

ALCIDES FERREIRA DA SILVA JUNIOR

**COMBINAÇÃO DE IMAGENS RADARSAT E  
LANDSAT-5 TM PARA FINS DE MAPEAMENTO  
GEO-AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências.

Orientadores:

Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Christel Lingnau

Prof. MSc. Alzir Felliipe Buffara Antunes

CURITIBA


1999

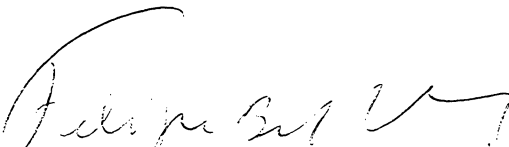
**“COMBINAÇÃO DE IMAGENS RADARSAT E LANDSAT-5  
TM PARA FINS DE MAPEAMENTO GEO-AMBIENTAL”**

**POR**

**ALCIDES FERREIRA DA SILVA JÚNIOR**

Dissertação nº 141 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:

  
Prof. Dr. Christel Lingnau  
- Orientadora e Presidente - UFPR

  
Prof. Alzír Felipe Buffara Antunes, MSc - Co-Orientador - UFPR

  
Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner - Membro UFPR

  
Prof. Dr. Edson Aparecido Mitishita - Membro -UFPR

Ao “*Gueto*”, minha turma de  
mestrado, por tudo que  
passamos, pela grande  
amizade e união:

Evilázio

João

Lincoln

Rosane

Zuleica

Aos meus pais,

Cid (*in memoriam*) e Gena,

Josu e Carma.

*“Somos um catálogo de erros;  
precisamos de força, carinho  
e cuidado.”*

**(Renato Russo)**

## AGRADECIMENTOS

- Ao CIEG (Centro Integrado de Estudos em Geoprocessamento) da Universidade Federal do Paraná, pelo apoio técnico e disponibilização de seu laboratório;
- À EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) de Dourados-MS, pelo apoio logístico e disposição de seus técnicos nos levantamentos de campo;
- A CAPES, pelo apoio financeiro durante o período de mestrado;
- Aos meus orientadores, pelas contribuições e espírito crítico na orientação desse trabalho;
- A Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Márcia Quintas, pela orientação inicial desse trabalho;
- À Aline, pela força, amor e irmandade;
- À Lucilene, pela amizade sincera e apoio irrestrito;
- Ao Professor José Jorge de Seixas, pelo apoio em todos os momentos;
- Aos amigos do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, pelo incentivo a realização dos estudos de pós-graduação;
- A todos os amigos que convivi durante o período de elaboração desse trabalho e que me ajudaram a sorrir e compreender que há sempre um motivo de alegria na luta diária, principalmente: Marcelo Forra, Sílvia Tazo, Elaine, Briones, Daniel, Sílvia Helena, Rodrigo, Oscar, Aléa, Denizar e Iso.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	VIII
LISTA DE TABELAS .....	IX
LISTA DE ANEXOS.....	IX
RESUMO.....	X
ABSTRACT .....	XI
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 SISTEMAS ÓPTICOS .....	3
2.1.1 O Sistema Landsat.....	4
2.1.2 Comportamento Espectral de Alvos em Relação aos Sensores Ópticos..	6
2.1.2.1 Vegetação .....	6
2.1.2.2 Solo.....	9
2.1.2.3 Água.....	10
2.1.2.4 Áreas Urbanas .....	12
2.2 SISTEMAS DE MICROONDAS.....	14
2.2.1 Fundamentos Básicos.....	15
2.2.1.1 Geometria de um Radar Imageador.....	15
2.2.1.2 Polarização .....	16
2.2.1.3 Permittividade .....	17
2.2.1.4 Rugosidade.....	18
2.2.1.5 Refletores de Canto .....	19
2.2.1.6 Speckle .....	20
2.2.1.7 Resolução .....	21
2.2.2 Sistema Radar de Abertura Sintética (SAR) .....	23
2.2.3 O Satélite RADARSAT .....	26
2.2.4 Comportamento Espectral de Alvos em Relação aos Sensores Radar ..	28
2.2.4.1 Água.....	29
2.2.4.2 Solo.....	30
2.2.4.3 Vegetação .....	32
2.2.4.4 Áreas Urbanas .....	33
2.2.5 Uso de Imagens de Radar .....	35
2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DE IMAGENS DE SATÉLITE NO MAPEAMENTO GEO-AMBIENTAL.....	36

3 MATERIAL E MÉTODO .....	44
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	44
3.2 MATERIAL .....	46
3.3 MÉTODO.....	50
3.3.1 Pré-processamento da Imagem RADARSAT .....	51
3.3.2 Pré-processamento da Imagem Landsat-5 TM .....	51
3.3.3 Correção Geométrica.....	52
3.3.3.1 Registro de Imagens .....	52
3.3.3.2 Geração do Arquivo (Landsat-5 TM + RADARSAT) .....	54
3.3.3.3 Retificação .....	55
3.3.4 Correlação entre Bandas .....	56
3.3.5 Interpretação Visual das Composições Coloridas .....	57
3.3.6 Coleta de Dados em Campo .....	58
3.3.7 Classificação das Imagens .....	59
3.3.8 Avaliação Pós-Classificação .....	63
3.3.9 Avaliação da Acurácia Temática.....	64
3.3.10 Preparação do Mapa Final.....	65
4 RESULTADOS E ANÁLISE.....	66
4.1 REDUÇÃO DO SPECKLE.....	66
4.2 CORREÇÃO GEOMÉTRICA.....	69
4.3 INTERPRETAÇÃO VISUAL DAS COMPOSIÇÕES COLORIDAS .....	70
4.3.1 Solo Exposto (Plantio Convencional).....	72
4.3.2 Plantio Direto .....	72
4.3.3 Milheto.....	73
4.3.4 Pastagem .....	74
4.3.5 Área Urbana.....	74
4.3.6 Vegetação Remanescente.....	75
4.3.7 Várzea.....	76
4.3.8 Reflorestamento de Eucalipto .....	76
4.3.9 Corpos d'água.....	77
4.3.10 Análise das Composições Coloridas.....	77
4.4 ANÁLISE PRÉ-CLASSIFICAÇÃO DIGITAL .....	79
4.4.1 Máscara para a Classe "Área Urbana" .....	79
4.4.2 Matriz de Contingência .....	80
4.4.3 Elipses.....	81

4.5 ANÁLISE DAS CLASSIFICAÇÕES DIGITAIS.....	83
4.5.1 Análise do Teste Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ).....	84
4.5.2 Análise da Acurácia Temática.....	85
4.5.3 Comparação por Área entre as Classificações.....	90
4.6 MAPAS FINAIS .....	91
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	94
ANEXOS .....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	106

## LISTA DE FIGURAS

2.01	Comportamento espectral da vegetação sadia.....	07
2.02	Comportamento espectral de dois diferentes solos.....	09
2.03	Absorção da radiação eletromagnética pela água.....	11
2.04	Comportamento espectral de algumas feições urbanas.....	13
2.05	Geometria de um sistema de radar imageador.....	15
2.06	Retorno de sinais de radar: a) especular; b) difusa.....	18
2.07	Refletores de canto: a) duas superfícies; b) três superfícies .....	19
2.08	Geometria de imageamento por radar .....	22
2.09	Princípio básico da operação realizada por uma antena sintética .....	24
2.10	Exemplo da divisão da antena sintética em 04 looks .....	25
2.11	Satélite RADARSAT .....	26
2.12	Espalhamento dos sinais na água com a velocidade dos ventos.....	29
2.13	Influência do teor de umidade do solo em $\sigma^{\circ}$ .....	31
2.14	$\sigma^{\circ}$ para culturas de milho, trigo e soja .....	33
2.15	Variação tonal em uma área urbana .....	34
3.01	Localização da área de estudo .....	44
3.02	Fluxograma da metodologia de trabalho .....	50
3.03	Registro de imagens .....	53
3.04	Distribuição dos pontos comuns nas imagens Landsat e RADARSAT....	53
3.05	Distribuição dos pontos comuns na imagem e no mapa.....	56
3.06	Imagens da área de estudo (escala aproximada 1:280000) .....	62
3.07	Distribuição Qui-Quadrado para uma determinada classe.....	63
4.01	Histogramas e imagens relativos à área teste.....	67
4.02	Área de plantio convencional.....	72
4.03	Área de plantio direto (palhagem de milho).....	73
4.04	Área de pastagem .....	74
4.05	Área de cultivo agrícola com vegetação remanescente ao fundo.....	76
4.06	Elipses referentes as assinaturas (bandas 3 e C).....	82
4.07	Mapa obtido por meio da combinação de imagens Landsat-5 TM (bandas 3, 4 e 5) e RADARSAT (banda C) .....	92
4.08	Mapa obtido por meio de imagem Landsat-5 TM (bandas 3, 4 e 5) .....	93

## LISTA DE TABELAS

2.01	Características do sensor TM (Sistema Landsat).....	05
2.02	Filtros para redução do <i>speckle</i> .....	21
2.03	Modos de operação do satélite RADARSAT.....	27
3.01	Coordenadas geográficas da área de estudo.....	44
3.02	Características das imagens Landsat-5 TM e RADARSAT.....	47
3.03	Matriz de correlação entre bandas .....	57
4.01	Redução do <i>speckle</i> por vários filtros com janela 7x7 .....	68
4.02	Resultado das correções geométricas .....	69
4.03	Interpretação visual das composições coloridas .....	78
4.04	Matriz de contingência: a) Landsat-5 TM; b) Landsat-5 TM+RADARSAT...	80
4.05	Matriz de erros: a) Landsat-5 TM; b) Landsat-5 TM+RADARSAT.....	85
4.06	Concordância <i>Kappa</i> para cada classificação e a realidade de campo...	86
4.07	Áreas totais para cada classe .....	90

## LISTA DE ANEXOS

01	Retificação .....	98
02	Coordenadas UTM dos pontos utilizados na retificação da imagem .....	99
03	Amostras do levantamento de campo.....	100
04	Coordenadas geográficas utilizadas para teste de precisão.....	104
05	Filtro de Lee .....	105

## RESUMO

O uso combinado de imagens de satélites de diferentes sensores tem proporcionado diversas pesquisas e soluções para o mapeamento de muitas áreas. Esse trabalho mostra a aplicabilidade da combinação de imagens ópticas e de radar para fins de mapeamento geo-ambiental. Para tal, utilizou-se imagens dos satélites Landsat-5 TM (bandas 3, 4 e 5) e RADARSAT (banda C). Como estudo de caso, tomou-se uma área pertencente ao município de Dourados-MS, onde pode-se distinguir tipos bem distintos de classes, tais como: solo exposto, áreas de cultivo agrícola, pastagem, área urbana, vegetação remanescente, várzea, corpos d'água etc. Verificou-se que o uso combinado dessas imagens apresentou melhorias na interpretação dos dados, no processamento digital e na acurácia temática da imagem classificada. As classes mais beneficiadas foram: pastagem, área de plantio direto, reflorestamento e várzea; as áreas de solo exposto e corpos d'água mostraram-se bem classificadas sem o auxílio da banda radar; verificou-se também que a imagem RADARSAT isoladamente mostrou-se eficiente na diferenciação entre áreas urbanas e corpos d'água.

## **ABSTRACT**

The combination of different satellite sensors imagery provides solution for mapping in many areas. This work presents an application of the combination of optic and radar imagery for geo-environmental mapping. For such purpose Landsat TM5 and RADARSAT imagery were used. This project was developed in the city of Dourados, in the Pantanal area (Central Brazil), where there could be distinguished different types of classes such as: bare soil, agricultural area, pasture, urban area, natural vegetation, floodplain, water etc. The combined use of Landsat and RADARSAT imagery has improved the accuracy of the processed data mainly in the land use thematic map. An improvement was noticed in the following classes: pasture, soil preparation, reforestation and wetlands. In addition, bare soil and water bodies have been properly classified using only Landsat imagery. The use of RADARSAT imagery by itself has proved to be efficient in the selection of urban areas and water bodies.

## 1 INTRODUÇÃO

Grande parte dos estudos e pesquisas dos recursos naturais da Terra vem sendo realizado com o auxílio dos sistemas orbitais de Sensoriamento Remoto. Torna-se difícil pensar em projetos e análises voltados ao meio ambiente e áreas urbanas sem a utilização regular de dados oriundos desses sistemas.

Sensores ópticos como o TM (Thematic Mapper) do sistema de satélites da série "Landsat", tornaram-se muito importantes para coleta de dados geo-ambientais, possibilitando estudos mais detalhados de interpretação e classificação de feições da superfície terrestre.

Um novo avanço na obtenção de imagens de satélite deu-se com os sensores de radar (radio detection and ranging). A tecnologia de radar evoluiu com o desenvolvimento do Radar de Abertura Sintética (SAR) em nível orbital contínuo, operando em comprimentos de onda entre 1 mm e 1 m e cobrindo regiões do espectro eletromagnético até então pouco exploradas.

Satélites SAR, como o RADARSAT, proporcionaram novas investigações e possibilidades de sua utilização em diversos campos da ciência, principalmente no âmbito da cartografia.

Atualmente, pesquisas relacionadas com a combinação de imagens ópticas e de radar vêm obtendo um papel cada vez mais importante nas soluções para o mapeamento geo-ambiental, tornando-o mais eficiente e preciso, e dessa forma, contribuindo para melhorias no monitoramento dos recursos naturais da Terra e na qualidade de seu gerenciamento.

Também, essa combinação de imagens surge como ferramenta de informações no que diz respeito a atualização cartográfica, pedologia, agronomia,

hidrologia, uso da terra, determinação de classes florestais, detecção de poluição em corpos d'água, inventário etc.

Pode-se dizer que os sistemas de satélite que atuam no espectro óptico, assim como os da faixa de microondas, possuem tecnologia própria e novas aplicações surgem à medida que ocorrem avanços no desenvolvimento de seus sensores. Tornam-se imprescindíveis para os trabalhos que visam o conhecimento mais detalhado do nosso planeta e da ação do homem sobre o mesmo.

## **1.1 OBJETIVOS**

Tem-se como objetivo geral nesse trabalho avaliar as potencialidades do uso combinado de imagens RADARSAT e Landsat-5 TM no mapeamento geo-ambiental. Toma-se como “estudo de caso” uma área pertencente ao município de Dourados, no Estado de Mato Grosso do Sul.

Como objetivos específicos pretende-se:

- verificar a aplicabilidade de cada imagem para identificação de diferentes feições;
- analisar e comparar classificações obtidas com e sem a combinação dessas imagens;
- confrontar resultados, por meio de um controle de campo, verificando as vantagens na utilização dos diferentes sensores.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Tradicionalmente, os satélites de observação da Terra têm sido categorizados de acordo com as seguintes aplicações: monitoramento, meteorologia e exploração de recursos terrestres (FRITZ, 1996). Existem satélites com sensores que registram imagens na faixa do visível e infravermelho próximo, aqueles que trabalham em comprimentos de onda no infravermelho termal e os que carregam sensores que obtêm imagens na porção do espectro eletromagnético denominado microondas.

Os satélites imageadores com sensores ópticos são passivos: detectam a radiação solar refletida ou a radiação emitida pelos objetos da superfície terrestre (propriedades físico-químicas). Os dados captados são processados e podem ser transformados em imagens com elementos de resolução denominados “*pixels*” (picture elements) (LILLESAND e KIEFER, 1979).

Os satélites imageadores com sensores de radar são ativos, ou seja, produzem sua própria radiação que irá interagir com os objetos da superfície. As medições no espectro de microondas estão relacionadas a propriedades físicas e elétricas dos alvos e registram assim sinais de retorno usados para construir a imagem do terreno (MOORE, 1983).

### 2.1 SISTEMAS ÓPTICOS

Os satélites que trabalham com sensores ópticos, por não gerarem sinais, fazem com que a magnitude e forma da energia natural dos alvos terrestres sejam indicadores da “condição/estado” dos objetos da superfície. Dessa forma,

providenciam informações do espaço físico em diferentes resoluções espectrais, espaciais e temporais (ASRAR, 1989).

Entre vários sistemas com sensores ópticos, o americano "Landsat" é provavelmente o mais conhecido e utilizado sistema de levantamentos de recursos naturais da Terra. Esse sistema foi seguido pelo satélite francês SPOT, pelos japoneses MOS e JERS, o indiano IRS-1 A,B,C e o alemão MOMS; todos ainda em operação e possuidores de sistemas de transmissão de dados eletro-ópticos na faixa do visível e em comprimentos de onda no infravermelho (DOYLE, 1996).

### **2.1.1 O Sistema Landsat**

Segundo FREDEN e GORDON JR (1983), o sistema Landsat a partir da década de 80 passou por grandes avanços com a entrada em funcionamento do sensor TM e desenvolvimento de seu sistema orbital, principalmente com referência a coleta e processamento de seus dados.

O sensor TM, correspondente a um sistema de varredura multiespectral com maior número de bandas e melhor resolução radiométrica, possibilitou a identificação mais detalhada de diferentes classes da superfície terrestre com base em assinaturas espectrais de "*pixels*", aumentando consideravelmente as áreas de aplicação (BLANCHARD e WEINSTEIN, 1980).

A Tabela 2.01 apresenta características desse sensor. Possui 07 bandas espectrais, registro de imagens em 256 níveis de cinza e resolução espacial de 30 m nas bandas do visível e infravermelho próximo e médio, e 120 m no infravermelho termal.

Tabela 2.01 - Características do sensor TM ( Sistema Landsat)  
(Fonte: BLANCHARD e WEINSTEIN, 1980)

<b>SENSOR TM</b>			
<b>B A N D A</b>	<b>INTERVALO ESPECTRAL (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>RESOLUÇÃO (m)</b>	<b>PRINCIPAIS APLICAÇÕES</b>
1	0.45 - 0.52	30	útil no mapeamento de águas costeiras, diferenciação entre solo e vegetação;
2	0.52 - 0.60	30	Corresponde a reflectância verde da vegetação sadia;
3	0.63 - 0.69	30	útil para diferenciação de espécies de plantas por absorção da clorofila;
4	0.76 - 0.90	30	útil na delineação de corpos d'água e levantamentos de biomassa;
5	1.55 - 1.75	30	Sensibilidade ao teor de umidade das plantas e uma das poucas bandas que pode ser usada para discriminar entre nuvens e neve;
6	10.4 - 12.5	120	útil na detecção de colheitas com stress e no mapeamento termal;
7	2.08 - 2.35	30	Mapeamento hidrotermal;

Devido ao fracasso do lançamento em órbita do Landsat-6, o satélite Landsat-5 (1984), continua a enviar dados à Terra. Providencia, até hoje, dados da superfície terrestre, porém já ultrapassou seu tempo de vida útil. Parâmetros no desempenho desse satélite têm mostrado alguma degradação, principalmente nas bandas espectrais do visível que apresentam ruídos acentuados. Porém, a aquisição e o processamento dos dados nas bandas do infravermelho permanecem sem grande comprometimento em sua qualidade.

Está previsto para o próximo ano, o lançamento do Landsat 7 com tempo de vida útil estimado em 05 anos. Além das tradicionais 06 bandas espectrais com resolução de 30 m, possuirá uma banda pancromática com resolução de 15 m e um canal infravermelho termal com 60 m de resolução. Possuirá o sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), anunciado como um instrumento mais versátil e eficiente para estudos de mudanças globais, monitoramento e mapeamento de grandes áreas (NASA, 1997).

Pela importância do sensor TM, por proporcionar dados multiespectrais e contribuir para o mapeamento e monitoramento dos recursos terrestres, será discutido a seguir o comportamento espectral de alguns alvos da superfície terrestre, os quais são facilmente encontrados em imagens. Serão analisados em função de sua reflectância nos comprimentos de onda utilizados pelos sensores ópticos.

### **2.1.2 Comportamento Espectral de Alvos em Relação aos Sensores Ópticos**

Quando a energia eletromagnética incide em qualquer objeto da superfície terrestre, parte dessa energia é refletida, parte é absorvida e parte é transmitida, variando para diferentes feições, sendo dependente do tipo de material e condição do objeto. Quando se utiliza sensores ópticos, no espectro visível e no infravermelho próximo, mede-se a quantidade de energia que é refletida pelos objetos; já no infravermelho médio e termal, mede-se a emissão de energia pelos alvos da superfície terrestre (SMITH, 1983).

Dessa forma, as propriedades de reflectância dos objetos terrestres tornam-se muito importantes no estudo do comportamento espectral de cada alvo, auxiliando na identificação e separação de feições, e na escolha adequada de bandas para cada estudo específico.

#### **2.1.2.1 Vegetação**

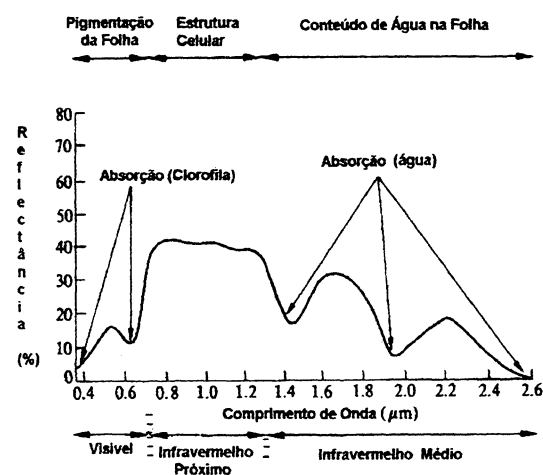
Múltiplos fatores influenciam a reflectância da vegetação detectada por um sensor óptico: geometria da folha, características do solo, estrutura da planta (galhos, tronco etc), condições climáticas, teor de umidade, quantidade e arranjo

das folhas, provocando uma grande modificação de seu comportamento espectral (COLWELL, 1974).

Segundo HOFFER (1978), a reflectância da cobertura vegetal varia bastante com o comprimento de onda. No visível, a pigmentação das folhas é o fator dominante: a maior parte da energia incidente é absorvida e o restante, refletida. No infravermelho próximo, os níveis de reflectância são controlados pela estrutura interna das folhas: aproximadamente metade da energia incidente é refletida, sendo grande parte do restante transmitida e pouca energia absorvida pelas folhas. No infravermelho médio, o teor de umidade da vegetação controla a reflectância: grande parte da energia incidente é absorvida pela água presente nas folhas (se o teor de umidade das folhas diminui, a reflectância aumenta marcadamente).

A Figura 2.01 apresenta essas características, sendo destaque os pontos de absorção da energia incidente pela clorofila no espectro visível e pela água, no infravermelho médio. No infravermelho próximo, verifica-se um aumento de reflectância devido a estrutura celular da vegetação.

Figura 2.01 - Comportamento espectral da vegetação sadia (Fonte: modificado de HOFFER, 1978)



Conforme HUNTER e BIRD (1970), a vegetação jovem possui três a quatro vezes maior reflectância que a vegetação senil, porém para árvores decíduas, folhas antigas refletem mais do que folhas novas. Também, para regiões muito secas, a maior reflexão da vegetação ocorre no espectro visível.

O contraste mais nítido na reflexibilidade da vegetação sadia se produz entre as bandas do visível, especialmente o azul, e o infravermelho próximo: quanto maior o contraste entre as bandas, maior será o vigor da vegetação e mais evidente sua discriminação frente a outros tipos de cobertura (CHUVIECO, 1990).

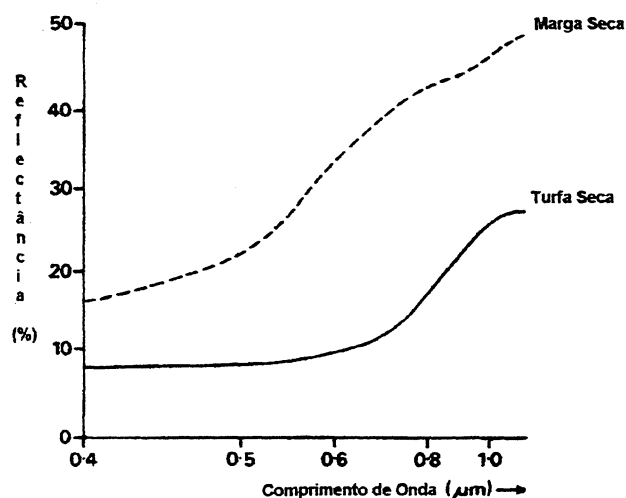
Quanto ao comportamento espectral da cobertura vegetal relacionada a culturas agrícolas, padrões distintos de reflectância podem ser de grande ajuda na identificação de diferentes cultivos.

Em estudos realizados por KANEMASU (1974) em áreas de cultivo de trigo, sorgo e soja, verificou-se que a reflectância desses tipos de cobertura é menor quando as mesmas estão em fase de crescimento ou atrasadas no seu desenvolvimento, sendo a faixa do infravermelho próximo mais útil como índice para estudos de estágios de crescimento dessas culturas. Também, que durante a estação de crescimento, a presença de solo exposto tem uma certa significância na reflectância da vegetação, sendo fortemente influenciada pelo teor de umidade da superfície. Em estudos posteriores, realizados por RAO *et al.* (1979), verificou-se que quando as culturas atingem a maturidade, a porção de solo exposto torna-se menor, ocorrendo predominância da reflectância da cobertura vegetal devido ao aumento da área foliar e da altura da planta.

### 2.1.2.2 Solo

De acordo com HOFFER (1978), o comportamento espectral da maior parte dos solos mostra-se menos complexo do que os da vegetação. Em geral, uma das características dos solos secos é o aumento de sua reflectância com o aumento do comprimento de onda, particularmente em regiões do visível e infravermelho próximo, conforme Figura 2.02.

Figura 2.02 - Comportamento espectral de dois diferentes solos  
(Fonte: CURRAN, 1985)



As interações entre a energia e o solo não apresentam grande complexidade quando comparadas com a vegetação, pois a energia para o solo é absorvida ou refletida, e não necessariamente transmitida para o material, como é o caso da vegetação.

Como o solo é uma mistura complexa de materiais, o teor de umidade, a quantidade de matéria orgânica, a textura, a estrutura e o conteúdo de óxido de ferro influenciam significativamente em sua reflectância espectral (esses fatores estão interrelacionados): o aumento da reflectância resulta do aumento de

rugosidade, do baixo teor de umidade e de matéria orgânica (STONER e BAUMGARDNER, 1981).

Assim, solos argilosos tendem a ter um alto teor de umidade, forte estrutura e fina textura, causando uma baixa reflectância; ao contrário, solos arenosos tendem a ter uma estrutura fraca e um baixo conteúdo de umidade, tornando a reflexibilidade mais elevada; também, a presença de matéria orgânica no solo tende a escurecê-lo, reduzindo sua reflectância (BOWER e HANKS , 1965, citado em CURRAN, 1985).

Em estudos realizados por HUNTER e BIRD (1970), no espectro visível, verificou-se que a reflectância máxima dos solos se encontra entre 0.6 a 0.7  $\mu\text{m}$  (banda 3).

