa, do Canadá e do Japão. Em particular, o satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) oferece informações da cobertura de terra do espaço na banda

L, permitindo discriminar áreas florestadas de não florestadas (IMHOFF, 1995b; RIGNOT *et al.*, 1997). O que ainda não está totalmente compreendido e é um dos principais objetivos deste estudo, são os potenciais que as diferentes polarimetrias (HH, HV e VV) podem ter sobre os estudos de discriminação de fitofisionomias encontradas nos diferentes biomas brasileiros, incluindo o Pantanal.

1.2 Justificativa

O bioma Pantanal corresponde a uma planície de inundação periódica conhecida pela sua alta biodiversidade e pela grande extensão de áreas úmidas (ALHO *et al.*, 2005) e é, segundo POR (1995), a maior planície inundável da América do Sul, ainda em processo de sedimentação (ALMEIDA, 1959). O referido bioma foi declarado reserva da biosfera e patrimônio mundial natural pela UNESCO e está presente nos estados de Mato Grosso (40,3%) e Mato Grosso do Sul (59,7%) ocupando uma área de aproximadamente 151.313 km² (IBGE, 2010). Sua altitude média é de 110 metros (AZEVEDO, 1964) e as declividades são muito baixas (ADAMOLI, 1982), em média 0,41 m/km (TRICART, 1982). As funções ecológicas das áreas úmidas são imprescindíveis para manter o ecossistema local e global. As áreas úmidas são responsáveis pelo armazenamento de água, transformações de nutrientes, crescimento de matéria viva, entre outras funções importantes (NOVITZKI *et al.*, 1996).

Áreas úmidas representam um dos ecossistemas mais frágeis da Terra, pois são altamente susceptíveis às ações humanas (GOPAL E JUNK, 2000). Segundo JUNK (2002), apesar dessa elevada susceptibilidade, existe forte deficiência no monitoramento dessas áreas. Estudos de áreas úmidas baseados em imagens de radar de abertura sintética (SAR) no bioma Pantanal com uma única polarização foi conduzido por COSTA E TELMER (2006). 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 bacia do Alto Paraguai, com cerca de 362.000 km² no Brasil, abrange 4,3% do território nacional, devido sua importância despertou grande interesse ao longo dos anos, na qual, foi responsável por diversos projetos e estudos, como os conduzidos pela OEA no Projeto Bacia do Prata – Estudo para sua planificação e Desenvolvimento, de 1968 a 1970; o Estudo Hidrológico da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal), realizado pela UNESCO/PNUD e publicado em 1973, o Estudo de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Alto Paraguai – EDIBAP, acordo governo brasileiro/PNUD e tendo a OEA como organismo executor, realizado de 1977 a 1989; e o Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – PCBAP, executado de 1991 a 1996 e coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA, com recursos de empréstimo do Banco Mundial – BM e apoio operacional do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento-PNUD.

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 áreas de terras firmes é igualmente importante. Uma dessas áreas que vêm sofrendo uma forte ocupação antrópica é a do Médio Taquari, MS (OLIVEIRA *et al.*, 2000). As características do Pantanal revelam a grande influência biogeográfica dos biomas vizinhos, como o Cerrado a leste, a Amazônia ao norte e ao Chaco a sudoeste. A vegetação natural da região do Médio Taquari é composta principalmente pelas fitofisionomias do Cerrado (formações campestres, savânicas e florestais) (MMA, 2002). Para JUNK *et al.* (2006), o Pantanal pertence ao bioma Cerrado e é composto por diferentes tipos de savanas. A distribuição de plantas é heterogênea, os elementos do Cerrado sendo mais prevalentes no arco leste (ADÁMOLI, 1982).

O Pantanal vem sofrendo vários tipos de impactos ambientais, como a exploração da vida silvestre, pesca predatória, desorganização das atividades turísticas, desmatamentos e processo de implantação de pastagens cultivadas. Dessa forma, A porção do Médio Taquari necessita ser estudada mais profundamente, visando, sobretudo, melhorar o conhecimento científico a partir de diferentes formas na obtenção de dados importantes, como o uso de imagens de radar, que pode nos fornecer

informações imprescindíveis para serem utilizadas na preservação da sua natureza e biodiversidade em conjunto com sua utilização ecológica sustentável de seus recursos.

No bioma Pantanal, ainda não existe nenhuma pesquisa com imagens de radar que tenha avaliado a real capacidade de discriminar classes representativas de cobertura vegetal utilizando diferentes polarizações na região do Médio Taquari.

1.3 – Objetivo Geral

O objetivo geral desse estudo é avaliar o potencial das imagens ALOS/PALSAR (banda L, polarizações HH, HV e VV) para discriminar as diferentes classes de cobertura vegetal representativas da região do Médio Taquari - MS, bioma Pantanal.

1.4 – Objetivos Específicos

- a) Identificar a melhor polarização para a discriminação das classes na área de estudo;
- b) identificar, por meio de ferramentas estatísticas, as diferenças existentes entre as classes vegetacionais para cada polarização; e
- c) analisar se há relação linear nos valores das classes de estudo entre as três polarizações (HH x HV, HH x VV e HV x VV).

1.5 – Estrutura da Dissertação

Na parte inicial desta dissertação, são apresentadas a justificativa do trabalho e os objetivos principal e específicos (Capítulo 1). A seguir, ênfase é dada para a descrição da área de estudo (Capítulo 2). As revisões bibliográficas abordando cobertura e uso da terra e fundamentos teóricos de radar são apresentadas no Capítulo 3. A metodologia desta pesquisa é destacada no Capítulo 4 e, no Capítulo 5, são mostrados os principais resultados obtidos. O Capítulo 6 apresenta as considerações finais desta pesquisa.

CAPÍTULO 2

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1 Introdução

O Pantanal é uma planície sedimentar inserida na Bacia do Alto Paraguai (BAP), localizada a oeste do Brasil (Figura 2.1). No território brasileiro, a BAP possui uma área de 362.375 km² (ANA, 2004) que, além da planície pantaneira, compreende também planaltos adjacentes, com altitudes a 1000 metros, onde estão as nascentes dos rios pantaneiros.

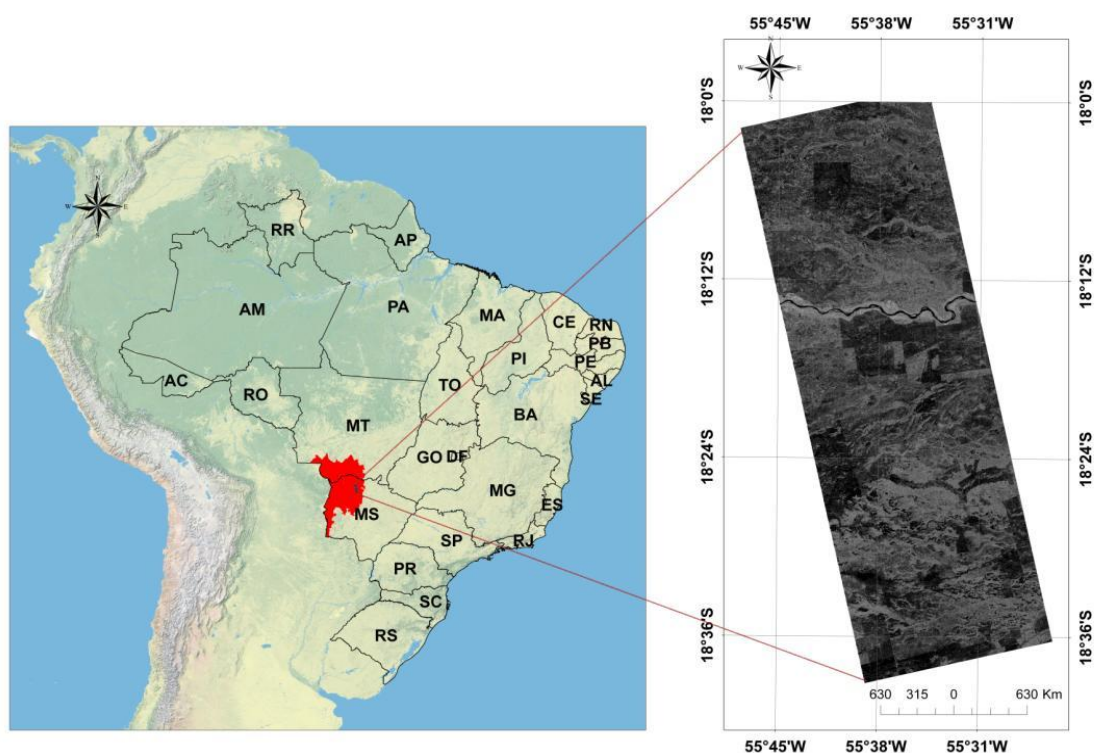


Figura 2.1 Localização da área de estudo no bioma Pantanal, mostrada pela imagem do satélite ALOS/PALSAR (banda L, polarização HH) de 11 de junho de 2009.

A Bacia do Rio Taquari pode ser subdividida em três compartimentos, de acordo com o compartimento que o rio apresenta ao longo de seu percurso em direção ao rio Paraguai (MATO GROSSO DO SUL, 1992; SANTOS e CREPANI, 1993). O primeiro compartimento representa a Bacia do Alto Taquari (BAT), com uma superfície de 28.000 km², que abrange a área denominada planalto, sendo drenado pelo rio Taquari e

seus afluentes até a escarpa cuestiforme da Bacia Sedimentar do Paraná, próxima à cidade de Coxim – MS. Essa região se caracteriza por apresentar um elevado poder de erosão e transporte de sedimentos (MATO GROSSO DO SUL, 1992; CREPANI, 1993).

O segundo compartimento, denominado de Médio Taquari, inicia-se nas proximidades da cidade de Coxim, quando o rio rompe o obstáculo formado pelos sedimentos da Bacia do Paraná, penetrando na planície pantaneira, e termina próximo à fazenda São Gonçalo, que dá início ao Baixo Taquari. Nessa região do Médio Taquari, o rio Taquari meandra dentro de uma planície de inundação restrita, apresenta uma calha de sedimentação bem definida e retrabalha os sedimentos depositados, sendo caracterizado pela erosão das margens localizadas na parte côncava e deposição na parte convexa (MATO GROSSO DO SUL, 1992; SANTOS e CREPANI, 1993).

O terceiro compartimento, conhecido por Baixo Taquari, inicia-se próximo à fazenda São Gonçalo e termina no rio Paraguai. Nesse compartimento, o rio Taquari perde seu poder de erosão e transporte de sedimentos, passando a delinear uma ampla faixa de depósitos aluviais que se alarga, a jusante, como um delta (MATO GROSSO DO SUL, 1992; SANTOS e CREPANI, 1993).

2.2 Localização

O estudo foi conduzido na região do Médio Taquari, localizado no município de Corumbá-MS, delimitada aproximadamente entre as latitudes $-18^{\circ} 36' S$ e $-18^{\circ} 00' S$ e entre as longitudes $-55^{\circ} 45' W$ e $-55^{\circ} 31' W$ (Figura 2.1).

A região no Médio Taquari possui características relevantes para responder aos problemas em discussão, já que apresenta um mosaico fragmentado e heterogêneo de fitofisionomias representativas do bioma Pantanal. As alterações antrópicas que acontecem na região do Médio Taquari influenciam todo processo de inundação da planície pantaneira. O rio Taquari é um dos principais formadores do Pantanal, ao adentrar a planície pantaneira, formando um leque aluvial de 55.509 km^2 , representando 36% do bioma, onde situam-se as duas principais sub-regiões do Pantanal, na qual, a

área de estudo está inserida, o Paiaguás e a Nhecolândia (Figura 2.2) (SILVA E ABDON, 1982).

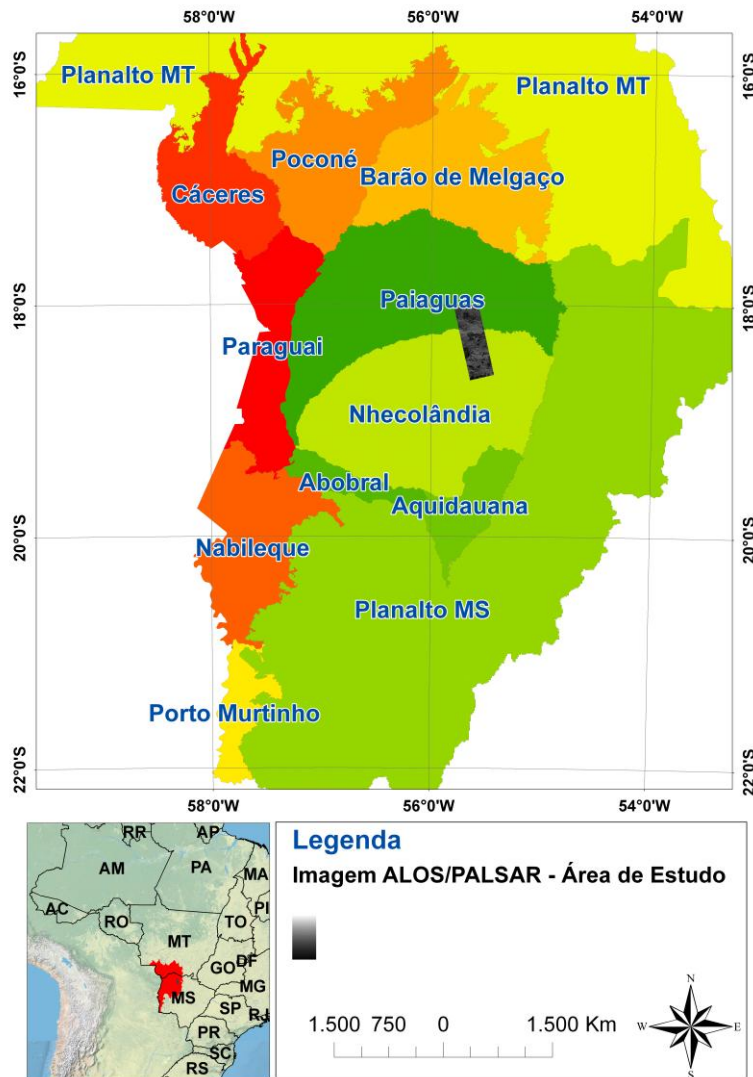


Figura 2.2 Localização da área de estudo, representada pela imagem do satélite ALOS/PALSAR nas sub-regiões no bioma Pantanal.

Devido à expansão da atividade agropecuária, a partir da década de 1970, na BAT, houve um aumento dos processos erosivos, decorrentes da remoção da cobertura vegetal nativa para a implantação de pastagens e de cultivos anuais (OLIVEIRA *et al.*, 2000). Conseqüentemente, esse processo aumentou a taxa de assoreamento no Rio Taquari (GODOY *et al.*, 1999), provocando a criação de novos meandros (PADOVANI *et al.*, 2004), e o aumento da inundação no Médio e Baixo Taquari, causando impactos negativos para a região.

O rio Taquari transporta uma quantidade relativamente alta de areia fina (BRASIL, 1974), constituindo-se como um dos principais formadores do Pantanal. Entretanto, a expansão da atividade agropecuária, situada principalmente nesse compartimento denominado Alto Taquari, iniciada no final da década de 1970, intensificou o assoreamento no leito do Taquari no Pantanal, conseqüentemente, contribuiu para a inundação permanente, nas últimas décadas, de milhares de km² de terra na planície do seu baixo curso (GALDINO *et al.*, 2006).

2.3 Solos

Os solos da região do Médio Taquari são formados por sedimentos arenosos do rio Taquari. Segundo CUNHA (1980), o solo da região do Paiaguás e da Nhecolândia é caracterizado por sedimentos totalmente arenosos submetidos em parte a acentuado hidromorfismo. Os solos das áreas mais altas, denominada cordilheiras, coberto por mata, são os que apresentam teores mais elevados de nutrientes (a vegetação arbórea mantém uma quantidade de nutrientes maior do que o solo é capaz de reter) (CUNHA, 1980). Em quase toda sua extensão, o leque do Taquari é arenoso, com solos ácidos tipos Podzólico Hidromórfico (BRASIL, 1982) e Areias Quartzozas distróficas (QUEIROZ NETO, 1997).

2.4 Clima

O clima é considerado subúmido megatérmico (CADAVID GARCIA e CASTRO, 1986), apresentando a temperatura do ar geralmente elevada com a temperatura média de 25 graus Celsius e a estação seca de mais de quatro meses ao ano. Segundo a classificação de KÖPEN (CADAVID GARCIA, 1984), o clima é do tipo quente, com o semestre de inverno seco, apresentando um regime de precipitação marcadamente estival, que define o caráter estacional. A pluviosidade anual oscila entre 800 mm a 1.400 mm, sendo que 80% ocorrem entre os meses de novembro e março.

2.5 Cobertura Vegetacional

O bioma do Pantanal é conhecido por apresentar um complexo de diferentes tipos vegetacionais provindas de outras regiões que se misturam, com fitofisionomias das florestas amazônica, estacionais e atlântica, cerrados, chaco e caatinga, apresentando poucas espécies endêmicas (BRASIL, 1979; RIZZINI, 1979). A fitofisionomia do Cerrado é a dominante no Pantanal (BRASIL, 1982; POR, 1995), sobretudo na parte arenosa do bioma, como na área do presente estudo.

As cinco 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). Na Figura 2.3, é possível observar a distribuição das classes de vegetação.

Floresta Estacional (Mata/Mata Ciliar) - ao longo dos flúvios – As florestas estacionais tropicais são formações que ocorrem em áreas onde a precipitação anual é ≤ 1.600 mm, com um período seco de 5 a 6 meses com precipitação total ≤ 100 mm (PENNINGTON *et al.*, 2000). Esse tipo de fitofisionomia geralmente ocorre em regiões onde o solo apresenta uma alta fertilidade e podem ocorrer em meio a uma matriz savânica (PRADO, 1993). Dependendo do grau de umidade presente nesse tipo florestal, são classificadas em Florestas estacionais semidecíduais, que podem perder de 20% a 50% das folhas no período seco, e florestas estacionais decíduais, que perdem mais de 50% das folhas (IBGE, 1992).

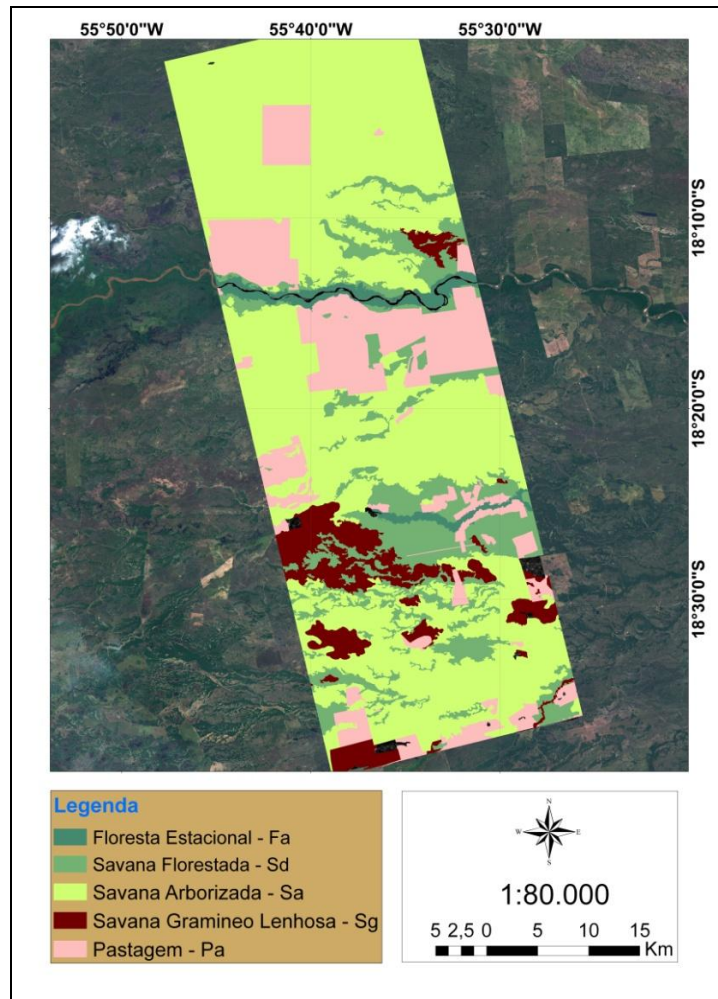


Figura 2.3 Distribuição das fitofisionomias dentro da área de estudo.