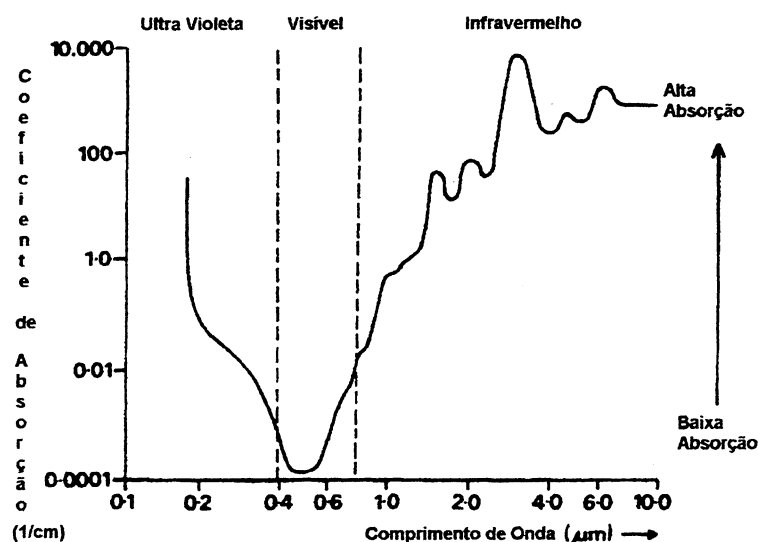
Em estudos mais recentes feitos por COLEMAN e MONTGOMERY (1987), abrangendo uma porção maior do espectro, verificou-se que a reflectância do solo aumenta continuamente da banda 1 (0.45 a 0.52  $\mu\text{m}$ ) a banda 5 (1.55 a 1.75  $\mu\text{m}$ ), onde alcança a reflexão máxima, entrando em declínio na banda 7 (2.08 a 2.36  $\mu\text{m}$ ). Também, verificou-se que a banda 7 é mais apropriada para estudos de teor de umidade, a banda 3 e a banda 5 mais apropriadas para avaliação do conteúdo de óxido de ferro e a banda 4 (0.76 a 0.94  $\mu\text{m}$ ), chave para estudos relacionados com a matéria orgânica no solo.

### **2.1.2.3 Água**

As respostas espectrais para a água variam com o comprimento de onda, de acordo com as interações entre a energia e a matéria. Corpos d'água absorvem quase toda energia incidente nos comprimentos de onda do

infravermelho, havendo pouca energia para ser refletida (Figura 2.03). Tal característica permite identificar e delimitar mais facilmente os corpos d'água nas bandas do infravermelho. Porém, alguns aspectos relacionados com as condições da água podem ser melhor avaliados em comprimentos de onda do visível, onde as interações entre a energia e a matéria tornam-se muito complexas (HOFFER, 1978; SALOMONSON *et al.*, 1983).

Figura 2.03 - Absorção da radiação eletromagnética pela água  
(Fonte: modificado de WOLFE e ZISSIS, 1978)



Segundo pesquisas realizadas por KRITIKOS *et al.* (1974), a maior reflectância da água limpa se produz no intervalo espectral de 0,4 a 0,5  $\mu\text{m}$ , reduzindo-se aos poucos até o infravermelho próximo, onde é praticamente nula (este resultado apresenta um nítido contraste entre água e limites da superfície); dados relacionados com o intervalo espectral de 0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$  sugerem a existência de 03 tipos distintos de água, havendo baixa, média e alta reflexibilidade: áreas de baixa reflectância correspondendo a águas límpidas e áreas de alta reflectância correspondendo a águas com grande concentração de sedimentos.

Os fatores que mais afetam a reflectância de um corpo d'água são determinados pelo meio-ambiente: profundidade da água, materiais em suspensão e rugosidade da lâmina d'água. Assim, em águas rasas, a radiação refletida apresenta características do fundo e dos materiais em suspensão; para águas sem turbulência, a luz é refletida especularmente, tendo alta ou baixa reflectância, dependendo da localização do sensor; se a superfície d'água apresenta-se rugosa, aumenta-se o espalhamento na superfície, e conseqüentemente, a reflectância (SALOMONSON *et al.*, 1983).

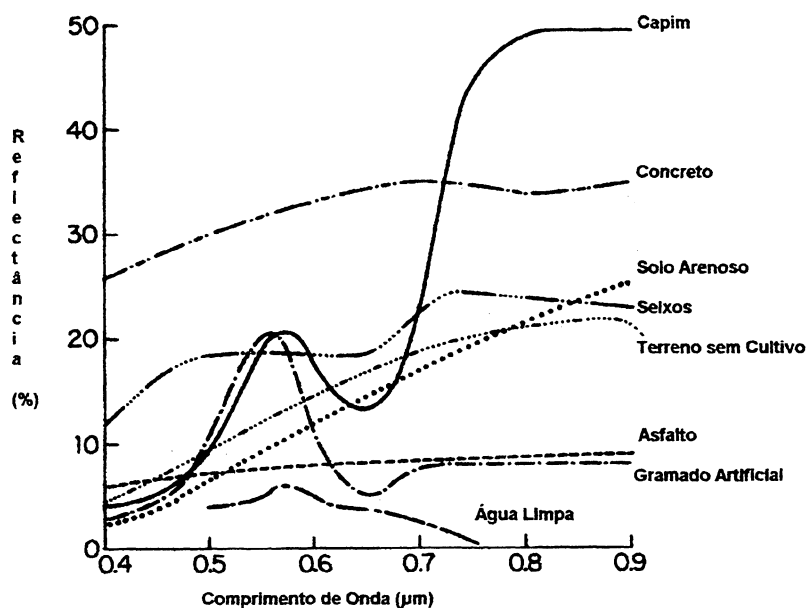
#### **2.1.2.4 Áreas Urbanas**

As curvas de reflectância espectral para áreas urbanas diferem de região para região, devido distintos materiais presentes em cada cena.

Como esse comportamento espectral não é constante, ele é dependente da energia incidente sobre cada feição e o do ângulo de visada do sensor, como também, das propriedades físicas das feições e dos efeitos atmosféricos (SLATER *et al.*, 1983).

Para uma melhor idéia da natureza complexa dos fenômenos urbanos, curvas de reflectância espectral para diversas feições urbanas são apresentadas na Figura 2.04, em função do comprimento de onda.

Figura 2.04 - Comportamento espectral de algumas feições urbanas  
(Fonte: modificado de JENSEN *et al.*, 1983)



Pela Figura 2.04, verifica-se que a reflectância do concreto e do asfalto apresentam uma significativa diferenciação nos comprimentos de onda entre 0.4 a 0.90 µm (banda 1 a banda 4). Porém, a presença de terreno sem cultivo ou edificação em áreas urbanas pode ser confundida com solo arenoso, dificultando uma possível diferenciação. Aumentando a complexidade da distinção entre feições urbanas, um grande número de diferentes construções têm as mesmas propriedades de reflectância, o que requer o uso de outros elementos de interpretação, em adição às respostas espectrais (JENSEN *et al.*, 1983).

## 2.2 SISTEMAS DE MICROONDAS

O radar corresponde a um dispositivo (sensor) que detecta a presença de um alvo a partir da faixa de microondas e mede sua distância até ele. Por ser ativo, gera a energia em microondas para interagir com os objetos, podendo registrar os ecos provenientes das reflexões da cena sob a forma de uma imagem. Para tal, utiliza-se de uma antena e um receptor que registram a energia refletida. Em muitos casos, a mesma antena tem função de emitir e receber os sinais de microondas.

De acordo com MOORE (1966), microondas atravessam nuvens e possibilitam a obtenção de imagens nítidas mesmo com presença de fumaças e brumas. São independentes do sol como fonte de iluminação. Realizam imageamento à noite e em condições meteorológicas bem críticas. Também, penetram mais no solo e na vegetação, apresentando maior sensibilidade a variações de morfologia e rugosidade superficial do terreno.

A faixa de operação para radares imageadores compreende o intervalo de frequências entre 0.3 GHz (comprimento de onda: 1m) a 300 GHz (comprimento de onda: 1 mm). O uso desse intervalo de frequências possibilita boas condições de transmissão de dados pela atmosfera. As bandas L (0.390 a 1.550 GHz), C (4.200 a 5.750 GHz) e X (5.750 a 10.90 GHz) são as mais usuais em radares imageadores.

Os radares imageadores são denominados de "radares de visada lateral" devido a utilização de uma geometria própria para o imageamento. Podem ser de dois tipos: Sistema Radar de Abertura Real (SLAR) e Sistema Radar de Abertura Sintética (SAR).

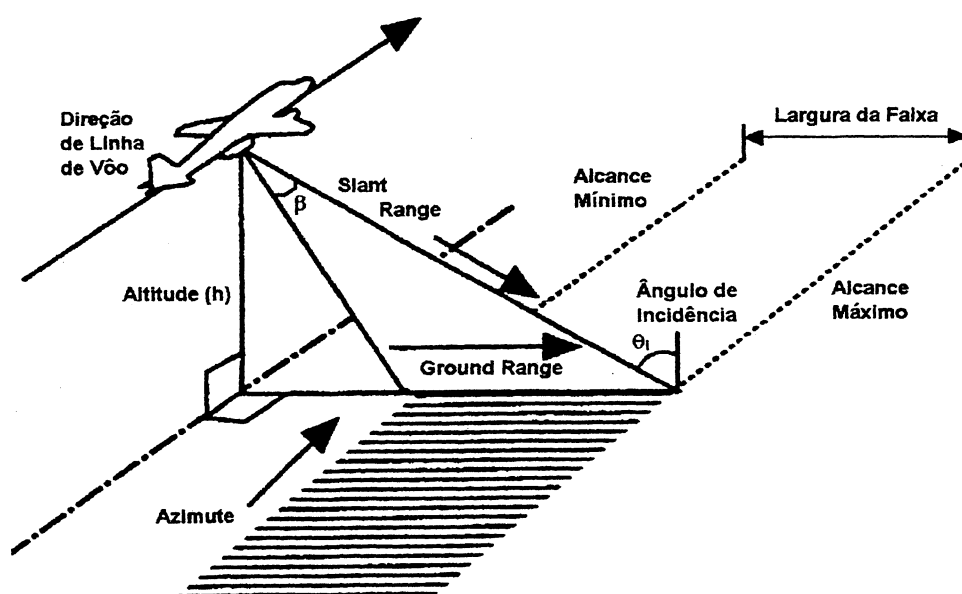
## 2.2.1 Fundamentos Básicos

Segundo SINGH (1984), os parâmetros inerentes aos sistemas de imageamento por radar (comprimento de onda, polarização e ângulo de incidência) podem ser controlados ou conhecidos antes do imageamento; os parâmetros relativos aos alvos (rugosidade e permitividade) dependem da superfície e definem características dos objetos na imagem. Esses parâmetros serão discutidos a seguir.

### 2.2.1.1 Geometria de um Radar Imageador

A geometria de um sistema de radar imageador é lateral (Figura 2.05). Os pulsos transmitidos pela antena do sistema são ortogonais à direção de linha de vôo, sendo alguns elementos dessa geometria destacados (AHERN, 1994).

Figura 2.05 - Geometria de um sistema de radar imageador  
(Fonte: Adaptado de CANADA... ,1995)



De acordo com a Figura 2.05, temos:

$\beta$ : largura do feixe de microondas transmitido ao terreno;

$h$ : altitude da plataforma do sensor;

$\theta_i$ : ângulo de incidência, formado entre o feixe de microondas incidente e a normal a superfície imageada;

**largura da faixa**: largura da área imageada, compreendendo uma distância entre os alcances mínimo e máximo do feixe de microondas no terreno;

**azimute**: nesse caso, a terminologia não se refere a uma medida angular e sim, a direção longitudinal da linha de vôo do sensor;

**slant range**: distância inclinada medida entre a antena do sensor e o alvo. É determinada pela diferença de tempo que o feixe de microondas leva para ir ao alvo e retornar para a antena;

**ground range**: distância no terreno entre o alvo e a projeção ortogonal da antena no terreno.

As imagens de radar são originalmente encontradas no modo “slant range”, possuindo distorções geométricas. Quando se deseja comparar essas imagens com mapas é necessário se fazer a transformação dos dados de radar para o modo “ground range”, corrigindo-se para cada ponto: altitude da antena, elevação do terreno e inclinação local (AHERN, 1994).

### 2.2.1.2 Polarização

Chama-se “Polarização”, o fenômeno que descreve a orientação do plano do vetor campo elétrico de uma onda, observado na direção de propagação. Em geral, os sistemas imageadores de radar emitem e recebem ondas linearmente polarizadas, ou seja, produzem ondas eletromagnéticas com um campo elétrico em um plano fixo na direção de propagação.

Os radares são projetados de forma a transmitirem e receberem ondas em polarização horizontal (H) e/ou vertical (V). Assim, a notação HH indica um radar que emite onda na polarização horizontal, recebendo a onda de retorno na

mesma polarização de origem. *VV* representa polarizações verticais em emissão e retorno. São denominadas polarizações “paralelas”. Também, existem as polarizações denominadas “cruzadas”- *HV* e *VH*, onde a onda transmitida pelo radar é captada em uma polarização diferente da emissão.

Segundo FUNG e ULABY (1983), a polarização é um fator importante no que se refere ao retorno dos sinais, podendo contribuir para a discriminação de diferentes objetos na superfície terrestre. Assim, para determinadas culturas a diferenciação pode ser facilitada a partir do uso de polarizações cruzadas; já o uso de polarizações paralelas permite maior profundidade de penetração em áreas florestais com solos secos.

### **2.2.1.3 Permittividade**

De acordo com ELACHI (1987), a permissividade é um parâmetro descritor das características elétricas dos materiais presentes numa cena imageada por microondas. É definida como uma variável complexa e está associada a constante dielétrica dos materiais e a quantidade de energia que pode ser perdida na forma de calor ou energia química.

Esse parâmetro influencia a absorção e propagação das ondas eletromagnéticas, ou seja, indica a capacidade de armazenamento e de reflexão de energia. Desse modo, quando microondas detectam a presença de água, grande parte da energia espalha-se na superfície devido a constante dielétrica da água, em torno de 80 (imagem escura); quando há presença de superfícies secas, a penetração das microondas é maior, pois o valor da constante dielétrica diminui sensivelmente, entre 03 e 08 (imagem clara). Assim, quanto menor o

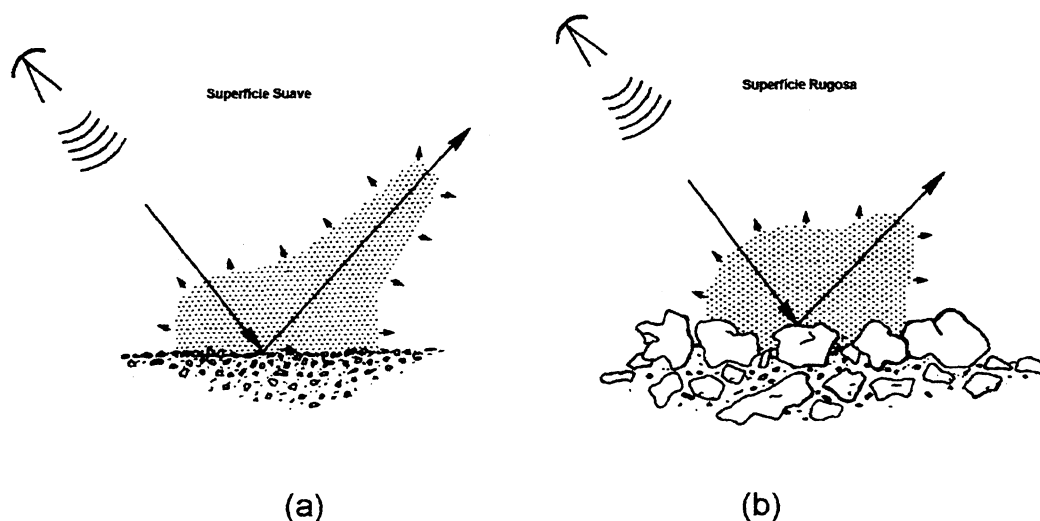
conteúdo de água numa superfície, maior será a penetração dos sinais de radar nessa superfície (ULABY *et al.*, 1974).

#### 2.2.1.4 Rugosidade

A influência da rugosidade da superfície causa mudanças no retorno das microondas ao sistema radar, sendo um fator dominante na tonalidade da imagem.

Segundo SIMONETT e DAVIS (1983), quanto maior a rugosidade de uma superfície mais difusa será a radiação espalhada (reflexão difusa), aumentando o espalhamento dos sinais. Para superfícies lisas, pouca radiação retorna para a antena (reflexão especular), diminuindo o espalhamento dos sinais. A Figura 2.06 apresenta essas situações.

Figura 2.06 - Retorno de sinais de radar: a- reflexão especular, b- reflexão difusa  
(Fonte: Adaptado de SIMONETT e DAVIS, 1983)

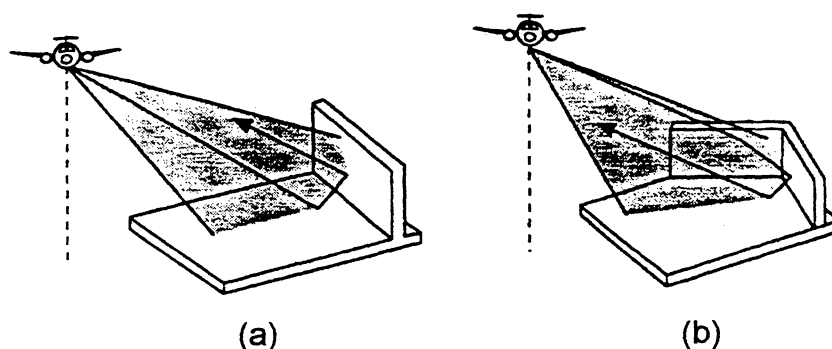


As tonalidades escuras nas imagens de radar são associadas a corpos d'água, refletindo specularmente toda a energia. Uma superfície com rugosidade intermediária reflete specularmente parte da energia, ocorrendo dispersão da outra parte (apresenta tonalidades de brilho intermediário). Uma superfície muito rugosa, dispersa toda a energia incidente, e conseqüentemente produz imagens mais brilhantes (ULABY *et al.*, 1982).

### 2.2.1.5 Refletores de Canto

Pequenos objetos podem parecer extremamente brilhantes em imagens de radar. Isto, muitas vezes, é devido a configuração geométrica do objeto. Quando duas ou três superfícies se interceptam formando ângulos retos ou quando estão voltados para o sensor radar, forma-se um “refletor de canto”, fazendo com que o sinal de retorno seja forte (FUNG e ULABY, 1983) (Figura 2.07).

Figura 2.07 - Refletores de Canto: a) duas superfícies; b) três superfícies  
(Fonte: CANADA..., 1995)



A configuração geométrica mais favorável para essa situação encontra-se nas estruturas construídas: reflexões de um lado de um edifício combinados com

reflexões do terreno, reflexões de navios, pontes etc. Em alguns casos, refletores de canto tornam-se úteis na localização de alvos que podem ser utilizados como pontos de apoio para o referenciamento da imagem em um sistema de projeção (GUPTA, 1991; CANADA..., 1995).

#### **2.2.1.6 Speckle**

Imagens produzidas por satélites com sensor radar possuem aparência “granular” quando comparadas com imagens produzidas por satélites com sensor eletro-óptico. Esse fato deve-se a um ruído denominado “*speckle*”, que é inerente a forma de imageamento dos sistemas radar (trabalham com dados obtidos por microondas com frequência estável: ondas coerentes).

O *speckle* é um ruído de efeito multiplicativo e aparece na imagem como resultado do espalhamento de sinais devido à superfícies rugosas, ou seja, superfícies que apresentam grandes irregularidades com relação ao comprimento de onda usado no imageamento (CRACKNELL e HAYES, 1993).

Quando a energia eletromagnética é retroespalhada pelo alvo imageado, ocorrem interferências construtivas (ondas de uma célula de resolução que estão em mesma fase) e destrutivas (ondas com fases distintas de  $180^\circ$ ), causando o *speckle*. Essas interferências produzem, respectivamente, pontos brilhantes e pontos escuros na imagem. Assim, em áreas que apresentam homogeneidade, podem ocorrer variações nos tons de brilho de um pixel vizinho para outro (FITCH, 1988).

Muitos filtros espaciais têm sido construídos para aumentar a relação “sinal-ruído” das imagens de radar, preservando os detalhes das feições e o

aumento do poder de separação das classes na superfície (LEE, 1981; FROST *et al.*, 1982; KUAN *et al.*, 1987; RAO *et al.*, 1995 etc). A Tabela 2.02 apresenta alguns desses filtros.

Tabela 2.02 - Filtros para redução de *speckle*  
(Fonte: Adaptado de SANT'ANNA e MASCARENHAS, 1994)

Filtros para Redução do Speckle	
Categoria	Nome
Clássicos	Filtro de Média (suavização indiscriminada na imagem filtrada);
	Filtro de Lee (minimização do erro médio quadrático através do filtro de Wiener);
	Filtro de Kuan/Nathan (semelhante ao filtro de Lee);
	Filtro de Frost (convolucional, linear, apresentando correlação exponencial);
	Filtro MAP (solução para a média local);
Robustos	Mediana;
	Desvio Médio Absoluto (MAD);
	Momentos Aparados (TMO);
	Máxima Verossimilhança Aparada (TML);

A utilização de um determinado filtro irá depender do tipo de aplicação a que se destina à imagem de radar; cada sensor apresenta uma resposta diferente para a redução do *speckle*, por isso, a remoção desse ruído torna-se um processo iterativo. Em geral, para áreas com terrenos relativamente homogêneos usa-se um filtro de média ou mediana; para áreas em que se deseja preservar detalhes específicos com mínima perda de resolução, aplicam-se filtros adaptativos, tais como: Lee, Frost ou Kuan (RADARSAT, 1995).

### 2.2.1.7 Resolução

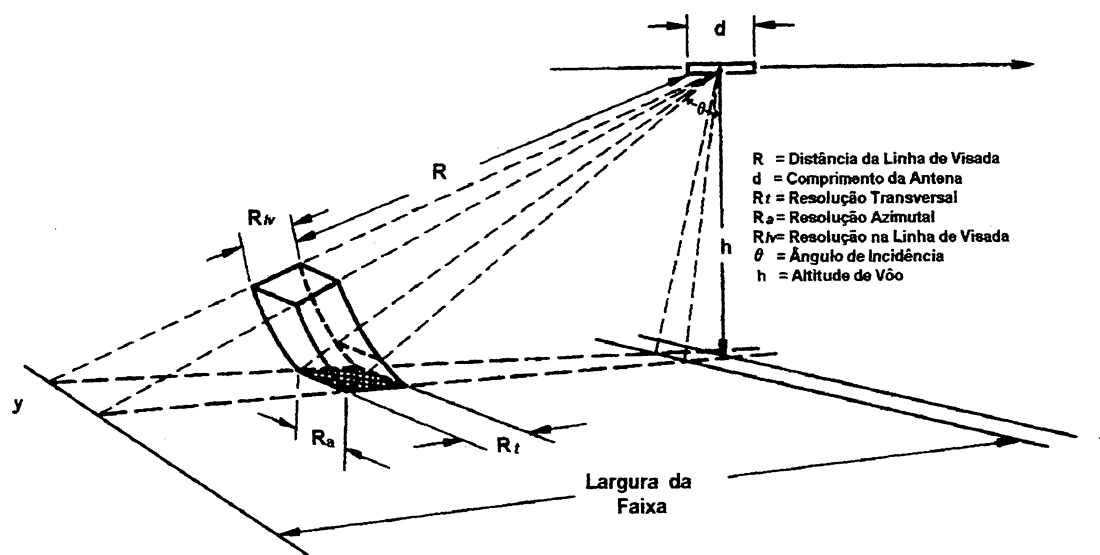
Uma imagem obtida a partir de um sistema de microondas apresenta 02 tipos de resolução:

- resolução em azimute ( $R_a$ );
- resolução transversal ou resolução espacial no solo ( $R_t$ ).

Estas resoluções estão vinculadas a parâmetros do imageamento, tais como: duração do pulso, ângulo de incidência, largura do feixe de microondas, comprimento da antena etc. Definem para cada posição na imagem, o “pixel”, elemento de resolução espacial.

A Figura 2.08 apresenta a geometria envolvida na determinação dessas resoluções. Observa-se que a resolução transversal é a projeção no solo da resolução na linha de visada ou resolução espacial em distância ( $R_V$ ).

Figura 2.08 - Geometria de imageamento por radar  
(Fonte: Adaptado de MOORE, 1983)



Conforme ELACHI (1987), a resolução transversal,  $R_t$ , é dada por:

$$R_t = \frac{c \cdot \tau}{2 \sin \theta} \quad (\text{equação I})$$

Onde :

- $\tau$  = duração de um pulso (diferença de tempo entre a emissão e a recepção);
- $c$  = velocidade da luz;
- $\theta$  = ângulo de incidência;

A resolução transversal é melhorada com o aumento da distância entre o sensor e o alvo.

Com relação a resolução em azimute ( $R_a$ ), quando o sistema de imageamento é do tipo SLAR (Radar de Abertura Real), é dada por (ELACHI, 1987):

$$R_a = \frac{h \cdot \lambda}{d \cdot \cos \theta} \quad (\text{equação II})$$

Onde:

- $h$  = altitude de vôo;
- $\lambda$  = comprimento de onda;
- $d$  = comprimento real da antena;
- $\theta$  = ângulo de incidência;

Pela equação II, verifica-se que quanto menor for o comprimento da antena, pior será a resolução azimutal (SLAR utiliza as dimensões reais da antena para o imageamento lateral da superfície terrestre).

No caso de um sistema Radar de Abertura Sintética (SAR), a resolução em azimute é modificada devido à "antena sintética" (ELACHI, 1987):

$$R_a = \frac{d}{2} \quad (\text{equação III})$$

Onde:  $d$  = comprimento real da antena.

Pela equação III, verifica-se que há independência da distância entre a antena e o alvo, da altura de vôo, do ângulo de incidência e do comprimento de onda utilizados no imageamento.

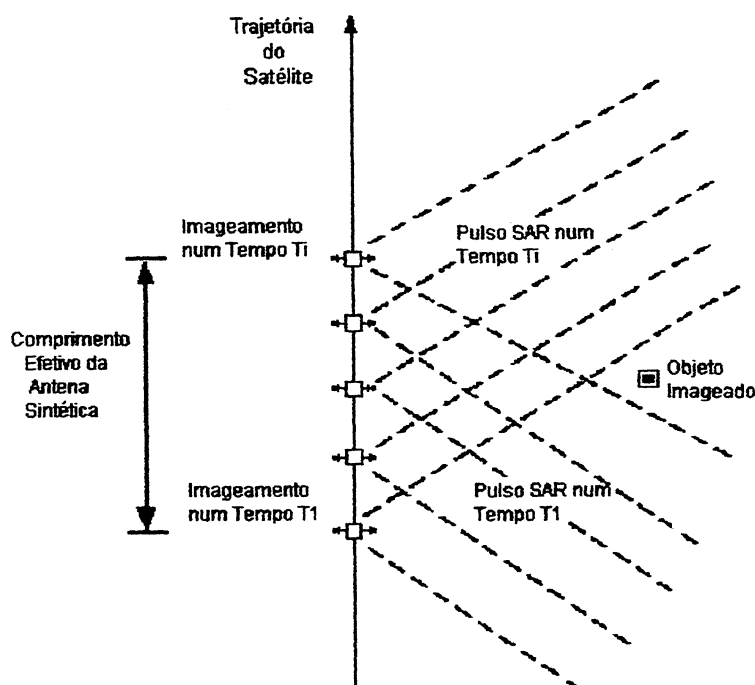
### 2.2.2 Sistema Radar de Abertura Sintética (SAR)

Conforme CRACKNELL e HAYES (1993), Radar de Abertura Sintética (SAR) é um sofisticado sistema de radar com técnicas modernas de processamento de sinais. Basicamente, possui um transmissor convencional de

microondas, uma antena e um receptor, que acoplados a um processador de sinais é capaz de obter imagens da superfície terrestre.

O Radar de Abertura Sintética (SAR) permite a simulação de uma antena muito maior do que seu tamanho físico, adquirindo dados ao longo da linha de vôo com múltiplas informações sobre cada ponto, tornando possível no processamento desses dados melhorias na resolução azimutal. Essa antena virtual é chamada "antena de abertura sintética", formando a base do sistema SAR (Figura 2.09) (LYBANON, 1973).

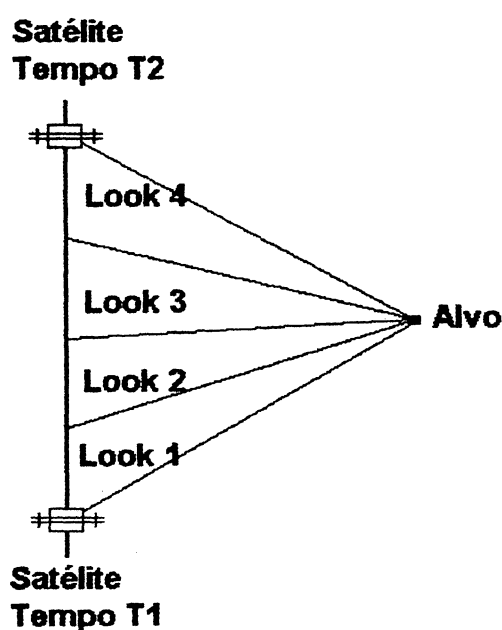
Figura 2.09 - Princípio básico da operação realizada por uma antena sintética



Em outras palavras, um feixe de microondas permanece por um determinado tempo sobre cada alvo, registrando várias medidas sobre o mesmo ponto, ao passo que ocorre deslocamento do sistema (FITCH, 1988). Isso diferencia do Radar de Abertura Real (SLAR) que registra apenas um pulso para cada alvo na formação das células de resolução.

Devido ao *speckle* provocar uma degradação nas imagens SAR, utiliza-se uma técnica de processamento que faz crescer a relação sinal-ruído nessas imagens. Essa técnica é conhecida como “processamento multi-look” e consiste em dividir a antena de abertura sintética em várias visadas (*looks*), como ilustra a Figura 2.10.

Figura 2.10 - Exemplo de divisão da antena sintética em quatro “looks”



Nesse caso, a imagem final é representada pela média das imagens de cada “look”, que são obtidas separadamente e consideradas estatisticamente independentes entre si; em geral, três ou quatro “looks” são usados na produção de uma imagem “*multi-look*” (FITCH, 1988). Esse processamento provoca uma certa perda de resolução azimutal, compensada por uma melhor qualidade visual da imagem.

Segundo CRACKNELL e HAYES (1993), a reconstrução de uma imagem SAR não é trivial, envolvendo complexos algoritmos (técnicas ópticas ou digitais).

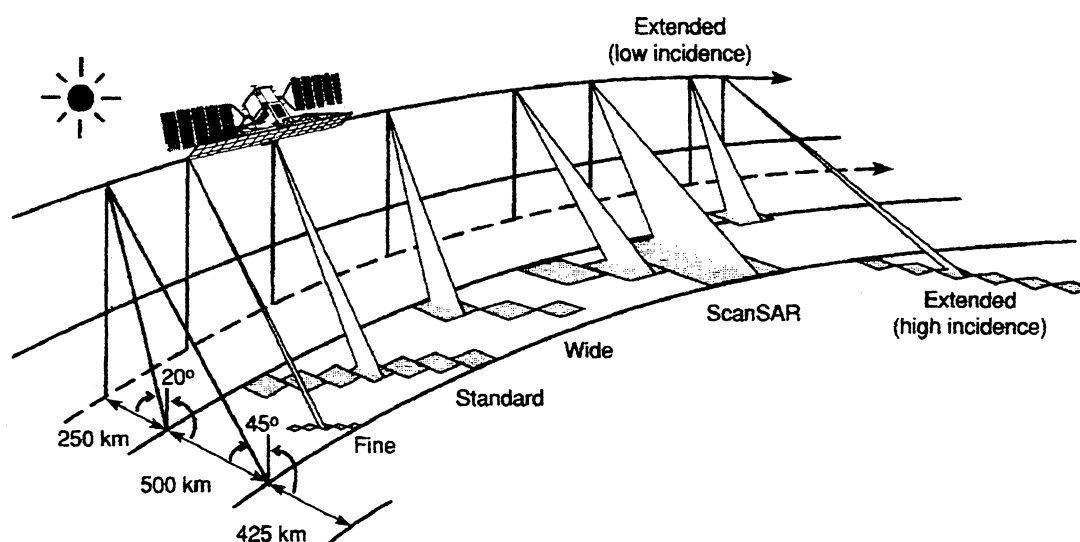
As técnicas ópticas têm a vantagem de produção de imagens em pequeno espaço de tempo, porém possuem a desvantagem de menor qualidade da imagem final quando comparadas com técnicas digitais.

### 2.2.3 O Satélite RADARSAT

O satélite RADARSAT foi lançado em 1995 pela Agência Espacial Canadense (CSA). Utiliza-se de um Radar de Abertura Sintética operando na banda C (5,6 cm de comprimento) com polarização HH e uma antena de dimensões 15 x 1,5 m.

É um sofisticado satélite de observação da Terra que registra dados com resoluções entre 10 a 100 m com tomadas de cena de 50 x 50 km até 500 x 500 km, em diferentes ângulos de incidência no terreno, entre 20° e 60°: a geração de imagens em multi-ângulos aumenta o volume de informações disponíveis sobre o mesmo alvo (CANADA..., 1996) (Figura 2.11).

Figura 2.11 - Satélite RADARSAT  
(Fonte: RADARSAT, 1995)



O satélite RADARSAT possui um ciclo de imageamento de 24 dias, podendo adquirir imagens em passagem ascendente (observa a Terra na direção leste) ou descendente (observa a Terra na direção oeste); isto permite observar feições que se encontram sombreadas quando apenas uma direção de observação é utilizada e oferece a possibilidade de imagens estereoscópicas. Sua geometria é circular, com altitude de 798 km e inclinação de 98.6 graus (RADARSAT, 1995).

As diversas combinações entre os modos de operação do RADARSAT permite diferentes modos de aquisição de dados, em 25 possíveis escolhas de imagens, tornando-o extremamente flexível em diversos tipos de aplicação. Por exemplo, de acordo com a Tabela 2.03, no modo de operação "Standard", é possível obter 07 diferentes imagens de uma mesma cena em intervalos de ângulos de incidência distintos: S1 (20°-27°), S2 (24°-31°), S3 (30°-37°), S4 (34°-40°), S5 (36°-42°), S6 (41°-46°) e S7 (45°-49°).

Tabela 2.03 - Modos de Operação do satélite RADARSAT  
(Fonte: RADARSAT, 1995)

Modo de Operação	Número de posições	Ângulo de Incidência (intervalo)	Resolução Nominal (m)	Área (km)
<b>Fine</b>	05	37°- 48°	10	50 x 50
<b>Standard</b>	07	20°- 49°	30	100 x 100
<b>Wide</b>	03	20°- 45°	30	165 x 165 150 x 150 130 x 130
<b>ScanSAR Narrow</b>	02	20°- 46°	50	300 x 300
<b>ScanSAR Wide</b>	01	20°- 49°	100	500 x 500
<b>Extended High</b>	06	49°- 59°	25	75 x 75
<b>Extended Low</b>	01	10°- 23°	35	170 x 170

O próximo lançamento dessa série deverá incluir um sistema de posicionamento global, RADARSAT 2, previsto para o ano 2000.

## 2.2.4 Comportamento Espectral de Alvos em Relação aos Sensores Radar

A discriminação de diferentes objetos em imagens de radar está diretamente relacionada com o retorno dos sinais das microondas para o sensor. Na geração de uma imagem, esse retorno é caracterizado pela variação dos níveis de cinza para cada grupo de “*pixels*”, mostrando tonalidades diferentes para alvos distintos, o que influencia a possível interpretação de uma cena.

Assim, o comportamento espectral de cada alvo da superfície terrestre pode ser estudado através do “coeficiente de retroespalhamento” ( $\sigma^0$ ), que representa a relação entre a seção transversal do feixe radar e a área iluminada pelo sistema radar, sendo comumente medido em decibéis (dB) (FUNG e ULABY, 1983).

Segundo SIMONETT e DAVIS (1983), o coeficiente de retroespalhamento ( $\sigma^0$ ) é função dos parâmetros do sensor radar (comprimento de onda, ângulo de incidência, polarização) e dos parâmetros inerente ao alvo (ângulo de aspecto, permitividade, rugosidade superficial, rugosidade sub-superficial e coeficiente de espalhamento volumétrico). Como não existem expressões analíticas de  $\sigma^0$  para alvos naturais, para se fazer interpretação de imagens de radar deve-se compreender as variações dos parâmetros para cada tipo distinto de alvo e suas possíveis interações.

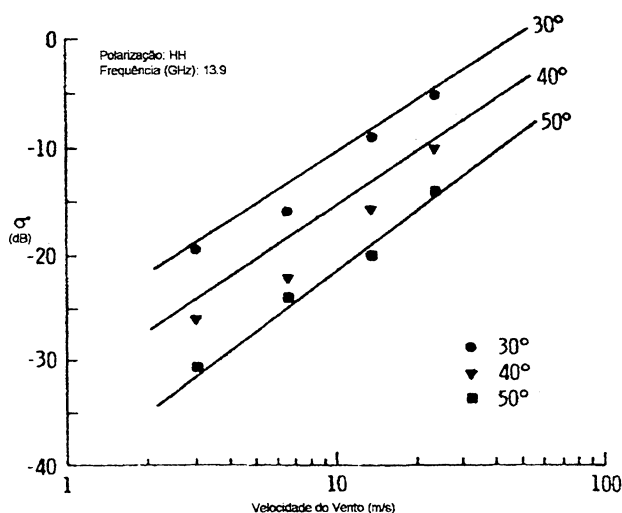
A seguir será descrito o comportamento espectral de alguns alvos da superfície terrestre. Esses alvos serão analisados em função dos parâmetros que mais influenciam o retroespalhamento dos sinais de radar (o conhecimento dos mecanismos de interação entre os alvos providencia uma base para interpretação dos limites entre entidades, como também, sua categorização).

### 2.2.4.1 Água

O retorno dos sinais de radar para superfícies d'água são mais evidentes do que em outras superfícies, sendo afetado pela frequência da onda incidente, velocidade e direção dos ventos, polarização, rugosidade da superfície líquida e ângulo de incidência. Este último é o que mais afeta o espalhamento dos sinais (FUNG e ULABY, 1983).

Segundo MOORE e FUNG (1979), o aumento do ângulo de incidência e da velocidade dos ventos provoca um aumento na variação do coeficiente de retroespalhamento: a velocidade do vento aumenta a rugosidade da superfície d'água, e conseqüentemente o retorno dos sinais de radar (a superfície d'água tende a tons de cinza menos escuros na imagem). Essa variação torna-se mais evidente em ângulos de incidência maiores (Figura 2.12). Para superfícies de águas lisas, o coeficiente de retroespalhamento é baixo (reflexão especular), ocorrendo tons de cinza mais escuros para a água. Assim, quanto mais rugosa a superfície d'água, mais difuso será o retorno dos sinais na imagem.

Figura 2.12 - Espalhamento dos sinais na água com a velocidade dos ventos (Fonte: modificado de MOORE e FUNG, 1979)



Segundo SIMONETT e DAVIS (1983), a variação no retorno do sinal entre especular (escuro) e difuso (brilhante) depende das condições da superfície d'água, podendo apresentar confusão na delimitação de linhas costeiras, especialmente em ambientes em que alvos terrestres podem ter um similar retorno em termos de tonalidade e textura. Em tais situações, interpretações adequadas requerem prévio conhecimento da área. Em relação a corpos de água doce, a detecção é obtida a partir do baixo retorno do sinal quando as águas são consideradas sem turbulência, mostrando limites bem nítidos e contraste entre os alvos vizinhos no terreno (dados obtidos com polarização HH permite uma melhor delimitação entre água e terra do que com polarização VV).

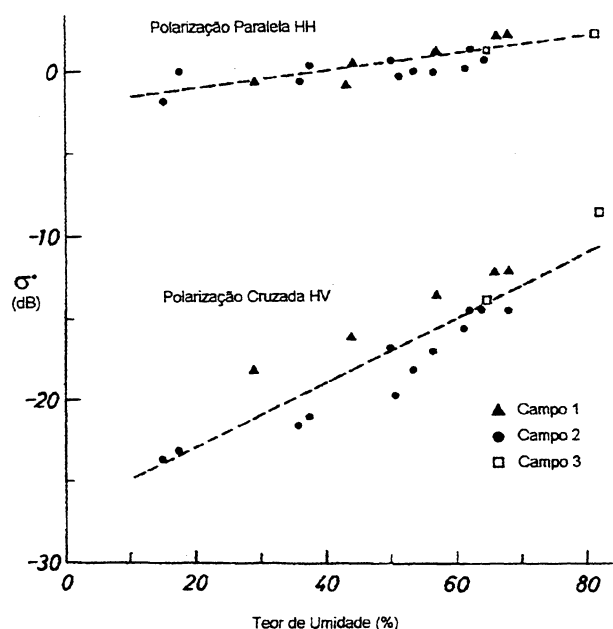
#### **2.2.4.2 Solo**

Segundo FUNG e ULABY (1983) o comportamento espectral do solo em imagens de radar depende de vários fatores, tais como: teor de umidade, rugosidade, padrões periódicos de cultivo da terra, textura etc. A dependência do coeficiente de retroespalhamento em termos de umidade e textura é devido a forte sensibilidade da constante dielétrica em relação ao conteúdo d'água. Ou seja, com o aumento do conteúdo d'água no solo, ocorre um aumento na constante dielétrica, logo menor retroespalhamento dos sinais (tons mais escuros na imagem); também, em solos úmidos ocorre menor penetração de microondas em suas camadas inferiores, o que torna os solos secos mais aptos para maior profundidade de penetração dos sinais. Assim, a penetração dos sinais de radar na superfície varia inversamente com o valor da constante dielétrica e diretamente com o comprimento de onda.

Com o aumento da rugosidade do solo e diminuição do teor de umidade, ocorre aumento no coeficiente de retroespalhamento, o que torna a imagem em tons mais claros. Dessa forma, o retorno dos sinais em relação ao solo pode, muitas vezes, dominar a cena em áreas de agricultura, como também em áreas com vegetação natural (SIMONETT e DAVIS, 1983).

Estudos realizados por ULABY *et al.* (1974) sobre o coeficiente de retroespalhamento ( $\sigma^0$ ) para o solo mostraram que polarizações paralelas (HH, VV) são úteis na determinação do teor de umidade e que solos com conteúdo d'água acima de 20% podem ser melhor estudados em polarizações VV. Em pesquisas posteriores, realizadas por HIROSAWA *et al.* (1978), verificou-se que a sensibilidade na determinação do teor de umidade de solos com polarizações cruzadas HV é maior que com polarizações paralelas HH. A Figura 2.13 ilustra esse resultado, obtidos com o uso de um sensor radar com ângulo de incidência de 30°, frequência de 9.0 GHz (banda X) e 03 campos de amostras.

Figura 2.13 – Influência do teor de umidade do solo em  $\sigma^0$   
(Fonte: modificado de HIROSAWA *et al.*, 1978)



Pela Figura 2.13, nota-se que na polarização HV há maior variação no  $\sigma^{\circ}$  que na polarização HH, tornando-se mais evidente com o aumento do teor de umidade do solo.

### 2.2.4.3 Vegetação

O comportamento da vegetação em relação ao retorno dos sinais de radar varia de acordo com o teor de umidade, características do dossel (folhas, tronco, frutos etc) e orientação dos alvos. Na maioria dos casos, o retorno dos sinais para a vegetação deve ser vista como uma mistura das reflexões entre folhas, frutos (quando presentes), galhos e troncos, e em alguns casos, o próprio solo (FUNG e ULABY, 1983; GUPTA, 1991).

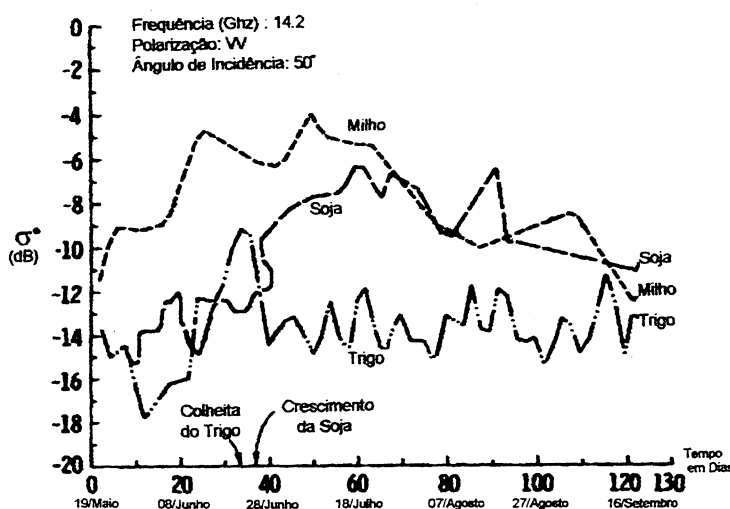
Assim, para pequenos comprimentos de onda, o retorno dos sinais de radar é predominantemente dado pelas folhas (o elevado teor de umidade das folhas tende a refletir em vez de transmitir os sinais). Com o aumento do comprimento de onda, o retorno dos sinais sofre influência das folhas, troncos e solo.

Segundo SIMONETT e DAVIS (1983) o retorno dos sinais de radar é especialmente significativo para a agricultura, dando aos intérpretes a possibilidade de distinguir entre tipos distintos de cultivo.

Investigações realizadas por BUSH e ULABY (1978) em culturas de milho, soja e trigo, mostraram que a utilização de polarização paralela em ângulos de incidência entre 40° e 60° apresenta resultados com bom grau de separação entre culturas. A Figura 2.14 ilustra os resultados obtidos com a utilização de um sensor radar com polarização VV, na banda K, com ângulo de incidência de 50°

para identificação dos cultivos agrícolas de milho, soja e trigo em distintas épocas do ano. Verifica-se que  $\sigma^\circ$  para o trigo, após a colheita, diminui sensivelmente, apresentando um intervalo maior de separação do milho e da soja.

Figura 2.14:  $\sigma^\circ$  para culturas de milho, trigo e soja  
(Fonte: modificado de BUSH e ULABY, 1978)



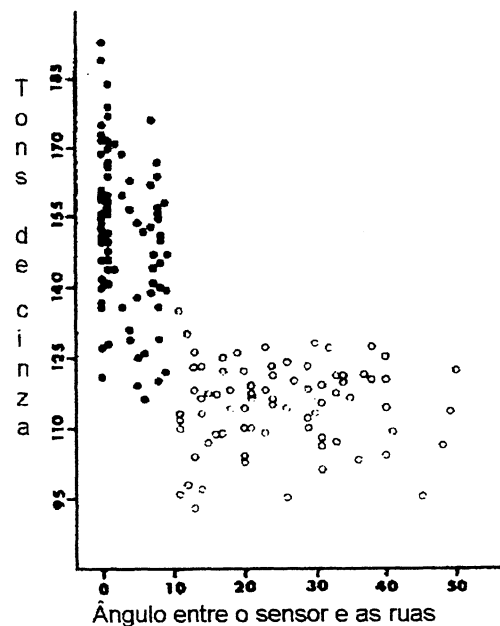
Outras pesquisas realizadas por ULABY *et al.* (1980), mostraram que o retorno dos sinais de radar em polarizações paralelas HH apresenta ótimos resultados na discriminação entre áreas de cultivo de milho e soja. Entretanto, áreas florestais podem ser confundidas com plantações de milho ou de soja.

#### 2.2.4.4 Áreas Urbanas

De acordo com JENSEN *et al.* (1983), em geral, áreas urbanas causam imagens brilhantes devido ao forte retorno dos sinais de radar. Esse retorno é devido aos alvos metálicos, refletores de canto, como também, a rugosidade da superfície, nesse caso, causada pelas diferentes feições urbanas (edifícios, casas residenciais, ruas pavimentadas, grama etc).

Pesquisas realizadas por BRYAN (1979) mostraram que o retorno dos sinais de radar é fortemente influenciado pela diferença angular ( $\theta$ ) entre a direção do sensor e a orientação das ruas: num experimento, verificou-se que para  $\theta$  menor que  $10^\circ$ , o intervalo de tons de cinza na imagem se apresenta maior do que em diferenças angulares maiores que  $10^\circ$ , aumentando o poder de diferenciação dos elementos da cena (Figura 2.15).

Figura 2.15 - Variação tonal em uma área urbana  
(Fonte: modificado de BRYAN, 1979)



Pela Figura 2.15, verifica-se que para valores de  $\theta$  menores que  $10^\circ$  o intervalo de tons de cinza foi de 77; para valores maiores, intervalo de 35 tons de cinza, demonstrando a influência da direção do sensor no imageamento por radar em áreas urbanas; esses resultados foram obtidos com uso de um sensor radar na banda L, com polarização HH e resolução de 20 m.

### 2.2.5 Uso de Imagens de Radar

Em particular, no Brasil, o interesse em se utilizar imagens de radar cresceu a partir da década de 70. O uso dessas imagens tornou-se importante devido as condições climáticas diversificadas do território brasileiro, áreas com permanente cobertura de nuvens, regiões com vegetação bem diferenciada e constantes mudanças na superfície devido à atividades antrópicas. Nessa época, aeronaves com sensores radar realizaram o recobrimento de grande parte do território brasileiro, levantando dados geológicos, pedológicos, geomorfológicos, de cobertura vegetal etc, resultando em documentos cartográficos de imagens de radar na escala 1:250.000 e 1:1000.000. Os sensores utilizados nessa época operavam na banda X (3 cm de comprimento de onda) para permitir a máxima penetração de sinais na superfície. Esses levantamentos fizeram parte do Projeto RADAM, tendo como área prioritária a região Amazônica (AZEVEDO,1971; MOURA, 1972). A partir de 1976, iniciou-se o mapeamento complementar de áreas brasileiras que não participaram do trabalho inicial, através do Projeto RADAMBRASIL (os levantamentos realizados nessa época não possuíam formato digital).

Na década de 80, o interesse na utilização de imagens de radar aumentou consideravelmente quando se alcançou melhor resolução com o Radar de Abertura Sintética (SAR) e com o lançamento do satélite SEASAT com um sistema SAR a bordo. Nessa época, o processamento dos sinais de radar por meios analógicos já estava sendo substituído pelo processamento por meios digitais (DOWMAN e MORRIS,1982).

A partir dos anos 90, imagens de radar foram sendo obtidas em formato

digital através de aeronaves espaciais tripuláveis (Shuttle Imaging Radar - SIR A, B e C). Contudo, tornaram-se experimentos isolados com missões de curto período e realizadas em áreas limitadas da superfície terrestre, não possuindo um ciclo contínuo de obtenção de imagens. Três exemplos: os projetos SIR-B/L-SAR (LOWMAN *et al.*, 1987), SAREX-South American Radar Experiment (NOVO *et al.*, 1995) e SIR-C/X-SAR (KUX *et al.*, 1996).

Atualmente, imagens de radar estão sendo obtidas pelos satélites europeus ERS-1 e 2 (Earth Resources Satellite), pelo japonês JERS-1 (Japanese Earth Resources Satellite) e mais recentemente, pelo canadense RADARSAT.

### **2.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O USO DE IMAGENS DE SATÉLITE NO MAPEAMENTO GEO-AMBIENTAL**

O mapeamento geo-ambiental está intimamente relacionado com o uso da terra e de sua cobertura, envolvendo dados ligados a cultivos agrícolas, áreas urbanas, vegetação, solo, corpos d'água, condições ambientais etc, levando a obtenção de dados qualitativos e quantitativos que podem ser de grande utilidade para o gerenciamento e monitoramento de diversas áreas, além de facilitar as tomadas de decisões.

Nos últimos trinta anos, esse mapeamento tornou-se mais eficiente e possível de ser realizado em menores intervalos de tempo. Isto deveu-se ao significativo avanço da cartografia associada a informática, incluindo o uso de imagens de satélites e o desenvolvimento de novos sistemas orbitais contínuos. O surgimento de novas tecnologias, tais como: Sistema Global de Posicionamento (GPS) e Sistema de Informação Geográfica (SIG), a

padronização de formatos dos arquivos oriundos de sensores remotos e o estabelecimento de redes mundiais de informação, contribuíram também para o aumento do número de usuários de imagens de satélite e da elaboração de mapas (KALENSKY, 1996).

De acordo com CRÓSTA (1996), a grande demanda por imagens Landsat de alta resolução espectral para o mapeamento terrestre relaciona-se com o fato da sofisticação e desenvolvimento alcançados em muitas aplicações com o uso do sensor TM e do seu antecessor, o MSS. Também, pode-se dizer que, a experiência conseguida com o tratamento de dados Landsat serviu para a obtenção de novas metodologias no manuseio de dados na faixa de microondas.

Assim, o aumento na utilização de imagens SAR no mapeamento terrestre relaciona-se com dois fatos: primeiro, a obtenção de modelos digitais de terreno por sensores radar, tornando-os altamente competitivos no mercado (SAR interferométrico); segundo, o lançamento de satélites SAR juntamente com tecnologias associadas aos mesmos, providenciando novas soluções de mapeamento em áreas com altos índices de cobertura de nuvens, onde custos e escalas de tempo tornam-se elementos que dificultam os trabalhos (MERCER, 1995).

Muitas pesquisas vem sendo realizadas na área de mapeamento com o uso de imagens ópticas e/ou de radar, possibilitando diferentes aplicações e uma utilização em maior escala. A seguir, serão apresentados alguns exemplos.

Considerando o mapeamento da cobertura vegetal, existe grande complexidade na identificação e classificação de espécies, principalmente quando associadas a florestas. SCHRIEVER e CONGALTON (1995) argumentam que a utilização das bandas originais de imagens Landsat-5 TM com derivações

das mesmas, de duas diferentes formas, reduz essa dificuldade. Primeiro, com uma análise por componentes principais nas bandas do visível (1 a 3), pode-se gerar uma nova banda com variabilidade de 85 a 95% da porção do visível. Segundo, a partir de operações aritméticas de divisão de bandas: (banda 4/banda 3, banda 5/banda 4 e banda 7/ banda 5), pode-se determinar novas bandas com maior sensibilidade para verificação de mudanças nas características da vegetação.

Segundo ANTUNES (1996), no mapeamento de áreas com grande diversidade fitoecológica pode-se utilizar imagens Landsat-5 TM associadas a modelos digitais de terreno para diferenciação de tipos florestais, garantindo eficácia na reclassificação da vegetação de acordo com as altitudes.

CHAVEZ JR (1992) com a finalidade de obter maior eficiência no mapeamento terrestre, realizou estudos com imagens Landsat-5 TM para verificação da maior variabilidade espacial entre bandas do visível e infravermelho. Seus estudos indicaram que as bandas do infravermelho determinam uma maior variação de classes na imagem, especialmente quando as mesmas possuem áreas com densa cobertura vegetal (a extensão dos níveis de cinza nas bandas do visível mostra-se baixa, especialmente para áreas com vegetação quando comparadas com o solo e áreas sem florestas); entretanto, o contraste entre áreas com e sem vegetação apresentou-se maior nas bandas do visível. Também, detalhes locais que incluem variações topográficas, mostraram-se melhor no infravermelho próximo por causa da ausência do extremo contraste entre áreas com e sem vegetação.