A composição florística e a fisionomia podem determinar um *continuum* entre as formações semidecíduas e as áreas de Savana Florestada (Cerradões), que é considerado um estágio intermediário entre floresta e savana (RIBEIRO e WALTER, 1998). No Brasil, essas formações vêm sendo estudadas com mais intensidade nos últimos anos sob o aspecto florístico e estrutural (SILVA e SCARIOT, 2003), mas ainda falta mais conhecimento a respeito de alguns aspectos biogeográficos, biológicos e ecológicos. São florestas fechadas que se distribuem ao longo dos rios, podendo chegar a 15 metros de altura, mas a maioria das árvores forma um dossel de 10-12 metros. A Floresta Estacional (Fa) está relacionada ao clima tropical com duas estações distintas, uma estação seca e outra chuvosa. São incluídas no domínio da Mata Atlântica, porém, diferem-se dessas formações ombrófilas pela porcentagem maior de árvores caducifólias (URURAHY *et al.*, 1983).

Savana Florestada (Cerradão) – São áreas com a presença de árvores altas de 12 metros a 18 metros e outras menores de cerca de 3 metros a 7 metros (ALHO, 2005). Uma floresta baixa (até 18 metros de altura) se distingue das matas estacionais, pela esclerofilia (resposta adaptativa aos solos pobres em nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, uma vez que o metabolismo de nitrogênio nas plantas é regulado pela disponibilidade do fósforo) e composição florística, embora gramíneas e subarbustos que caracterizam as savanas, inexistam na savana florestada. Ocorrem em áreas não inundáveis em clima tropical eminentemente estacional. A estratificação é geralmente simples, com estratos arbóreo, arbustivo de esclerofilos (geralmente denso), e herbáceo, com circunferência raramente ultrapassando 1 metro e ramificações irregulares. As árvores apresentam-se dispostas de maneira ordenada, com copas irregulares, podendo se tocar.

Savana Arborizada (Campo Cerrado/Cerrado/Cerrado Aberto) – Formação natural que se caracteriza por apresentar fisionomia nanofanerofítica rala e hemiciptofítica graminóide contínua, sujeita ao fogo, formando uma vegetação menos densa em terrenos parcialmente alagáveis. 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 (campo limpo e sujo), arbustivas (campo cerrado, cerrado *stricto sensu*), e por fisionomia florestal denominada cerradão, sendo que a biomassa cresce do campo limpo para cerradão (LIMA, 1996).

O cerrado denso amostrado por ABDON *et al.* (1998) na sub-região da Nhecolândia, é formado por árvores de até 12 metros de altura, com estrato superior formado por jatobás, paratudo e pequi. No habitat de cerrado aberto amostrado também por ABDON *et al.* (1998) na sub-região da Nhecolândia, há presença de árvores de jatobás, angelim e pequi de 3 metros a 7 metros de altura, algumas podendo chegar a 10 metros, com presença de arbustos em moitas.

Savana Gramíneo-Lenhosa (Campo/Campo Limpo/Campo Sujo/Caronal/Campina e Campo Alagado) – É habitat de área aberta, inundável, bastante presente no Pantanal em diversos graus de composição florística de gramíneas e ervas, frequentemente

associadas à presença de arbusto. Segundo classificação da [EMBRAPA \(1997\)](#), na savana gramíneo-lenhosa, que se encontra nas cotas mais baixas do relevo, prevalece a formação campestre, que ocupam extensas áreas alagáveis dominadas por hemicriptófitos, entremeados por subarbustos e geófitos, que apresentam caule subterrâneo, isto é, xilopódios, resistentes ao pisoteio do gado e ao fogo. Dentro dessa classe de vegetação, é possível verificar, na área de estudo, uma vegetação aquática que é muito variável entre lagoas e muito dinâmica entre épocas. Outras vezes, esse campo inundável pode ser conhecido como campo sujo, é um campo de vegetação rasteira inundável, com arbustos esparsos.

Pastagem Plantada – Com o incremento da pecuária bovina a partir da década de 70, os processos erosivos se tornaram mais evidentes na região do Taquari ([ALHO, 2005](#)). Quase a totalidade das áreas de pastagem localizada na bacia do Taquari é mal manejada, sem prática de conservação do solo. Essa conversão da vegetação nativa para pasto ou campos de soja se dá com maior intensidade nos planaltos do que na planície. As formações florestadas ou arbóreas mais visadas pelos desmatamentos são as fitofisionomias florestadas como Floresta Estacional, Savana Florestada (Cerradões) e Savana Arbórea (Cerrado) ([ALHO, 2005](#)).

No bioma Pantanal, a conversão da cobertura natural vegetal de cerrado é drasticamente modificada para um ambiente homogêneo de pastagens implantadas, com a introdução de espécies plantadas, como é o caso de cultivo de pastagens dominado pelas gramíneas do gênero *Brachiaria*, utilizada na planície, principalmente na parte leste de Nhecolândia e Paiaguás. Atualmente é preferido o plantio de *Brachiaria* em áreas de gramíneas duras, sem necessidade de remoção de árvores e capões ([POTT, 2000](#)), entretanto, fazendas tradicionais são adquiridas por empresários, com recursos para desmatamento ([SILVA et al., 2007](#)).

Segundo [SILVA et al. \(1992\)](#), por meio de um sobrevôo, mostrou um desmatamento de mais de 15% da área florestada e arbórea. Posteriormente, em outro sobrevôo e trabalhos de campo, um resultado mais conservador, cerca de 4%, ou seja, uma perda de 5.438 km² de florestas e vegetação arbórea do Pantanal ([SILVA et al., 1998a](#)). Esses dois estudos concluem que a maior pressão de desmatamento ocorre na

transição entre o Pantanal e o Planalto, marcadamente na região leste, exatamente onde se encontra a área de estudo.

CAPÍTULO 3

REVISÃO BIBLIOGRAFICA

No presente capítulo, são descritos os conceitos e a fundamentação teórica necessária para este trabalho. Inicialmente serão abordados os conceitos referentes ao histórico de ocupação da região da Bacia do Alto Paraguai, em seguida descreve-se o uso e cobertura da terra e a importância dos estudos que englobam essa temática. Posteriormente, são apresentados conceitos referentes à utilização do sensoriamento remoto, conceitos e utilização de radar em regiões de áreas florestada e áreas úmidas em aplicação em diferentes classes vegetais.

3.1 Histórico de Ocupação

A ocupação do Pantanal iniciou-se no século XVII com os bandeirantes paulistas em busca por pedras, metais preciosos e indígenas. Em 1718, a descoberta de ouro em Cuiabá atraiu um contingente populacional para a região. No entorno das minas, estabeleceram-se engenhos de cana, lavoura e pecuária, que contribuíram para a ocupação do território (COSTA, 1999; POR *et al.*, 2003). Devido à intensa exploração aurífera, em meados do século XIX, a região compreendida na Bacia do Alto Paraguai foi abandonada pelos bandeirantes por um grande intervalo de tempo (POR *et al.*, 2003).

Na região pantaneira propriamente dita, o longo período de enchentes em que ainda se encontra, consolida ainda mais sua condição de área de pecuária extensiva, sem incorporação de técnicas modernas no manejo do rebanho, mantendo-se arraigada a velhos comportamentos (as relações de agregado servil e senhor de terras). Com essas características propícias para a pecuária, no início do século XX, a região voltou a prosperar com a chegada de pecuaristas e das primeiras atividades industriais no Pantanal: fabricação de caldo e extrato de carne e curtimento de couro. Na década de 1980, outro ciclo de exploração de ouro trouxe para a região milhares de pessoas, principalmente de São Paulo, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná. Nessa mesma época, a expansão da fronteira agrícola trouxe para a planície agricultores de várias regiões do Brasil, motivados pelos baixos preços das terras na região (POR *et al.*, 2003).

Atualmente a base da economia regional é a criação extensiva de gado para corte, uma vez que a agricultura é pouco recomendada, devido principalmente às enchentes periódicas e aos solos pouco férteis. A atividade turística vem se expandindo nos últimos anos, e mais recentemente, em alguns municípios da BAP, têm sido instalados alguns empreendimentos de mineração (IBGE, 1998).

Em geral, a pecuária nessa região não apresenta tratos culturais específicos, ocasionando degradação do solo, principalmente erosão e compactação, além de incêndios, queimadas e desmatamentos para estabelecimento de pastagens (BRASIL, 1997). Em 1977, as lavouras e os pastos cultivados ocupavam apenas 3,4% da Bacia do Alto Taquari. Mais recentemente, em 2000, as áreas ocupadas pela agropecuária correspondiam a 61,9% da superfície da bacia, com destaque para as pastagens que, em 2000, eram cultivadas em 54,8% das terras (ANA, 2004). Além disso, a fiscalização precária associada ao desconhecimento da legislação e à falta de conscientização sobre a importância ambiental da região permite que atividades predatórias como a pesca e a caça clandestina sejam uma ameaça, exercendo grande pressão sobre a fauna, principalmente nos períodos reprodutivos (MOURÃO *et al.*, 2003).

O turismo é hoje considerado uma das atividades que mais cresce no mundo e o Pantanal tem alto apelo turístico pela sua beleza cênica, pela pesca esportiva e pelo contato com a natureza (ALHO, 2005). A grande enchente ocorrida em 1974 no Pantanal foi, talvez, o marco para o início do desenvolvimento de atividades turísticas na região. A partir desse ano, várias empresas de turismo utilizaram-se dessas vantagens locais para a exploração e uso da prática do turismo. O turismo, atividade crescente na BAP, apesar da grande potencialidade como fonte de renda aos proprietários rurais, ainda não possui infra-estrutura adequada para oferecer um serviço de qualidade, com segurança aos visitantes e conservação adequada dos ambientes naturais. A falta desse ordenamento turístico no Pantanal vem provocando danos potenciais aos seus recursos naturais e às comunidades envolvidas, diante da fragilidade dos seus ecossistemas.

As atividades mineradoras, além de gerarem forte impacto visual, causam assoreamento e modificam a trajetória dos corpos d'água, contaminando as bacias com

dejetos de diferentes origens e intensificando processos erosivos, com conseqüente descaracterização da paisagem (ALMEIDA *et al.*, 2003).

A remoção da vegetação, principalmente nos planaltos onde se situam as nascentes dos rios que formam o Pantanal, tem acelerado a destruição dos habitats, sendo a principal causa do assoreamento dos rios na planície e da intensificação das inundações. O clima da região sofre alterações, ocasionando o êxodo rural das populações residentes nas áreas mais afetadas (EMBRAPA, 2003).

3.2 Cobertura e Uso da Terra

A intensa exploração dos recursos naturais tem sido responsável pelas principais mudanças na dinâmica da cobertura e uso da terra. Esse uso da terra é um tema que preocupa em retratar as atividades humanas que podem significar pressão e impacto sobre os elementos naturais ou sobre o próprio homem. Os conceitos atribuídos à cobertura e ao uso da terra normalmente causam confusão, embora estes termos possuam significados bem distintos. Cobertura da terra diz respeito a todas as feições da superfície terrestre, sejam elas naturais, antrópicas ou massas d'água. Uso da terra envolve atividade humana e está diretamente relacionado com o tipo de revestimento do solo, seja ele agrícola, residencial ou industrial.

No Brasil, os trabalhos iniciais que buscavam identificar o uso e cobertura da terra remetem às décadas de 1930 e 1940, e tinham, como objetivos principais, estudar o processo de colonização ou reconhecimento de áreas ainda pouco descritas (IBGE, 2006). Durante as décadas de 1950 e 1960, os estudos passaram a buscar a identificação de padrões espaciais de cobertura, analisados principalmente a partir dos processos produtivos existentes. Tais trabalhos buscavam caracterizar variáveis específicas da ocupação (distribuição espacial das propriedades, frentes pioneiras, expansão do povoamento) e posteriormente com questões de regionalização do uso da terra e de mapeamento dessas variáveis. Entretanto, foi somente a partir da década de 1970 que houve avanços nas análises classificatórias das formas e das dinâmicas de uso da terra, criando condições para o surgimento de uma terminologia padronizada para tais esforços (IBGE, 2006).

De acordo com [IBGE \(2006\)](#), entende-se por levantamento, o conjunto de operações necessárias à elaboração de uma pesquisa temática que pode ser sintetizada a partir de mapas. O levantamento de uso e da cobertura da terra indica a distribuição geográfica da tipologia de uso, identificada pelos padrões homogêneos da cobertura terrestre. Para monitorar as mudanças espaciais de extensas áreas com maior rapidez e precisão, recomenda-se o uso de sensores imageadores.

O primeiro satélite com finalidade de monitorar recursos terrestres foi o Landsat-1, lançado em 1972. O desenvolvimento de sistemas sensores e de técnicas de processamento de imagens foi um marco para o sensoriamento remoto moderno. Os novos recursos tecnológicos, ao enfatizarem a riqueza de informações do uso da terra e a subjetividade da sua apreensão por diferentes abordagens, mostraram que os estudos do uso da terra devem ser fundamentados em sólidas bases teórica, conceitual e metodológica. Torna-se, portanto, relevante revelar os paradigmas que orientam um levantamento de uso da terra ([SILVA, 1995](#)).

Uma alternativa para os sensores ópticos para o mapeamento de cobertura de terras são os sensores de radar de abertura sintética (SAR) que operam na faixa espectral de microondas e que possuem capacidade de imageamento mesmo com a presença de nuvens e também a qualquer hora do dia ou da noite, pois possuem fonte própria de radiação eletromagnética (REM) ([RANEY, 1998](#)). Os seus dados são ainda independentes das condições de iluminação solar. A principal desvantagem continua sendo a falta de um melhor entendimento sobre os processos físicos que efetivamente ocorrem quando os sinais de radar incidem em um determinado alvo, conforme ressaltado por [CHAVES *et al.* \(2003\)](#).

A vegetação é um importante indicador das condições ambientais de uma região, tanto no que se refere à proteção do solo, quanto na definição de habitats de animais silvestres. O conhecimento detalhado e confiável dos tipos de vegetação fornece subsídios para o manejo de recursos naturais. O primeiro trabalho voltado ao mapeamento da vegetação realizado na BAP foi executado por [SUDECO \(1979\)](#) e gerou um mapa na escala de 1:1.000.000. [BRASIL \(1982a, 1982b, 1982c\)](#), quando do

mapeamento sistemático da vegetação brasileira, realizado pelo projeto RADAMBRASIL, efetuou o mapeamento das três folhas ao milionésimo que compõem o Pantanal.

Não se observa no Pantanal, grandes áreas contínuas de um único tipo de vegetação, o que o torna naturalmente fragmentado. O Pantanal é composto pela interseção de quatro grandes regiões fitoecológicas regionalmente conhecidas por Mata Decídua, Mata Semidecídua, Cerrado e Chaco (SILVA, 2007). Além dessas quatro regiões, em várias porções do Pantanal observa-se a ocorrência de contatos florísticos entre as regiões fitoecológicas e vegetação pioneira, que são aquelas influenciadas pelo alagamento dos rios e das baías, formando os campos alagados e brejos.

Mesmo sendo o Pantanal ocupado há mais de 250 anos, suas fitofisionomias formam um imenso mosaico, abrigando uma grande diversidade de espécies de plantas e animais adaptados à dinâmica definida pelo clima e pelos pulsos de inundação da região. Segundo ABDON *et al.* (2007), o Bioma Pantanal ainda é bastante conservado, pois apresentava 88,46% de cobertura natural, contra 11,54% de área antrópica até 2002.

Adotou-se o sistema fisionômico-ecológico para a classificação da vegetação, proposto por BRASIL (1980). MATO GROSSO DO SUL (1989), adotando o mesmo sistema de classificação utilizado pelo RADAMBRASIL, efetuou o mapeamento do Estado do Mato Grosso do Sul na escala de 1:250.000, incluindo o Pantanal desse Estado. PONZONI e HERNANDEZ FILHO (1988), com a utilização de dados de sensoriamento remoto no Pantanal, realizaram um trabalho no Parque Nacional do Pantanal Mato-grossense para caracterização da vegetação. Relevante trabalho de levantamento fitossociológico na região de estudo foi realizado por RATTER *et al.* (1988) em áreas de mata semidecídua, cerradão e cerrado na Fazenda Nhumirim, sub-região da Nhecolândia.

Vários trabalhos foram desenvolvidos em locais pontuais dentro do bioma Pantanal na utilização de imagens de satélite para a questão do entendimento da cobertura vegetal. Como exemplo, temos o de PONZONI *et al.* (1989) para o Parque

Nacional do Pantanal Mato-Grossense (135.000 ha), utilizando imagem Landsat-TM 1:250.000; o de [SILVA et al. \(1994\)](#) que utilizaram imagens do mesmo sensor para a fazenda Nhumirim (4.310 ha), escala 1:100.000, reunindo informações de campo como fitossociologia e análise da complexidade estrutural em amostras selecionadas visualmente; o de [BOOCK et al. \(1994\)](#) e [SILVA et al. \(1998b\)](#) que mapearam a vegetação da área pertencente ao Pantanal da Fazenda Bodoquena (160.000 ha), subregião do Nabileque, utilizando imagem Landsat-TM 1:100.000 e fotografias aéreas 1:20.000, respectivamente; e de [ABDON et al. \(1998\)](#) que utilizaram imagem Landsat-TM 1:50.000 de parte da sub-região da Nhecolândia, gerando uma carta de vegetação na mesma escala. Um trabalho com abrangência regional é o de [VELOSO \(1972\)](#), que elaborou um mapa de distribuição da vegetação da Alta Bacia do Rio Paraguai, considerando aspectos fitoecológicos, com base em amostragem, utilizando fotografias aéreas de 1:60.000 e fotoíndices de 1:150.000. Recentemente a Embrapa Pantanal, mediante financiamento do PNUD, via Ministério do Meio Ambiente e SEMADES-MS, efetuou o mapeamento da vegetação da bacia do Alto Paraguai, na escala de 1:250.000, como parte do Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai/PCBAP ([POTT et al., 1997](#)).

Pioneiros botânicos vindos da Europa foram os primeiros a explorar a vegetação do Pantanal entre 1825 e 1895, obviamente com recursos e áreas restritas aos grandes rios do bioma, ficando algumas áreas prejudicadas pela falta de informação ([SAMPAIO, 1916](#)). Em seguida, Hoehne fez muitas coletas ([SAMPAIO, 1916](#); [HOEHNE e KUHLMANN, 1951](#)) e descreveu as fitofisionomias ([HOEHNE, 1923](#)). Nos anos seguintes, salvo esparsas descrições de geógrafos, não houve publicações a respeito da vegetação do bioma Pantanal, havendo poucos trabalhos, tais como [VELOSO \(1947, 1972\)](#) e [JOLY \(1970\)](#), que denominaram o Pantanal de lendário. Conforme [PRANCE e SCHALLER \(1982\)](#), há três décadas a flora do Pantanal ainda era pouco conhecida, mesmo ano em que [ADÁMOLI \(1982\)](#) criticou o termo “complexo do Pantanal”. Com o sensoriamento remoto, ampliou-se a visão e foram elaborados os primeiros mapas de vegetação ([BRASIL, 1979, 1982](#)), porém, com descrições de vegetação sem detalhes florísticos. Herbários locais foram criados nas décadas de 1970 (UFMT e UFMS) e 1980 (Embrapa Pantanal), iniciando a identificação de plantas. Foram produzidas listas ([GUARIM NETO, 1991](#); [DUBS,](#)

1998; POTT e POTT, 1999) e manuais de identificação de plantas do Pantanal (POTT e POTT, 1994, 2000). A subdivisão do Pantanal em dez sub-regiões (ADÁMOLI, 1982) foi detalhada por SILVA e ABDON (1998), que incluíram mais uma, a de Porto Murtinho.

3.3 Sensoriamento Remoto por Radar

3.3.1 Características Gerais

A partir da década de 1960, o uso de sistemas de radares como sistemas de sensoriamento remoto começaram a se tornar operacionais. O Brasil foi pioneiro na utilização de dados de radar aerotransportados para o levantamento de recursos naturais em extensas áreas com o Projeto RADAMBRASIL constituiu-se em um grande esforço do governo brasileiro para mapear os ecossistemas amazônicos. Este projeto utilizou um sistema de radar colocado a bordo de uma aeronave Caravelle e adquiria imagens analógicas da superfície terrestre em comprimento de onda de 3,12 cm e resolução espacial de 16 m (LIMA, 2008).

Radar é um acrônimo de *Radio Detection And Ranging* (detecção e localização por ondas de rádio). Os radares utilizam a sua própria fonte de radiação eletromagnética (REM) (JENSEN, 2000). Assim, são denominados sensores ativos, pois a emissão da REM na região das microondas captam a porção dessa radiação que é espalhada pelos alvos na direção do sensor. A posição do alvo é determinada convertendo-se o tempo de propagação em distância radial (VAN DER SANDEN, 1997). A Figura 3.1 ilustra as diferentes regiões do espectro eletromagnético e as bandas espectrais da região de microondas.

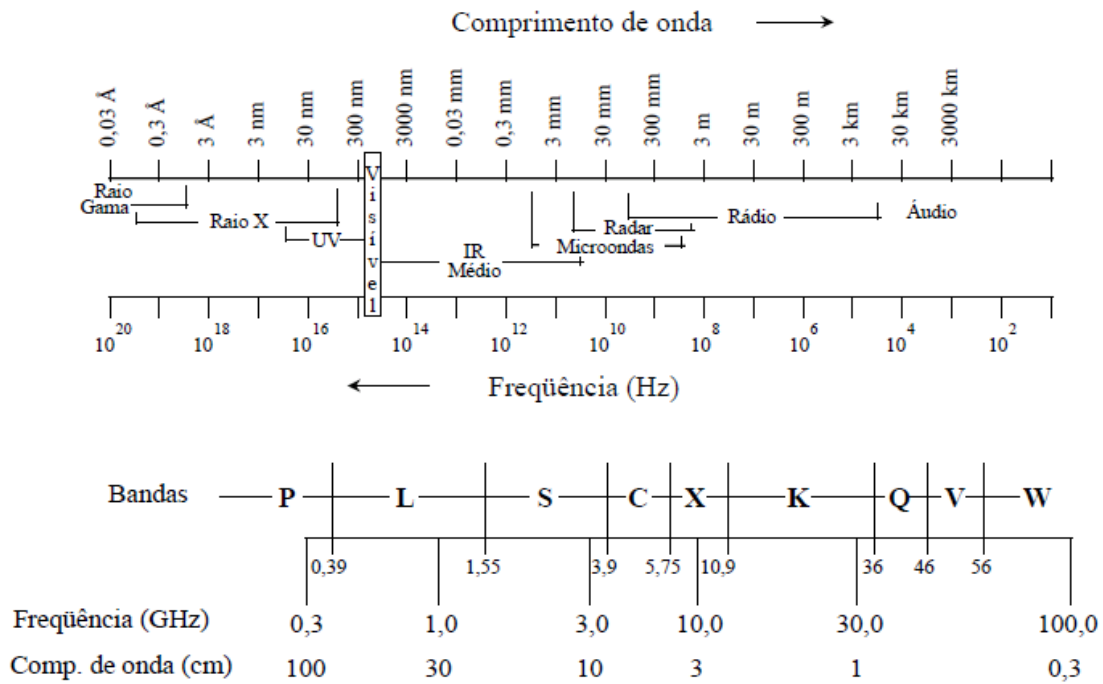


Figura 3.1 Espectro eletromagnético e as bandas da região de microondas. Fonte: modificada de [DALLEMAND et al. \(1993\)](#).

A radiação eletromagnética emitida pelas antenas de radar não sofre interferência de fatores atmosféricos como nuvens ou poeiras, possibilitando o imageamento em condições adversas ([MATHER, 1999](#); [JENSEN, 2007](#)). Devido a essas características, os dados gerados pelo radar são de enorme utilidade em países tropicais, no qual a presença de nuvens é presente em boa parte do ano ([ASNER, 2001](#); [SANO et al., 2007](#)).

A equação abaixo, estabelecida por [ULABY et al. \(1986\)](#) e [LEWIS et al. \(1998\)](#) mostra a relação fundamental entre as características do sistema de radar, do alvo e do sinal que é transmitido pela antena, o qual interage com o alvo e novamente retorna para a antena. A compreensão adequada das medidas do sistema de radar é a chave para uma interpretação física da cena.

$$P_R = P_T (\sigma^0 A) \left(\frac{G^2 \lambda^2}{[(4\pi)^3] R^4} \right) \quad (3.1)$$

Onde: P_R = potência do sinal recebido, diretamente proporcional à potência do sinal transmitido (P_T); σ° = coeficiente de retroespalhamento; A = área efetiva da abertura da antena; G = ganho da antena; λ = comprimento de onda; R = distância em *range* entre o radar e o alvo, considerando a transmissão e a recepção da energia de forma isotrópica. O coeficiente de retroespalhamento (σ°), que é adimensional, está diretamente relacionado aos parâmetros dos alvos, enquanto que os demais termos da equação do radar se relacionam com os parâmetros do sensor.

Desse modo, a equação de radar pode ser entendida como um produto dos parâmetros do sistema sensor e de outros parâmetros do terreno que produzem o retroespalhamento na seção transversal σ . Segundo [JENSEN \(2007\)](#), como os parâmetros do sistema sensor já são conhecidos, os seus efeitos podem ser removidos da imagem. Os efeitos do terreno sobre o sinal é representado pela quantidade de energia refletida pela seção σ que chega na antena receptora, por unidade de área (A) no terreno e é denominado de coeficiente de retroespalhamento (σ°), calculado como:

$$\sigma^\circ = \frac{\sigma}{A} \quad (3.2)$$

Onde σ é a seção transversal de radar. O coeficiente de retroespalhamento determina a porcentagem de energia eletromagnética refletida por uma célula de resolução para o radar. O σ° real para uma superfície depende de diversos parâmetros do terreno, como geometria, rugosidade superficial e conteúdo de umidade, e de parâmetros do sistema (comprimento de onda, ângulo de incidência, polarização; [LEBERL, 1990](#)). O σ° fornece um número adimensional que define o comportamento do espalhamento de todos os elementos contidos em determinada célula do terreno.

Como o σ° pode variar por diversas ordens de magnitude, por ser razão de potência, ele é expresso como logaritmo com unidades de decibéis (dB). Assim, em áreas de pouca vegetação, a maior parte dos sinais não é retornado para a antena (baixo espalhamento do sinal) e, como resultado, os valores de σ° são baixos (alvos escuros na imagem de radar). Contudo, áreas com alta biomassa têm alto retroespalhamento do sinal e conseqüentemente alto valor de σ° . De acordo com [WARING *et al.* \(1995\)](#), uma imagem SAR consiste em um arranjo (matriz) bidimensional de elementos de imagem

(*pixels*), com a intensidade (chamada brilho) de cada *pixel* proporcional à potencial do pulso de microondas refletido pela célula correspondente no terreno.

O principal parâmetro de um alvo é a sua secção transversal de radar, presente na Eq. 3.1. Esse parâmetro normalmente é representado pela letra σ , e indica a capacidade refletora do alvo nas condições de iluminação do radar (WEHNER, 1987). O valor de σ é muito difícil de ser obtido analiticamente, pois ele é diretamente influenciado por algumas características do alvo, como forma geométrica, orientação em relação à onda incidente, composição química do alvo, umidade, etc.

Um dos pontos mais importantes em estudos de sensoriamento remoto é encontrar o valor de σ , uma vez que esse parâmetro identifica a assinatura de cada alvo em estudo. A partir da equação de radar, conhecem-se os parâmetros do sistema de radar utilizado e também os valores das potências transmitida e recebida pela antena, portanto, pode-se inferir o valor de σ de uma determinada célula de resolução. Deste modo, no passo que se faz o imageamento sobre uma área desejada que abranja determinados alvos, é possível identificar e distinguir em forma de valores esses alvos, pois, estará na verdade verificando qual a assinatura de cada alvo e suas diferenças para uma possível identificação (ANGELIS, 2003).

Portanto, estudos de sensoriamento remoto que se utilizam de dados de radar, em comprimento de microondas como aquisição de dados, buscam o entendimento do valor de σ° , pois é a partir desse parâmetro que se faz inferências sobre diferentes alvos pertencentes na área de estudo.

Em uma imagem de radar, é possível obter informações considerando dois tipos de propriedades (OLIVER e QUEGAN, 1998). O primeiro tipo é relativo aos parâmetros do alvo, onde as características influem no sinal de retorno, pois estão relacionadas com as propriedades geométricas e dielétricas dos objetos, como a umidade do solo, rugosidade da superfície, relevo, estrutura da vegetação e a presença ou ausência de água nas folhas (ULABY *et al.*, 1982; PARADELLA *et al.*, 2000). O segundo tipo é relativo às características do sensor como o comprimento de onda (λ), polarimetria, ângulo de incidência e azimute de visada (VAN DER SANDEN, 1997).

Existem vários parâmetros que condicionam o imageamento da vegetação. A textura (rugosidade) do dossel e do solo, a macrotopografia, a umidade do solo e da vegetação e principalmente a estrutura das formações vegetais, são fatores que determinam a interação entre o imageamento do sensor e as classes de vegetação (DOBSON *et al.*, 1995).

Nas variações nos níveis de cinza possíveis de verificar em uma imagem de radar, é resultado da interação do sinal emitido pela antena com diferentes tipos de alvos na superfície, gerando um retroespalhamento do sinal e em seguida o retorno desse sinal para a antena de radar. Um forte retroespalhamento produz um *pixel* brilhante na imagem, enquanto um baixo retroespalhamento produz *pixels* com tons mais escuros. Específicos parâmetros dos sensores de radar determinam a força do retorno do sinal, que pode ser influenciado também, pelas propriedades e características do alvo no terreno.

3.3.2 Radares de Abertura Sintética

Radares de abertura sintética *Synthetic Aperture Radar* (SAR), operam com base no princípio de que um determinado alvo é iluminado pelo sistema durante um certo intervalo de tempo, ou seja, esses sistemas registram a história de reflexões ocorrida durante o intervalo de tempo em que permanece no campo de visada do sensor. Segundo ANDRADE (1999), a partir dos sinais recebidos pelo radar e armazenados na memória, cria-se uma antena virtual centenas de vezes maior que seu tamanho físico, permitindo obter resoluções equivalentes, tanto em azimute, como em alcance.

A Figura 3.2 mostra os principais parâmetros envolvidos em uma aquisição de imagens por um SAR. Além dos parâmetros mostrados na figura, também fazem parte do processo aqueles pertencentes à equação de radar (Eq. 3.2): P_t , G e λ , além da polarização das ondas transmitida e recebida.

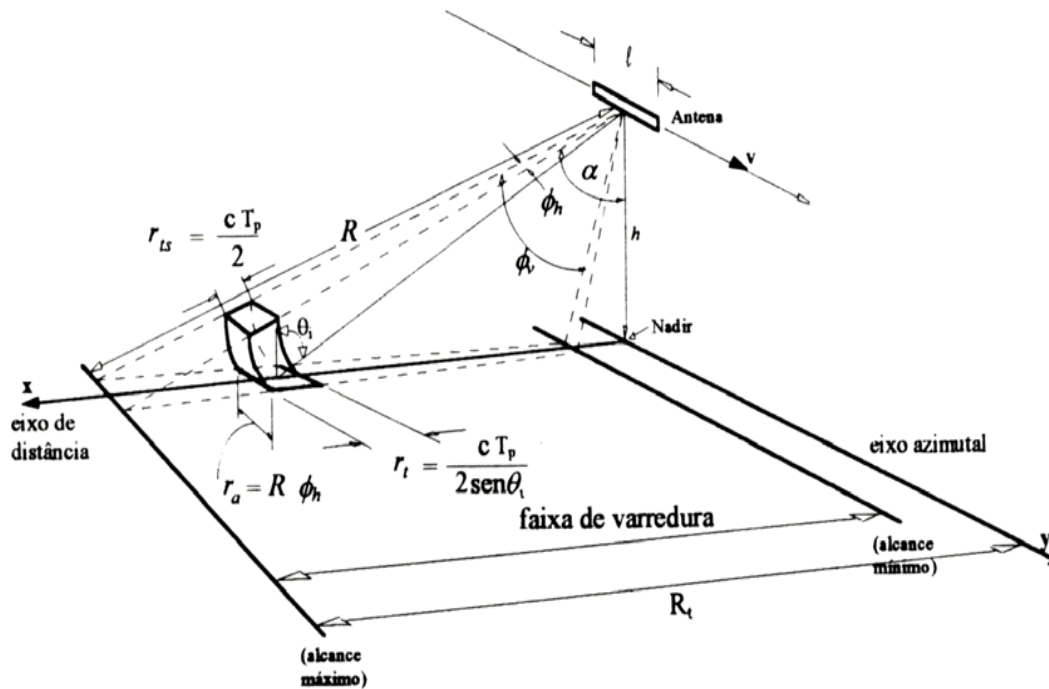


Figura 3.2 Parâmetros envolvidos em uma aquisição de imagens SAR. Fonte: [PALME et al. \(1996\)](#).

Da Figura 3.2 tem-se que h é a altura da plataforma em relação à componente normal ao solo, v é a velocidade de deslocamento da plataforma, l é o comprimento real da antena, θ_i é o ângulo de incidência do feixe de microondas, ϕ_h é a largura horizontal do feixe de microonda, ϕ_v é largura vertical do feixe de microondas, R é a distância entre um ponto da cena e o radar conhecida como *slant range*, T_p é a largura do pulso transmitido, r_t é a resolução em *range*, r_a é a resolução em azimute.

Portanto, como o próprio nome já indica, os sistemas SAR utilizam uma abertura sintética ao longo da órbita do sensor e são especialmente importantes para sistemas orbitais onde as antenas com aberturas reais deveriam ser longas demais para serem implementadas na prática. Cada objeto é amostrado seguidas vezes enquanto estiver sendo iluminado pelo lóbulos da energia transmitida. As posições sucessivas da antena são tratadas eletronicamente como sendo elementos de uma antena única, isto é, o termo abertura sintética denota um comprimento artificial de uma antena. Uma antena sintética de 10 metros pode simular uma antena real de 600 metros.

A geometria de imageamento do SAR pode ser analisada considerando-se uma plataforma (avião ou satélite) que se desloca segundo uma direção de vôo v e uma altura de vôo h (Figura 3.2). A direção de vôo projetada no terreno denomina-se direção azimutal, enquanto a direção de imageamento, perpendicular ao azimute, recebe o nome de direção de alcance ou direção de visada. A direção de visada torna-se um fator importante para os usuários de radar se o terreno apresentar alvos com alguma orientação preferencial, como é o caso de um cafezal ou de um plantio de algodão. Nesse caso, dependendo da direção dos pulsos de radar em relação às linhas de plantio, pode haver uma melhor ou uma pior detecção de alvos. Já no caso de alvos sem direção preferencial (por exemplo, uma área de pastagem cultivada com *Brachiaria*), essa direção de visada não é muito relevante.

3.3.3 Parâmetros de Imageamento

Os parâmetros de imageamento mais importantes em radar são o comprimento de onda (ou frequência), a polarização e o ângulo de incidência (ou ângulo de depressão, conforme mencionado anteriormente) (PARADELLA *et al.*, 2005).

Comprimento de Onda/Frequência

A frequência (f) de imageamento se refere ao comprimento de onda do pulso eletromagnético utilizado pelo radar. Os radares podem trabalhar em diferentes comprimentos de onda, definindo frequências diferenciadas. Os radares imageadores empregados em sensoriamento remoto trabalham com pulsos que variam entre 1 cm a 100 cm de comprimento de onda. A Tabela 3.1 descreve as principais bandas de imageamento utilizadas pelos sistemas de radar. Quanto maior o comprimento de onda utilizado, maior será a penetrabilidade da onda em alvos (MATHER, 1999; ANDRADE *et al.*, 2007; JENSEN, 2007). A interação é quase que totalmente efetuada obedecendo aos princípios do modelo ondulatório (MENESES, 2001), pois o tamanho das ondas de radar coincide aproximadamente com as medidas de rugosidade de solos e vegetações encontradas nas superfícies terrestres.

Tabela 3.1 Denominações das bandas espectrais dos sensores de radar com os seus respectivos comprimentos de onda e frequência.

Banda Espectral	Comprimento de Onda (cm)	Frequência (GHz)
P	77 – 136	0,22 – 0,39
L	15 – 30	1,0 – 2,0
S	7,50 – 15	2,0 – 4,0
C	3,75 – 7,50	4,0 – 8,0
X	2,40 – 3,75	8,0 – 12,5
Ku	1,67 – 2,40	12,5 – 18,0
K	1,18 – 1,67	18,0 – 26,50

Fonte: adaptado de [HENDERSON e LEWIS \(1998\)](#).

Devido o comprimento da onda eletromagnética de imagens de radar ser em escala centimétrica, a REM pode penetrar em dosséis vegetais e alcançar o solo e geralmente mostram serem produtos mais interessantes de se avaliar, por exemplo, biomassa lenhosa do que sensores ópticos ([KASISCHKE et al., 1997](#)). Em uma REM com um comprimento grande, como em imagens de radar, pode acarretar, em um dossel de uma vegetação, muitos elementos difusores, além de estar em uma superfície difusora constituído pelo solo. O sinal que é retornado para o satélite é conjunto da soma das contribuições do próprio dossel, do retroespalhamento direto do solo e de outros espalhamentos entre elementos difusores do dossel e do solo ([ULABY et al., 1984](#)).

Segundo uma revisão de vários artigos a respeito da utilização de imagens de radar em áreas úmidas, [FLOYD e LEWIS \(2008\)](#) concluíram que os comprimentos de ondas mais longos são os preferidos para a detecção áreas úmidas com florestas, a maioria dos estudos sugere a banda L como a melhor para distinção de áreas com floresta úmidas e a banda C para a detecção de zonas úmidas com vegetação herbácea (Figura 3.3). No entanto, ambos os dados das bandas C e da banda L são possíveis de separar floresta de áreas úmidas com vegetação herbácea.