Estudos realizados por LECKIE (1990) para discriminação de espécies florestais com o uso de imagens ópticas e de radar mostraram que a utilização

desses sensores apresenta-se diferenciada e dependente dos tipos florestais estudados. Na pesquisa, foram utilizados cinco bandas do visível (0.45–0.50  $\mu\text{m}$ , 0.50–0.55  $\mu\text{m}$ , 0.55–0.60  $\mu\text{m}$ , 0.59–0.65  $\mu\text{m}$ , 0.63–0.70  $\mu\text{m}$ ), três do infravermelho próximo (0.68–0.78  $\mu\text{m}$ , 0.78–0.90  $\mu\text{m}$ , 0.87–1.04  $\mu\text{m}$ ), uma do infravermelho médio (1.55–2.75  $\mu\text{m}$ ), e oito composições SAR nas bandas X (3.2 cm) e C (5.6 cm) com polarizações  $X_{VV}$ ,  $X_{VH}$ ,  $X_{HH}$ ,  $X_{HV}$ ,  $C_{VV}$ ,  $C_{VH}$ ,  $C_{HH}$ ,  $C_{HV}$ . Os resultados indicaram que: imagens de radar diferenciaram melhor espécies coníferas que imagens nas bandas do visível e infravermelho; o uso das bandas do infravermelho próximo e médio são úteis na distinção entre espécies coníferas e folhosas; para discriminação de áreas abertas com vegetação esparsa, moderada ou densa, as bandas do infravermelho médio e do visível mostram-se de grande utilidade; polarizações paralelas apresentam melhores resultados na discriminação de espécies florestais; a melhor combinação com cinco bandas para classificação geral da cobertura vegetal relaciona uma banda no infravermelho próximo (0.835  $\mu\text{m}$ ), uma banda no visível (0.575  $\mu\text{m}$ ), uma banda no infravermelho médio (2.150  $\mu\text{m}$ ) e as bandas  $X_{VV}$  e  $C_{HH}$ , determinando uma acurácia de 67% no mapeamento (usando apenas as bandas do espectro óptico, acurácia de 62%; usando apenas as bandas do espectro de microondas, 49%).

Ao se tratar do mapeamento do uso da terra, imagens de radar em diferentes polarizações com imagens Landsat-5 TM apresentam boa caracterização da superfície terrestre. Conforme pesquisas realizadas por SANTOS *et al.* (1996), na região amazônica, imagens Landsat-5 TM isoladas não garantiram diferenciação entre áreas de terra firme e várzea; porém, imagens de radar avaliaram características texturais, permitindo uma ótima discriminação entre essas duas classes; áreas iniciais e intermediárias de reflorestamento

mostraram boa discriminação na banda 4 do Landsat-5 TM, enquanto que imagens de radar na banda L não caracterizaram essa diferenciação; a combinação das bandas 3 e 5 do Landsat-TM acarretou num melhor desempenho na separação das classes de pastagem, floresta e áreas de reflorestamento.

YANASSE *et al.* (1995), argumentam que o uso de imagens multitemporais Landsat-5 TM relacionadas com imagens de radar (ERS-1, JERS-1, projeto SAREX) podem ajudar na identificação e caracterização de florestas tropicais secundárias para obtenção de mapas que apresentam o processo evolutivo de tais florestas.

Para o mapeamento de culturas agrícolas, o uso combinado ou isolado de sensores ópticos e de radar vêm apresentando bons resultados. Pesquisas realizadas por CLEVERS *et al.* (1996) com o uso de imagens de radar multitemporais dos satélites JERS-1 (banda L) e ERS-1 (banda C) para classificação de culturas agrícolas e de florestas mostraram resultados diferenciados para esses dois tipos de imagens. Utilizou-se nessa classificação o método de máxima verossimilhança, com o critério de Bayes na classificação de florestas. Assim, para áreas de agricultura: pastagem e plantações de batata foram melhor classificadas usando dados ERS-1; ao contrário, para plantações de beterraba, milho e cevada, dados JERS-1 foram mais adequados. Quanto a classificação de espécies florestais, verificou-se que imagens JERS-1 apresentam melhores resultados (uma interpretação visual mostrou que a discriminação entre tipos florestais é possível com a banda L na estação de verão, porém essa discriminação não continuou evidente na estação de inverno).

Segundo BRISCO e PROTZ (1982), a discriminação de culturas usando imagens de radar a partir de análise textural e tons de cinza da imagem como

chaves de discriminação de classes levaram a um aumento da acurácia do mapa resultante: áreas com culturas de milho foram bem discriminadas de áreas com madeira ou com grande rugosidade (90% de acurácia). Contudo, áreas de pastagem e campos de cereais foram algumas vezes confundidos (50% de acurácia). Embora o realce prévio da imagem foi útil na classificação supervisionada, a falta de informação textural conduziu a um aumento na confusão de discriminação de diversas classes devido a sobreposição das distribuições tonais na imagem. Áreas de pastagem e campo de cereais poderiam ser melhor identificados se a imagem fosse coletada durante a estação de crescimento dessas culturas, quando estão em sua diferença máxima em propriedades geométricas e dielétricas.

A utilização de imagens Landsat-5 TM por ZHUANG *et al.* (1991) para determinação de diferentes culturas agrícolas (milho, soja etc) e outras classes (pastagem, solo exposto, floresta, rios etc) mostrou a ocorrência de mistura de tipos quando se utilizou os classificadores de máxima verossimilhança e distância mínima nos dados originais. Com a entrada de dados espaciais relacionados a propriedade da terra e adicionados a imagem TM como uma oitava banda através de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), os resultados mostraram-se com menor confusão entre as culturas agrícolas, solo exposto e pastagens, aumentando a identificação dos limites entre as classes.

Pesquisas realizadas por ULABY *et al.* (1982) para o mapeamento de culturas agrícolas (trigo, milho), pastagem e solo exposto usando imagens de radar e Landsat mostraram que: imagens de radar exibem maior variação tonal dentro das classes e entre as mesmas; na ausência de dados Landsat devido cobertura de nuvens, o radar torna-se o sensor principal para monitoramento de

culturas; a adição de dados de radar aos dados Landsat providencia um aumento de acurácia na classificação.

HENDERSON (1975), realizando investigações na utilidade de imagens de radar no mapeamento do uso da terra e delimitação de regiões, mostrou que cada característica do ambiente afeta outra, sendo possível detectar diferenças no uso da terra a partir da variação desse relacionamento. Em comparação com mapas gerados com outras técnicas, verificou que o mapa por imagens de radar apresenta-se com maior detalhamento de regiões, com sub-categorias e melhor distinção no uso da terra, além de mostrar algumas áreas com maior visibilidade para reconhecimento. Nesse estudo, utilizou-se uma área extensiva com topografia variada e diversidade de uso da terra (pastagem, agricultura etc).

TAKEUCHI *et al.* (1996), com o uso de dados SAR multitemporais no monitoramento das condições de cobertura de terra, identificaram mudanças na superfície terrestre a partir do retorno dos sinais de radar. As pesquisas foram feitas em culturas de arroz, com o uso de dados do satélite JERS-1 (banda L), mostrando a grande aplicabilidade de dados SAR em regiões tropicais, onde a aquisição de dados é necessariamente igual em más condições climáticas ou estações chuvosas.

Ao se tratar do mapeamento de áreas urbanas, BRYAN (1975), com o uso de imagens de radar associadas a técnicas padrões de fotointerpretação testou resultados conseguidos por um grupo de indivíduos na separação de classes distintas no terreno, verificando o grau de acurácia. Os resultados foram submetidos a uma análise Qui-Quadrado para determinação do nível de confiança das interpretações: foram utilizadas imagens nas bandas X e L, com polarizações HH e HV. Verificou-se que várias categorias de uso da terra foram

facilmente identificadas, incluindo: áreas residenciais, feições lineares de transporte, distritos comerciais, lagos etc. Pela combinação das diferentes respostas, 84% das classes foram identificadas com nível de significância de 1%.

TODD (1977), utilizando-se de imagens Landsat de duas épocas distintas para detecção de mudanças no uso da terra em áreas urbanas e regionais gerou uma nova imagem a partir da razão entre elas. Verificou que as áreas de baixa reflectância na nova imagem estavam associadas as mudanças do uso da terra.

CHEN e TRAN (1992), argumentam que imagens SAR podem ser utilizadas para obtenção automática e extração de informações em regiões que contém água, com o uso de segmentação de imagens em distintas classes (água, campo, floresta, área construída etc).

Em todas as pesquisas e aplicações descritas acima, verifica-se o importante papel dos sensores ópticos e de radar no mapeamento geo-ambiental, sendo cada vez mais firmemente estabelecidos os propósitos de otimização do processo de elaboração de mapas. É importante lembrar que a utilização desses sensores é função da capacidade espectral de identificação de fenômenos, da resolução espacial e das condições de periodicidade das imagens. Mesmo que imagens de satélite vinculadas a eficientes processadores de dados digitais substituam e/ou otimizem algumas etapas na produção de mapas, outros dados permanecem necessários na determinação da verdade terrestre: trabalhos de campo, pontos de coordenadas conhecidas, fotografias aéreas e outros materiais cartográficos, elementos indispensáveis na classificação e retificação de imagens. Também, é importante o uso de processos estatísticos na determinação da acurácia dos resultados obtidos.

### 3 MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo específica para esse trabalho localiza-se no extremo sul do Estado do Mato Grosso do Sul (MS), com aproximadamente 688 km<sup>2</sup> (68800 ha), pertencente ao município de Dourados. Engloba a zona urbana desse município e uma parte da zona rural (Figura 3.01 e Tabela 3.01).

Figura 3.01 - Localização da área de estudo

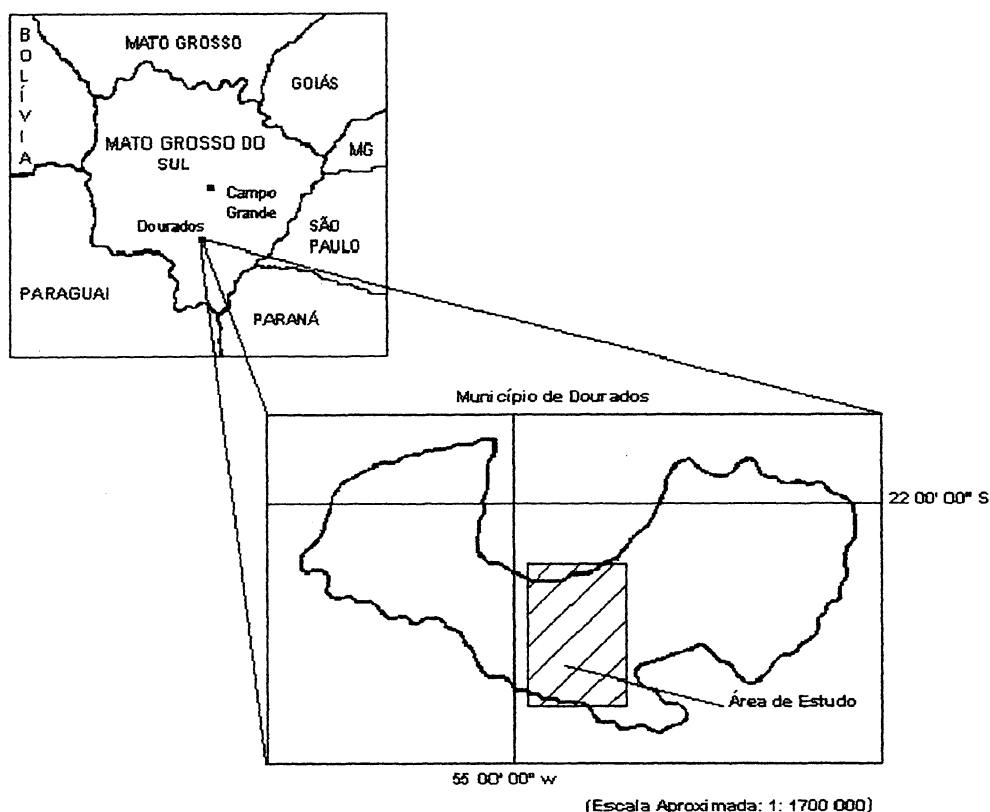


Tabela 3.01 - Coordenadas geográficas da área de estudo

Limite	Latitude ( $\phi$ )	Longitude ( $\lambda$ )
Superior esquerdo	22° 07' 37" S	54° 54' 40" W
Superior direito	22° 07' 37" S	54° 41' 22" W
Inferior esquerdo	22° 24' 00" S	54° 54' 40" W
Inferior direito	22° 24' 00" S	54° 41' 22" W

Historicamente, o desenvolvimento do município de Dourados iniciou-se na chamada “Mata de Dourados”, passando por uma fase de expansão econômica e demográfica devido à abertura de frentes pioneiras, paulistas e sulinas, juntando-se a colonização oficial e particular (a expansão da atividade agrícola implicou num processo de ocupação mais contínua e regular dessa região).

Foi a partir de 1943, com a instalação da colônia agrícola de Dourados que ocorreu uma maior densidade demográfica dessa área em comparação com os municípios vizinhos (aumento considerável na população rural). Porém, foi na década de 70, com o programa de desenvolvimento da Região da Grande Dourados - PRODEGRAN, que ocorreu a modernização da agricultura e o crescimento da população urbana. Dourados tornou-se ponto de interconexão para o noroeste paranaense, passando por Curitiba-PR, para atingir o porto de Paranaguá-PR (exportação de produtos primários do centro-oeste brasileiro) (IBGE, 1988).

Atualmente, o município de Dourados tem sob sua influência uma importante área agro-industrial sul mato-grossense. Principalmente, devido ao cultivo de grãos de soja e milho em moldes modernos, ou seja, por meio de plantio mecanizado. Caracteriza-se por uma agricultura de rotatividade, ou seja, possui sistema de rodízio de culturas através de plantio direto e convencional, com agricultura considerada superior. Contudo, áreas que apresentam grande deficiência nutricional são utilizadas para pastagens.

Essa região tem predominância de solo avermelhado, classificado como Latossolo roxo e Latossolo vermelho. Possui relevo plano com suaves ondulações.

É uma região natural de vegetação mista, com faixa de transição entre mata e cerrado. Possui clima tropical úmido no verão e tropical seco no inverno, com precipitações regulares variando entre 1500 a 1700 mm anuais e temperatura média anual de 22° C (IBGE, 1990).

### 3.2 MATERIAL

O material utilizado nesse trabalho será apresentado a seguir, separado em grupos distintos.

#### a) Documentos Cartográficos:

- **Mapa Topográfico de Dourados** (escala 1:100.000), folha SF.21-Z-B-II, MI-2692: elaborado a partir de fotografias aéreas de 1966, com apoio suplementar em 1968 e restituição fotogramétrica em 1969 (Diretoria de Serviço Geográfico do Ministério do Exército- DSG).
- **Carta Imagem de Radar de Dourados** (escala 1:250.000), folha SF.21-Z-B, MI-483: elaborado a partir de imagens de radar do Projeto RADAMBRASIL-1976 (Diretoria de Serviço Geográfico do Ministério do Exército- DSG).

#### b) Imagens de Satélites:

As imagens Landsat-5 TM e RADARSAT da região de Dourados foram adquiridas pelo CIEG (Centro Integrado de Estudos em Geoprocessamento). A Tabela 3.02 apresenta suas principais características.

Tabela 3.02 – Características das imagens Landsat-5 TM e RADARSAT

Característica	Imagem Landsat-5 TM	Imagem RADARSAT
Aquisição	02/11/97	15/11/97
Órbita	225/76	C0008084/10609
Resolução Espacial	30 m	30 m (nominal)
Bandas	3, 4 e 5	C (polarização HH)
Resolução radiométrica	08 bits	16 bits
Área abrangente	92 x 92 km (quadrante B)	100 x 100 km
Formato	TIFF ( <i>Tagged-Image File Format</i> )	CEOS ( <i>Committee of Earth Observation Satellites</i> )
Nível de Processamento	correção geométrica ao longo da linha	<i>Path Image</i> *
Número de linhas e colunas	3060 x 3088	7846 x 8714
Tamanho do arquivo	28 Mb	128 Mb

\* o termo "*path image*" indica um nível de processamento que alinha a imagem paralelamente a órbita do satélite, apresentando uma correção "*ground range*" (representação da imagem no plano).

A imagem RADARSAT destinada a essa pesquisa é do tipo "*Standard*" (S6), com ângulos de inclinação entre 41° e 46°.

É registrada na direção leste, órbita ascendente: direção pólo sul - pólo norte.

Apesar de possuir uma "resolução nominal" de 30 m, tem resolução transversal de 22,1 m e resolução azimutal de 27 m, com processamento de sinais realizado com 04 *looks*.

As imagens Landsat-5 TM e RADARSAT foram recortadas, selecionando-se a área de estudo. Os novos arquivos adquiriram os seguintes tamanhos:

- **imagem Landsat-5 TM:** 1495 linhas por 1916 colunas (09 Mb);
- **imagem RADARSAT:** 3617 linhas por 3841 colunas (28 Mb);

**Observações:**

- como referência inicial para localização da área de estudo nas imagens, utilizou-se a Carta Imagem de Radar de Dourados (escala 1:250 000), descrita no item 3.2 a;

- a diferença entre o tamanho dos arquivos para as duas imagens deve-se ao tipo de resolução (espacial e radiométrica) de cada imagem.

**c) Material Descritivo:**

- **Projeto RADAMBRASIL, volume 28:** Levantamentos de Recursos Naturais. Ministério das Minas e Energia (1982).

- **Atlas Multireferencial do Estado de Mato Grosso do Sul:** Governo do Estado de Mato Grosso do Sul (1990).

**d) Programas:**

Para o processamento digital das imagens:

- Software **ERDAS Imagine**, versão 8.3 (Earth Resource Data Analysis System), pertencente ao CIEG.

Para a digitalização de entidades gráficas:

- Software **MaxiCAD**, versão *windows*, pertencente ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (CPGCG).

Para transformação de coordenadas:

- Software **Geocalc**, versão 3.07 (Geographic Calculator) (CIEG).

e) Equipamentos:

Para utilização em trabalho de campo:

- Receptor GPS de navegação, modelo "Ensign GPS" (Trimble Navigation), precisão degradada até 100 m (CPGCG).

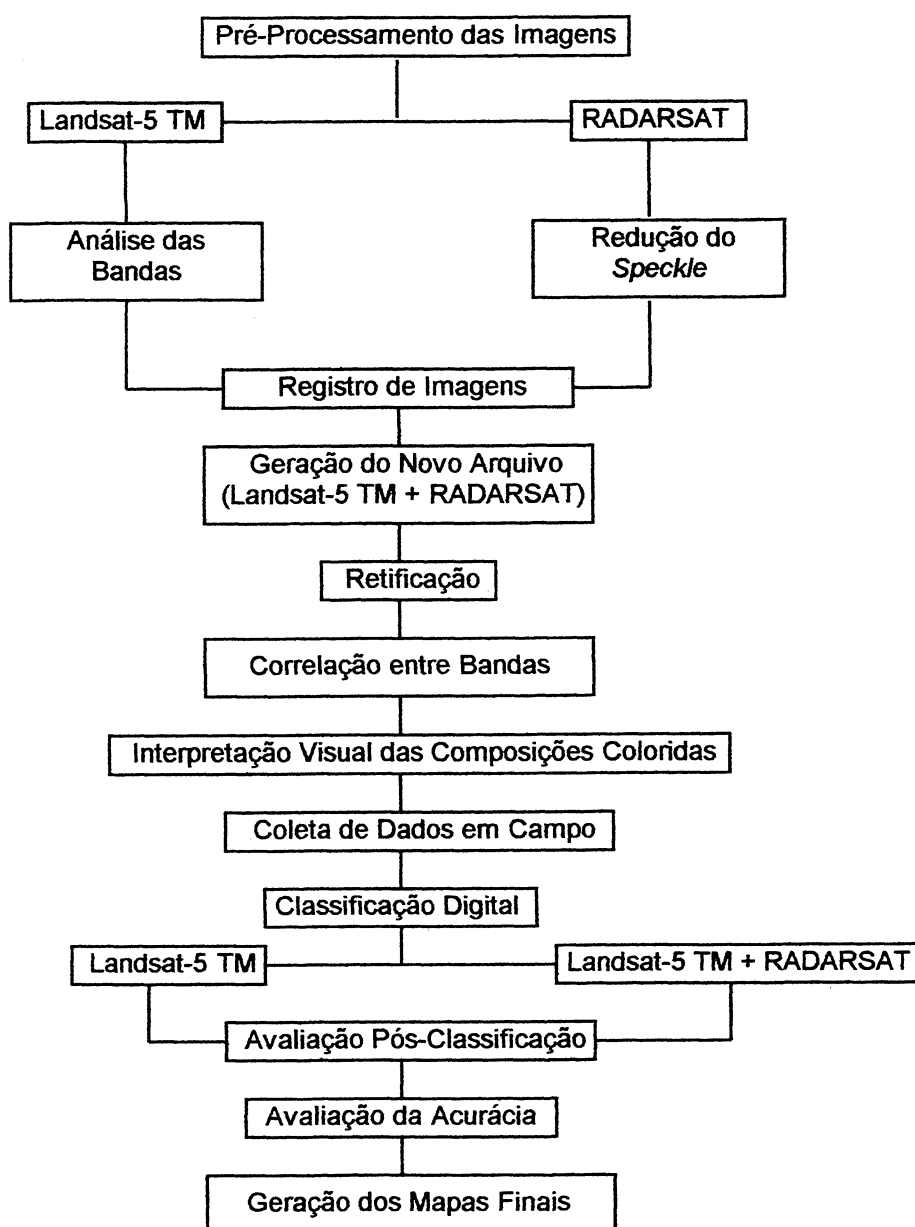
Para utilização em trabalho de escritório:

- Servidor HP, modelo 750, com 64 Mb de memória RAM e capacidade em disco de 3.6 Gb, com terminal com 8 Mb de memória RAM e 200 Mb de disco rígido (CIEG);
- Microcomputador *Pentium*, com 32 Mb de memória RAM e capacidade em disco de 1,6 Gb (CPGCG);
- Plotter HP, modelo *design jet 650 C* (CIEG);
- Mesa Digitalizadora, modelo *digigraf A1* (CPGCG);
- Impressora HP, modelo *deskjet 660C* (CPGCG).

### 3.3 MÉTODO

A metodologia que será descrita a seguir compreende todo o processo necessário para utilização de imagens ópticas e de radar para fins de mapeamento geo-ambiental. No caso específico desse trabalho, utilizou-se uma imagem Landsat-5 TM (bandas 3, 4 e 5) e uma imagem RADARSAT (banda C). O fluxograma abaixo exemplifica todas as etapas da metodologia aqui empregada (Figura 3.02).

Figura 3.02 - Fluxograma da metodologia de trabalho



Vale salientar que todo o processamento digital das imagens foi realizado no software *ERDAS Imagine 8.3*, conforme item 3.2 d.

### **3.3.1 Pré-processamento da Imagem RADARSAT**

O primeiro passo para se trabalhar com imagens de radar é realizar a redução do ruído *speckle*. Sem esse procedimento, perde-se em qualidade e processamento, pois a presença do ruído acarreta uma interpretação errônea dos dados, além de prejudicar o tratamento digital da imagem. Deve-se entender também que esse ruído não pode ser eliminado por completo, e sim, minimizado, pois é inerente ao imageamento por radar.

Contudo, a filtragem do *speckle* conduz a uma melhor visualização e interpretação dos dados, mostrando maior homogeneidade nas classes distintas na imagem, e conseqüentemente, melhorias no processamento dos dados.

A escolha do filtro “ideal” para redução do *speckle*, assim como seu tamanho, depende da finalidade do uso da imagem, como também, do tipo, resolução e qualidade do imageamento por radar. Processos iterativos de filtragem e combinação de diferentes filtros também devem ser analisados, caso a caso. Para esse trabalho, foram realizados testes com os filtros de Lee, Local, Lee-Sigma, Frost, Gama, Média e Mediana.

### **3.3.2 Pré-processamento da Imagem Landsat-5 TM**

A análise visual e por histogramas caracteriza o passo inicial do trabalho numa imagem óptica.

A verificação da qualidade das bandas 3, 4 e 5 da imagem Landsat-5 TM indicou não haver problemas de ruídos nas mesmas, o que facilitou essa etapa do processamento.

A correção atmosférica não foi efetuada, pois a banda 3 apresenta pouca interferência devido a atmosfera e as bandas 4 e 5, por estarem na região do infravermelho, não apresentam problemas nesse sentido.

### **3.3.3 Correção Geométrica**

No processo de correção geométrica das imagens foram necessárias 03 etapas:

- 1) registro\* da imagem RADARSAT em relação a imagem Landsat-5 TM;
- 2) geração de novo arquivo com quatro bandas (Landsat-5 TM + RADARSAT);
- 3) retificação da imagem a partir de um mapa da região.

Essas etapas serão discutidas a seguir.

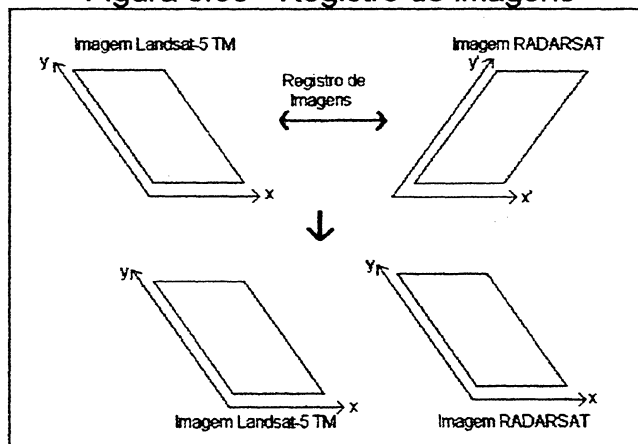
#### **3.3.3.1 Registro de Imagens**

O registro de imagens torna-se necessário para a homogeneidade dos sistemas de referência das imagens, ou seja, para que as mesmas tenham uma única orientação. Para fins dessa pesquisa, optou-se em registrar a imagem RADARSAT em relação a imagem Landsat-5 TM. A Figura 3.03 mostra o processo de registro de imagens.

---

\* registro e retificação são termos similares, porém o registro de imagens não necessariamente requer um sistema de coordenadas conhecidas para o referenciamento da imagem (STAR e ESTES, 1990).

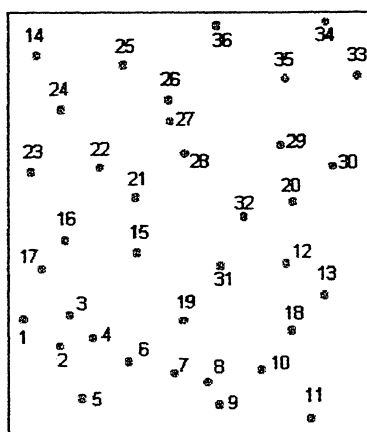
Figura 3.03 - Registro de imagens



O primeiro passo para o registro compreendeu a determinação de pontos comuns as duas imagens. Neste trabalho, a dificuldade inicial deu-se pela interpretação da imagem radar na busca de pontos notáveis também na imagem Landsat-5 TM. Essa dificuldade foi sendo superada a medida que esse tipo de imagem tornou-se mais familiar.

A escolha dos pontos de apoio visíveis nas duas imagens levou em conta cruzamento de ruas, estradas, rios, lagos, grandes edificações em áreas urbanas e limites de culturas agrícolas. O número total de pontos compreendeu 50, sendo utilizados 36, distribuídos uniformemente nas imagens, conforme Figura 3.04 (a quantidade e distribuição desses pontos refletiu positivamente na qualidade do registro).

Figura 3.04- Distribuição dos pontos comuns nas imagens Landsat-5 TM e RADARSAT



Gerou-se, então, os arquivos com as coordenadas dos pontos comuns nas duas imagens (essas coordenadas nas imagens digitais apresentam como sistema de referência as linhas e colunas em número de “*pixels*”).

Procedeu-se ao registro da imagem RADARSAT através do método de “interpolação bilinear” para garantir a compatibilidade com os dados TM, ou seja, a mudança da resolução do pixel radar de 22,1 x 27 m para 30 x 30 m, sem a ocorrência de alterações significativas nos níveis de cinza da imagem original. A reamostragem dos dados por “interpolação bilinear” ou “convolução cúbica”, nos casos de mudança da resolução do pixel, mostra-se mais adequada que o método do “vizinho mais próximo” (WELCH e EHLERS, 1987; RICHARDS, 1993; ERDAS, 1997).