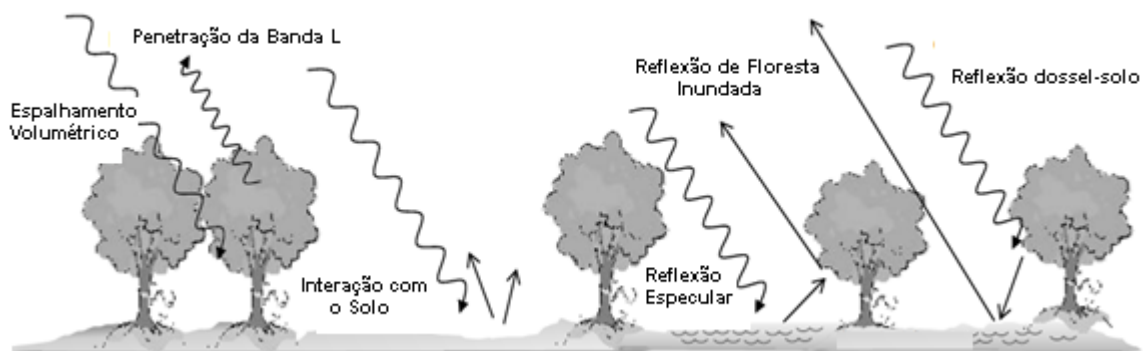


Figura 3.3 Ilustração de como um pulso de radar emitido na banda L interage em diferentes tipos de alvo.

Ângulo de Incidência

A antena emite pulsos de radiação lateralmente e em direção ao terreno com um ângulo de incidência θ . Esse ângulo é definido sempre em relação a nadir e é um dos principais parâmetros que controlam a intensidade da energia refletida e a aparência dos objetos nas imagens. Muitas vezes, o ângulo de incidência é referido pelo seu ângulo complementar, conhecido como ângulo de depressão, isto é, definido como o ângulo entre a linha horizontal da antena e a direção do raio transmitido. No entanto, essa relação é válida somente para superfícies planas e horizontais. Quando a superfície é irregular, surge a influência de outro ângulo, conhecido como ângulo de incidência local e que leva em consideração a declividade local do terreno (Figura 3.4).

Polarização

O Satélite ALOS/PALSAR é o primeiro satélite SAR na banda L que apresenta uma observação da Terra com o modo multi-polarimétrico. Polarização é um índice que descreve as características das ondas eletromagnéticas e é usado para expressar a orientação do campo elétrico. Quando o campo elétrico é vertical, a onda eletromagnética é dita ser polarizada verticalmente (V). Quando o campo elétrico é horizontal, a onda eletromagnética é dita ser polarizada horizontalmente (H). Elipticamente e circularmente as ondas polarizadas são formadas pela combinação das ondas polarizadas verticalmente e horizontalmente. A polarização descreve a orientação do vetor campo elétrico de uma onda eletromagnética sendo definida pela antena e

podendo ser ajustada para ser diferenciada na transmissão e recepção do pulso de microondas (Figura 8) (WOODHOUSE, 2006).

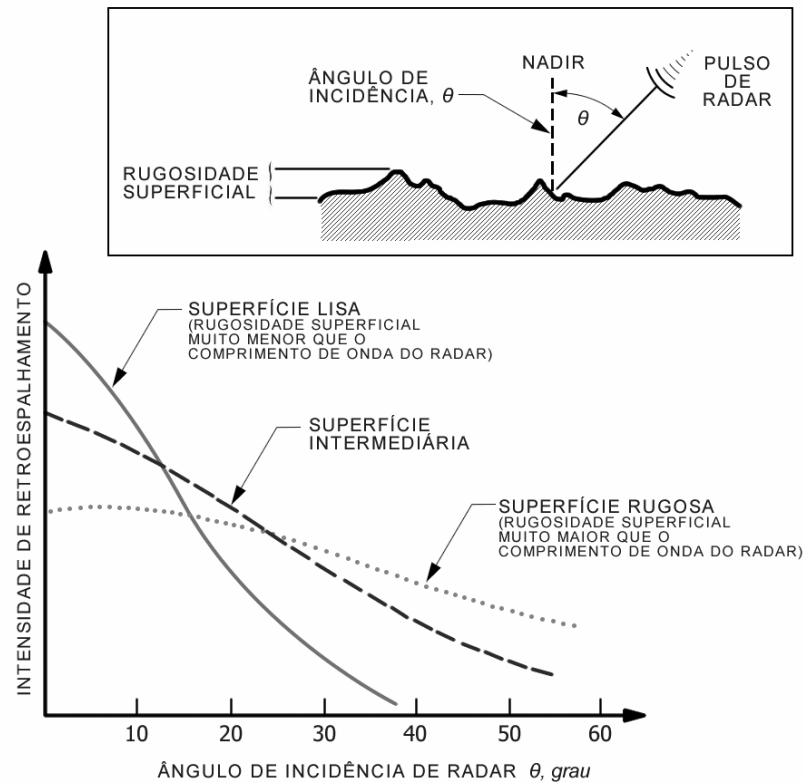


Figura 3.4 Variação do retroespalhamento conforme o ângulo de incidência. Fonte: FORD *et al.* (1986).

Uma antena pode transmitir radiação segundo uma polarização H ou V. Quando o pulso atinge o alvo, ocorre a despolarização, de modo que o sinal pode retornar à antena numa direção diferente da direção de polarização emitida. Um sensor que emite um pulso na direção H pode registrar o sinal de retorno na direção V. Neste caso, tem-se o que se denomina de polarização cruzada (HV ou VH). A primeira letra indica a polarização de transmissão e a segunda indica a de recepção. Quando o sensor emite e registra pulsos com a mesma polarização (HH ou VV), temos a polarização paralela. A despolarização ocorre devido à reflexão especular dos refletores de canto, aos espalhamentos múltiplos nas superfícies rugosas e aos espalhamentos volumétricos múltiplos devido à heterogeneidade estrutural da camada da vegetação.

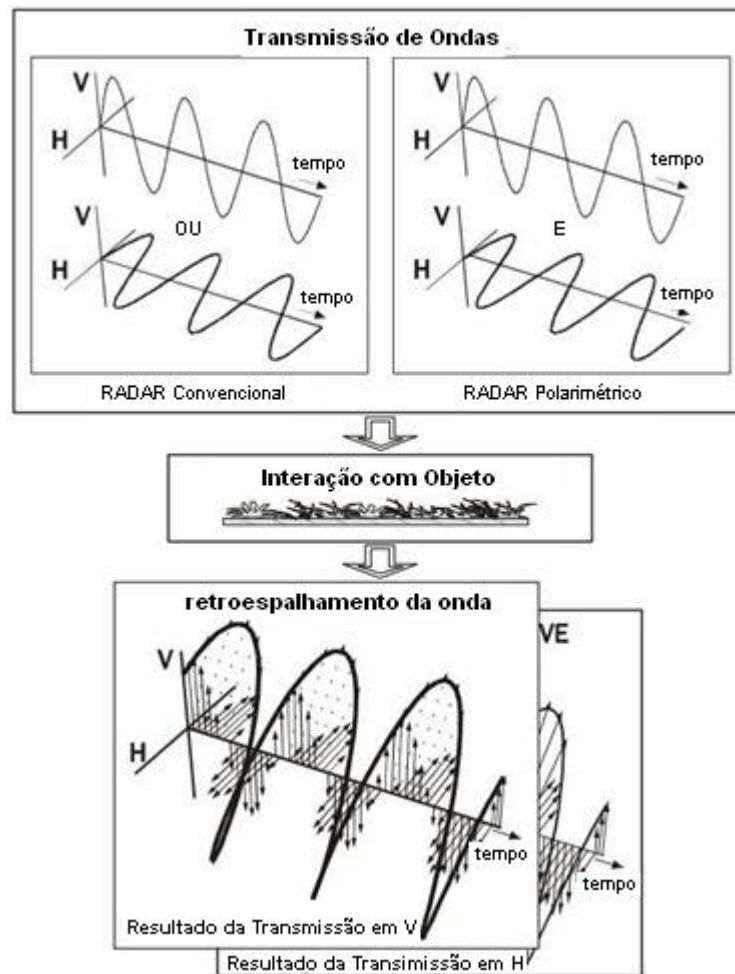


Figura 3.5 Variação da polarização conforme a direção do campo elétrico. Fonte: [VAN DER SANDEN \(1997\)](#).

Conforme é feita a penetração da onda em um alvo, a resposta é influenciada pela polarização utilizada pelo sistema ([DALLEMAND *et al.*, 1993](#)). A polarização HH é mais sensível a difusores orientados horizontalmente e a polarização VV aos alvos orientados verticalmente ([PARADELLA, 1996](#)). Numa vegetação que possui estrutura orientada predominantemente vertical, como classes vegetacional formadas por gramíneas, a atenuação pode ser mais preponderante para a polarização VV do que para polarização HH, resultando em uma maior penetração de ondas horizontalmente polarizadas ([ALLEN e ULABY, 1984](#)). Satélites que apresentem dados de uma única polarização (banda L, polarização paralela HH) mostram uma maior confusão para discriminar áreas recentes de desmatamentos ([BÚFALO, 2005](#)), visto também por [RIGNOT *et al.* \(1997\)](#) e [SAATCHI *et al.* \(2000\)](#) que testaram diferentes frequências e polarizações para discriminar padrões de cobertura do solo em áreas de floresta tropical

e na maioria nos casos constatou-se que dados em uma única polarização podem ser limitados para detectar algumas feições.

A energia polarizada verticalmente é fortemente atenuada pela orientação vertical dos componentes do dossel (folhas, galhos, ramos e troncos), enquanto a energia polarizada horizontalmente não apresenta esse comportamento. Se um sinal de radar tiver um alto sinal de retorno, apresentando um intenso brilho na imagem nas polarizações paralelas (HH e VV), maior é a contribuição superficial; porém, se houver um elevado sinal de retorno nas polarizações cruzadas (HV, VH), é maior a tendência do espalhamento volumétrico (JENSEN, 2007).

Em estudos realizados com imagens polarimétricas e multipolarizadas com combinações de diferentes frequências, obtiveram-se uma maior capacidade de discriminação de padrões de cobertura do solo, inclusive desflorestamento (HOEKMAN e QUIÑONES, 2000). Deste modo, SAR polarimétricos, os quais fornecem uma quantidade maior de informação sobre a superfície imageada devido ao fato de se obter diferentes componentes em amplitudes bem como informação de fase do sinal de retorno são alvos de um crescente campo de pesquisa (ZALOTI *et al.*, 2006).

De acordo com HENDERSON e LEWIS (1998), o retroespalhamento promovido pelas polarizações paralelas (HH e VV) é, em geral, maior do que o gerado pelas polarizações cruzadas (HV e VH). JENSEN (2007) afirma que plataformas que operam com sistemas de radar com maiores comprimentos de onda (9 – 30 cm) bandas L e S apresentam um espalhamento volumétrico substancial, com a energia incidente interagindo com os componentes maiores do dossel.

Para satélites que utilizam a banda L (15 – 30 cm) como o ALOS, de acordo com LE TOAN (1992), esses apresentam dados efetivos na diferenciação de florestas com áreas de não florestas (desmatamentos). Estudos mostram que o mapeamento de uso de classes de terra como florestas, áreas de cultivo, pasto, área urbana e água são possíveis de diferenciar. Para imagens de radar ALOS/PALSAR, SMITH (1998) comentou que múltiplas frequências e polarizações são requeridas para a discriminação temática em ambientes inundáveis como o Pantanal.

COSTA et al. (1998) exploraram multi-frequências e multi-ângulos de dados do RADARSAT e dos JERS-1 e concluíram que os dados desses sensores na banda L foram passíveis de detectar e distinguir áreas úmidas florestadas. Entretanto, imagens do JERS-1 na banda L mostraram uma resposta especular de retorno de sinal de plantas aquáticas que coincidiu com a resposta da vegetação (POPE et al., 1997).

O retroespalhamento da banda L foi maior do que na banda C devido à grande penetração da onda na vegetação e do alto efeito de *double-bounce* que aparece em grandes comprimentos de onda e pequenos ângulos de incidência (HENDERSON e LEWIS, 1998). Segundo COSTA (2004), com uma copa menor, é possível ter um alto efeito de *double-bounce* e um alto retroespalhamento.

COSTA e TELMER (2006) usaram imagens de radar do RADARSAT e JERS-1 no Pantanal, encontrando uma forte relação entre o retroespalhamento e a vegetação aquática em alguns lagos com diferentes salinidades. Para FLOYD e LEWIS (2008), a polarização paralela HH é preferível sobre a polarização paralela VV para distinção de vegetação aquática, mas dados de uma polarização cruzada contribuem mais do que as paralelas em alguns casos.

3.3.4 Características dos Alvos

As principais características dos alvos que devem ser consideradas na análise de imagens de radar são a rugosidade do terreno, o conteúdo de água nos solos e nas plantas e a estrutura da vegetação. Neste sentido, desde a década de 1970, inúmeros resultados empíricos e teóricos vêm sendo desenvolvidos no sentido de estimar parâmetros como umidade de solos, biomassa, índice de área foliar e rugosidade de terreno (SANTOS et al., 2003; THOMAS et al., 2006; RAHMAN et al., 2007).

Rugosidade

A rugosidade da superfície imageada é um importante fator que dará uma contribuição ao retorno do sinal de radar, influenciando fortemente a intensidade do retroespalhamento. De modo geral, quanto maior a rugosidade de uma superfície, menos

energia será perdida por reflexão especular, e maior o valor do coeficiente de retroespalhamento na imagem. O nível de rugosidade é determinado em função do comprimento de onda utilizado, sendo fundamental correlacionar às frequências definidas para o imageamento e a rugosidade dos alvos que se pretende estudar (SABINS, 1997).

De acordo com ULABY *et al.* (1986a), a magnitude do coeficiente de retroespalhamento dos alvos depende diretamente da frequência ou comprimento de onda, pois esta define a ordem de grandeza dos efeitos da constante dielétrica e da rugosidade superficial dos alvos (LEWIS *et al.*, 1998).

É importante notar que o retroespalhamento de radar é dependente do comprimento de onda e do ângulo de depressão. A Tabela 3.2, onde é calculado para três tipos de comprimento de onda ($\lambda = 0,86; 3; 23,5\text{cm}$) e dois diferentes ângulos de depressão ($\delta = 40^\circ$ e 70°). Um terreno com 0,5 cm aparecerá com tons claros (brilhantes) na imagem obtida na banda Ka e como uma graduação intermediária de cinza numa imagem obtida na banda X.

Tabela 3.2 Critério de rugosidade superficial para três diferentes sistemas de radar com ângulos de depressão diferentes. λ = comprimento de onda; δ = ângulo de depressão; h = rugosidade.

Categoria de Rugosidade Superficial	Aeronave $\lambda = 0,86 \text{ cm};$ $\delta = 40^\circ$	Aeronave $\lambda = 3 \text{ cm};$ $\delta = 40^\circ$	SIR-A $\lambda = 23,5 \text{ cm};$ $\delta = 40^\circ$	Seasat $\lambda = 23,5 \text{ cm};$ $\delta = 70^\circ$
Lisa	$h < 0,05 \text{ cm}$	$h < 0,19 \text{ cm}$	$h < 1,46 \text{ cm}$	$h < 1,00 \text{ cm}$
Intermediária	$0,05 \text{ cm} < h < 0,30 \text{ cm}$	$0,19 \text{ cm} < h < 1,06 \text{ cm}$	$1,46 \text{ cm} < h < 8,35\text{cm}$	$1,00 \text{ cm} < h < 5,68 \text{ cm}$
Rugosa	$h > 0,30 \text{ cm}$	$h > 1,06 \text{ cm}$	$h > 8,35 \text{ cm}$	$h > 5,68 \text{ cm}$

Fonte: WERLE (1988).

Quando uma superfície é lisa, isto é, as variações em altura dessa superfície são muito menores que o comprimento de onda da REM, a energia incidente é refletida na direção oposta quase que na sua totalidade com um ângulo de reflexão igual ao ângulo de incidência. Tal superfície é denominada de superfície especular (Figura 3.6). O

resultado é uma ausência de sinal de retorno, fazendo com que tais feições tenham um nível de cinza bastante escuro na imagem. Os espelhos de água parados são os exemplos mais típicos desse tipo de alvo. À medida que a superfície torna-se mais rugosa, onde as variações em altura da superfície são comparáveis ou ligeiramente maiores que o comprimento de onda da REM, a reflexão torna-se mais difusa, retroespalhando o sinal em todas as direções e mais ou menos com igual intensidade. Um caso particular de espalhamento são os refletores de canto. Esse tipo de reflexão ocorre quando uma superfície lisa ao lado de uma feição vertical (por exemplo, um edifício), produzindo a soma de um sinal de retorno muito alto e fazendo com que a feição apareça com nível de cinza brilhante na imagem.

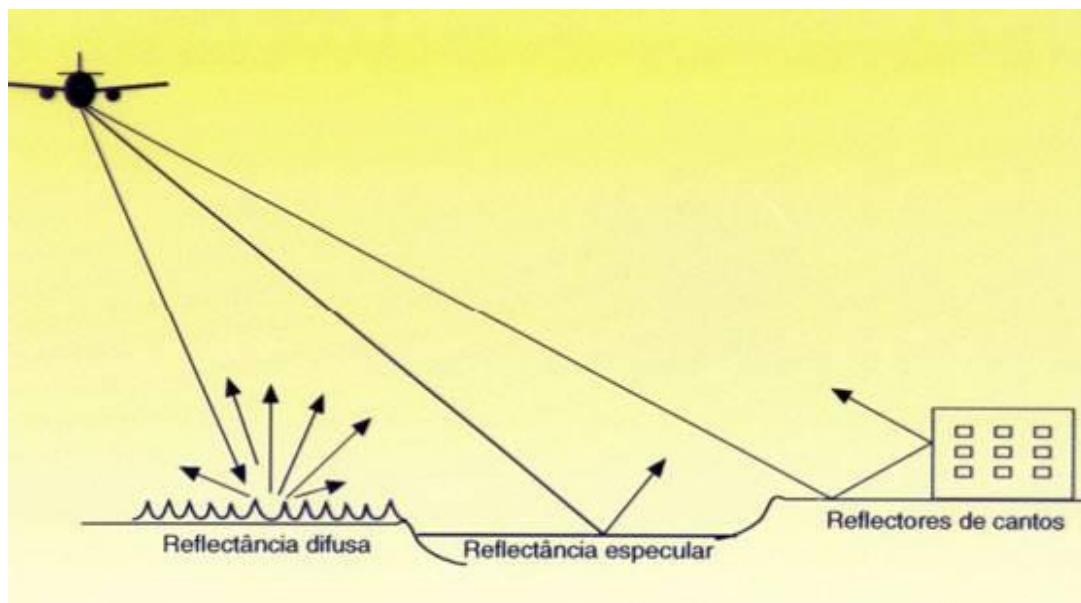


Figura 3.6 Tipos de difusores em uma imagem de radar, rugosidade superficial e formato dos alvos.

O retroespalhamento de um alvo é o resultado do espalhamento superficial e/ou volumétrico. Em geral, a forma superficial do alvo irá determinar o tipo de espalhamento, sendo que o tamanho e a densidade dos elementos vegetais têm relação direta no tipo de interação com as microondas incidentes e todos esses fatores são fortemente influenciados pelo comprimento de onda (KUPLICH, 2003). Nos maiores comprimentos de onda, como nas bandas L e P, dependendo da densidade, estrutura e umidade da vegetação, o pulso emitido pode penetrar o dossel e chegar ao solo. Nestes

comprimentos de onda, há maior interação com troncos e galhos maiores (KASISCHKE *et al.*, 1997; DOBSON, 2000).

Constante Dielétrica

A região de microondas é a única parte do espectro eletromagnético que permite estimativas relativamente precisas de umidade de solos a partir de dados de sensoriamento remoto. A teoria, neste caso, baseia-se na existência de um acentuado contraste nas constantes dielétricas (ϵ) de um solo sem umidade, isto é, seco em estufa ($\epsilon \sim 4$) e água líquida ($\epsilon \sim 80$) (ENGMAN e CHAUHAN, 1995). Conseqüentemente, a adição de água no solo causa um aumento no valor de ϵ do solo. A constante dielétrica refere-se à medida da habilidade de um meio em conduzir energia elétrica.