### **3.3.3.2 Geração do Arquivo (Landsat-5 TM + RADARSAT)**

O registro permitiu realizar a combinação das duas imagens. Assim, a imagem Landsat-5 TM (bandas 3, 4 e 5) combinada com a imagem RADARSAT (banda C) gerou um arquivo com quatro bandas distintas: 3, 4, 5 e C.

É necessário lembrar que o intervalo de tempo de 13 dias entre as tomadas das imagens (Landsat-5 TM: 02/11/97 e RADARSAT: 15/11/97) provocou pequenas diferenças em algumas áreas de cultivo agrícola, pois nessa época, as mesmas estavam sendo preparadas para novos plantios. Contudo, essas diferenças não mostraram-se problemáticas para a combinação das imagens.

### 3.3.3.3 Retificação

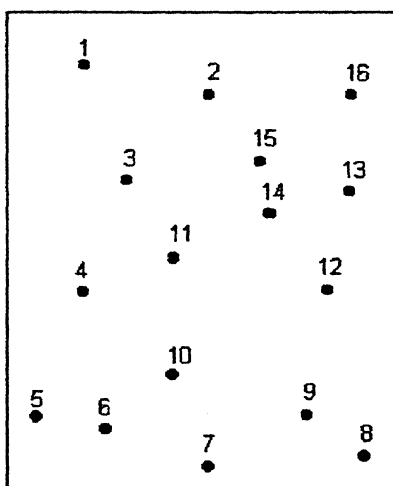
A retificação é um processo que permite corrigir as distorções da imagem a partir de um sistema de coordenadas conhecidas, garantindo a mesma um sistema de projeção e escala. É realizada utilizando-se pontos comuns na imagem e num sistema de coordenadas conhecidas. Esse último pode ser obtido por levantamento de campo ou por mapas. O Anexo 1 apresenta a formulação matemática do processo de retificação.

A utilização de um mapa no processo de retificação depende de sua escala em relação a resolução da imagem. Nesse trabalho, o mapa topográfico da Dourados - escala 1:100 000 (item 3.2 a) mostrou-se compatível com os dados digitais (resolução de 30 m), sendo então utilizado para tal fim (a imagem retificada proporcionou um mapa final na escala 1: 100 000).

A escolha de pontos comuns na imagem e no mapa deve estabelecer um critério de distribuição homogênea em toda a imagem, como também um número considerável de pontos, dessa forma, diminui-se os erros na correção geométrica.

Uma dificuldade inicial encontrada na utilização do mapa topográfico de Dourados foi a defasagem de tempo entre o mapa (1966) e a imagem (1997): mais de 30 anos (a região de Dourados tem carência de mapas atualizados). Essa dificuldade foi superada pela observação de pontos comuns na imagem e no mapa em cruzamento de estradas vicinais, rodovias e curvas de rios. Determinou-se 26 pontos, sendo utilizados 16, onde procurou-se obter uma distribuição homogênea sobre a imagem para permitir um correto ajuste das distorções (Figura 3.05).

Figura 3.05 - Distribuição dos pontos comuns na imagem e no mapa



A obtenção das coordenadas dos 16 pontos comuns no mapa topográfico foi realizada por meio do *software MaxiCAD* com a utilização de uma mesa digitalizadora (item 3.2 d). Vale ressaltar que o sistema de coordenadas UTM do Mapa Topográfico de Dourados estava referenciado ao *Datum Córrego Alegre* (Elipsóide de Hayford), sendo necessário a transformação das coordenadas para o *Datum Chuá* (Elipsóide SAD 69); utilizou-se para tal o *software Geocalc*, conforme item 3.2 d. O Anexo 2 apresenta as coordenadas dos pontos utilizados na retificação da nova imagem, referenciadas na projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*), fuso 21, SAD-69.

Obtidos os arquivos de coordenadas comuns, procedeu-se a correção geométrica. Utilizou-se o método do “vizinho mais próximo” para a reamostragem dos “*pixels*”, com o uso de polinômio do 2º grau para transformação das coordenadas da imagem (linhas e colunas) em coordenadas da carta (UTM: E,N).

### 3.3.4 Correlação entre Bandas

Após o processo de correção geométrica utilizou-se da “matriz de correlação” do novo arquivo (Landsat-5 TM + RADARSAT) para avaliação da

importância da banda radar na combinação com as bandas TM, verificando-se as correlações entre as mesmas (Tabela 3.03).

Tabela 3.03 – Matriz de correlação entre bandas

<b>Banda</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>C</b>
<b>5</b>	1	0.5464	0.3899	0.1104
<b>4</b>	0.5464	1	-0.3549	0.2347
<b>3</b>	0.3899	-0.3549	1	-0.0988
<b>C</b>	<b>0.1104</b>	<b>0.2347</b>	<b>-0.0988</b>	1

Verificou-se que as menores correlações se encontraram entre uma banda óptica e a banda radar, principalmente entre as bandas 3 e C, mostrando que possivelmente na combinação desses dados digitais são acrescentadas novas informações para um melhor desempenho na classificação automática da imagem. Contudo, as correlações entre as bandas TM, apesar de serem consideradas as maiores, mostraram-se pequenas, o que também, provavelmente, evidencia um bom desempenho dessas bandas na separação de classes.

### 3.3.5 Interpretação Visual das Composições Coloridas

Diversas composições coloridas foram analisadas para verificação de suas potencialidades na distinção de classes. Essas composições apresentaram combinações entre as bandas 3, 4 e 5 (Landsat-5 TM) e a banda C (RADARSAT). Foram verificadas as classes que se destacaram nas diversas composições, além das melhores combinações e otimizações alcançadas com essas bandas.

As composições coloridas que utilizaram a banda C, em sua maioria, facilitaram a interpretação visual dos diferentes alvos na imagem. No capítulo IV serão apresentadas e discutidas essas composições.

### 3.3.6 Coleta de Dados em Campo

A interpretação visual da imagem Landsat-5 TM + RADARSAT em diversas composições conduziu ao estudo dos possíveis tipos de classes a determinar em campo: culturas agrícolas, áreas urbanas, rios, áreas de pastagem, vegetação natural etc. Criou-se, então, uma ficha específica para anotação na coleta de dados em campo.

Para orientação em campo, utilizou-se cópias coloridas da imagem da área. Duas combinações foram utilizadas: bandas 5, 4, 3 (RGB) e bandas 5, 3, C (RGB). Para maior conforto, imprimiu-se as imagens em papel formato A4, o que resultou em quatro partes para cada composição. A escala utilizada foi de 1:60000, com *grid* com sistema de referência em coordenadas geográficas (latitude e longitude) em intervalos de 01 minuto.

Em campo, procedeu-se da seguinte forma:

- 1) para cada área considerada como referência para uma amostra usou-se o receptor GPS de navegação e através do posicionamento absoluto determinou-se, aproximadamente, as coordenadas geográficas do centro dessas áreas, com HDOP -*Horizontal Dilution of Precision* (Diluição da Precisão Horizontal)- abaixo de 3;
- 2) confirmado o posicionamento nas imagens impressas em papel, anotou-se as coordenadas obtidas com o receptor, o tipo de classe e observações gerais. Devido a diferença de 10 meses entre a tomada da imagem e a situação atual encontrada em campo, verificou-se, nas áreas agrícolas, qual o tipo de cultivo predominante nessa época (setembro/98) e qual o tipo de cultivo na época da tomada das imagens (novembro/97). Essas informações foram obtidas a partir de

consultas aos proprietários das fazendas pesquisadas e de órgãos públicos: EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Registrou-se um número de 68 pontos de referência, distribuídos em toda a área de estudo (Anexo 3), que foram utilizados para definir as diversas amostras no processo de classificação digital.

Vale salientar que a utilização do receptor GPS de navegação facilitou a localização de muitas áreas, principalmente as mais afastadas da zona urbana e das principais rodovias.

Também, foi realizado um teste de precisão entre coordenadas obtidas por meio do receptor GPS e na imagem retificada (este teste teve como objetivo avaliar a precisão da carta imagem); para tal, determinou-se em campo coordenadas geográficas de 10 pontos, visíveis na imagem, em cruzamento de estradas, em grandes edificações e lagos (Anexo 4).

### **3.3.7 Classificação das Imagens**

Para o processo de classificação automática das imagens, utilizou-se duas composições: a) imagem Landsat-5 TM, bandas 3, 4 e 5; b) imagem combinada Landsat-5 TM + RADARSAT, bandas 3, 4, 5 e C.

O primeiro passo necessário foi a escolha do número de classes distintas que representasse a área de estudo. De acordo com dados descritivos, interpretação visual das composições coloridas e checagem por meio dos trabalhos de campo, escolheu-se as classes a serem determinadas.

Como a região de Dourados encontra-se numa área potencialmente

agrícola, a diversidade de pequenas culturas poderia tornar a classificação complexa, caso se desejasse determinar tipos distintos de pequenos cultivos. Pequenas propriedades que realizam um plantio de subsistência ou para pequeno comércio (cultivo de milho, trigo e feijão), na época da tomada das imagens, apresentavam-se em fase de colheita, aumentando a presença de solo exposto. Também, como a região não é adepta à culturas permanentes, tornar-se-ia complicada uma classificação de cultivos agrícolas que mostrasse resultados atuais da área.

Escolheu-se, então, nove classes:

- a área potencialmente agrícola, dividida em área de plantio direto, plantio convencional e cultivo de milheto; na tomada das imagens a maioria dessas áreas estava sendo preparada para o plantio de soja, observando-se grande quantidade de solo exposto (plantio convencional) ou coberto por alguma palhagem de cultura anterior, tais como: milho, milheto, aveia e trigo (plantio direto);
- pastagem;
- área urbana;
- vegetação remanescente;
- várzea;
- reflorestamento de eucalipto e
- corpos d'água.

A escolha das amostras nas imagens foi feita por seleção de “*pixels*”, em polígonos, representando cada tipo distinto de classe (áreas de treinamento). Para cada classe, várias áreas de treinamento foram selecionadas. Por meio da estatística das amostras, a partir da verificação dos histogramas banda a banda e

da análise da matriz de contingência, verificou-se a homogeneidade das áreas de treinamento. Gerou-se, então, um arquivo com esses dados.

As áreas de treinamento foram obtidas considerando-se sua aproximação a uma distribuição normal nos histogramas das bandas 3, 4 e 5. No caso da banda C, cuja distribuição não é normal, optou-se em descartar as amostras que mais se distanciavam de uma distribuição normal. Vale salientar que quanto maior for o número de *looks* utilizados num processamento de uma imagem radar, a tendência à normalidade torna-se maior (a imagem RADARSAT utilizada possui número de *looks* igual a quatro).

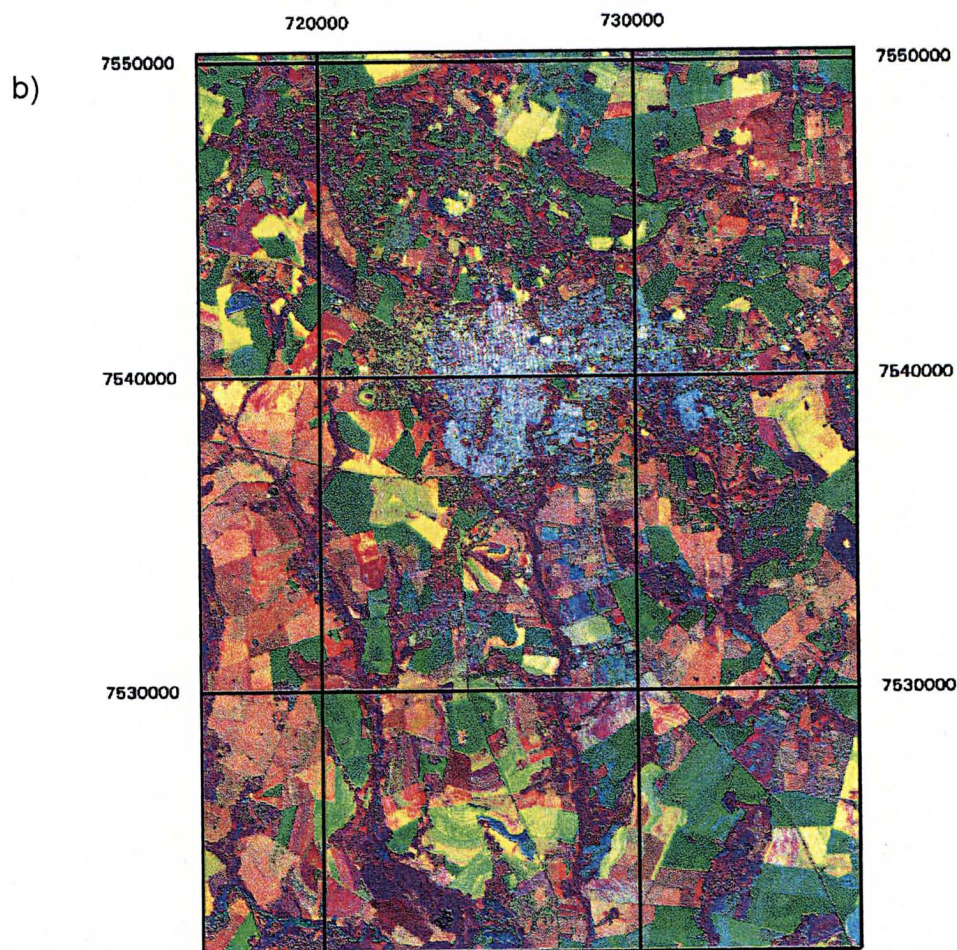
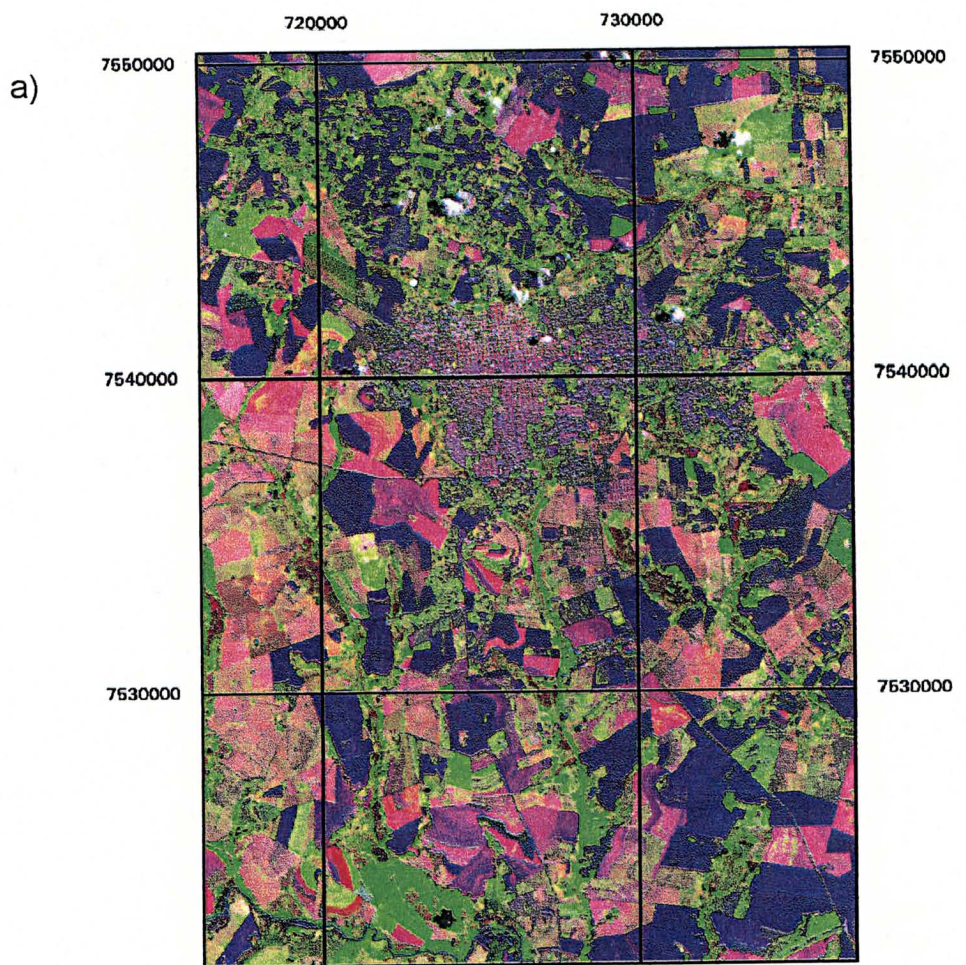
Outro recurso utilizado para avaliação das áreas de treinamento foi a geração de elipses que continham os “*pixels*” classificados para cada amostra, a partir das variações para um par de bandas. Essas elipses foram analisadas da seguinte forma: banda 3 x banda 4, banda 3 x banda 5, banda 4 x banda 5, banda 3 x banda C, banda 4 x banda C e banda 5 x banda C. Os resultados e as análises dessas combinações serão vistas no próximo capítulo.

Vale salientar que as mesmas áreas de treinamento foram utilizadas nas duas imagens: para a imagem Landsat-5 TM, usou-se para a coleta das áreas de treinamento a composição 5, 4, 3 (RGB) (Figura 3.6a); para a imagem combinada, a composição 5, 3, C (RGB) (Figura 3.6b).

Na Figura 3.6a pode-se observar, em maior destaque, a tonalidade azul para a classe “solo exposto”, rosa para a classe “plantio direto” e verde para a classe “vegetação remanescente”; na Figura 3.6b, essas mesmas classes estão representadas nas tonalidades verde, amarelo e roxo, respectivamente.

Utilizou-se o método de classificação supervisionada, através do algoritmo de máxima verossimilhança.

Figura 3.06 – Imagens da área de estudo (escala aproximada 1: 280 000)  
a) composição RGB (bandas 5,4,3); b) composição RGB (bandas 5,3,C)

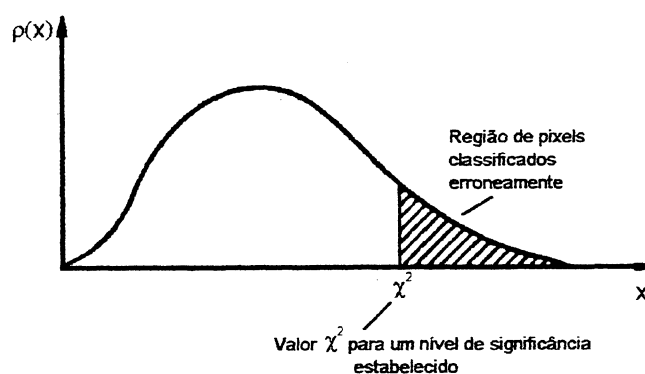


### 3.3.8 Avaliação Pós-Classificação

A primeira avaliação realizada nas imagens classificadas deu-se a partir da utilização da distribuição Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) para verificação da quantidade de “*pixels*” classificados erroneamente.

Os histogramas gerados pela distribuição Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) para cada classe nas imagens temáticas, a um nível de significância estabelecido (1%, 5%, 10%), podem determinar a percentagem de “*pixels*” que se encontram mais afastados do centro da distribuição, pois os mesmos têm maior probabilidade de estarem classificados erroneamente. Como exemplo, a Figura 3.07 apresenta uma distribuição  $\chi^2$ , para uma determinada classe, com a faixa “limite” entre os “*pixels*” considerados classificados corretamente e aqueles provavelmente fora dessa classe.

Figura 3.07 – Distribuição Qui-Quadrado para uma determinada classe



A determinação da percentagem de “*pixels*” classificados erroneamente para cada imagem conduziu a primeira comparação entre as duas classificações digitais realizadas.

### 3.3.9 Avaliação da Acurácia Temática

Para que se analise a acurácia temática entre o dado digital e a realidade de campo é necessário amostras de campo e amostras geradas da interpretação de imagens ou fotografias aéreas. Esses dados são comparados, fornecendo subsídios para uma avaliação temática sob a forma de uma “matriz de erros”, onde observa-se as percentagens de “*pixels*” classificados correta e incorretamente para cada classe.

Neste trabalho, para verificação da acurácia temática dos mapas digitais gerados, utilizou-se de uma técnica estatística de verificação denominada “coeficiente *Kappa*” (COHEN, 1960). Utilizou-se para cálculo desse coeficiente a seguinte expressão, baseada na matriz de erros (HUDSON e RAMM, 1987; CONGALTON, 1991):

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+}) \cdot (X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+}) \cdot (X_{+i})}$$

Onde:

N = número total de observações;

r = número de linhas ou colunas da matriz de erros;

$X_{ii}$  = número de observações para cada elemento da coluna i e linha i (diagonal principal);

$X_{i+}$  = número total de observações na coluna i;

$X_{+i}$  = número total de observações na linha i.

Essa verificação faz-se necessária para uma maior confiabilidade dos dados gerados e comparação dos resultados com a combinação dos diferentes sensores. Utilizou-se amostras oriundas do trabalho de campo e da interpretação visual das imagens digitais.

### **3.3.10 Preparação do Mapa Final**

Com o auxílio da imagem original fez-se a digitalização vetorial de algumas entidades de interesse, tais como: rodovias, estradas principais, rios e córregos, com as respectivas toponímias.

Utilizou-se de padrões de tons e cores para reedição das classes, e de recursos para edição de escala, grid, sistema de projeção etc.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISE

### 4.1 REDUÇÃO DO SPECKLE

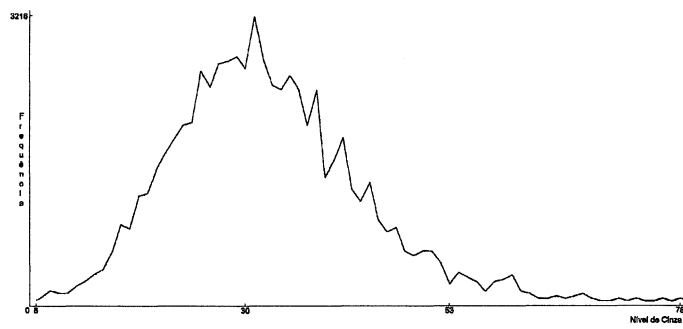
Para esse trabalho verificou-se que a redução do ruído *speckle* na imagem RADARSAT pelo Filtro de Lee (janela 7x7) apresentou os melhores resultados (o Anexo 5 apresenta a formulação matemática desse filtro). Essa escolha levou em conta a interpretação visual da imagem filtrada e a análise dos histogramas das imagens, antes e depois da filtragem.

O Filtro de Lee, por utilizar uma linearização por Séries de Taylor, torna o ruído e o sinal independentes, o que minimiza o erro médio quadrático (*rms*) da imagem. Também, por utilizar estatísticas locais do pixel a ser filtrado, torna a média e a variância do sinal “não estacionárias”, preservando o valor médio da imagem (LEE, 1981).

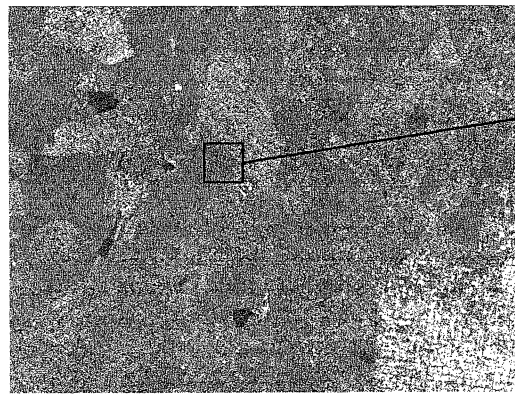
A imagem RADARSAT filtrada provocou uma suavização nas mudanças abruptas de contraste, acentuando melhorias na interpretação dos dados. Exemplificando, as Figuras 4.01a e 4.01b apresentam o histograma e a imagem de uma parte da área de estudo antes da filtragem; as Figuras 4.01c e 4.01d mostram os resultados obtidos após a filtragem por Lee (7x7). Optou-se na escolha de uma área parcial devido os dados relativos à área total apresentarem uma grande quantidade de informação, dificultando a interpretação visual.

Pelas Figuras 4.01a e 4.01c, observa-se pequenas mudanças nos níveis de cinza da imagem após a filtragem, com redução de “picos” abruptos de contraste, contribuindo para uma maior homogeneidade de distintos objetos na imagem (comparação entre as Figuras 4.01b e 4.01d).

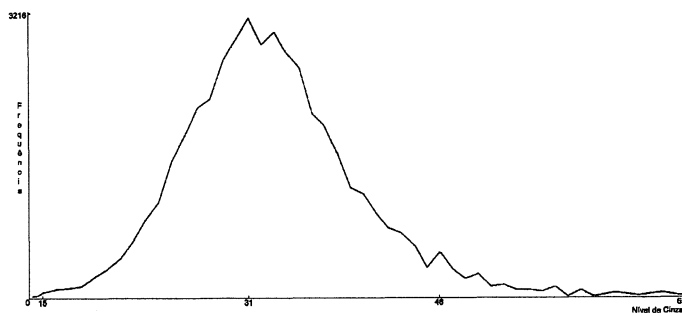
Figura 4.01 – Histogramas e imagens relativos à área teste



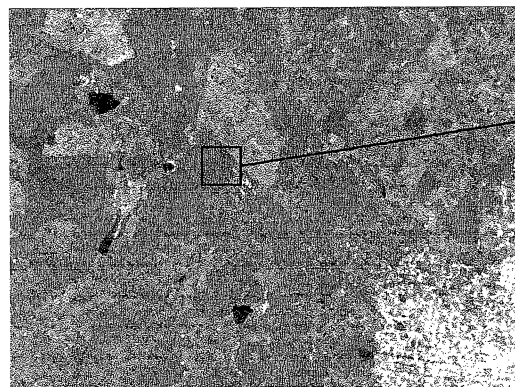
a) histograma original



b) imagem original



c) histograma após filtragem



d) imagem filtrada

Verificou-se, também, que processos iterativos de filtragem ou combinação de filtros danificaram os dados originais e provocaram o aparecimento de novos ruídos; filtrações com janelas pequenas (3x3, 5x5) mostraram-se ineficientes e com janelas maiores que 9x9 provocaram embaçamento da imagem; filtros com janelas 7x7 mostraram-se mais adequados, neste caso, destacando-se o Filtro de Lee.

A Tabela 4.01 apresenta vários filtros usados na redução do *speckle* dessa imagem e as restrições encontradas após cada filtragem. É necessário lembrar que esses resultados foram obtidos devido ao relevo da área ser plano, ao tipo de imagem RADARSAT utilizado, como também, o tamanho relativamente grande das classes em estudo, por se tratarem em sua maioria de áreas agrícolas.

Tabela 4.01 – Redução do *speckle* por vários filtros com janela 7x7

<b>Filtro</b>	<b>Restrições encontradas (resultado)</b>
<b>Local</b>	provocou embaçamento na imagem na tentativa de uniformizar as áreas consideradas homogêneas; esse filtro divide a janela em oito regiões, baseadas nas posições angulares (N, S, E, W, NW, NE, SW, SE);
<b>Lee-Sigma</b>	acarretou a presença de pequenos ruídos aleatórios (pontos escuros) na imagem, visto que as áreas consideradas homogêneas apresentaram-se bem extensas; nesse filtro, cada pixel de interesse é modificado a partir da média de todos os níveis de cinza da janela,
<b>Frost</b>	a delimitação das classes provocou um pequeno embaçamento na imagem com presença de ruídos aleatórios (pontos escuros); esse filtro assume que a média e a variância são estacionárias;
<b>Gama</b>	provocou um forte embaçamento nas áreas consideradas homogêneas; esse filtro assume uma distribuição Gama para os "pixels" na imagem;
<b>Média e Mediana</b>	em geral, não removem profundamente o ruído <i>speckle</i> , apenas reduzem os erros provocando um pequeno embaçamento da imagem.

Para esse caso específico, os Filtros de Média e Mediana, depois do Filtro de Lee, foram considerados os mais eficientes. O Filtro de Frost, para o caso de um estudo mais detalhado do delineamento de classes, provavelmente pode levar a resultados mais eficientes (RADARSAT, 1995).