A estimativa de umidade superficial (profundidade de 0 – 5 cm) de solos é uma das áreas de aplicação de radar mais estudadas desde o início da década de 1970. Apesar de muitos estudos terem mostrado uma correlação satisfatória entre retroespalhamento e umidade de solos medida no campo ou derivada de modelos semi-empíricos ou teóricos (r^2 superior a 0,90), sabe-se que, em muitas condições, os efeitos da rugosidade do terreno e cobertura vegetal podem mascarar essa correlação elevada. Em muitos casos, as variações nos coeficientes de retroespalhamento provocadas por variações na umidade de solos podem ser da mesma ordem de grandeza em relação às provocadas por alterações na rugosidade do terreno (MORAN *et al.*, 2000).

Semelhante aos solos, a quantidade de água contida nas folhas afeta significativamente o retroespalhamento dos sinais de radar. A estrutura da vegetação, tanto em termos de macroestrutura (altura das plantas e a densidade de plantas ou árvores por unidade de área) como de microestrutura (folhas e galhos), também deve ser considerada na análise de retroespalhamento proveniente de terrenos com cobertura vegetal. Por exemplo, estudos conduzidos por SANO *et al.* (2005) mostraram que a estrutura vegetacional do Cerrado exerce maior influência do que o conteúdo de água nas folhas (refletido pela sazonalidade marcante).

Superfícies úmidas na vegetação resultam em uma maior constante dielétrica, deste modo, para banda L como o ALOS/PALSAR, essas superfícies úmidas tem um grande efeito no espalhamento nas ondas de radar. Por exemplo, [DOBSON et al. \(1992\)](#) notaram que o aumento no retroespalhamento em áreas abertas com áreas de campo depois da chuva teve uma maior resposta do que em áreas secas.

A presença de orvalho ou umidade aumenta a constante dielétrica de superfícies vegetadas ([KASISCHKE e BERGEAU-CHAVES, 1997](#)). Uma camada de solo seco tem constante dielétrica baixa e, portanto, um coeficiente de reflexão baixo. O aumento da umidade ocasiona a elevação da constante dielétrica e, por conseqüência, o coeficiente de reflexão. Se houver uma camada de água sobre a superfície do terreno em uma área com vegetação, como em um ambiente do tipo terras alagadas, pode ocorrer a redução da rugosidade superficial pela quantidade de água na vegetação e pode acontecer de aumentar significativamente o coeficiente de reflexão ([KASISCHKE e BERGEAU-CHAVES, 1997](#)).

3.3.5 O Sistema ALOS

O satélite japonês ALOS (*Advanced Land Observing System*) foi lançado pela Agência de Exploração Aeroespacial Japonesa (JAXA) em janeiro de 2006, com início de distribuição dos dados para o Brasil em outubro de 2007. O ALOS descreve uma órbita circular heliossíncrona a 692 km de altitude, com um período de revisita a um mesmo ponto do planeta de 46 dias ([IBGE, 2008](#)). O ALOS possui três sensores de imageamento de sensoriamento remoto: o AVNIR-2, o PRISM e o PALSAR (Figura 3.7).

O AVNIR-2 é um sensor óptico com 4 bandas espectrais com resolução espacial de 10m. Este sensor é capaz de variar a inclinação da visada lateralmente, tornando possível imagear rapidamente situações de desastres naturais. O sensor irá cobrir uma vez todo o território brasileiro entre janeiro e abril, dos anos de 2007 a 2009, utilizando apenas a visada nadir.

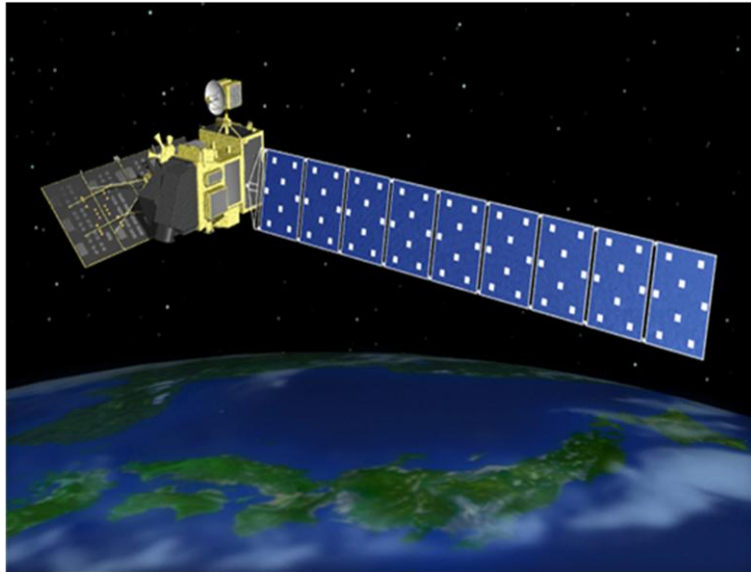


Figura 3.7 Satélite ALOS com seus três sensores e a antena de captação solar.

O sensor PRISM opera na faixa da luz visível, com uma banda pancromática e resolução espacial de 2,5 m. Este deverá recobrir completamente o globo no modo *triplet* coletando imagens estereoscópicas. Como a faixa do PRISM no modo *triplet* cobre apenas uma faixa de 35 km, não é possível imagear completamente áreas extensas em um ciclo só. O território brasileiro será completamente coberto uma vez ao ano, nos meses entre março e junho de 2007, 2008 e 2009.

O PALSAR é um radar imageador de abertura sintética que opera na banda L (23 cm – 1,3 GHz) na região das microondas, imageando independente da iluminação solar e das condições meteorológicas, capturando imagens no modo ascendente e descendente tanto de dia como de noite. As características orbitais do sistema ALOS/PALSAR estão presentes na Tabela 3.3.

O PALSAR possui três modos de imageamento (Tabela 3.4): fino, ScanSAR e polarimétrico. O modo fino adquire dados em uma única polarização (HH) ou em duas polarizações (HH e HV) e as suas imagens são identificadas como FBS (*fine beam single*) e FBD (*fine beam dual*), respectivamente, nos catálogos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Alasca Satellite Facility (ASF), National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), European Space Agency (ESA), Geoscience Australia e JAXA. O modo ScanSAR adquire imagens na polarização HH e a sua faixa

de imageamento pode atingir 350 km. Finalmente, o modo polarimétrico adquire imagens em quatro polarizações (HH, HV, VH e VV), porém, a sua faixa de imageamento é a mais restrita de todos, variando de 20 km a 65 km.

Tabela 3.3 Características orbitais do satélite ALOS/PALSAR.

Órbita	Sincronização Solar
Horário da Passagem	10h30 ± 15 minutos
Altitude	691,55 km do Equador
Inclinação da Órbita	98,16 graus
Período	98,7 minutos
Periodicidade	46 dias

Tabela 3.4 Características de imageamento do satélite ALOS/PALSAR.

Modo	Fino		ScanSAR	Polarimétrico
	FBS	FBD		
Frequência	1.270 MHz (banda L)		1.270 MHz (banda L)	1.270 MHz (banda L)
Frequência do <i>chirp</i>	28 MHz	14 MHz	14 - 28 MHz	14 MHz
Polarização	HH ou VV	HH + HV ou VV + VH	HH ou VV	HH + HV + VH + VV
Ângulo de Incidência	8° ~ 60° (34,3°)		18° ~ 43°	8° ~ 60° (21,5°)
Resolução em alcance (range)	7m ~ 44m (10m)	14m ~ 88m (20m)	100m (multilook)	24m ~89m (30m)
Largura da faixa	40km ~70km (65 km)		250km ~350km (350 km)	20km ~ 65km (25 km)
Taxa de transmissão de dados	240 Mbps		120 Mbps ou 240 Mbps	240 Mbps

Fonte: [IBGE \(2011\)](#).

Para os primeiros três anos de operação do ALOS, existe uma estratégia de imageamento definida para os três sensores. Em termos de cobertura de imagens de radar para o Brasil, este será completamente coberto no modo fino, com polarização HH, uma vez a cada verão, até março de 2009, e completamente coberto com polarização dupla (HH+HV) duas vezes ao ano. O país inteiro será completamente coberto no modo ScanSAR pelo menos uma vez por ano, de 2007 a 2009.

Os dados obtidos pelo modo de operação PLR estão disponíveis em três níveis de processamento, 1.0, 1.1 e 1.5, onde cada um destes possui diferentes graus de correção radiométrica e geométrica. Os dados em nível 1.0 são os sinais captados pelo sensor sem processamento e reconstrução, porém, acompanhados pelos coeficientes de correção geométrica e radiométrica. O nível 1.1 apresenta os dados no formato complexo, ou seja, contém informação sobre a radiometria e fase do sinal em geometria *slant range* e são 67 processados com compressão nas direções de *range* e azimuth. Já os dados em nível de processamento 1.5 possuem projeção cartográfica e processamento *multilook*.

Dentre as melhorias em relação ao radar que o precedeu (JERS-1), destacam-se: melhor capacidade polarimétrica (JERS-1 possuía apenas polarização HH), melhor resolução espacial (18 metros para o JERS-1) e calibração de efeitos atmosféricos. Neste trabalho, foi empregada uma imagem ALOS/PALSAR em amplitude, modo de operação PLR e nível de processamento 1.5.

CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO NO MÉDIO TAQUARI

Neste capítulo, são descritos os materiais empregados na realização do trabalho. Como dados auxiliares, são apresentados os valores de pluviosidade na região, necessários para avaliar se há a interferência da umidade nos valores do coeficiente de retroespalhamento nas três polarizações, foram utilizados também os dados do Projeto de Conservação da Biodiversidade – PROBIO para definição das classes de estudos e das áreas amostrais. Em seguida, são apresentadas as imagens ALOS/PALSAR no modo multipolarimétrico.

4.1 Materiais

Foi adquirida uma cena do satélite ALOS/PALSAR de 11 de junho de 2009, órbita ascendente 6651 e ponto 6870. As características de imageamento são mostradas na Tabela 4.1. A área imageada foi de aproximadamente 71 km x 24 km. O satélite ALOS foi lançado pela Agência de Exploração Aeroespacial Japonesa (JAXA) em 24 de janeiro de 2006 com uma órbita circular e heliossíncrona a 692 km de altitude e periodicidade de 46 dias (IBGE, 2011), parando de operar em 12 de maio de 2011 por causa de problemas técnicos no painel solar do satélite.

Para auxiliar a interpretação de imagens de radar, foram obtidos: o mapa de cobertura vegetal natural e antrópica de 2002 do bioma Pantanal, elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011). Este trabalho teve por objetivo o mapeamento, a quantificação e a elaboração das cartas dos remanescentes da cobertura vegetal na escala de 1:250.000 do bioma Pantanal. A pesquisa foi coordenada pela Embrapa Informática Agropecuária (Campinas - SP), desenvolvida em parceria com a Embrapa Gado de Corte (Campo Grande - MS), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (São José dos Campos - SP) e o Instituto de Meio Ambiente Pantanal (Campo Grande - MS); atualização do desmatamento do referido bioma para o ano-base de 2008, elaborado pelo Fundo Mundial para a Natureza (WWF, 2011); 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 (-54° 44' W e -18°

30' S), União (55° 47' W e -17° 47' S) e Rio Verde de Mato Grosso (-54° 49' W e -18° 54' S).

Tabela 4.1 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 <i>pixel</i>	12,5 m
Ângulo de incidência	28,8°
Comprimento de onda	23,6 cm

4.2 Métodos

A metodologia do trabalho se baseou na busca dos valores do *pixel* espalhados aleatoriamente nas imagens dentro de cada classe de estudo para que esses valores sofressem cálculos estatísticos para determinação de suas diferenças, o processo para esses resultados está resumido na figura 4.1.

A cena original, com resolução radiométrica de 16 bits, foi convertida para coeficientes de retroespalhamento [σ° ; unidade em decibéis (dB)] por 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. A conversão para σ° foi feita ainda com o uso de modelos digitais de elevação do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da área de estudo, disponíveis na página eletrônica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (topodata; VALERIANO e ROSSETTI, 2012).

As imagens em formato geotiff foram georreferenciadas tendo as imagens *geocover* (cenas ortorretificadas 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 coberta pelas imagens do PALSAR. O erro do georreferenciamento foi inferior a 1 *pixel*.

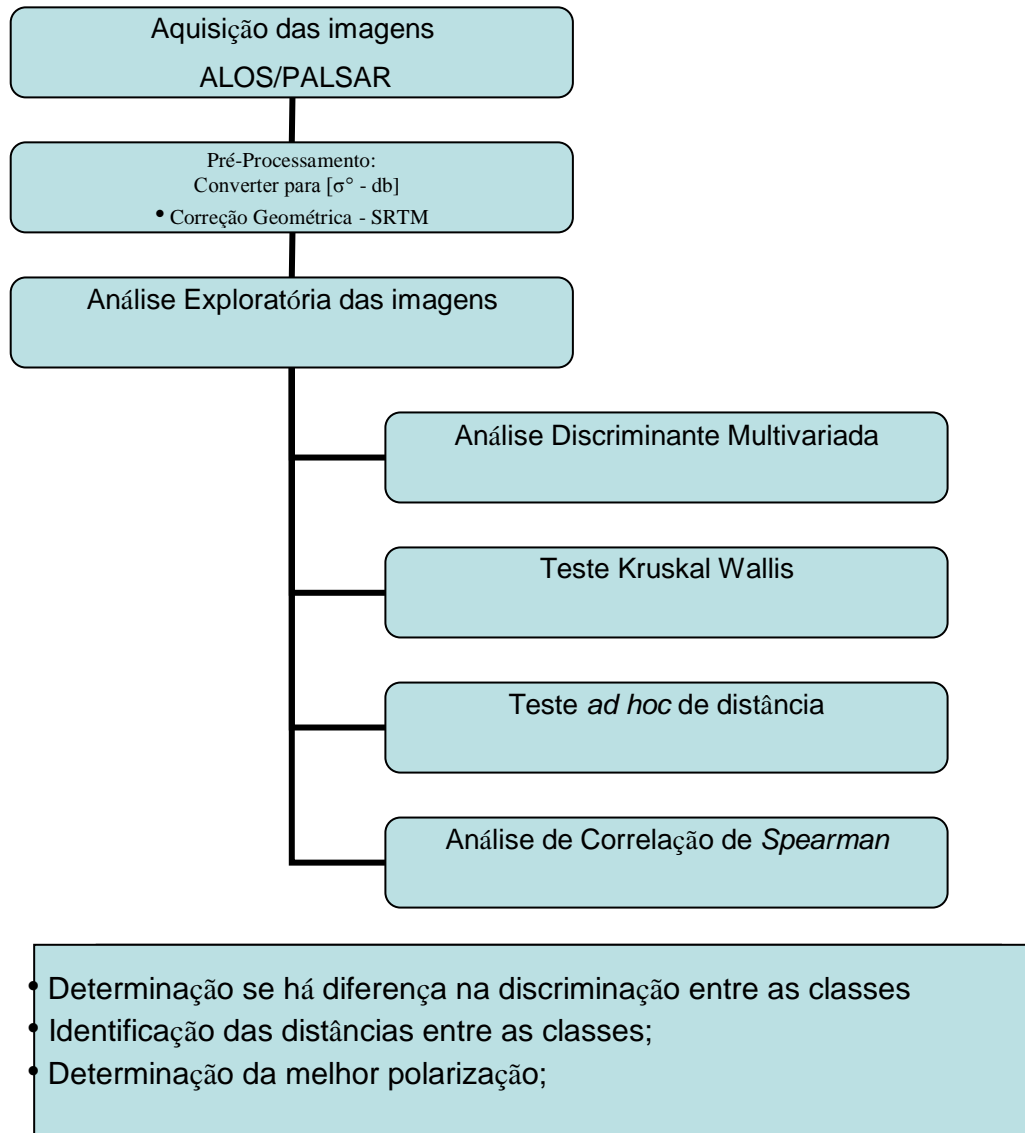


Figura 4.1 Fluxograma da metodologia geral do trabalho.

Por meio da ferramenta *Hawths 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) (Figura 4.2). 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 aleatório distribuído nas imagens 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 situados fora do intervalo $\mu \pm \sigma$ foram desconsiderados. Para determinar a potencialidade das imagens de radar em diferentes polarizações nas classes vegetacionais da área de estudo, foram aplicadas as seguintes análises estatísticas: 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 intragrupo (VALENTIM, 2000). Essa análise discriminante foi utilizada para verificar estatisticamente o desempenho de cada polarização na separação espectral das cinco classes de vegetação, determinando qual polarização discrimina melhor essas classes.

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 indica se há diferença entre as classes vegetacionais para o coeficiente de retroespalhamento. Para identificar entre que classes existem essas diferenças, foi aplicado então o teste *ad hoc* (DE MARCO e PAGLIA, 2003). Deste modo, é possível verificar em quais classes há essa distância.

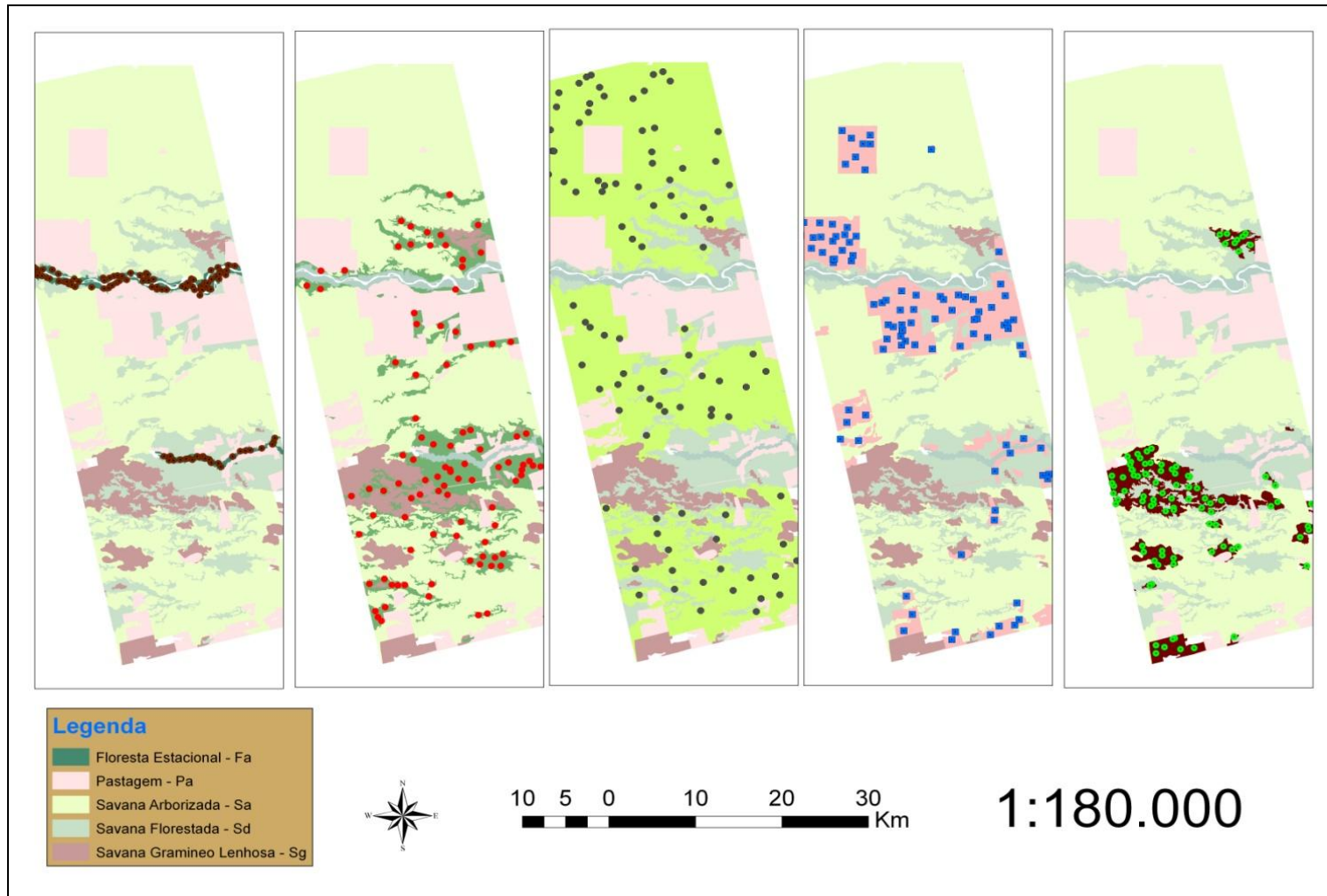


Figura 4.2 Pontos selecionados aleatoriamente para cada classe na área de estudo.