## 4.2 CORREÇÃO GEOMÉTRICA

Os resultados referentes as correções geométricas realizadas nesse trabalho estão apresentadas na Tabela 4.02. Esta, resume os resultados do registro entre as imagens Landsat-5 TM e RADARSAT, e da retificação imagem-mapa. Os valores em X e Y representam os resíduos totais (horizontal e vertical) e o valor *rms* (*root mean square*) representa o erro médio quadrático. Todos os valores são apresentados em “*pixels*”.

Tabela 4.02 – Resultado das correções geométricas

Correção Geométrica	X (em “ <i>pixels</i> ”)	Y (em “ <i>pixels</i> ”)	<i>rms</i> (em “ <i>pixels</i> ”)
Registro de Imagens	0,2963	0,2680	0,3995
Retificação Imagem-Mapa	0,5221	0,4432	0,6850

O erro médio quadrático (*rms*) de 0,3995 pixel para o registro de imagens tornou possível uma eficiente combinação dos dados ópticos e de radar. Também, o *rms* de 0,6850 pixel para a retificação imagem-mapa, permaneceu dentro da margem de erro aceitável, ou seja, em torno de 0,5 pixel (BERNSTEIN *et al.*, 1983).

Para o registro de imagens, a reamostragem dos dados utilizando-se do método de “interpolação bilinear” não provocou mudanças consideráveis na radiometria da imagem RADARSAT; esse tipo de interpolador mostrou-se mais adequado devido as mudanças necessárias na resolução do pixel radar, conforme visto no item 3.3.3.1.

Para a retificação imagem-mapa, a utilização do método do “vizinho mais próximo” (com transformação de coordenadas da imagem para o mapa através de polinômio do 2º grau) não provocou mudanças nos níveis de cinza da imagem Landsat-5 TM + RADARSAT. Como a área de estudo possui relevo praticamente

plano, não foram necessárias correções devido distorções causadas por áreas acidentadas ou relevo ondulado, por meio de modelos digitais de terreno e interpoladores com polinômios de graus maiores.

Para o teste de precisão entre as coordenadas geográficas obtidas pelo receptor GPS (campo) e pela imagem retificada, considerou-se 10 pontos, conforme descrito no item 3.3.6 e mostrado no Anexo 4. O erro médio quadrático resultante, foi de aproximadamente 1,15", correspondente a 34,5 m. Esse resultado mostrou que o posicionamento com o receptor GPS de navegação, apesar de indicar precisão degradada até 100 m, em geral, foi concordante com a resolução da imagem retificada (30 m) e com a escala especificada para esse mapeamento (1: 100 000) (KARDOULAS *et al.*, 1996).

Vale salientar que o posicionamento obtido com esse receptor GPS apresentou-se eficiente no trabalho de campo devido a região de Dourados ser plana, não ocorrendo perda de sinais, como também pela boa geometria alcançada na configuração dos satélites (HDOP abaixo de 3,0).

Contudo, é preciso lembrar que esse teste de precisão não equivale a uma análise de acurácia posicional da imagem retificada, o que não é objetivo desse trabalho. Para detalhes de como proceder para realização de tal análise, ver LEAL (1998).

#### **4.3 INTERPRETAÇÃO VISUAL DAS COMPOSIÇÕES COLORIDAS**

A interpretação visual das imagens em composições coloridas conduziu a um estudo da distribuição espacial das classes e suas associações, onde “visualmente” percebeu-se os tipos mais e menos distintos e as variações tonais para cada classe.

Verificou-se que esse tipo de imagem RADARSAT, isoladamente, não proporcionou uma distinção eficiente entre as diversas classes da área de estudo. A melhor diferenciação foi obtida entre as classes “área urbana” (tons brilhantes) e “corpos d’água” (tons escuros), onde a distinção tornou-se bastante acentuada, conduzindo a uma boa interpretação visual. Isso tornou-se evidente devido a dois fatores: primeiro, a banda radar em áreas urbanas provoca “refletores de canto”, onde ocorre forte retorno dos sinais, provocando tons brilhantes na imagem; segundo, para corpos d’água, devido a reflexão especular, ocorre baixo retorno dos sinais, caracterizando tons escuros na imagem. Para as outras classes (tons de cinza intermediários), a imagem não se mostrou eficiente em termos de interpretação visual.

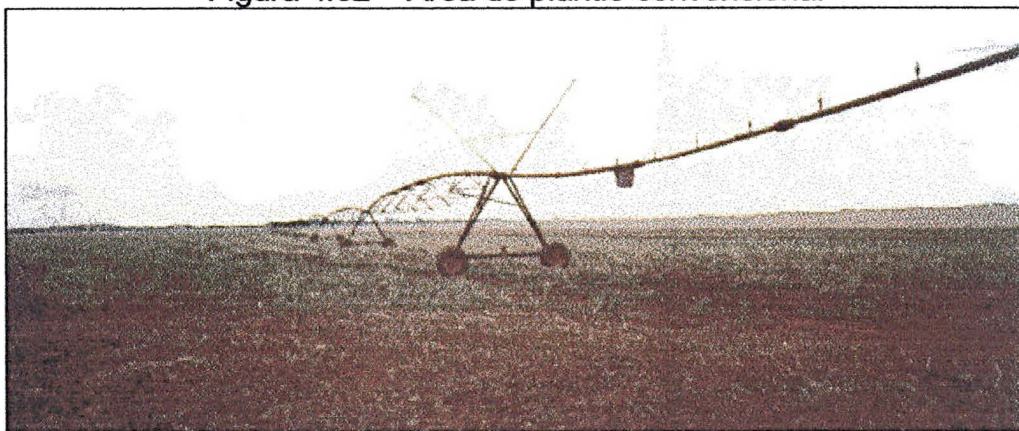
Entretanto, o uso combinado de duas banda ópticas (escolha entre as bandas 3, 4 e 5) com a banda C caracterizou uma melhor diferenciação visual das classes, permitindo distinguir nove tipos distintos:

- áreas agrícolas, subdividida em três categorias: áreas com solo exposto (sendo preparadas para plantio), áreas de plantio direto (apresentando palhagem de culturas anteriores) e áreas de plantio de milho;
- pastagem;
- área urbana;
- vegetação remanescente;
- várzea;
- reflorestamento de eucalipto e
- corpos d’água.

### 4.3.1 Solo Exposto (Plantio Convencional)

As áreas que apresentaram solo exposto, na época da tomada das imagens, estavam sendo preparadas para o cultivo de soja (em poucos casos, cultivo de milho), caracterizando o plantio convencional (a terra é novamente preparada antes de iniciar novo cultivo, sem presença de resteva). A Figura 4.02 apresenta uma área de plantio convencional.

Figura 4.02 – Área de plantio convencional



Área de solo exposto (Latosolo roxo) foram de fácil interpretação visual na maioria das composições coloridas estudadas, apresentando grande homogeneidade (esta classe mostrou-se bem distinta das demais).

### 4.3.2 Plantio Direto

O plantio direto é um sistema no qual a semente é colocada diretamente no solo não resolvido, coberto por palhagem de cultura anterior. Na época da tomada das imagens as áreas que apresentavam esse tipo de plantio indicavam, também, o início de plantio de soja.

A cobertura do solo pela palhagem mostrou uma diferenciação de tons na imagem de acordo com a quantidade e tipo de palha utilizada (feijão, milho, milho, aveia, trigo). Essa classe, em grande parte das composições coloridas estudadas, mostrou-se bem diferenciada perante as outras. Em algumas regiões, verificou-se, também, a transição entre áreas de plantio direto e convencional, de acordo com aumento da quantidade de solo exposto. A Figura 4.03 apresenta uma área de plantio direto, com palhagem de milho.

Figura 4.03 – Área de plantio direto (palhagem de milho)



### 4.3.3 Milheto

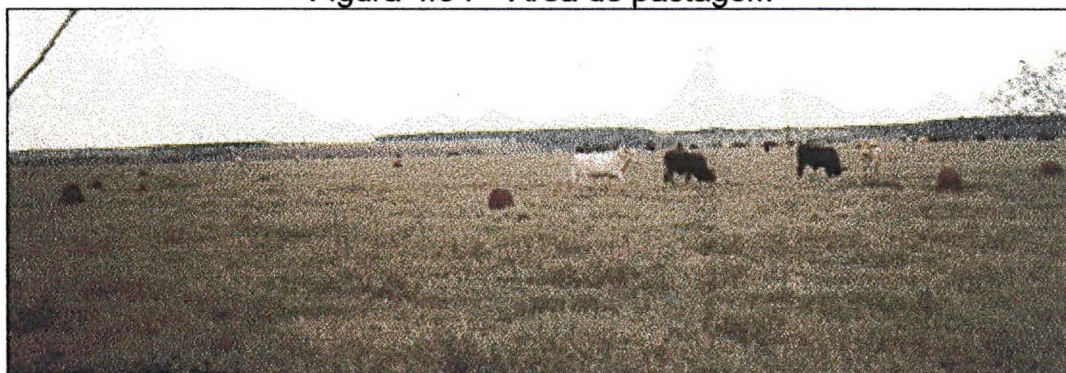
O milheto é uma variedade de milho de grão muito pequeno. Na imagem, as áreas de cultivo de milheto mostraram-se visualmente próximas às áreas de vegetação natural, na maioria das composições coloridas estudadas (devido a grande sobreposição da folhagem do milheto, ocorreu total cobertura do solo para essa classe).

A utilização de composições coloridas com a banda C aumentou consideravelmente a interpretação visual dessa classe. Também, sua identificação tornou-se menos complexa devido as divisões regulares de terreno para áreas de cultivo e sua associação às áreas de plantio direto e convencional.

#### 4.3.4 Pastagem

As áreas de pasto natural foram caracterizadas por uma vegetação rasteira, com plantas arbustivas ou semi-arbustivas, bem espaçadas. Em algumas regiões, essas áreas apresentaram uma certa quantidade de solo exposto (áreas mais degradadas), mostrando um solo com baixa fertilidade, e por esta razão, cedendo lugar a criação de gado (Figura 4.04).

Figura 4.04 – Área de pastagem



Na maioria das composições coloridas estudadas, sua diferenciação das outras classes mostrou-se eficiente, percebendo-se variações de tons de acordo com o aumento da degradação do pasto.

#### 4.3.5 Área Urbana

A área urbana de Dourados caracteriza-se pela grande arborização existente em todos os seus bairros. Os bairros mais afastados, com ruas sem pavimentação, entram em contraste com o centro urbano, com grande concentração de edifícios e ruas pavimentadas.

A interpretação visual dessa classe mostrou-se sem problemas na maioria das composições coloridas analisadas, pois apresentou grande diferenciação em relação as outras classes, além de sua distribuição espacial se concentrar, aproximadamente, na região central da área de estudo.

Contudo, as composições coloridas que utilizaram a banda C mostraram-se mais adequadas para a interpretação visual dessa classe, pois apresentaram mais detalhes: observou-se a diferenciação tonal entre áreas com maior e menor concentração de residências e prédios, como também, áreas com novos loteamentos, caracterizando o rápido crescimento urbano.

#### **4.3.6 Vegetação Remanescente**

As áreas de vegetação remanescente foram caracterizadas pela presença de uma vegetação de porte médio, em muitos casos, bem fechada (considerou-se as áreas de vegetação secundária e de mata ciliar pertencentes a essa classe).

Observou-se que em praticamente todas as regiões da área de estudo, essa classe se encontra em maiores ou menores concentrações.

Assim, a partir da interpretação visual da imagem e de mapas mais antigos da área, verificou-se que grande parte das áreas atuais de agricultura eram de vegetação natural, incluindo cerrados. A Figura 4.05 apresenta uma área agrícola com presença de vegetação remanescente ao fundo.

As composições coloridas que utilizaram a banda C apresentaram-se mais adequadas para a interpretação visual dessa classe, principalmente na sua diferenciação das áreas de milho e reflorestamento.

Figura 4.05 – Área de cultivo agrícola com vegetação remanescente ao fundo



#### 4.3.7 Várzea

Uma região de várzea pode ser caracterizada pela presença de um terreno fértil e de fácil drenagem, com áreas inundáveis. Observou-se que na área de estudo, algumas dessas regiões, são utilizadas para o plantio de arroz, com a característica local de estarem associadas a vegetação remanescente.

A presença de água tornou essa classe com alta diferenciação das áreas potencialmente agrícolas, pastagem, reflorestamento e vegetação remanescente, fato observado a partir da interpretação visual de algumas composições coloridas, principalmente com o uso da banda C.

#### 4.3.8 Reflorestamento de Eucalipto

A classe referente a reflorestamento compreendeu o plantio de eucalipto, sendo, proporcionalmente às áreas agrícolas, uma das menores classes em estudo, pois apresentou pequena região de atuação. Em geral, em propriedade particular para comercialização de madeira e folhas. Sua diferenciação visual em relação a vegetação remanescente e milho, na maioria das composições

coloridas analisadas, não se mostrou tão evidente. Os melhores resultados foram obtidos com o uso da banda C.

#### **4.3.9 Corpos d'água**

Os corpos d'água da área de estudo foram caracterizados pelas lagoas naturais próximas a área urbana e alguns lagos, para irrigação de cultivos agrícolas. Também, pela presença do Rio Dourados, no extremo sul da área. A interpretação visual dessa classe mostrou-se sem problemas, pois as composições coloridas apresentaram-na bem distinta em relação as outras classes.

#### **4.3.10 Análise das Composições Coloridas**

A análise das composições coloridas entre as bandas 3, 4 e 5 (Landsat-5 TM) e a banda C (RADARSAT) encontra-se na Tabela 4.03, mostrando os resultados das interpretações visuais para as diversas classes.

A partir das combinações coloridas analisadas, verificou-se que as composições que usaram a banda C no canal vermelho mostraram-se mais adequadas para interpretação visual, provocando uma maior variação tonal das classes, destacando-se a composição C, 5, 3 (RGB), bem significativa para uma interpretação geral da área; contudo, a composição 5, 3, C (RGB), banda C no canal azul, também apresentou uma boa diferenciação tonal.

Tabela 4.03 – Interpretação visual das composições coloridas

<b>Composição RGB</b>	<b>Interpretação Visual (Características)</b>
C,4,3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- as áreas de vegetação remanescente, reflorestamento e várzea mostraram-se bem diferenciadas;</li> <li>- a área urbana apresentou boa distinção das demais;</li> <li>- mostrou-se eficiente para a visualização de rodovias e estradas vicinais;</li> </ul>
C,5,3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- apresentou boa diferenciação entre as áreas de plantio direto e solo exposto (plantio convencional);</li> <li>- as áreas de pasto natural mostraram-se bem evidentes;</li> <li>- as áreas de vegetação remanescente apresentaram diferenciação entre áreas mais e menos densas;</li> <li>- a classe área urbana apresentou-se bem diferenciada das demais;</li> </ul>
5,4,C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- as áreas de pastagem foram caracterizadas pela graduação de tons, evidenciando-se as mais degradadas;</li> <li>- as áreas de vegetação remanescente e os córregos mostraram-se bem definidos;</li> <li>- áreas de reflorestamento e várzea apresentaram-se com destaque;</li> </ul>
5,3,C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- boa definição da área urbana, mostrando áreas com maior e menor densificação;</li> <li>- as áreas de plantio direto e solo exposto (plantio convencional) mostraram nítida variação de tonalidade, em função da quantidade de solo exposto;</li> <li>- as áreas de pastagem e vegetação remanescente apresentaram-se bem distintas;</li> <li>- em geral, apresentou boa discriminação de todas as classes;</li> </ul>
5,C,3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- as áreas de plantio direto, vegetação e pastagem apresentaram-se bem discriminadas;</li> <li>- a área urbana apresentou-se bem distinta;</li> </ul>
5,4,3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mostrou boa discriminação entre solo exposto e plantio direto;</li> <li>- as áreas de vegetação remanescente e várzea apresentaram-se bem distintas;</li> <li>- melhor composição TM disponível para interpretação visual das classes;</li> </ul>

Em contrapartida, as composições coloridas que utilizaram a banda C no canal verde mostraram-se menos interessantes para interpretação visual, principalmente com uso da banda 4 no canal vermelho ou azul.

As combinações RGB entre as bandas 5, 3 e C, banda radar no canal vermelho ou azul, caracterizaram as melhores interpretações, em parte devido a maior sensibilidade do olho humano para esses canais. Também, esse resultado concordou com o item 3.3.4, onde as correlações entre essas bandas mostraram-se bem pequenas.

## **4.4 ANÁLISE PRÉ-CLASSIFICAÇÃO DIGITAL**

Para as duas classificações digitais referenciadas nesse trabalho, utilizou-se, em média, um número de cinco amostras (áreas de treinamento) para cada classe. Essas amostras foram justapostas, criando-se as assinaturas para cada classe. A seguir serão apresentadas as análises realizadas nessas assinaturas.

### **4.4.1 Máscara para a Classe “Área Urbana”**

Uma dificuldade inicial deu-se com a classe “área urbana”, pois sua diferenciação espectral não se apresentou eficiente em nenhuma amostra utilizada, mesmo que a interpretação visual conduzisse a uma resposta contrária (item 4.3.5).

Apesar da banda C caracterizar essa classe com muita facilidade devido aos “refletores de canto”, na junção com as outras bandas, sua eficiência espectral caiu sensivelmente: a área urbana de Dourados possui grande quantidade de árvores, com ruas pavimentadas e áreas com solo exposto, com presença de maior ou menor concentração de edifícios e residências, onde as bandas ópticas utilizadas não conseguiram boa diferenciação espectral com as outras classes. A não disposição das bandas ópticas TM 1 e 2, melhores para a discriminação de áreas urbanas, provocou uma forte confusão com as classes “solo exposto”, “vegetação remanescente”, “pastagem” e “plantio direto”. Entretanto, verificou-se que a imagem Landsat-5 TM + RADARSAT apresentou maior separabilidade de assinaturas, porém não suficiente para a discriminação da classe “área urbana” das demais classes.

Optou-se, então, pela utilização de uma “máscara” na área urbana, ou seja, pela não classificação da mesma. Os limites urbanos foram observados a partir da imagem da área na banda C, visto que sua discriminação era mais evidente.

Com a utilização dessa máscara, procedeu-se às classificações com um número de oito classes, vistas anteriormente. Assim, a classe “área urbana” foi determinada por interpretação visual.

#### 4.4.2 Matriz de Contingência

A homogeneidade das amostras foi melhor observada a partir da matriz de contingência (por meio de métodos estatísticos, realiza-se uma classificação entre as assinaturas para verificação da porcentagem do número de “pixels” que são classificados corretamente ou sobrepostos a outras assinaturas).

As Tabelas 4.04a e 4.04b apresentam as matrizes de contingência (em porcentagem) para as assinaturas utilizadas na imagem Landsat-5 TM e na imagem Landsat-5 TM + RADARSAT, respectivamente.

Tabela 4.04a – Matriz de contingência (em porcentagem): Imagem Landsat-5 TM

Assinatura	1	2	3	4	5	6	7	8
1	100.0							
2		98.97						
3			100.0		0.06			
4		1.03		100.0	1.22			
5					94.77		2.08	
6					0.97	100.0		
7					2.98		97.92	
8								100.0

- representação das assinaturas: 1–solo exposto(plantio convencional); 2-plantio direto; 3–milheto; 4–pastagem; 5–vegetação remanescente; 6–várzea; 7–reflorestamento de eucalipto; 8–corpos d’água;

- as colunas representam as assinaturas e as linhas a classificação das mesmas.

Tabela 4.04b – Matriz de contingência (em porcentagem): Imagem Landsat-5 TM + RADARSAT

Assinatura	1	2	3	4	5	6	7	8
1	100.0							
2		100.0						
3			100.0					
4				100.0	0.16			
5					97.01		1.28	
6					0.81	100.0		
7					2.02		98.72	
8								100.0

- representação das assinaturas: 1–solo exposto(plantio convencional); 2-plantio direto; 3–milheto; 4–pastagem; 5–vegetação remanescente; 6–várzea; 7–reflorestamento de eucalipto; 8–corpos d’água;

- as colunas representam as assinaturas e as linhas a classificação das mesmas.

Os resultados apresentados nas Tabelas 4.04a e 4.04b mostraram que a presença da banda C proporcionou melhorias no processo de classificação das assinaturas: “plantio direto” apresentou-se sem confusão com “pastagem”; “vegetação remanescente” apresentou-se em menor confusão com “pastagem”, “várzea” e “reflorestamento”, destacando-se “milheto”, que não apresentou mais confusão com “vegetação remanescente”; para “reflorestamento”, a confusão com “vegetação remanescente” também mostrou-se menor. As demais assinaturas não apresentaram mudanças.

Assim, a assinatura “vegetação remanescente” apresentou o maior índice de confusão em relação as assinaturas “milheto”, “pastagem”, “várzea” e “reflorestamento”.

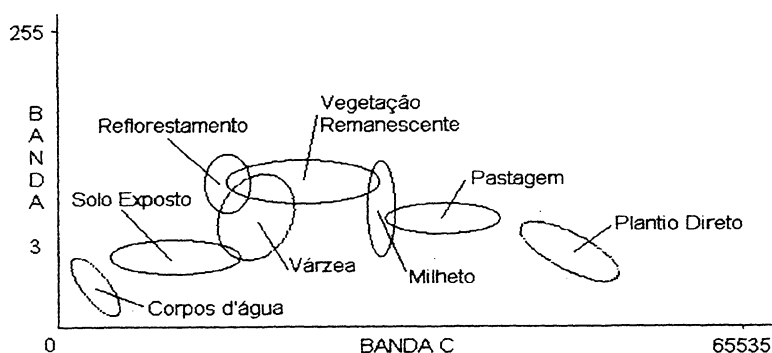
#### 4.4.3 Elipses

Outra forma utilizada para análise da distribuição espectral das assinaturas foi realizada com o auxílio de elipses, geradas pelo cruzamento dos níveis de cinza das assinaturas entre cada par de bandas. Dessa forma, pode-se “visualmente” perceber a sobreposição e a separação espectral entre as

assinaturas. Exemplificando, a Figura 4.06 apresenta as elipses obtidas entre as bandas 3 e C.

Por meio das elipses entre as bandas 3 e C, verificou-se que as assinaturas “solo exposto”, “plantio direto”, “pastagem”, “vegetação remanescente” e “corpos d’água” apresentaram-se espectralmente bem diferenciadas. As assinaturas “reflorestamento”, “vegetação remanescente”, “milheto” e “várzea”, quando estudadas em conjunto, mostraram-se com sobreposições, ou seja, suas respostas espectrais foram muito próximas para essas duas bandas.

Figura 4.06 – Elipses referente as assinaturas (bandas 3 e C)



Pela análise das elipses para os outros pares de bandas, verificou-se que as assinaturas “vegetação remanescente”, “reflorestamento” e “milheto” mostraram-se espectralmente menos sobrepostas quando se utilizou as bandas 3 e 4, e as bandas 4 e C.

A assinatura “corpos d’água” apresentou a melhor distinção espectral em relação as outras assinaturas, em praticamente todos os pares de bandas analisados, pois suas respostas espectrais mostraram-se distanciadas das outras assinaturas, em níveis de cinza bem baixos.

Contudo, a assinatura “vegetação remanescente” apresentou o maior índice de sobreposição quando comparada as outras assinaturas, concordando com a análise realizada no item 4.4.2. Também, pode-se dizer, que essa classe, em relação as outras, mostrou-se a de mais difícil definição, pois apresentou áreas de maior e menor densidade de árvores, como também grande associação com os córregos, áreas de reflorestamento, várzea e áreas de pastagem.

#### **4.5 ANÁLISE DAS CLASSIFICAÇÕES DIGITAIS**

O uso das ferramentas estatísticas para a análise das amostras proporcionou melhorias no arquivo de assinaturas, pois permitiu entender melhor as classes mais e menos afastadas espectralmente.

Passou-se, então, ao processo de classificação digital, utilizando-se da regra de decisão de “máxima probabilidade”.

Após a geração das imagens temáticas, fez-se a utilização de um filtro de moda (janela 5x5) para eliminação de pequenos grupos isolados de “*pixels*” em áreas classificadas homoganeamente (a utilização de um filtro de moda 3x3 não se mostrou eficiente, não apresentando melhorias na eliminação de pequenos grupos isolados de “*pixels*”).

A seguir, serão apresentados os resultados e as análises pós-classificação digital.

#### 4.5.1 Análise do Teste Qui-Quadrado ( $\chi^2$ )

Antes da análise de acurácia temática para as classificações realizadas, verificou-se nas imagens classificadas, por meio da distribuição Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ), a porcentagem de “*pixels*” provavelmente classificados erroneamente, ao nível de significância de 1%, 5% e 10%.

Os resultados mostraram que para o nível de significância de 1%, a classificação envolvendo a imagem Landsat-5 TM + RADARSAT apresentou uma porcentagem menor de “*pixels*” classificados erroneamente: diferença de 17,58% em relação a classificação envolvendo apenas a imagem Landsat-5 TM; para o nível de significância de 5%, observou-se a diferença de 16,25% a favor da classificação envolvendo as quatro bandas; para o nível de 10%, a diferença de 15,60%.

Pode-se, assim dizer, que a utilização da banda C na classificação provocou uma sensível redução no número de “*pixels*” localizados na extremidade da distribuição Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ), pois os mesmos possuem maior probabilidade de estarem erroneamente classificados: a eliminação dos “*pixels*” extremos, com o aumento do nível de significância, aproximou os dados das duas classificações para o centro da distribuição  $\chi^2$  (maior probabilidade de “*pixels*” classificados corretamente), o que caracterizou uma diminuição gradativa da diferença de erros entre as duas imagens temáticas.

Essa primeira avaliação pós-classificação concordou com as análises estatísticas estabelecidas antes do processo de classificação digital, onde observou-se a contribuição da banda radar na separação de classes.

O mapa final foi gerado com o nível de significância de 1%.

#### 4.5.2 Análise da Acurácia Temática

Para a análise da acurácia temática das classificações utilizou-se um número de 20 amostras para cada classe, num total de 160 pontos distribuídos na imagem. Os mesmos foram selecionados aleatoriamente por meio do *software ERDAS Imagine 8.3*.

Essa avaliação, concordância entre os dados de campo e cada classificação, providenciou recursos para a avaliação da acurácia temática das imagens classificadas. As Tabelas 4.05a e 4.05b apresentam as matrizes de erros para as duas classificações. Os resultados da acurácia temática (concordância *Kappa*) podem ser observados na Tabela 4.06 (a diferença percentual entre as classificações foi calculada com relação ao menor valor observado).

Tabela 4.05a – Matriz de erros (imagem Landsat-5 TM)

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8
1	20							
2	03	13		04				
3			17	01	02			
4	01	05		14				
5	01	01		04	14			
6	01				03	16		01
7					06	01	13	
8								20

Tabela 4.05b – Matriz de erros (imagem Landsat-5 TM + RADARSAT)

Classe	1	2	3	4	5	6	7	8
1	20							
2	03	15		02				
3			18		02			
4		04		16				
5	03			02	15			
6	02	01				17		
7					05		15	
8								20

Observações para as matrizes de erros:

- representação das classes: 1–solo exposto (plantio convencional); 2-plantio direto; 3–milheto; 4–pastagem; 5–vegetação remanescente; 6–várzea; 7–reflorestamento de eucalipto; 8–corpos d’água;
- colunas representam a imagem de referência;
- linhas representam a imagem classificada.