A correlação de Spearman permitiu verificar a existência de redundância ou não entre os valores de σ° derivados das polarizações HH, HV e VV.

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 principais vias de acesso presentes na área de estudo. 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 (Anexo).

CAPÍTULO 5

RESULTADO E DISCUSSÃO

Na figura 4.3, é mostrado o regime diário de chuvas registrado pelas três estações pluviométricas mais próximas da área de estudo durante 30 dias que antecederam a passagem do satélite. Considerando-se que houve um período continuado de 28 dias sem chuva antes da passagem do satélite, pode-se assumir que os efeitos da umidade de solos nos sinais de radar foram negligenciáveis.

As fotografias panorâmicas de campo das cinco classes de cobertura vegetal mais representativas da área de estudo são mostradas na figura 4.4.

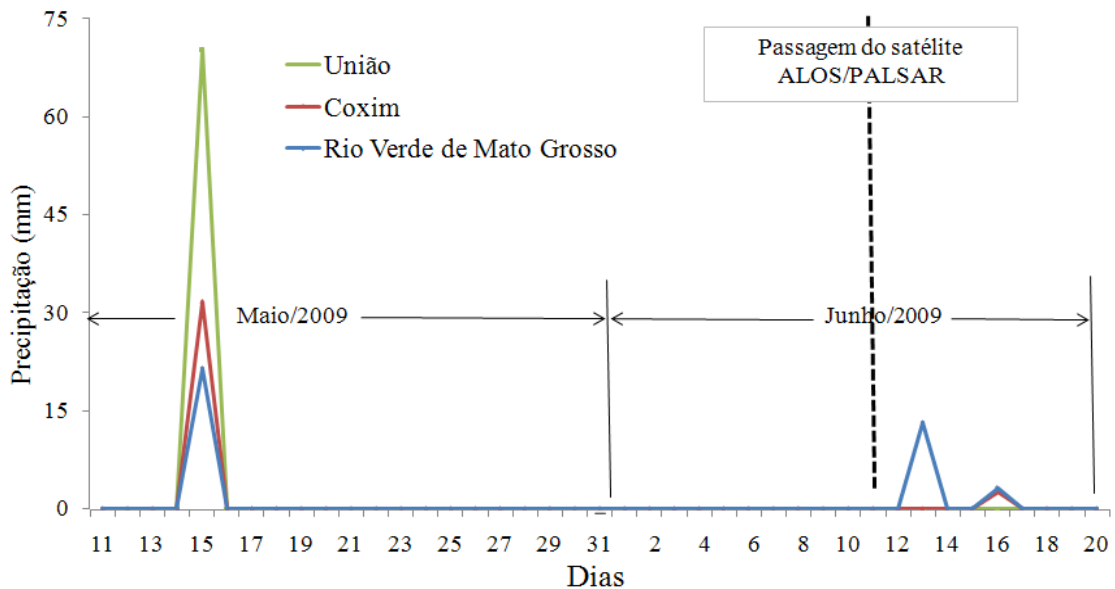


Figura 4.3 Regime diário de precipitação registrada por três estações pluviométricas localizadas próximo à área de estudo (referente a 30 dias antes da passagem do satélite).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 4.4 Fotografias panorâmicas de campo ilustrando as seguintes classes de cobertura vegetal representativas da área de estudo: Floresta Estacional Semidecidual aluvial (Fa) (a); Savana Florestada (Sd) (b); Savana Arborizada (Sa) (c); Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg) (d); e Pastagem Cultivada (Ap) (e).

Na classe Fa (Figura 4.4a), é evidente 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 que ocorre dentro do dossel (JENSEN, 2009).

Na área de estudo, essa classe acompanha o leito do rio Taquari, beneficiando-se da umidade de solos relativamente mais elevada nos solos, o que acarreta em uma vegetação mais densa. A biomassa verde mais densa e a umidade de solos mais elevada são os principais responsáveis por valores relativamente mais altos de coeficiente de retroespalhamento (σ°) (KASISCHKE e BORGEAU-CHAVES, 1997).

A classe Sd (Figura 4.4b), apesar de ser ainda uma mata fechada, apresenta troncos e galhos mais finos em comparação com a classe anterior. 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.

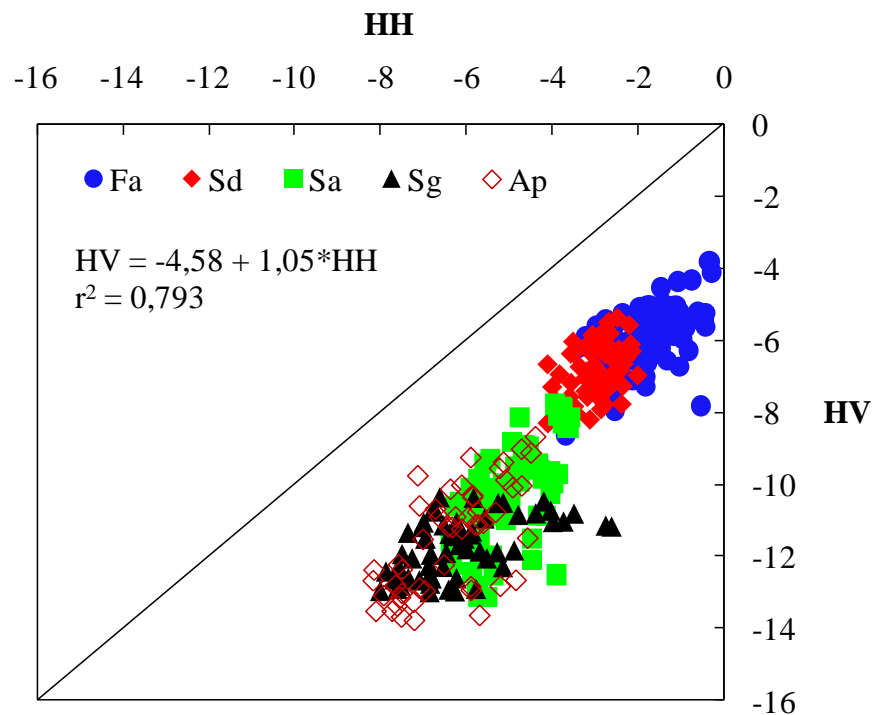
Na classe Sa (Figura 4.4c), já se nota a presença de espécies gramíneo-lenhosas, porém, ainda predominam as espécies arbustivas e arbóreas, com espaçamento maior entre as espécies em relação às classes Fa e Sd. Os galhos e troncos são mais finos, o dossel é menos volumoso e existem menos camadas de folhas do que nas outras duas classes anteriores, resultando em um menor retroespalhamento.

A classe Sg (Figura 4.4d) ocorre em áreas baixas e periodicamente inundadas. A ocorrência é de espécies campestres, com ausência de árvores e arbustos. A classe Ap (Figura 4.4e) ocorre em áreas não-inundáveis, podendo haver presença ou ausência de arbustos, dependendo do manejo dessas áreas. Nas imagens de radar, essas áreas tendem a aparecer com tonalidades escuras em função dos baixos índices de biomassa e superfície predominantemente lisa.

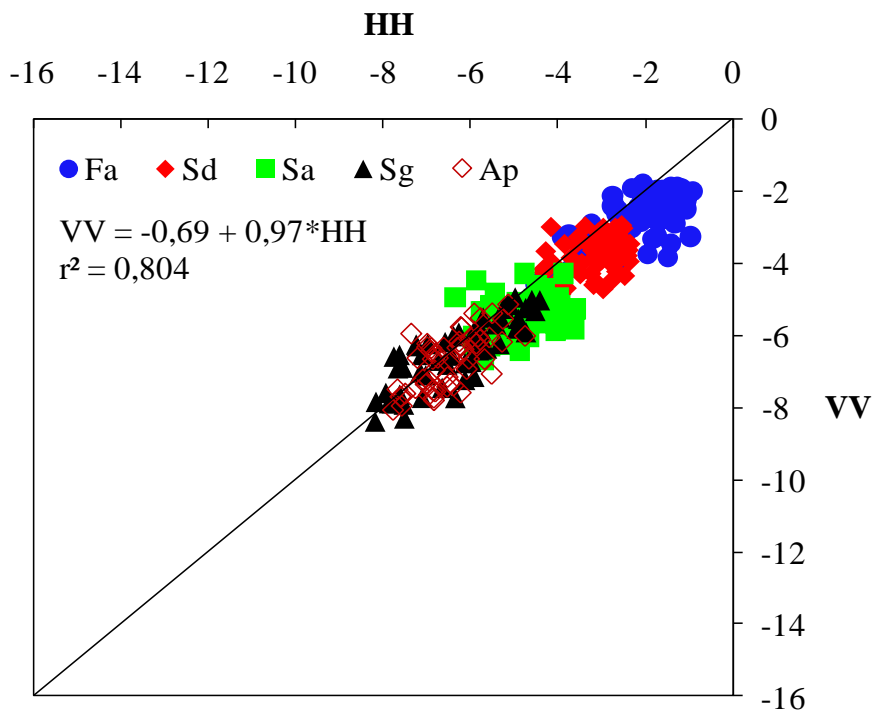
Observou-se uma forte relação linear positiva ($p < 0,05$) entre as polarizações HH x HV, HH x VV e HV x VV (Figura 4.5), apresentando um valor de correlação (r^2) superior a 79% nos três gráficos. Deste modo, quanto maior a estrutura vegetacional

nas classes (dossel volumoso, troncos mais grossos e pouco espaçamento entre as árvores), maior é o coeficiente de retroespalhamento nas polarizações. Essa figura mostra ainda a possibilidade de discriminação de três grupos de classes de cobertura vegetal: Fa (valores mais altos de retroespalhamento), Sd (valores intermediários de retroespalhamento) e um conjunto de classes formado por Sa, Sg e Ap (valores mais baixos de retroespalhamento).

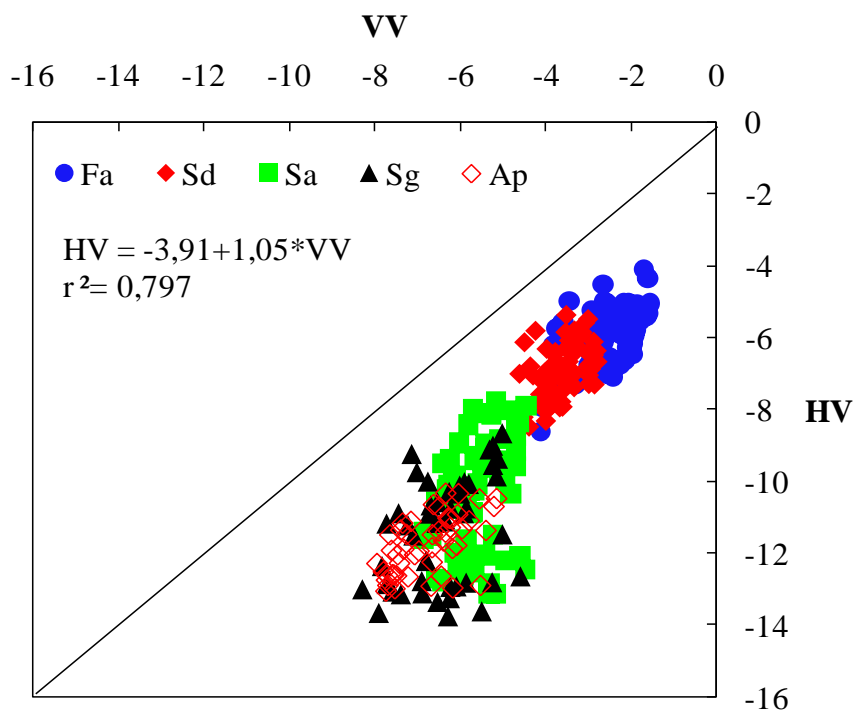
A distribuição histogrâmica dos coeficientes de retroespalhamento da Fa, Sd, Sa, Sg e Ap nas polarizações HH, HV e VV é mostrada na Figura 4.6. Houve uma pequena tendência nos valores de retroespalhamento da polarização HH serem maiores do que na polarização VV. Os altos valores de retroespalhamento na polarização HH, possivelmente se justifica pela presença de galhos e troncos presentes nas classes de estudo, resultando em um alto retorno devido à interação do sinal de radar com o solo. Menores valores de σ° foram encontrados para a polarização HV. Independentemente da polarização, os valores mais elevados de σ° foram encontrados para Fa e Sd (cobertura vegetal densa), enquanto os valores mais baixos de σ° foram encontrados para Sg e Ap (cobertura vegetal menos densa).



(a)



(b)



(c)

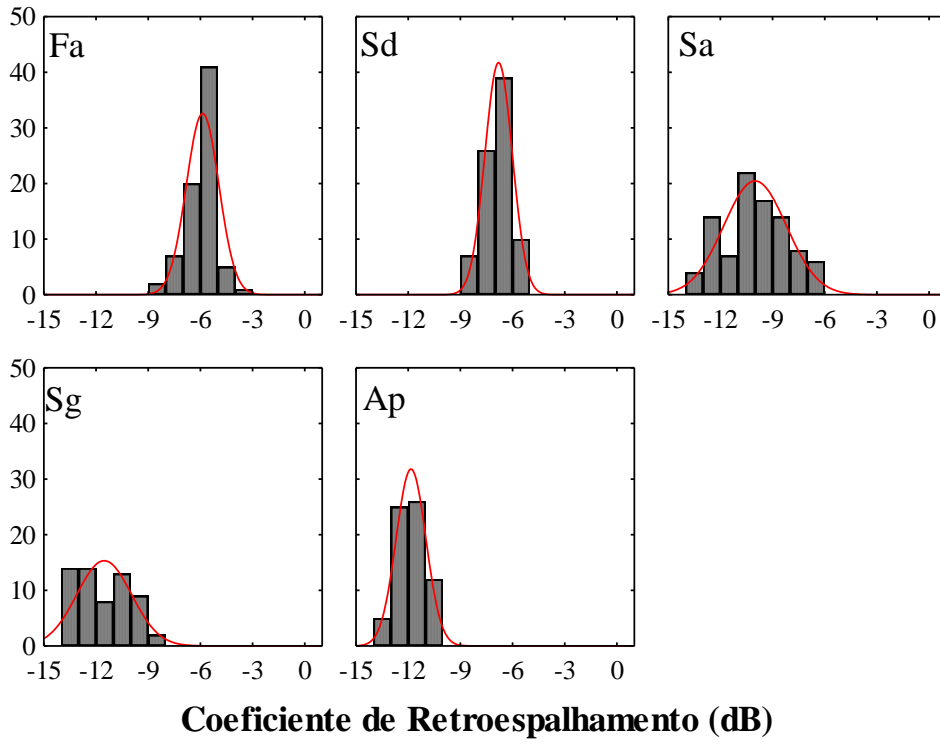
Figura 4.5 Dispersão de valores de retrospalhamento entre as polarizações HH e VV (a), HH e HV (b) e VV e HV (c). Fa = Floresta Estacional; Sd = Savana Densa; Sa = Savana Arborizada; Sg = Savana Gramíneo-Lenhosa; e Ap = Pastagem Cultivada.

As polarizações paralelas tiveram um valor de sigma mais intenso do que a polarização cruzada HV para todas as classes, o que corrobora com o apresentado por [ALMEIDA FILHO et al., \(2008\)](#), provavelmente devido a perda de sinal ocasionada pela despolarização da onda.

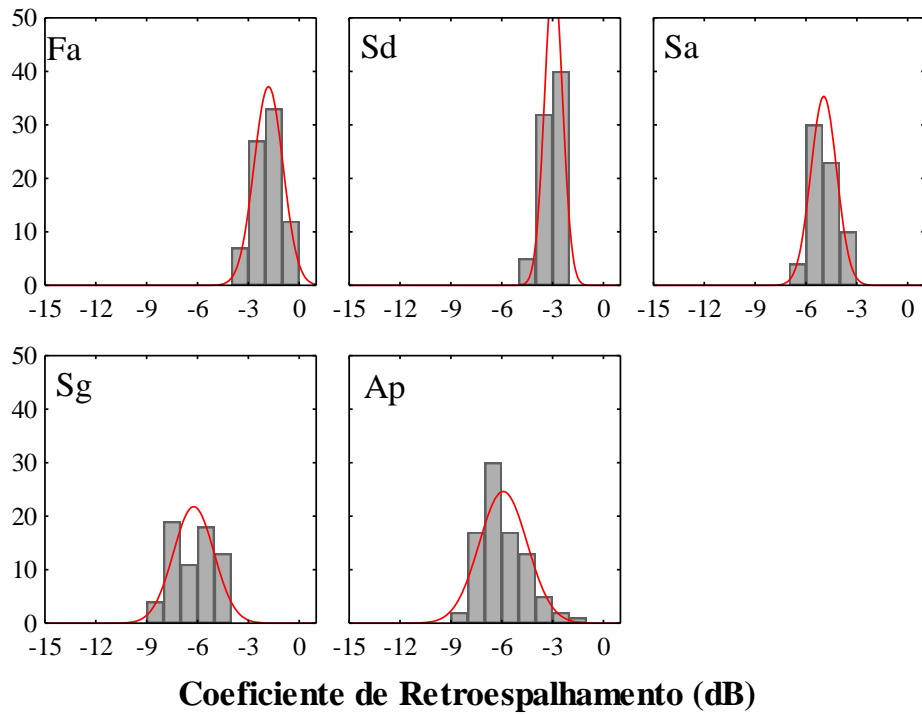
Quanto à dispersão dos valores de retroespalhamento em torno da média, as classes Fa e Sg apresentaram valores relativamente altos de desvio-padrão, enquanto a classe Sd apresentou valores relativamente baixos de desvio-padrão, de novo, independentemente da polarização. Na polarização HV, a dispersão de valores de retroespalhamento associados com a classe Sd foi notável. Em imagens de radar, diferenças nos valores de σ° para cada classe espectral estão relacionadas com a tonalidade, enquanto diferenças nos valores de desvio-padrão estão relacionadas com a textura.

Na utilização de imagens de radar do satélite JERS-1, [SHIMABUKURO et al. \(2006\)](#) discriminou a cobertura e uso do solo na região amazônica, encontrando os valores de retroespalhamento em torno de -12,5dB e -15,5dB para a classe desflorestamento, -9dB e -13dB para áreas de savana, -6,5dB e -8,5dB para áreas de floresta e -4,5dB e -7,5dB para áreas de vegetação alagada.

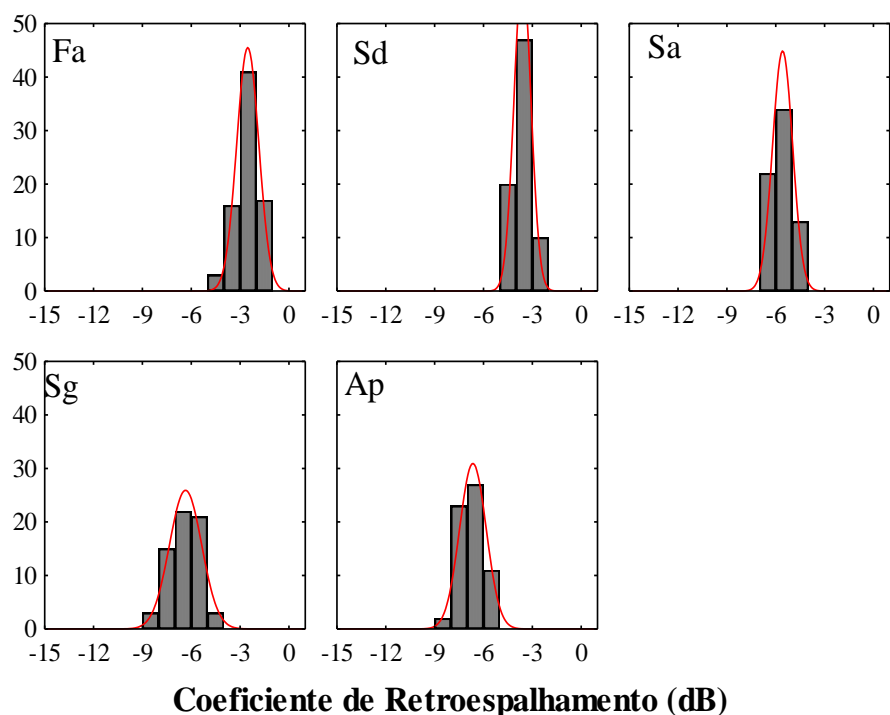
Os valores médios de retroespalhamento encontrados por [BUFALO \(2005\)](#) com imagens JERS-1, variaram entre -15,28dB para a classe desflorestamento e -6,95dB a -7,02dB para a classe floresta.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.6 Distribuição histogrâmica dos coeficientes de retroespalhamento da Floresta Estacional (Fa), Savana Densa (Sd), Savana Arborizada (Sa), Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg) e Pastagem Cultivada (Ap) nas polarizações HV (a), HH (b) e VV (c).

Na análise discriminante, a discriminação entre classes nas três polarizações foi significativa (Tabela 4.2). O primeiro componente principal (CP) concentrou 96% de toda a variação do modelo construído ($R = 0,957$; $p = 0,000$).

Tabela 4.2 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

Na Tabela 4.3, é apresentada a importância de cada variável para a discriminação das classes 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 CP 1 foi a polarização VV (peso mais alto em valor absoluto).

Tabela 4.3 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

Na Figura 4.7, nota-se que as classes Fa, Sd e Sa apresentam grupamentos relativamente distintos ao longo do CP 1. Entretanto, as classes Sg e Ap não apresentaram uma evidente distinção em relação ao CP1.

Ao serem analisadas cada uma das polarizações individualmente (teste de Kruskal-Wallis), foram encontradas diferenças estatísticas nas três polarizações na discriminação entre as classes estudadas nas imagens de radar (Tabela 4.4).

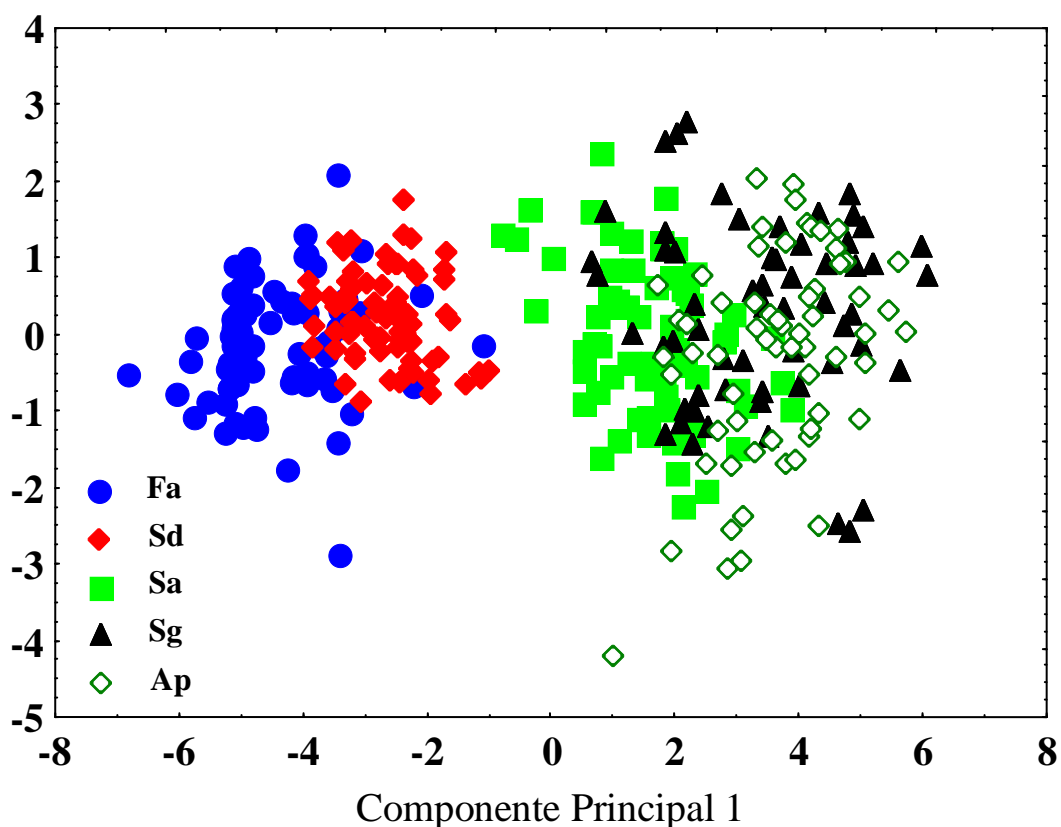


Figura 4.7 Relação entre componentes principais 1 e 2, indicando a formação de três grupos de classes de cobertura vegetal da área de estudo. Fa = Floresta Estacional; Sd = Savana Densa; Sa = Savana Arborizada; Sg = Savana Gramíneo-Lenhosa; e Ap = Pastagem Cultivada.

Tabela 4.4 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

Assim, pode-se afirmar que as classes de cobertura de terras representativas da área de estudo podem ser distinguidas pela análise dos valores de retroespalhamento nas três polarizações consideradas.

Podem-se analisar ainda as diferenças existentes entre as classes vegetacionais para cada polarização, observando os valores da Tabela 4.5. Nas três polarizações, foram visíveis as diferenças existentes entre as classes, destacando uma maior diferença entre as classes florestadas em relação às classes arbustivas/gramíneas. Os resultados obtidos são coerente aos valores encontrados em Hashimoto et al. (1997), onde as florestas densas dispõem de elevados valores do sigma, enquanto que nas florestas abertas, pastos, savanas e áreas agrícolas (menos densa e menor biomassa) os valores do sigma mostram-se mais baixos (áreas mais escuras na imagem de radar). Assim, de um modo geral, o coeficiente de retroespalhamento tende a aumentar com a consolidação da superfície vegetal (IMHOFF, 1995). Em todas as polarizações desse estudo das imagens ALOS/PALSAR, não foi possível discriminar entre as classes Ap e Sg.

Tabela 4.5 Teste *ad hoc* referente à distância entre as classes nas três polarizações HH, HV e VV, respectivamente. Valores seguidos de asterisco não mostraram diferenças significativas.

	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)

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados adquiridos, pode-se concluir que o objetivo geral do trabalho foi alcançado e respondeu a hipótese inicial; demonstrando o potencial das imagens ALOS/PALSAR (banda L, polarizações HH, HV e VV) na discriminação das diferentes classes de cobertura vegetal representativas da região do Médio Taquari – MS.

Diante da interação das radiações eletromagnéticas de radar com os elementos das classes estudadas da área de estudo, foi possível verificar uma relação entre os tipos de cobertura vegetal (fitofisionomias) e os valores do coeficiente de retroespalhamento, mostrando uma boa discriminação entre elas. Com isso, foi possível demonstrar a utilização do radar como ferramenta de detecção de diferentes fitofisionomias na região do Médio Taquari, bioma Pantanal.

Os resultados mostraram o grande potencial das três polarizações na discriminação das classes Floresta Estacional Semidecidual Aluvial, Savana Florestada e Savana Arborizada, não sendo possível diferenciar as classes Savana Gramíneo-Lenhosa e Pastagem.

Especificamente podemos concluir que:

- A melhor polarização na análise discriminante foi a VV, mostrando estatisticamente ser a que melhor discrimina as classes de estudo;
- Todas as polarizações foram capazes de discriminar as classes, com exceção das classes pastagem e gramínea lenhosa;
- As classes com maior biomassa apresentaram uma maior diferença no teste *ad hoc* em relação às classes com menor biomassa;
- Os gráficos histográficos mostraram uma maior dispersão nas classes pastagem e savana gramíneo-lenhosa em comparação com as outras classes;

- A polarização VV mostrou uma menor dispersão dos valores no coeficiente de retroespalhamento em praticamente todas as classes;

Deste modo, constatou-se que é possível a discriminação das classes da cobertura vegetal do Médio Taquari utilizando a tecnologia da imagem de radar, sendo possível também a utilização de diferentes polarizações na utilização para identificação das classes.

Por fim, pode-se inferir que a polarização VV foi a que representou melhor a discriminação da vegetação, no entanto, novos estudos devem ser levados em consideração, na informação polarimétrica, no sentido de se obter uma comparação com os resultados encontrados na região leste do Pantanal.

Sugestões para os próximos trabalhos

A utilização de imagens do satélite ALOS poderá contribuir com uma base para estudos dentro do bioma Pantanal, desse modo, utilizar essas imagens em outras regiões na observação de sua potencialidade é de fundamental importância;

Fazer estudos das imagens ALOS em diferentes épocas do ano, nesse estudo foi utilizada imagens da época seca, pode-se trabalhar com outras imagens na época chuvosa e observar qual a melhor estação para discriminar as diferentes fitofisionomias do Pantanal com imagem de radar;

Utilizar outras imagens com ângulo de incidência diferente e imagens que tenha comprimento de onda diferente do ALOS (Banda L);

Determinar algoritmos para classificadores das classes de vegetação do bioma Pantanal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDON, M. M.; SILVA, J. S. V.; POTT, V.J.; POTT, A.; SILVA, M. P. Utilização de dados analógicos do LANDSAT-TM na discriminação da vegetação de parte da sub-região da Nhecolândia no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1799-1813, 1998.
- ABDON, M. M.; SILVA, J. S. V.; MARSELHAS, E.; SOUZA, I.; 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, p. 17-24, 2007.
- ADÂMOLI, J. O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados: discussão sobre o conceito de complexo do Pantanal. In: 32º CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 32., Teresina, PI. **Anais...** Brasília: Sociedade Botânica do Brasil, p. 109-119, 1982.
- ALHO, C. J. R. **Conservação da Biodiversidade da Bacia do Alto Paraguai**. Campo Grande: UNIDERP, 2005. 420 p.
- ALLEN, C. T.; ULABY, F. T. Modeling the polarization dependence of the attenuation in vegetation canopies. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS'84), 1984, Strasbourg, France. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, 1984.
- ALMEIDA, F. C. Simulação de resposta de estruturas simplificadas de vegetação ao radar de abertura sintética interferométrico. 102 p. (INPE-15433- TDI/1419). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, São José dos Campos. 2008.
- ALMEIDA, F. F. M. **O Planalto Centro Ocidental e o Pantanal Matogrossense**. Guia de Excursão. Rio de Janeiro: União Internacional de Geografia, v. 3, p. 169, 1959.
- ALMEIDA, N. N.; SILVEIRA, E. A.; BARROS, L. T. L. P. **Mapa de vegetação e uso do solo da região de Poconé, MT: I - descrição das unidades**. Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/agencia/congresso/ABIOTICOS/ALMEIDA-055.pdf>>. Acesso em: 20jul.2011.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Implementação de práticas de gerenciamento integrado de bacia hidrográfica para o Pantanal e a Bacia do Alto Paraguai: programas de ações estratégicas para o gerenciamento integrado do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai**. GEF. Relatório Final. Brasília. 2004, 513 p. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/projetos/gefpantanal.aspx>>. Acesso em: 15jan.2012.
- ANDRADE, N. S. O. **Qualidade geométrica de imagens JERS-1 (SAR) e Radarsat (modos S2 e S3) em ambiente de floresta tropical (Rondônia)**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 1999, 204 p.

ANDRADE, N. S. O.; ROSA, A. N. C.; FARIA, P. C. C. Fundamentos de polarimetria SAR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007, p. 4775-4782.

ANGELIS, C. F. **Análise do comportamento temporal do retroespalhamento na banda L da cobertura da terra na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, utilizando imagens JERS-1.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 154 p., 2003 (INPE-9678-TDI/853).

ASF. Alaska Satellite Facility. **MapReady 1.0.** Disponível em: <<http://www.asf.alaska.edu/sardatacenter/Softwaretools>>. Acesso em: 15out.2011.

ASNER, G. P. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 18, p. 3855-3862, 2001.

AZEVEDO, A. **Brasil. A Terra e o Homem.** Vol. I – As Bases Físicas. Rio de Janeiro: Companhia Editora Nacional, Cap.2, p. 55, 120, 1964.

BOOCK, A.; ARAÚJO, M. R.; POTT, A.; PESSOTI, J. E.; SILVA, M. P.; POTT, V. J.; SOUZA, O. C. Estratégia de ocupação e uso de pastagens nativas no Pantanal do Nabileque em Mato Grosso do Sul. In: PUIGNAU, J. P. (ed.), **Utilización y Manejo de Pastizales.** Montevideu: IICA PROCISSUR, p.135-158, 1994 (Diálogo IICA-ROCISSUR; no. 40), 1994.

BRASIL. Ministério do Interior. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. **Estudos hidrológicos da Bacia do Alto Paraguai.** Relatório Técnico. Rio de Janeiro, 1974. v. 1, 284 p.

BRASIL. Ministério do Interior. **Estudos de Desenvolvimento Integrado da Bacia do Alto Paraguai.** Relatório de 1ª fase. EDIBAP. Brasília: Superintendência do Desenvolvimento da Região Centro-Oeste (SUDECO), t.2, 235 p. 1979.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL.** Folha SD 21 Cuiabá. Fitogeografia brasileira: classificação fisionômico-ecológica da vegetação neotropical. Salvador, 1980. 49 p. il. (Levantamento de Recursos Naturais, 27).

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

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL.** Folha SD 21 Cuiabá. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial. Rio de Janeiro, 1982b. 360 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 26).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL.** Folha SE. 21 Corumbá e parte da folha SE. 20. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982c. 448 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 27).

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. Folha SF.21 Campo Grande. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982d. 412 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 28).

BRASIL. Programa Nacional do Meio Ambiente. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – PCBAP: Projeto Pantanal**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, v. 3, t. 7, 1997.

BUFALO, A. C. **Avaliação da aplicação de mosaicos de dados de radar da missão de mapeamento de florestas pluviais ao monitoramento do desmatamento na Amazônia Brasileira**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 169 p., 2005.

CADAVID GARCIA, E. A. **O clima no Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 1984, 42 p. (Circular Técnica, 14).

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.

CHAVES, J. M.; SANO, E. E.; GUIMARÃES, E. M.; SILVA, A. B.; MENESES, P. R. Sinergismo entre dados ópticos e de radar para o estudo geológico na região de Bezerra-Cabeceiras, Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2-Suplemento, p. 137-146, 2003.

COSTA, M. F. **História de um País Inexistente: o Pantanal entre os Séculos XVI e XVIII**. São Paulo: Kosmos, 277 p., 1999.

COSTA, M. The use of SAR satellites for mapping zonation of vegetation communities in the Amazon floodplain. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 1817–1835, 2004.

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.; NOVO, E.; AHERN, E.; MITSUO II, E.; MANTOVANI, J.; BALLESTER, M.; PIETSCH, R. The Amazon floodplain through radar eyes: Lago Grande de Monte Alegre case study. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 24, p. 339–349, 1998.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2^a ed. rev. – Viçosa: UFG, 390 p., 2001.

CUNHA, N. G. **Considerações sobre os Solos da Sub-Região da Nhecolândia, Pantanal Mato-Grossense**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 1980, 45 p.

DALLEMAND, J. F.; LICHTENEGGER, J.; RANEY, R. K.; SCHUMANN, R. **Radar imagery: theory and interpretation**. Lecture Notes. Roma: FAO/ESA, 1993 (RSC Series 67).

DE MARCO Jr.; 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. 665 p.

DOBSON, M. C. Forest information from synthetic aperture radar. **Journal of Forestry**, n. 98, p. 41-43, 2000.

DOBSON, M.C.; ULABY, F.T.; LETOAN, T.; BEAUDOIN, A.; KASISCHKE, E.S.; CHRISTENSEN, N. Dependence of radar backscatter on coniferous forest biomass. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 30, p. 412–415, 1992.

DOBSON, M. C.; ULABY, F. T.; PIERCE, L. E. Land-cover classification and estimation of terrain attributes using synthetic aperture radar. **Remote Sensing of Environment**, v. 51, n. 1, p. 199-214, 1995.

DUBS, B. **Prodromus Florae Matogrossensis**. Betrona Verlag: Küsnacht. 1998.

EMBRAPA PANTANAL. **Plano de utilização da Fazenda Nhumirim**. Documento 21. Corumbá: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997.

EMBRAPA PANTANAL. **Impactos ambientais e sócio-econômicos no Pantanal**. Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/impacto.html>>. Acesso em: 07fev.2011.

ENGMAN, E. T.; CHAUHAN, N. Status of microwave soil moisture measurements with remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, vol. 51, p. 189-198, 1995.

FORD, J. P.; CIMINO, J. B.; HOLT, B.; RUZEK, M. R. **Shuttle Imaging Radar views the Earth from Challenger**. The SIR-B experiment. Pasadena: NASA JPL, 1986, 135 p.

GALDINO, S.; VIERIA, L. M.; PELLEGRIN, L. A. **Impactos ambientais e socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari - Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006. 356 p. ; il.

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**, v. 1, Leiden: Backhuys Publishers b.V., p.1–10, 2000.

GODOY, J. M.; PADOVANI, C. R.; PEREIRA, J. C. A; VIEIRA, L. M.; CARVALHO, Z. L.; GALDINO, S. Evaluation of the Rio Taquari, Pantanal, Brazil, silting up based on the ²¹⁰Pb geochronology of floodplain lakes sediments. In: **International Symposium Environmental Geochemistry** in tropical countries, 3., , Nova Friburgo/RJ-Brazil. Book Abstracts. Nova Friburgo. 1999.

GUARIM NETO, G. Plantas do Brasil. Angiospermas do Estado de Mato Grosso. II. Pantanal. **Acta Botanica Brasilica**, v. 5, n. 1, p. 25-47, 1991.

HENDERSON, F. M.; LEWIS, A. J. (eds.). **Manual of Remote Sensing**. V. 2. Principles and Applications of Imaging Radar. 3^a ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1998. 866 p.

HENDERSON, F. M.; LEWIS, A. J. Radar detection of wetland ecosystems: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 20, p. 5809-5835, 2008.

HOEHNE, F. C. **Phytophysionomia do Mato Grosso e ligeiras notas a respeito da sua flora, estudo preliminar**. São Paulo: Graphicars, 1923.

HOEHNE, F. C.; KUHLMANN, J. B. **Índice bibliográfico e numérico das plantas colhidas pela Comissão Rondon**. São Paulo: Secretaria da Agricultura, 1951.