Tabela 4.06 – Concordância *Kappa* para cada classificação e a realidade de campo

Classe	Imagem Landsat-5 TM	Imagem Landsat-5 TM + RADARSAT	Diferença <i>Kappa</i> entre as Classificações
<b>Solo Exposto</b>	100 %	100 %	0 %
<b>Plantio Direto</b>	59,30 %	69,04 %	16,42 %
<b>Milheto</b>	85,16 %	85,05 %	0,13 %
<b>Pastagem</b>	62,22 %	77,14 %	23,98 %
<b>Vegetação Remanescente</b>	61,54 %	61,87 %	0,54 %
<b>Várzea</b>	70,57 %	83,06 %	17,69 %
<b>Reflorestamento de Eucalipto</b>	57,45 %	68,83 %	19,80 %
<b>Corpos d'água</b>	100 %	100 %	0 %
<b><i>Kappa</i> Total</b>	<b>72,24 %</b>	<b>79,96 %</b>	<b>10,68 %</b>

Avaliando-se cada classe, verificou-se que:

A classe “**solo exposto**” não apresentou diferenças entre as duas classificações, indicando que a discriminação dessa classe apenas com as bandas TM 3, 4 e 5 produziu uma excelente concordância com os dados de campo. Assim, pode-se dizer que a utilização da banda C na determinação dessa classe não sugeriu uma maior riqueza de informações, não acrescentando sensíveis melhorias na classificação. Esse resultado concordou com a análise realizada no item 4.4.2, onde verificou-se que a assinatura “solo exposto” para as matrizes de contingência nas duas classificações realizadas apresentou-se sem mudanças.

Pesquisas realizadas por KANEMASU (1974) mostraram que o intervalo espectral de 545-655 nm (inclui a banda 3) é um bom indicador de solo exposto; pesquisas posteriores, realizadas por COLEMAN e MONTGOMERY (1987), mostraram que solos com presença de óxido de ferro (Latosolo roxo, no caso específico dessa pesquisa) são bem avaliados pelas bandas TM 3 e 5.

Entretanto, mesmo que tenha ocorrido uma alta concordância entre as duas classificações, pesquisas realizadas por ULABY *et al.* (1982) indicaram que o uso combinado de dados ópticos e de radar pode ajudar na classificação de solos.

A classe “**plantio direto**” apresentou diferenças entre as duas imagens temáticas, onde observou-se que a confusão com as áreas de pastagem e solo exposto foram reduzidas quando se utilizou a banda C na classificação (Tabelas 4.05a e 4.05b). Esse resultado concordou com a análise realizada no item 4.4.2.

Pesquisas realizadas por ULABY *et al.* (1982) mostraram que no uso combinado de imagens ópticas e de radar, as áreas que apresentam palhagem de cultivos anteriores são menos confundidas com áreas de solo exposto e pastagem.

A classe “**milheto**” apresentou praticamente o mesmo índice de concordância entre as duas classificações, sendo confundida em alguns lugares com áreas de pastagem e vegetação remanescente (Tabelas 4.05a e 4.05b). Os resultados obtidos no item 4.4.2 para a classe “milheto” já indicavam que não ocorreria melhorias na classificação quando se usasse a banda C.

Pesquisas realizadas por THENKABAIL *et al.* (1994) mostraram que bandas TM no infravermelho médio podem ser eficientes na definição de áreas com cultivos agrícolas.

A classe “**pastagem**” apresentou melhorias em acurácia quando do uso da banda C no processo de classificação, apresentando menor confusão com áreas de solo exposto e plantio direto (Tabelas 4.05a e 4.05b). Os resultados obtidos no item 4.4.2 mostraram que a assinatura “plantio direto” apresentou-se com alguma confusão com a assinatura “pastagem” quando se utilizou apenas bandas ópticas naquela classificação (ver Tabela 4.04a).

Pesquisas feitas por ULABY *et al.* (1982) mostraram que o uso combinado de dados ópticos e de radar ajudam na diferenciação de áreas de pastagem das áreas de solo exposto, cultivo agrícola (milho) e áreas com restos de culturas anteriores (palhagem).

A classe “**vegetação remanescente**” praticamente apresentou o mesmo índice de concordância para as duas imagens temáticas, apresentando confusão nas áreas de pastagem, plantio direto e solo exposto (Tabelas 4.05a e 4.05b). Nesse caso, não ocorreu influência da banda C no processo de classificação.

Pesquisas realizadas por CHAVEZ JR (1992) mostraram que bandas TM no infravermelho são importantes na classificação de áreas florestais. Também, em pesquisas realizadas por SANTOS *et al.* (1996), a discriminação entre áreas florestais, áreas de reflorestamento e pastagem é melhor observada com o auxílio das bandas TM 3 e 5. Porém, o índice de concordância abaixo de 62% pode estar relacionado com a dificuldade em separar essa classe das demais, visto que no processo de determinação das diversas assinaturas, essa classe mostrou-se a mais problemática, conforme visto nos itens 4.4.2 e 4.4.3; contudo, segundo LECKIE (1990), a junção de dados ópticos e radar pode acrescentar melhorias na classificação de áreas florestais.

Para a classe “**várzea**”, a diferença de concordância envolvendo as duas classificações mostrou que a utilização da banda C garantiu melhorias no processo de classificação, diminuindo-se a confusão com as áreas de vegetação remanescente e solo exposto (Tabelas 4.05a e 4.05b).

Estudos realizados por TAKEUCHI *et al.* (1996), em áreas planas inundáveis, para cultivo de arroz, mostraram que dados radar são úteis na detecção de mudanças.

Para a classe “**reflorestamento de eucalipto**”, os índices de concordância mostraram-se melhores para a imagem com dados radar, diminuindo-se a confusão com as áreas de vegetação remanescente e várzea (Tabelas 4.05a e 4.05b); esse resultado mostrou-se concordante com a análise realizada no item 4.4.2.

A classe “**corpos d’água**” não apresentou diferenças entre as duas classificações. Apesar da banda C garantir uma boa definição dos corpos d’água, as bandas TM 3, 4 e 5 também mostraram-se eficientes na diferenciação dessa classe das demais, concordando com as análises realizadas nos itens 4.4.2 e 4.4.3.

As classes “plantio direto”, “pastagem”, “várzea” e “reflorestamento de eucalipto” foram as mais beneficiadas na combinação de dados ópticos e de radar, apresentando uma melhoria na determinação dessas classes em 16,42%, 23,98%, 17,69% e 19,80%, respectivamente. As maiores diferenças ocorreram nas áreas de pastagem e reflorestamento de eucalipto, concordando com os dados obtidos por KUPLICH (1994).

Para a concordância geral entre as imagens, verificou-se um acréscimo de 10,68 % (aproximadamente 11%) de acurácia temática quando se utilizou a banda C no processo de classificação automática, entrando em concordância com os resultados obtidos por ULABY *et al.* (1982).

### 4.5.3 Comparação por Área entre as Classificações

Após a análise de concordância *Kappa*, determinou-se as áreas totais (em hectares) para cada classe nas duas imagens temáticas, com intuito de se verificar as diferenças entre as mesmas. A Tabela 4.07 apresenta os resultados obtidos e as diferenças (em porcentagens) das áreas entre as duas classificações.

Tabela 4.07 – Áreas totais para cada classe

Classe	Área (em hectares)	
	Imagem Landsat-5 TM	Imagem Landsat-5 TM + RADARSAT
<b>Solo Exposto</b>	14945,40	14847,30
<b>Plantio Direto</b>	9387,87	8953,83
<b>Milheto</b>	2166,69	1931,13
<b>Pastagem</b>	13416,37	12851,90
<b>Vegetação Remanescente</b>	23307,50	24541,70
<b>Várzea</b>	637,40	755,55
<b>Reflorestamento De Eucalipto</b>	127,07	110,21
<b>Corpos d'água</b>	111,14	107,82

Observou-se que as diferenças percentuais de área entre as duas classificações para “solo exposto”, “várzea”, “reflorestamento de eucalipto” e “corpos d’água” aproximam-se dos resultados obtidos para as diferenças na análise de acurácia (item 4.5.2, Tabela 4.06), visto que se apresentam próximas de um mesmo padrão percentual.

Porém, verificou-se que a classe “vegetação remanescente”, apesar de mostrar índices semelhantes de diferenças para as duas análises, não se apresentou com melhorias em acurácia, com índice abaixo de 62% (Tabela 4.07), o que possivelmente é um forte indicativo de maior sobreposição em outras classes.

As classes “plantio direto”, “pastagem” e “milheto”, que apresentaram percentuais de diferença divergentes quando relacionados com a análise de acurácia, mostraram-se com áreas de confusão entre si, caracterizando conflito nas classificações, o que provavelmente provocou essas diferenças (Tabelas 4.05a e 4.05b).

#### **4.6 MAPAS FINAIS**

Os mapas finais para as duas classificações podem ser vistos no final desse capítulo, em escala compatível com o formato A4 (1:180 000) (Figuras 4.07 e 4.08). Nesses mapas, pode-se observar as imagens originais, em escala 1:400 000, como referência: para o mapa gerado da combinação das duas imagens utilizou-se a composição 5,3,C; para o mapa gerado a partir da imagem Landsat-5 TM, utilizou-se a composição 5,4,3.

# DOURADOS- MS

## Mapa de Uso do Solo

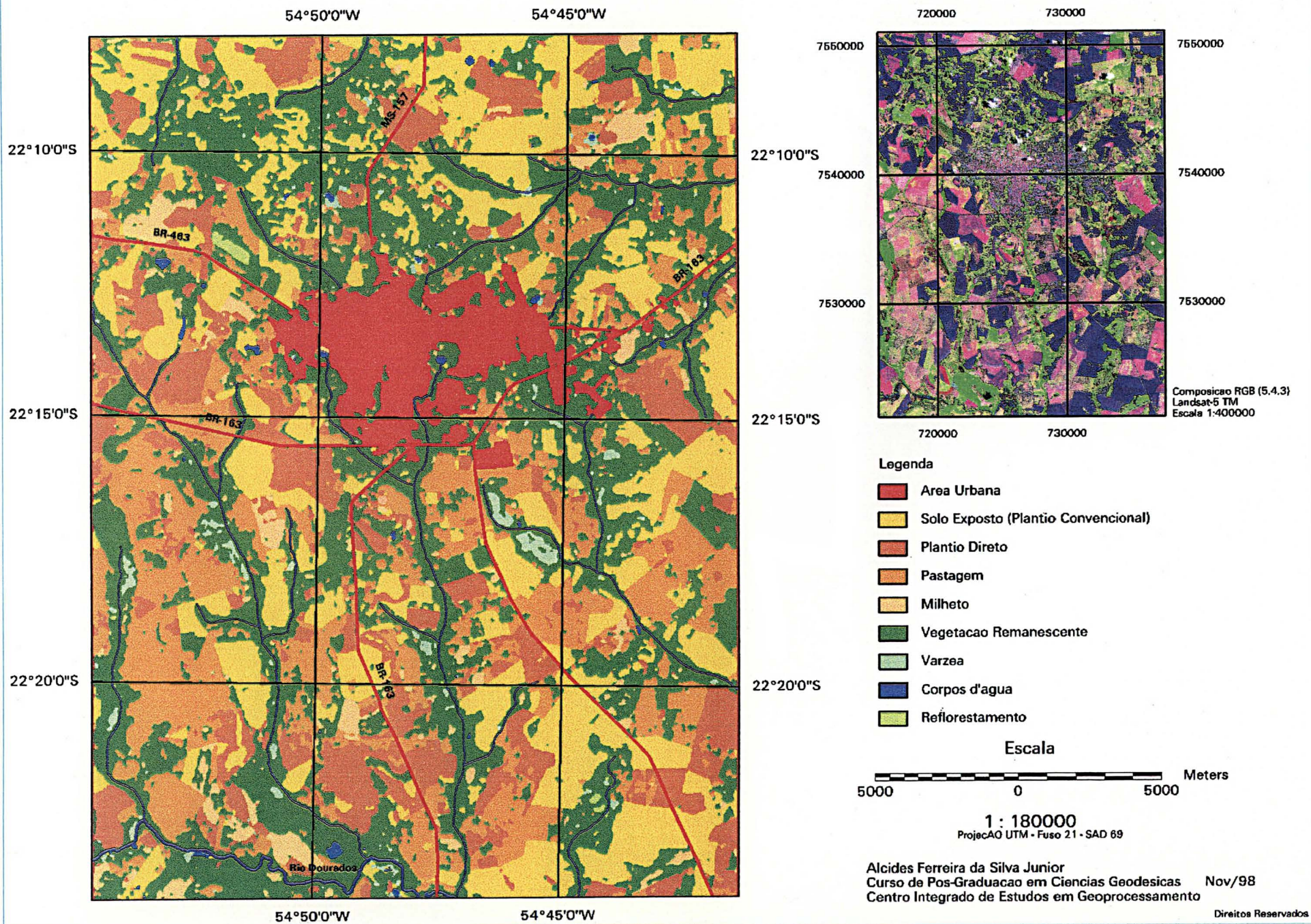


Figura 4.08 – Mapa obtido por meio de imagem Landsat-5 TM (bandas 3, 4 e 5)

# DOURADOS - MS

## Mapa de Uso do Solo

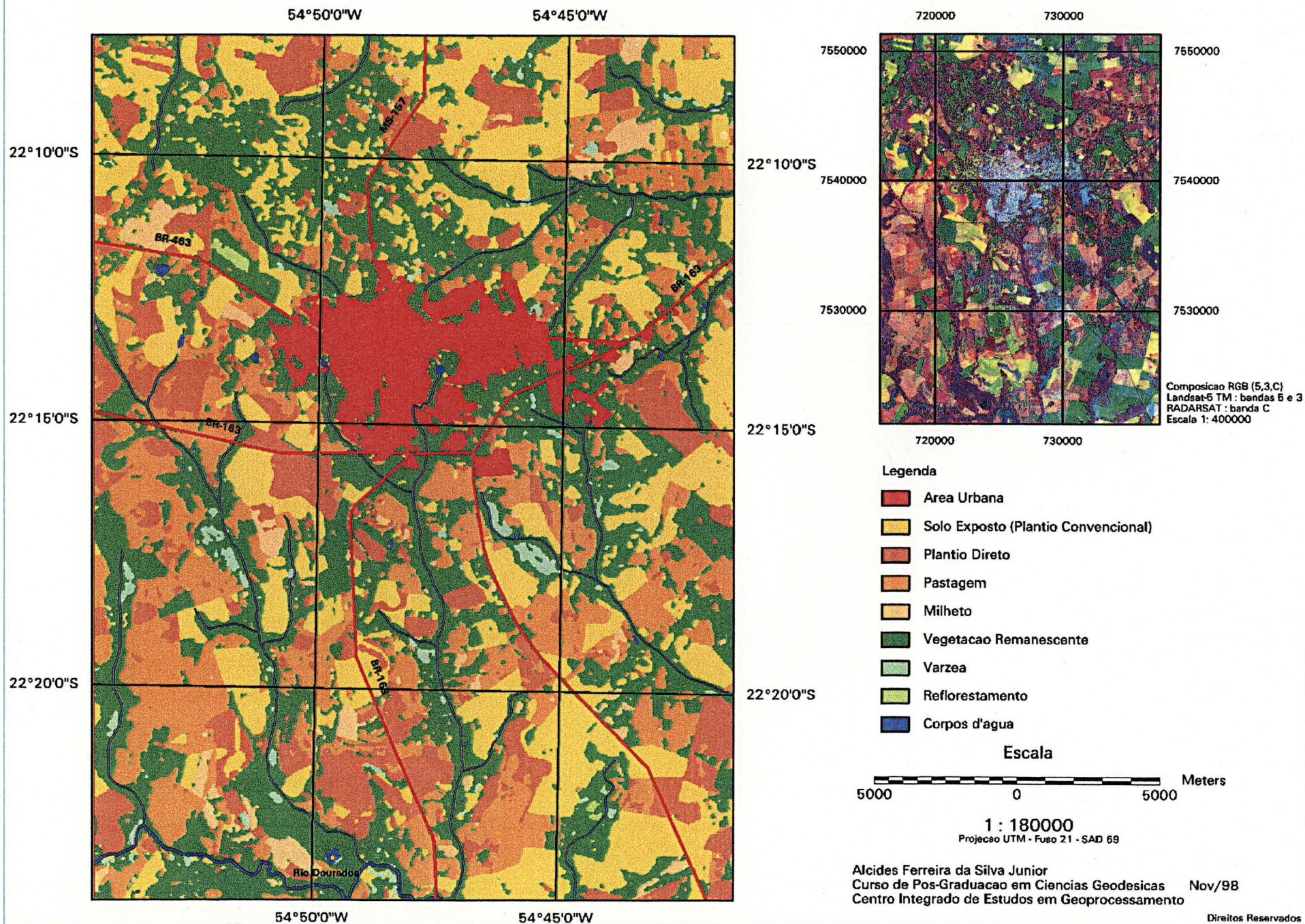


Figura 4.07 – Mapa obtido por meio da combinação de imagens Landsat-5 TM (bandas 3, 4 e 5) e RADARSAT (banda C)

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho, pesquisou-se as potencialidades do uso combinado de imagens RADARSAT e Landsat-5 TM para fins de mapeamento geo-ambiental, tendo como estudo de caso uma área teste localizada na cidade de Dourados, Estado do Mato Grosso do Sul.

Com base nos resultados obtidos e nas análises realizadas, conclui-se que:

1. a combinação de imagens RADARSAT e Landsat-5 TM mostrou-se adequada para o mapeamento geo-ambiental;
2. a combinação dessas imagens permitiu um aumento de acurácia temática, visto que algumas classes apresentaram um melhor desempenho no processo de classificação digital (nesse trabalho, conseguiu-se um acréscimo de aproximadamente 11%);
3. a utilização isolada desse tipo de imagem RADARSAT mostrou-se eficiente no estudo de áreas urbanas e de corpos d'água, apresentando boa diferenciação em relação a outras classes;
4. o uso combinado dessas imagens permitiu um maior desempenho na classificação de áreas de pastagem, plantio direto, várzea e reflorestamento, o que evidencia um maior número de informações para discriminação dessas classes;
5. a classificação de áreas de vegetação remanescente e milho não se mostrou eficiente com a combinação das duas imagens, obtendo-se praticamente os mesmos resultados com a utilização dos dados ópticos. Esse

fato mostra que esse tipo de imagem RADARSAT, para essas duas classes, apresenta tons de cinza e padrões muito próximos, dificultando a interpretação visual e não acrescentando melhorias no processo de classificação automática;

6. áreas com solo exposto e corpos d'água apresentaram bom desempenho sem a necessidade de combinação das duas imagens, mostrando que as bandas TM 3, 4 e 5 são eficazes na discriminação dessas classes;
7. a utilização de filtros para redução do "speckle" mostrou-se essencial, porém de difícil escolha no tipo de filtragem a ser usada: cada filtro apresenta uma resposta diferente, relacionada com o relevo da área, resolução e tipo de imagem, padrões e classes do terreno etc;
8. a utilização de diversos processos estatísticos (histogramas, matriz de contingência, elipses, matriz de correlação entre bandas, teste Qui-Quadrado, coeficiente *Kappa*) facilitou as análises realizadas em todas as etapas do processamento digital.

É necessário promover novas discussões e trabalhos nessa área para obtenção de um melhor conhecimento das informações que uma combinação de imagens ópticas e de radar pode fornecer. Assim, recomenda-se os seguintes itens como destaque em novas pesquisas:

1. **redução do "speckle"**: por ser é um processo de difícil decisão na escolha do filtro "ideal", verifica-se a necessidade de pesquisas ligadas a esse tema, com testes em diferentes áreas em imagens com diferentes resoluções;
2. **fusão de imagens**: pesquisas envolvendo fusão de imagens ópticas e de radar por meio de Transformação IHS e Componentes Principais fazem-se

necessárias para comparação com resultados obtidos da combinação dessas imagens;

3. **análise textural**: pesquisas envolvendo aplicações dessa técnica podem ser uma ferramenta para o aumento do desempenho da imagem radar na distinção de diferentes classes.

Finalmente, é essencial um estudo aprimorado de procedimentos e técnicas ligados ao uso de imagens de radar, antes de seu manuseio, visto que suas repostas espectrais são bastante diferentes dos dados ópticos, o que dificulta as interpretações e as análises dos resultados.

## **ANEXOS**

## Anexo 1 - Retificação

A retificação de uma imagem é realizada em duas etapas:

### 1ª) Transformação das coordenadas da imagem para coordenadas de um sistema de referência

A transformação das coordenadas da imagem (linhas e colunas) para coordenadas de um sistema de referência é realizada por meio de polinômios, utilizando pontos comuns numa imagem e num sistema de referência; as equações abaixo apresentam a formulação matemática, em notação matricial, para tal transformação (NOVAK, 1992).

$$x = x'^T A y'$$

$$y = x'^T B y'$$

Onde:

$x, y$  = vetores das coordenadas da imagem (linhas, colunas)

$$x'^T = (1, x', x'^2, x'^3, \dots)$$

$x', y'$  = vetores das coordenadas do sistema de referência

$$y'^T = (1, y', y'^2, y'^3, \dots)$$

$A, B$  = matrizes dos coeficientes dos polinômios (coeficientes de translação, rotação e escala).

$$A = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} & \dots \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & \dots \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} b_{00} & b_{01} & b_{02} & \dots \\ b_{10} & b_{11} & b_{12} & \dots \\ b_{20} & b_{21} & b_{22} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}$$

Obs: o grau do polinômio depende do número de pontos comuns utilizados.

### 2ª) Reamostragem dos valores de cinza dos pixels da imagem original

Após a determinação do posicionamento dos pixels, alguns métodos são usados para calcular a intensidade do valor de cinza dos pixels da imagem final. Entre eles, destacam-se três métodos: "vizinho mais próximo", "interpolação bilinear" e "convolução cúbica".

O método do "vizinho mais próximo" seleciona o pixel mais próximo para determinar o valor de cinza do pixel de saída; o método de "interpolação bilinear" utiliza uma janela 2 x 2 (quatro pixels) para calcular a intensidade final do valor de cinza do pixel; o método de "convolução cúbica" utiliza uma janela 4 x 4 (dezesseis pixels) para cálculo da intensidade final do valor de cinza do pixel (BERNSTEIN *et al.*, 1983; NOVAK, 1992).

**Anexo 2 - Coordenadas UTM dos pontos utilizados na retificação da imagem  
Landsat-5 TM + RADARSAT**

<b>PONTOS</b>	<b>N (UTM)</b>	<b>E (UTM)</b>	<b>LOCALIZAÇÃO NO MAPA</b>
1	7558458.526	721467.581	Curva em estrada vicinal
2	7555721.543	730804.150	Cruzamento de estradas vicinais
3	7547483.175	725810.638	Cruzamento em rodovia
4	7538558.289	713310.566	Lagoa
5	7526383.441	707488.074	Curva em rio
6	7525331.420	712814.533	Curva em rio
7	7521305.976	727379.701	Ponte em rio
8	7520916.334	736993.740	Curva em rodovia
9	7525919.034	734811.591	Curva em rodovia
10	7529655.687	724623.163	Curva em rodovia
11	7540544.005	728093.006	Cruzamento de rodovias
12	7542405.112	736103.736	Cruzamento de rodovia com estrada vicinal
13	7544410.162	736131.957	Cruzamento de estradas vicinais
14	7544290.294	732078.417	Cruzamento de estradas vicinais
15	7547104.153	733572.668	Curva em estrada vicinal
16	7552670.911	737769.369	Cruzamento de estradas vicinais

Coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*), fuso 21, SAD-69

### Anexo 3 – Amostras do Levantamento de Campo

Local : Região de Dourados - MS

Data: 09 /09 /1998

Amostra	Tipo	Coordenadas ( SAD 69)		Descrição
		Latitude	Longitude	
1	Agrícola	22° 12' 15"	54° 49' 10"	Área de Plantio Convencional
2	Agrícola	22° 12' 40"	54° 50' 43"	Área de Plantio Convencional
3	Vegetação	22° 12' 10"	54° 51' 41"	Área de Reflorestamento (Eucalipto)
4	Agrícola	22° 11' 41"	54° 52' 38"	Área de Plantio Convencional
5	Agrícola	22° 11' 14"	54° 52' 51"	Área de Plantio Direto
6	Agrícola	22° 11' 43"	54° 53' 32"	Área de Plantio de Milheto
7	Pastagem	22° 11' 58"	54° 52' 49"	Vegetação rasteira + solo exposto
8	Agrícola	22° 12' 35"	54° 52' 03"	Área de Plantio Convencional
9	Agrícola	22° 13' 40"	54° 53' 10"	Área de Plantio Convencional
10	Agrícola	22° 14' 08"	54° 52' 31"	Área de Plantio Direto
11	Pastagem	22° 14' 12"	54° 52' 05"	Presença de Gado
12	Pastagem	22° 14' 53"	54° 52' 50"	Presença de Gado
13	Agrícola	22° 15' 31"	54° 53' 12"	Área de Plantio Direto
14	Agrícola	22° 12' 35"	54° 52' 03"	Área de Plantio Direto
15	Agrícola	22° 15' 17"	54° 50' 20"	Área de Plantio Convencional
Amostra	Observações			
1	Em novembro de 97, área destinada ao plantio de soja. Na época da tomada das imagens, o solo estava exposto, sendo preparado para tal plantio.			
3	Área particular de plantação de eucalipto, frontal a BR 463. Apresenta árvores bem espaçadas.			
5	Em novembro de 97, área destinada ao plantio direto da soja, com palhagem de milheto.			
6	Em novembro de 97, área com plantio de milheto; no momento, coberto por soja.			
9	Pivô central da sementeira Guerra S.A. Em novembro de 97, início do plantio de milho para geração de sementes (era grande a presença de solo exposto).			
10	Em novembro de 97, segundo proprietários, a palhagem era de milheto para plantio de soja.			
11	Área com vegetação rasteira, com regiões degradadas, apresentando solo exposto. Presença de pequenas árvores. Próximo a uma mata de galeria.			
12	Intercepta área de cultivo de trigo (em novembro de 97, plantio direto de soja com palhagem de milheto). Ao lado da BR 163 e dividida por uma estrada vicinal, vizinha a outra área de pastagem com solo bem degradado.			
13	Parte da área mostra a presença de plantio convencional, misturando-se a área de plantio direto. Em novembro de 97, início de plantio de soja com palhagem de milho.			
14	Em novembro de 97, essa área estava preenchida por feno seco, em blocos, o que caracterizou tonalidades próximas a palhagem do plantio direto.			
15	Em novembro de 97, início de plantio de milho (solo exposto).			