HOEKMAN, D. H.; QUINONES M. J. Land cover types and biomass classification using AirSAR data for evaluation of monitoring scenarios in the Columbian Amazon. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 38, n. 2, p. 685-696, 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 1995-1996**. Nº 24, Mato Grosso. Rio de Janeiro: IBGE, 1998, 231 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Imagens ALOS/PALSAR**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/alos/>>. Acessado em: 20dez.2011.

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. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006, 91 p. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n. 7).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de biomas e vegetação**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_impressao.php?id_noticia=169>. Acesso em: 07fev.2008.

IMHOFF, M. L. A theoretical analysis of the effect of forest structure on synthetic aperture radar backscatter and the remote sensing of biomass. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 341-352, 1995a.

IMHOFF, M. L. Radar backscatter and biomass saturation – ramifications for global biomass inventory. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 511-518, 1995b.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**. São José dos Campos: Parentese, 2009. 598 p.

- JOLY, A. **Conheça a Vegetação Brasileira**. São Paulo: Polígono, 1970.
- JUNK, W. J. Long-term environmental trends and the future of tropical wetlands. **Environmental Conservation**, v. 29, 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, p. 278-309, 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.
- KASISCHKE, E. S.; MELACK, J. M.; DOBSON, M. C. The use of imaging radars for ecological applications. A review. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 2, p. 141-156, 1997.
- KERR, J. T.; OSTROVSKY, M. From space to species: ecological applications for remote sensing. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 18, n. 6, p. 299-305, 2003.
- KUPLICH, T. M. Estudos florestais com imagens de radar. **Espaço & Geografia**, v. 6, n. 1, p.71-96, 2003.
- LE TOAN, T.; BEAUDOIN, A.; GUYON, D. Relating forest biomass to SAR data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, n. 2, p. 403-411, 1992.
- LEBERL, F. W. **Radargrammetric Image Processing**. Norwood: Artech House, 1990, 595p.
- LEWIS, A. J.; HENDERSON, P. M.; HOLCOMB, D. W. 1998. Radar fundamentals. The geoscience perspective. In: LEWIS, A. J.; HENDERSON, F. M. **Manual of Remote Sensing**. Principles and Applications of Imaging Radar. 3^a ed. Nova Iorque: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1998. 866 p.
- LIMA, S. C. **As veredas do Ribeirão Panga no Triângulo Mineiro e a evolução da paisagem**. Tese (Doutorado em Geografia). São Paulo: Universidade de São Paulo, 1996.
- LIMA, M. I. C. **Projeto RADAM**. Uma Saga Amazônica. Belém: Ed. Paka-Tatu, 2008, 132 p.
- MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. **Macrozoneamento geoambiental do Estado do Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, 1989. 242 p.
- MATHER, P. M. **Computer Processing of Remotely Sensed Images**. An Introduction. Chichester: John Wiley & Sons, 2^a ed., 1999. 292 p.

MENESES, P. R. Fundamentos de radiometria óptica espectral. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. (org.). **Sensoriamento Remoto**. Reflectância dos Alvos Naturais. Brasília: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados. Cap. 1, p. 15-40, 2001.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. **Biodiversidade brasileira: avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira**. Brasília: MMA, 2002.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade e Florestas. **Mapa de cobertura vegetal dos biomas brasileiros**. Brasília: MMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=72&idMenu=3813>>. Acessado em: 15set.2011.

MORAN, E. F.; BRONDIZIO, E. S.; TUCKER, J. M.; SILVA-FORSBERG, M. C.; MCCracken, S.; FALESI, I. Effects of soil fertility and land-use on forest succession in Amazônia. **Forest Ecology and Management**, v. 139, p. 93-108, 2000.

MOURÃO, G.; OLIVEIRA, M. D.; CALHEIROS, D. F.; PADOVANI, C. R.; MARQUES, E. J.; UETANABARO, M. **O Pantanal Matogrossense**. Site 2. Disponível em: <http://www.icb.ufmg.br/~peld/port_site02.pdf>. Acesso em: 07fev.2011.

NOVITZKI, R.; SMITH, R.; FRETWELL, J. Wetland functions, values and assessment. In: FRETWELL, J.; WILLIAMS, J.; REDMAN, P. (org.). **National Water Summary on Wetland Resources**. Washington: U.S.Geological Survey, p. 79-86, 1996 (USGS Water Supply Paper 2425).

OLIVEIRA, H.; OLIVEIRA, F. D. A.; SANO, E. E.; ADÁMOLI, J. Expansão da fronteira agrícola na bacia do alto Taquari utilizando o sistema de informações geográficas SGI/INPE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 2000, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Viçosa: SBCS, 2000. 4 p. CD-ROM.

OLIVER, C.; QUEGAN, S. **Understanding Synthetic Aperture Radar Images**. Boston: Artech House, 1998, 479 p.

PADOVANI, C. R.; PONTARA, R. C. P.; PEREIRA, J. P. Mudanças recentes de leito no baixo curso do Rio Taquari, no Pantanal Mato-Grossense. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 49, p. 33-38, 2001.

PALME, U. W.; MURA, J. C.; NOVO, E. M. L. M.; SOARES, J. V.; KUX, H. J. H. Sensoriamento remoto por radares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., Salvador, BA. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996, p. 247-329.

Paradella, W.R. Imagens de Radar: **Fundamentação e Experiências com o SAR na Amazônia**. FATOR G/5, 14 (Jun/Jul): 40-43. 1996.

PARADELLA, W. R.; SANTOS, A. R.; VENEZIANI, P.; MORAIS, M. C. Synthetic aperture radar for geological applications in the moist tropics: experiences from the Brazilian Amazon region. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 3, p. 538-542, 2000.

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, p. 56-62, 2005.

PENNINGTON, R. T.; PRADO, D. E.; PENDRY, C. A. Neotropical seasonally dry forests and quaternary vegetation changes. **Journal of Biogeography**, v. 27, p. 261-273, 2000.

PONZONI, F. J.; HERNANDEZ FILHO, P. A fisionomia da cobertura vegetal do Parque Nacional do Pantanal Matogrossense (PNPM) identificada através do sensor TM/LANDSAT: uma análise temporal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., Natal, RN. **Anais...** São José dos Campos: INPE, v.3, p.670-674, 1988.

PONZONI, F. J.; HERNANDEZ FILHO, P.; PEREIRA, M. T.; LORENZI, C. J. A fisionomia da cobertura vegetal do Parque Nacional do Pantanal Mato-Grossense (PNPM) identificada através do sensor TM/Landsat: uma análise temporal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5, Natal, RN. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1989.

POPE, K.; REJMANKOVA, E.; PARIS, J.; WOODRUFF, R. Detecting seasonal flooding cycles in marshes of the Yucatan peninsula with SIR-C polarimetric radar imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 157-166, 1997.

POR, F. D. **The Pantanal of Mato Grosso (Brazil)**. World's Largest Wetlands. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 122 p., 1995.

POR, F. D.; FONSECA, V. L. I.; LENCIONI NETO, F. **Pantanal**. Disponível em: <<http://www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/meioamb/ecossist/pantanal/index.htm>>. Acesso em: 15set.2011.

POTT, A. 1988. **Pastagens no Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 1988, 58 p. (Documentos, 7).

POTT, A. Dinâmica da vegetação do Pantanal. In: CAVALCANTI, T. C.; WALTER, B. M. T. (org.), **Tópicos Atuais em Botânica**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, p. 172-182, 2000.

POTT, V. J.; POTT, A. **Plantas Aquáticas do Pantanal**. Brasília: Embrapa Sede, 2000. 404 p.

POTT, A.; POTT, V. J. **Plantas do Pantanal**. Brasília: Embrapa Sede, 1994. 320 p.

POTT, A.; SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M.; POTT, V. J.; RODRIGUES, L. M. R.; SALIS, S. M.; HATSCHBACH, G. G. Vegetação. In: BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai-PCBAP**: diagnóstico dos meios físico e biótico. Brasília: MA/SEMAM/PNMA, 1997. v.2, t.2, p.1-179.

POTT, A.; POTT, V. J. Flora do Pantanal. Listagem atual de Fanerógamas. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SOCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 2., Corumbá, MS. **Anais...** Corumbá: Embrapa Pantanal, 1999, p. 297-325. 1999.

PRADO, D. E.; GIBBS, P. Patterns of species distributions in the dry seasonal forests of South America. **Missouri Botanical Garden**, v. 80, n. 4, p. 902-927, 1993.

PRANCE, G. T.; SCHALLER, G. B. Preliminary study of some vegetation types of the Pantanal, Mato Grosso, Brazil. **Brittonia**, v. 34, p. 228-251, 1982.

QUEIROZ NETO, J. P. **Dinâmica de uma Paisagem Pantaneira**. Nhecolândia (Projeto Científico). São Paulo: Universidade de São Paulo, 1997.

RAHMAN, M. M.; MORAN, M. S.; THOMA, D. P.; BRYANT, R.; SANO, E. E.; COLLINS, C. D. H.; SKIRVIN, S.; KERSHNER, C.; ORR, B. J. A derivation of roughness correlation length for parameterizing radar backscatter models. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 18, p. 3995-4012, 2007.

RANNEY, K. Radar fundamentals: technical perspectives In: HENDERSON, F. M.; LEWIS, A. J. (eds.). **Manual of Remote Sensing**. Principles and Applications of Imaging Radar. New York: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1998, Cap. 2, p. 9-130.

RATTER, J. A.; POTT, A.; POTT, V. J.; CUNHA, C. N.; HARIDASAN, M. Observations on woody vegetation types in the Pantanal and at Corumbá. **Notes from Royal Botanic Garden Edinburgh**, v. 45, n. 3, p. 503-525, 1988.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (eds.). **Cerrado. Ambiente e Flora**. Planaltina: Embrapa-CPAC, p. 89-166, 1998.

RIGNOT, E.; SALAS, W. A.; SKOLE, D. L. Mapping deforestation and secondary growth in Rondonia, Brazil, using imaging radar and thematic mapper data. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 2, p. 167-179, 1977.

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**. Aspectos Ecológicos. São Paulo: Hucitec/EDUSP, v. 1, 327 p., 1976.

SAATCHI, S. S.; NELSON, B.; PODEST, E.; HOLT, J. Mapping land cover types in the Amazon Basin using 1 km JERS-1 mosaic. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 6, p. 1201-1234, 2000.

SABINS, F. F. **Remote Sensing. Principles and Interpretation**. Nova Iorque: Freeman, 3ª ed., 1997, 494 p.

SAMPAIO, A. J. A flora de Mato Grosso: memória em homenagem aos trabalhos da Comissão Rondon. **Archivos do Museu Nacional**, v. 19, p. 1-125, 1916.

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**, vol. 9, Paper no. 15, p. 1-15, 2005.

SANO, E. E.; FERREIRA, L. G.; ASNER, G. P.; STEINKE, E. T. Spatial and temporal probabilities of obtaining cloud-free Landsat images over the Brazilian tropical savanna. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 12, p. 2739-2752, 2007.

SANTOS, J. R.; FREITAS, C. C.; ARAUJO, L. S.; DUTRA, L. V.; MURA, J. C.; GAMA, F. F.; SOLER, L. S.; SANT'ANNA, S. J. S. Airborne P-band SAR applied to the aboveground biomass studies in the Brazilian tropical rainforest. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, p. 482-493. 2003.

SHIMABUKURO, Y. E.; ALMEIDA-FILHO, R.; KUPLICH, T. M.; FREITAS, R.M. Use of Landsat TM fraction images to quantify the optical and SAR data relationships for land cover discrimination in the Brazilian Amazonia. **ISPRS Comission VII Midterm Symposium "Remote Sensing: From Pixels to Processes"**, Enschede, the Netherlands, 8-11 May 2006.

SILVA, J. S. V. Correlação de dados de sensoriamento remoto com fluvimetria. **Coletânea de Seminários Técnicos do CPAP Pantanal 1992/1993**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, p. 69-70, 1995.

SILVA, J. S.V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1703-1711, 1998.

SILVA, L. A.; SCARIOT, A. Composição florística e estrutura da comunidade arbórea em uma floresta estacional decidual em afloramento calcário (Fazenda São José, São Domingos, GO, bacia do rio Paranã). **Acta Botanica Brasílica**, v.17, n. 2, p. 304-313, 2003.

SILVA, M. P.; MOURÃO, G. M.; MAURO, R. A.; COUTINHO, M. E.; TOMÁS, W. M. Situação do desmatamento no Pantanal. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ECOLOGIA, 2., Caxambu, MG. **Anais...** São Paulo: SEB, p. 381-382, 1992.

SILVA, M. P.; CAMPOS, Z.; POTT, A.; TOMÁS, W. M.; MAURO, R. A. **Plano de Manejo da Estação Ecológica Nhumirim**. Corumbá, MS, 1994, 64 p. (EMBRAPACPAP. Documento, 12).

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M.; BOOCK, A.; SILVA, M. P. Fitofisionomias dominantes em parte das sub-regiões do Nabileque e Miranda, Sul do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1713-1719, 1998a.

SILVA, J. S. V.; ABSON, M. M.; SILVA, M. P.; ROMERO, H. R. Levantamento do desmatamento no Pantanal brasileiro até 1990/1991. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1739-1745, 1998b.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. ; POTT, A. Cobertura vegetal do Bioma Pantanal em 2002. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 23, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...** Rio de Janeiro: SBC, p. 1030-1038, 2007.

SMITH, T. J.; ILLINGWORTH, A. J. Radar estimates of rainfall rates at the ground in bright band and non-bright band events. **Quartely Journal of Royal Meteorological Society**, v. 124, p. 2417-2434, 1998.

SUDECO. Superintendência do Desenvolvimento da Região Centro-Oeste. **Estudos de desenvolvimento integrado da bacia do Alto Paraguai**. Relatório da 1ª fase. Descrição física e recursos naturais. Brasília: Ministério do Interior, 1979. t. 2, 235 p.

THOMAS, D. P.; MORAN, M. S.; BRYANT, R.; RAHMAN, M.; HOLIFIELD-COLLINS, C. D.; SKIRVIN, S.; SANO, E. E.; SLOCUM, K. Comparison of four models to determine surface soil moisture from C-band radar imagery in a sparsely vegetated semiarid landscape. **Water Resources Research**, v. 42, n. 1, p. 1-12, 2006.

TRICART, J. El Pantanal: un ejemplo Del impacto de La geomorfologia sobre El médio ambiente. **Geografia**, v. 7, p. 37-50, 1982.

ULABY, F. T.; MOORE, R. K.; FUNG, A. K. **Microwave Remote Sensing**. Active and Passive. Washington: Addison-Wesley, v.2, 1982.

ULABY, F. T.; ALLEN, C. T.; EGER, G.; KANEMASU, E. Relating the microwave backscattering coefficient to leaf area index. **Remote Sensing of Environment**., v.14, n. 1- 3, p. 113-133, 1984.

ULABY, F. T.; MORE, R. K.; FUNK, A. K. **Microwave Remote Sensing**. Active and Passive. Reading: Addison-Wesley, 1986. v. 2, 360 p.

URURAHY, J. C. C.; COLLARES, J. E. R.; MESSIAS SANTOS, M.; BARRETO, R. A. A. Vegetação. In: Projeto RADAMBRASIL, Levantamento de Recursos Naturais Vol. 32 Rio de Janeiro/Vitória. Brasília, 1983.

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

VAN DER SANDEN. **Radar Remote Sensing to Support Tropical Forest Management**. Tropenbos-Guyana, Serie 5, 1997, p. 331.

VELOSO, H. P. Considerações sobre a vegetação de Mato Grosso. II. Notas preliminares sobre o Pantanal e zonas de transição. Mem. Instituto Oswaldo Cruz, v. 45, p. 253-272, 1947.

VELOSO, H. P. **Aspectos fito-ecológicos da Bacia do Alto Rio Paraguai**. São Paulo: USP, 1972, 31 p. (Biogeografia, 7).

WARING, R. H.; WAY, J.; HUNT, E. R.; MORRISSEY, L.; RANSON, K. J.; WEISHAMPEL, F. J.; OREN, R.; FRANKLIN, S. E. Imaging radar for ecosystem studies, **BioScience**, v. 45, n. 10, p. 715-723, 1995.

WEHNER, D. R. **High Resolution Radar**. Norwood: Artech House, 1987, 472 p.

WERLE, D. **Radar Remote Sensing**. A Training Manual. Ottawa: CCRS, Dendron Resources Survey, 1988.

WOODHOUSE, I. H. **Introduction to Microwave Remote Sensing**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2006, 370 p.

WWF. World 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: 15set2011.

ZALOTI, O. D. J.; GONÇALVES, F. G.; FREITAS, C. C.; SANT'ANNA, S. J. S.; SANTOS, J. R. Evaluating the potential of SAR-R99B L and X bands data for Amazon deforestation increment mapping. In: IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS06), Denver, Colorado. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, 2006. p. 2662-2665.

ANEXOS



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Anexo 1 – Fotografias panorâmicas de campo ilustrando a classe Floresta Estacional – Fa: Diferença da composição florestal entre as classes Floresta Estacional a esquerda da foto e Savana Florestada (Sd) a direita da foto (a); a foto ilustra uma floresta mais fechada com folhas escuras (b); Florestas Estacional margeando o rio Taquari(c); estrutura florestal fechada(d); a folhagem fechada da floresta (e).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Anexo 2 – Fotografias panorâmicas de campo ilustrando a classe Floresta Estacional – Fa: presença de árvores altas e troncos relativamente grossos (a); utilização de um marcador para evidenciar a espessura do tronco (b); presença de árvores mais grossas (c); floresta fechada com dossel fechado (d); Floresta Estacional margeando o rio Taquari (e).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

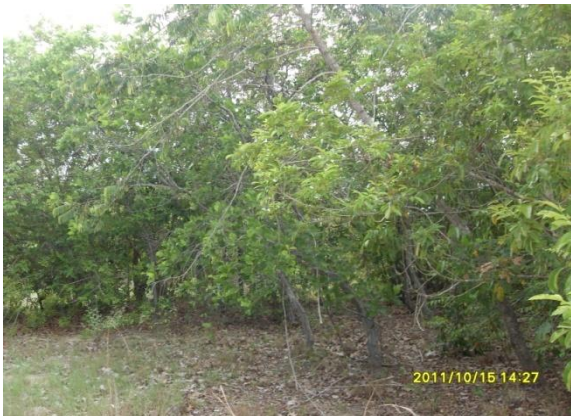
Anexo 3 – Fotografias panorâmicas de campo ilustrando a classe Savana Florestada (Sd) representativas da área de estudo: Floresta fechada com presença de galhos relativamente grossos (a); dossel fechado, mas menos do que a classe Floresta Estacional (b); presença de áreas com espaço entre as árvores (c); presença de árvores com troncos grossos (d); e limite entre a estrada e a mata (e).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Anexo 4 – Fotografias panorâmicas de campo ilustrando a classe Savana Arborizada (Sa) representativas da área de estudo: Mata aberta com presença de gramíneas entre as árvores (a); mata com árvores de porte médio (b); presença de galhos finos e folhagem pouco densa (c); interior da Savana Arbórea com árvores de troncos finos e espaço grande entre elas (d); e presença de gramínea entre as matas (e).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Anexo 5 – Fotografias panorâmicas de campo ilustrando a classe Savana Gramíneo-Lenhosa (Sg) representativas da área de estudo: área campestre sem presença de arbustos (a); área inundável com presença de água e vegetação (b); evidencia um relevo mais baixo do que as áreas da cordilheira (c); presença de gramíneas ao lado da cordilheira (d); e (e).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Anexo 6 – Fotografias panorâmicas de campo ilustrando a classe Pastagem Plantada (Ap) representativas da área de estudo: área de pasto rasteiro com presença de troncos de árvores derrubadas (a); pasto abandonado com presença de várias espécies pioneiras (b); pasto sujo com presença de árvores(c); pasto sujo com presença de árvores(d); e pasto limpo com presença de bois (e).