Local : Dourados

Data: 10 /09 /98

		Coordenadas ( SAD 69)		
Amostra	Tipo	Latitude	Longitude	Descrição
16	Agrícola	22° 15' 36"	54° 51' 22"	Área de Plantio Convencional
17	Agrícola	22° 15' 40"	54° 50' 31"	Área de Plantio Direto
18	Pastagem	22° 11' 15"	54° 51' 42"	Presença de Gado
19	Agrícola	22° 11' 50"	54° 49' 48"	Área de Plantio de Milheto
20	Agrícola	22° 13' 10"	54° 53' 32"	Área de Plantio Direto
21	Pastagem	22° 14' 15"	54° 54' 12"	Área Destinada ao Gado
22	Vegetação	22° 14' 36"	54° 54' 12"	Área de Mata Natural
23	Vegetação	22° 13' 40"	54° 54' 15"	Área de Mata Natural (menos densa)
24	Agrícola	22° 12' 28"	54° 54' 03"	Área de Plantio Convencional
25	Água	22° 13' 42"	54° 49' 56"	Lagoa do Parque Antenor Martins
26	Água	22° 13' 52"	54° 47' 36"	Lagoa do Parque Amulpho Fioravante
27	Urbano	22° 14' 41"	54° 47' 02"	Próximo ao Estádio Douradão
28	Agrícola	22° 17' 40"	54° 46' 20"	Área de Plantio Convencional
29	Várzea	22° 17' 12"	54° 45' 48"	Mata Circulante
30	Agrícola	22° 18' 12"	54° 46' 52"	Área de Plantio Direto
31	Pastagem	22° 10' 36"	54° 53' 05"	Área Devastada
32	Pastagem	22° 18' 31"	54° 45' 28"	Presença de Gado + Área Devastada
33	Agrícola	22° 19' 10"	54° 45' 31"	Área de Plantio Direto
34	Pastagem	22° 18' 51"	54° 44' 51"	Área de Pastagem Antiga
35	Agrícola	22° 19' 33"	54° 45' 02"	Área de Plantio Convencional
36	Agrícola	22° 20' 10"	54° 45' 12"	Área de Plantio Convencional
37	Agrícola	22° 20' 10"	54° 44' 20"	Área de Plantio Direto
Amostra	Observações			
17	A tonalidade encontrada na imagem mostra uma palhagem que não cobriu todo o solo, apresentando tons próximos a áreas de solo nu (palhagem de milheto) (novembro /97)			
18	Área com vegetação degradada. Apresenta diferentes tons de acordo com a vegetação rasteira, expondo o solo (próxima a uma área de mata natural).			
20	A presença de palhagem anterior causa um tom diferenciado do plantio convencional, onde grande parte do terreno está descoberto (palhagem de trigo) (novembro de 97).			
22	Área de mata ciliar, mostrando tons escuros na imagem (áreas de várzea)			
29	Acompanha os córregos das matas ciliares.			
30	Área próxima a uma estrada vicinal, com área de plantio convencional ao fundo (transição) (novembro de 97).			
33	Área de plantio direto com palhagem de aveia, provocando um tom diferenciado das outras áreas de plantio direto. Mostra também, presença de solo exposto em algumas partes (novembro de 97).			
35	Em novembro de 97, início de plantio de soja. No momento, plantio de milho. Área próxima a uma área de pastagem (área de solo com baixa fertilidade).			
36	Apresenta áreas em diferentes estágios de crescimento de cultura (novembro de 97). Ao fundo, tem-se área de mata.			

Local :Dourados

Data:11 /09 /98

Amostra	Tipo	Coordenadas ( SAD 69)		Descrição
		Latitude	Longitude	
38	Agrícola	22° 20' 16"	54° 43' 41"	Área de Plantio de Milheto
39	Agrícola	22° 21' 41"	54° 43' 12"	Área de Plantio Convencional
40	Agrícola	22° 22' 43"	54° 42' 36"	Área de Plantio Direto
41	Agrícola	22° 23' 07"	54° 42' 12"	Área de Plantio de Milheto
42	Agrícola	22° 23' 40"	54° 41' 40"	Área de Plantio Direto
43	Pastagem	22° 23' 23"	54° 47' 52"	Presença de Gado+Vegetação Rasteira
44	Pastagem	22° 23' 10"	54° 47' 08"	Idem Amostra 43
45	Agrícola	22° 23' 02"	54° 47' 07"	Área de Plantio de Milheto
46	Agrícola	22° 21' 32"	54° 47' 29"	Área de Plantio Direto
47	Pastagem	22° 23' 05"	54° 45' 57"	Vegetação Rasteira
48	Agrícola	22° 21' 10"	54° 45' 41"	Área de Plantio Direto Intercalado com Plantio Convencional
49	Agrícola	22° 16' 34"	54° 50' 03"	Área de Plantio Direto
50	Agrícola	22° 16' 15"	54° 51' 32"	Área de Plantio Convencional
51	Agrícola	22° 17' 33"	54° 49' 30"	Área de Plantio Direto
52	Agrícola	22° 17' 46"	54° 48' 47"	Área de Plantio Direto
53	Agrícola	22° 18' 10"	54° 49' 41"	Área de Plantio Convencional
54	Agrícola	22° 19' 31"	54° 48' 56"	Área de Plantio Convencional
55	Agrícola	22° 20' 51"	54° 48' 54"	Área de Plantio de Milheto
56	Pastagem	22° 21' 06"	54° 48' 10"	Área Bastante Degradada
57	Agrícola	22° 21' 43"	54° 49' 32"	Área de Plantio Direto/Convencional
58	Vegetação	22° 22' 48"	54° 50' 42"	Mata Ciliar com Presença de Várzea
59	Agrícola	22° 23' 15"	54° 50' 41"	Área de Plantio de Milheto
Amostra	Observações			
38	Em novembro de 97, a área estava prestes a realizar a colheita do milheto. No momento, está sendo preparada para plantio de soja.			
39	Em novembro de 97, início de plantio de soja. No momento, colheita de milho para preparo do plantio de soja.			
40	Em novembro de 97, início do plantio de soja com palhagem de milheto. Algumas áreas apresentam tons diferentes devido o acúmulo de palha em alguns lugares.			
41	Apresenta-se próxima a uma área de várzea. No momento, plantação de aveia.			
42	Em novembro de 97, início de plantio de soja. A tonalidade diferenciada é devido a palhagem de feijão.			
46	Em novembro de 97, palhagem de milho. Os tons diferenciados nessa área são decorrentes da presença de solo exposto em alguns lugares.			
54	Em novembro de 97, apresentava variações de tonalidade devido a cobertura do solo em algumas áreas por palhagem de milho. No momento, apresenta cultivo de milho.			
57	Em novembro de 97, o plantio da soja estava iniciando, porém intercalado entre áreas com solo exposto e áreas com palhagem.			

Local : Dourados

Data:11 /09 /98

		Coordenadas ( SAD 69)		
Amostra	Tipo	Latitude	Longitude	Descrição
60	Várzea	22° 15' 15"	54° 52' 02"	Mata Ciliar + Grande Área de Várzea
61	Agrícola	22° 18' 05"	54° 52' 11"	Área de Plantio Direto
62	Pastagem	22° 18' 16"	54° 52' 53"	Área Bastante Degradada
63	Pastagem	22° 17' 36"	54° 53' 30"	Idem Amostra 62
64	Agrícola	22° 18' 41"	54° 52' 43"	Área de Plantio Convencional
65	Pastagem	22° 18' 50"	54° 53' 35"	Apresenta Vegetação Rasteira
66	Agrícola	22° 18' 35"	54° 53' 39"	Área de Plantio Direto
67	Pastagem	22° 19' 10"	54° 54' 16"	Idem Amostra 65
68	Vegetação	22° 16' 53"	54° 54' 12"	Mata Remanescente
Amostra	Observações			
61	Em novembro de 97, palhagem de milho para início de plantação de soja.			
64	Em novembro de 97, área sendo preparada para plantio de soja. No momento, cultivo de milho.			
68	Mata bastante densa com limite de culturas agrícolas. Área de várzea bem próxima.			

**Anexo 4 - Coordenadas Geográficas (SAD-69) utilizadas para teste de precisão**

PONTO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS OBTIDAS PELO RASTREADOR GPS DE NAVEGAÇÃO		COORDENADAS GEOGRÁFICAS OBTIDAS PELA IMAGEM RETIFICADA		LOCALIZAÇÃO
	LATITUDE (φ)	LONGITUDE (λ)	LATITUDE (φ)	LONGITUDE (λ)	
1	54° 46' 54.3"	22° 14' 36.8"	54° 46' 53.22"	22° 14' 37.56"	Centro do Estádio de Futebol Douradão
2	54° 43' 49.2"	22° 13' 21.7"	54° 43' 48.00"	22° 13' 20.83"	Entroncamento da BR-163 com Avenida M.Pires
3	54° 46' 47.4"	22° 15' 34.9"	54° 46' 48.05"	22° 15' 35.45"	Cruzamento de estradas
4	54° 43' 10.1"	22° 21' 21.2"	54° 43' 09.91"	22° 21' 20.13"	Curva de estrada vicinal
5	54° 47' 27.8"	22° 22' 48.3"	54° 47' 28.66"	22° 22' 47.58"	Curva na BR-163
6	54° 50' 52.0"	22° 15' 30.8"	54° 50' 50.98"	22° 15' 31.53"	Curva na BR-163
7	54° 52' 12.6"	22° 12' 01.4"	54° 52' 13.13"	22° 12' 00.44"	BR-463 em alinhamento com área de reflorestamento
8	54° 43' 13.2"	22° 12' 15.1"	54° 53' 12.55"	22° 12' 14.32"	Lagoa (Sementeira Guerra)
9	54° 51' 27.5"	22° 13' 15.4"	54° 51' 28.36"	22° 13' 16.01"	Curva de estrada vicinal
10	54° 49' 48.6"	22° 13' 50.2"	54° 49' 47.95"	22° 13' 49.30"	Lagoa (Parque Antenor Martins)

## Anexo 5 – Filtro de Lee

O Filtro de Lee estima o novo valor de cinza para um pixel de interesse a partir da distribuição estatística dos pixels contidos numa janela específica (3x3, 5x5, 7x7 etc). É baseado na hipótese de que a média e a variância do valor de cinza do novo pixel é igual a média e a variância dos valores de cinza de todos os pixels dentro de uma janela selecionada.

A formulação matemática desse filtro consiste em (LEE, 1981):

$$DN_f = x + K [DN_i - x]$$

Onde:

$DN_f$  = valor do nível de cinza final do pixel;

$DN_i$  = valor do nível de cinza inicial do pixel;

$x$  = média dos valores de cinza dentro de uma janela específica;

$$K = \frac{\text{var}(x)}{x^2 \sigma^2 + \text{var}(x)};$$

$$\text{var}(x) = \left( \frac{\text{var}(x_1) + [x_1]^2}{\sigma^2 + 1} \right) - [x_1]^2;$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\text{var}(x_2)}}{x_2};$$

$\sigma$  = coeficiente de variação;

$\text{var}(x_2)$  = variância dos níveis de cinza da imagem total;

$x_2$  = média dos níveis de cinza da imagem total;

$\text{var}(x_1)$  = variância dos níveis de cinza dentro de uma janela específica;

$x_1$  = média dos níveis de cinza dentro de uma janela específica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHERN, F.J. **Basic Concepts of Imaging Radar**. Intensive Course. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 1994.
- ANTUNES, A.F.B. **Análise do Uso do Processamento Digital de Imagens na Segmentação de Tipologias Vegetais da APA de Guaraqueçaba - PR**. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba, 1996.
- ASRAR, G. **Theory and Applications of Optimal Remote Sensing**. John Wiley & Sons, Inc. New York: 1989.
- AZEVEDO, L.H.A. **Radar in the Amazon**. In: VIIth International Symposium on Remote Sensing of Environment (1971: Michigan). Anais..., p.2303-2306, Michigan: 1971.
- BERNSTEIN, R.; COLBY, C.; MURPHREY, S.W.; SNYDER, J.P. **Image Geometry and Rectification**. Manual of Remote Sensing - Volume I. Second Edition. American Society of Photogrammetry, pp. 873-922. USA: 1983.
- BLANCHARD, L.E.; WEINSTEIN, O. **Design Challenges of the Thematic Mapper**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. GE-18, n.02, pp.146-160. USA: 1980.
- BRISCO, B.; PROTZ, R. **Manual and Automatic Crop Identification with Airborne Radar Imagery**. PE&RS, v.48, n.01, p.101-109. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. USA:1982.
- BRYAN, M.L. **Interpretation of an Urban Scene Using Multi-Channel Radar Imagery**. Remote Sensing of Environment, v.04, n.04, p.49-66. American Elsevier Publishing Company, Inc. USA:1975.
- BRYAN, M.L. **The Effect of Radar Azimuth Angle on Cultural Data**. PE&RS, v.45, n.08, p.1097-1107. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. USA: 1979.
- BUSH, T.F.; ULABY, F.T. **An Evaluation of Radar as a Crop Classifier**. Remote Sensing of Environment, v.07, n.01, p.15-36. American Elsevier Publishing Company, Inc. USA: 1978.
- CANADA CENTRE FOR REMOTE SENSING. ProRADAR. **Fundamental Concepts of Imaging Radar : Basic Level**. Canada: 1995.
- CANADA SPACE AGENCY. **RADARSAT**. Minister of Supply and Services Canada. <http://radarsat.space.gc.ca>. Canada: 1996.

- CHAVEZ JR, P.S. **Comparison of Spatial Variability in Visible and Near-Infrared Spectral Images.** PE&RS, v.58, n.07, p.957-964. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. USA: 1992.
- CHEN, P.F.; TRAN, T.C. **Automated Water Finders for Radar Imagery.** In: XVIIth Congress International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (1992: Washington). Anais..., v.04, part B4, p.07-13. Washington: 1992.
- CHUVIECO, E. **Fundamentos de Teledetección Espacial.** Ediciones Rialp, S.A. Madrid: 1990.
- CLEVERS, J.G.P.W.; KRAMER, H.; VAN LEEUWEN, H.J.C; HOEKMANN, D.H. **The Merit of JERS-1 Data in Addition to JERS-2 Data for Land Cover Monitoring.** In: XVIIIth Congress International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (1996: Vienna). Anais..., v.31, part B7, p.146-151. Vienna: 1996.
- COHEN, J. **A Coeficient of Agreement for Nominal Scales.** Educational and Psychological Measurement. Vol. 20, nº 01, pp.37-46. USA: 1960.
- COLEMAN, T.L.; MONTGOMERY, O.L. **Soil Moisture, Organic Matter and Iron Content Effect on the Spectral Characteristics of Selected Vertisols and Alfisols in Alabama.** PE&RS, v.53, n.12, p.1659-1663. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. USA: 1987.
- COLWELL, J.E. **Vegetation Canopy Reflectance.** Remote Sensing of Environment, v.03, n.03, p.175-183. American Elsevier Publishing Company, Inc. USA:1974.
- CONGALTON, R. **A Review of Assessing the Accuracy of Classification Remotely Sensed Data.** Remote Sensing of Enviroment. Nº 37, pp. 35-45. USA: 1991.
- CRACKNELL, A.P.; HAYES, L.W.B. **Introduction to Remote Sensing.** Taylor & Francis Ltda. London: 1993.
- CRÓSTA, A.P. **Sensoriamento Remoto de Alta Resolução: Novas Ferramentas para o Monitoramento Ambiental, Urbano e de Recursos Naturais.** In: GIS Brasil 96 (1996: Curitiba). Anais..., pp. 583-593. Curitiba: 1996.
- CURRAN, P.J. **Principles of Remote Sensing.** Longman Scientific & Technical. New York: 1985.
- DOWMAN, I.J.; MORRIS, A.H. **The Use of Synthetic Aperture Radar for Mapping.** Photogrammetric Record, v.10, n.60, p. 687-696. USA: 1982.

- DOYLE, F.J. **Thirty Years of Mapping from Space.** In: XVIIIth Congress International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (1996: Vienna). Anais..., v.31, part B4, p.227-230. Vienna: 1996.
- ELACHI, C. **Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques.** IEEE Geoscience and Remote Sensing Society. USA: 1987.
- ERDAS. **Erdas Field Guide.** Manual ERDAS Imagine 8.3. USA: 1997.
- FITCH, J.P. **Synthetic Aperture Radar.** Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg. USA: 1988.
- FREDEN S.C.; GORDON JR, F. **Landsat Satellites.** Manual of Remote Sensing - Volume I. Second Edition. American Society of Photogrammetry, p. 517-570. USA: 1983.
- FRITZ, W.L. **Commercial Earth Observation Satellites.** In: XVIIIth Congress International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (1996: Vienna). Anais..., v.31, part B4, p.273-282. Vienna: 1996.
- FROST, V.S.; STILES, J.A.; SHANMUGAN, K.S.; HOLTZMAN, J.C. **A Model for Radar Images and its Application to Adaptive Digital Filtering of Multiplicative Noise.** IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-04, p.157-166. USA: 1982.
- FUNG, A.K.; ULABY, F.T. **Matter-Energy Interaction in the Microwave Region.** Manual of Remote Sensing - Volume I. Second Edition. American Society of Photogrammetry, p.115-164. USA: 1983.
- GARCIA, G.J. **Sensoriamento Remoto: Principios e Interpretação de Imagens.** Ed. Nobel, p. 97-125. São Paulo: 1982.
- GUPTA, R.P. **Remote Sensing Geology.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 149-175. Alemanha: 1991.
- HENDERSON, F.M. **Radar for Small-Scale Land-Use Mapping.** PE&RS, v.61, n.03, p.307-319. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. USA: 1975.
- HIROSAWA, H.; KOMIYAMA, S.; MATSUZAKA, Y. **Cross-polarized Radar Backscatter from Moist Soil.** Remote Sensing of Environment, v.07, n.03, p.211-217. American Elsevier Publishing Company, Inc. USA:1978.
- HOFFER, R.M. **Biological and Physical Considerations in Applying Computer-Aided Analysis Techniques to Remote Sensor Data.** In: Remote Sensing: The Quantitative Approach. McGraw-Hill, Inc. USA: 1978.

- HUDSON, W. D.; RAMM, W. **Correct Formulation of Coeficient of Agreement.** PE&RS, vol. 53, nº 04, pp. 421-422. USA: 1987.
- HUNTER, G.T.; BIRD, S.J.G. **Critical Terrain Analysis.** PE&RS, v.36, n.09, p:939-952. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. USA: 1970.
- IBGE. **Atlas Multireferencial do Estado de Mato Grosso do Sul.** Governo do Estado de Mato Grosso do Sul, 1990.
- IBGE. **Geografia do Brasil- Volume I - Região Centro-Oeste.** Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro: 1988.
- JENSEN, J.R.; BRYAN, M.L.; FRIEDMAN, S.Z.; HENDERSON, F.M.; HOLZ, R.K.; LINDGREN, D.; TOLL, D.L.; WELCH, R.A.; WRAY, J.R. **Urban/Suburban Land use Analysis.** Manual of Remote Sensing - Volume II. Second Edition. American Society of Photogrammetry, p.1571-1666. USA:1983.
- KALENSKY, Z.D. **Regional and Global Land Cover Mapping and Environmental Monitoring by Remote Sensing.** In: XVIIIth Congress International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (1996: Vienna). Anais..., v.31, part B4, p.413-426. Vienna: 1996.
- KANEMASU, E.T. **Seasonal Canopy Reflectance Patterns of Wheat, Sorghum, and Soybean.** Remote Sensing of Environment, n.03, p.43-47. American Elsevier Publishing Company, Inc. USA: 1974.
- KARDOULAS, N.G.; BIRD, A.C.; LAWAN, A.I. **Geometric Correction of SPOT and Landsat Imagery: A Comparison of Map and GPS-Derived Control Points.** PE&RS, vol. 62, nº 10, pp.1173-1177. USA: 1996.
- KRITIKOS, H.; YORINKS, L.; SMITH, H. **Suspended Solids Analysis Using ERTS-A Data.** Remote Sensing of Environment, v.03, n.01, p.69-78. American Elsevier Publishing Company, Inc. USA: 1974.
- KUAN, D.T.; SAWCHUK, A.A.; STRAND, T.C.; CHAVEL, P. **Adaptive Restoration of Images with Speckle.** IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, ASSP-35, n.03, p.373-383. USA:1987.
- KUPLICH, T.M. **Estudo da Complementaridade de Imagens Ópticas (Landsat/TM) e de Radar (ERS-1/SAR) na Discriminação Temática de Uso da Terra.** Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 1994.
- KUX, H.J.; SANTOS, J.R. dos; KEIL, M.; SCALES, D.R. **Evaluaton of SIR-C/X-SAR Data for Improvement of Geomorphology and Soil Maps in Acre State, Brazil.** In: XVIIIth Congress International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Anais..., v.31, part B7, p.394-397. Vienna: 1996.

- LEAL, E.M. **Análise da Qualidade Posicional em Bases Cartográficas Geradas em CAD.** Dissertação de Mestrado – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná (UFPR). Curitiba, 1998.
- LECKIE, D.G. **Synergism of Synthetic Aperture Radar and Visible/Infrared Data for Forest Type Discrimination.** PE&RS, v.56, n.09, p.1237-1246. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. USA:1990.
- LEE, J.S. **A Simple Speckle Smoothing Algorithm for Synthetic Aperture Radar Images.** IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, SMC-13, p.85-89. USA:1981.
- LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation.** John Wiley & Sons, Inc. New York: 1979.
- LOWMAN JR, P.D. HARRIS, J.; MASUOKA, P.M.; SINGHROY, V.H.; SLANEY, V.R. **Shuttle Imaging Radar (SIR-B) Investigations of the Canadian Shield: Initial Report.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-25, n.01, p. 55-66. USA:1987.
- LYBANON, M. **Processing for Spaceborne Synthetic Aperture Radar Imagery.** National Aeronautics and Space Administration (NASA). Washington D.C. : 1973.
- MERCER, J.B. **SAR Technologies for Topographic Mapping.** Photogrammetric Week'95 (1995: Alemanha). Anais..., p.117-126. Alemanha: 1995.
- MOORE, R.K. **Radar Fundamentals and Scatterometers.** Manual of Remote Sensing - Volume I. Second Edition. American Society of Photogrammetry, p. 369-427. USA: 1983.
- MOORE, R.K.; FUNG, A.K. **Radar Determination of Winds at Sea.** Proc. IEEE, v.67, n.11, p.1504-1521. USA:1979.
- MOORE, R.K. **Radar as a Remote Sensor.** Technical Report (61-7). USA: 1966.
- MOURA, J.M. de. **Projeto RADAM: Levantamento dos Recursos Naturais das Regiões Amazônica e Nordeste do Brasil, por Meio de Radar e Outros Sensores.** Revista Brasileira de Cartografia, v.03, n.06, p.01-06.1972.
- NASA. **Program Landsat 7.** <http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.html>. USA: 1997.
- NOVAK, K. **Rectification of Digital Imagery.** PE&RS, v.58, n.03, p.339-344. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. USA:1992.

- NOVO, E.M.L.M ; COSTA. M.P.F.C ; NOERNBERG, M.A. **Primeiro Relatório do Projeto Sarex-92 - Tucuruí**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos: 1995.
- RADARSAT International. **RADARSAT ILLUMINATED - Your Guide to Products and Services**. Canadá: 1995.
- RAO, P.V.N.; VIDYADHAR, M.S.R.R.; RAO, T.Ch.M.; VENKATARATNAM, L. **An Adaptive Filter for Speckle Suppression in Synthetic Aperture Radar Images**. International Journal of Remote Sensing, v.16, n.05, p.877-889. Taylor & Francis Inc. Inglaterra: 1995.
- RAO, V.R.; BRACH, E.J.; MACK, A.R. **Bidirectional Reflectance of Crops and the Soil Contribution**. Remote Sensing of Environment, v.08, n.02, p.115-125. American Elsevier Publishing Company, Inc. USA:1979.
- RICHARDS, A.J. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. Berlim: Springer-Verlag. USA: 1993.
- SALOMONSON, V.V.; JACKSON, T.J.; LUCAS, J.R.; MOORE, G.K.; RANGO, A.; SCHMUGGE, T.; SCHOLZ, D. **Water Resources Assessment**. Manual of Remote Sensing - Volume II. Second Edition. American Society of Photogrammetry, p.1497-1570. USA: 1983.
- SANT'ANNA, S.J.S.; MASCARENHAS, N.D.A. **Avaliação Comparativa da Perda de Resolução Espacial de Filtros Redutores de Ruído "Speckle"**. In: VII Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens (1994: Curitiba). Anais..., p.1-8. Curitiba: 1994.
- SANTOS, J.R.; KUX, H.J.H.; KEIL, M.; LACRUZ, M.S.P.; SCALES, D.R. **Interactive Analysis of Polarimetric SIR-C and Landsat-TM Data for the Spectral and Textural Characterization of the Land Cover in SW Amazonia, Brazil**. In: XVIIIth Congress International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (1996: Vienna). Anais..., v.31, part B7, p.209-213. Vienna: 1996.
- SCHRIEVER, J.R.; CONGALTON, R.G. **Evaluating Seasonal Variability as an Aid to Cover-Type Mapping from Landsat Thematic Mapper Data in the Northeast**. PE&RS, v.61, n.03, p.321-327. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. USA:1995.
- SIMONETT, D.S.; DAVIS, R.E. **Image Analysis-Active Microwave**. Manual of Remote Sensing - Volume I. Second Edition. American Society of Photogrammetry, p. 1125-1181. USA: 1983.
- SINGH, R.P. **Dielectric Properties and Microwave Remote Sensing**. In: Remote Sensing from Satellites. V.04, number II. Pergamon Press Inc. USA: 1984.

- SLATER, P.N.; DOYLE, F.J.; FRITZ, N.L.; WELCH, R. **Photographic Systems for Remote Sensing**. Manual of Remote Sensing - Volume I. Second Edition. American Society of Photogrammetry, p. 231-291. USA: 1983.
- SMITH, J.A. **Matter-Energy Interaction in the Optical Region**. In: Manual of Remote Sensing - Volume I. Second Edition. American Society of Photogrammetry, p.61-164. USA: 1983.
- STAR, J.; ESTES, J. **Geographic Information Systems – An Introduction**. Prentice Hall, Inc. USA: 1990.
- STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.E. **Characteristic Variations in the Reflectance of Surface Soils**. Soil Science Society of America Journal, n.45, p.1161-1165. USA: 1981.
- TAKEUCHI, S.; YOSHIMURA, M.; SUWANWERAKAMTORN, R. **Monitoring of Land Cover Conditions in Paddy Fields Using Multitemporal SAR Data**. In: XVIIIth Congress International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (1996: Vienna). Anais..., v.31, part B7, p.683-688. Vienna: 1996.
- THENKABAIL, P.S.; WARD, A.D.; LYON, J.G.; MERRY, C.J. **Thematic Mapper Vegetation Indices for Determining Soybean and Corn Growth Parameters**. PE&RS, v.60, n.04, p.437-442. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. USA: 1994.
- TODD, W.J. **Urban and Regional Land Use Change Detected by Using Landsat Data**. Journal Research U.S. Geol. Survey, v.05, n.05, p.529-534. USA: 1977.
- ULABY, F.T.; BATLIVALA, P.P.; BARE, J.E. **Crop Identification with L-Band Radar**. PE&RS, v.46, n.01, p.101-106. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. USA:1980.
- ULABY, F.T.; CIHLAR, J.; MOORE, R.K. **Active Microwave Measurement of Soil Water Content**. Remote Sensing of Environment, n.03, p.185-203. American Elsevier Publishing Company, Inc. USA: 1974.
- ULABY, F.T.; LI, R.Y.; SHANMUGAN, K.S. **Crop Classification Using Airborne Radar and Landsat Data**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-20, n.01, p. 42-51. USA:1982.
- ULABY, F.T.; MOORE, R.K.; FUNG, A.K. **Microwave Remote Sensing, Active and Passive. Fundamentals and Radiometry**. V.01. Addison-Wesley. Londres: 1981.
- ULABY, F.T.; MOORE, R.K.; FUNG, A.K. **Microwave Remote Sensing, Active and Passive. Radar Remote Sensing and Surface Scattering and Emission Theory**. V.02. Artech House Publishers. Londres: 1982.

WELCH, R.; EHLERS, M. **Merging Multiresolution SPOT HRV and Landsat TM Data**. PE&RS, vol. 53, nº 03, pp. 301-303. USA: 1987.

WOLFE, W.L.; ZISSIS, G.J. **The Infrared Handbook**. Office of Naval Research, Department of the Navy. USA: 1978.

YANASSE, C.C.F.; SANT'ANNA, S.J.S.; FRERY, A.C.; KUPLICH, T.M.; DUTRA, L.V. **Mapeamento de Etapas de Regeneración y su Relación con Datos de Radar**. In: VIIth Simposio Latinoamericano de Percepción Remota (1995: México). Anais..., p.542-553. México: 1995.

ZHUANG, X.; ENGEL, B.A.; BAUMGARDNER, M.F.; SWAIN, P.H. **Improving Classification of Crop Residues Using Digital Land Ownership Data and Landsat TM Imagery**. PE&RS, v.57, n.11, p.1487-1492. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. USA: 1991.