

## Estudo de Florestas de Pinus no Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul com imagens do sensor ASTER

Ana Paula Luz Wagner<sup>1</sup>

Jorge Ricardo Ducati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - CEPSRM

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Av. Bento Gonçalves, 9500 - Campus do Vale

Cx.P. 15044, CEP.91501-970 - Porto Alegre - RS - Brasil

Fone: (051) 3316-6221 - Fax: (051) 3316-6657

[ana.wagner@ufrgs.br](mailto:ana.wagner@ufrgs.br)

[ducati@if.ufrgs.br](mailto:ducati@if.ufrgs.br)

### ABSTRACT

This study has its focus on a region in South Brazil, known to have remnants of native forests and grass fields, where recently exotic forests have been introduced for massive industrial exploration. In this region, in North-East of Rio Grande do Sul State, Brazil, known as the Campos de Cima da Serra, the original *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze tree was largely removed, presently giving place to extensive tracts of *Pinus elliotti Engelm var elliottii* e *Pinus taeda* L. An ASTER image, along with data from field trips, was used to assess the usefulness of this new sensor to forest and other environmental studies. The methodology included the image processing, band grouping in three systems: VNIR, SWIR, VNIR+SWIR, field trips, and classification with Gaussian Maximum Likelihood algorithm. Regarding the use of ASTER data, we conclude that this sensor is highly suitable for land and environmental studies, due to its spatial and spectral features.

**Palavras-chave:** dados ASTER, sensoriamento remoto, mapeamento de florestas, classificação, ASTER data, remote sensing, mapping of forests, classification.

### 1. Introdução

O ciclo de exploração predatória das riquezas nativas no Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul iniciou-se no fim do século XIX com a ocupação destas áreas (Jasper, 1997). Espécies como a *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze ou pinheiro brasileiro, e madeiras nobres como cedro, canela, cambará, louro entre outras, tiveram forte retração e foram até mesmo consideradas como em via de extinção. Este ciclo teve esgotamento em meados da metade do século XX devidos em parte pelo exaurimento de espécies como a araucária, bem como, pelas exigências por produções de larga escala na indústria internacional.

Após a fase extrativista o setor industrial adaptou-se através da inserção de matas de algumas essências exóticas, principalmente espécies de pinus, eucalipto e acácia. O extremo leste dos Campos de Cima da Serra – objeto deste estudo – caracteriza-se pela presença dominante de espécies de *Pinus elliotti Engelm var elliottii* e *Pinus taeda* L., melhor adaptada para esta sub-região. Antes da substituição do bioma natural – campos e florestas – por espécies vegetais de alta lucratividade, como o *pinus elliottii* a região era caracterizada por exploração pastoril, com algum melhoramento através do cultivo de pasto.

A intensificação do número de florestas de pinus tem suscitado a atenção de pesquisadores em relação aos efeitos da presença destes maciços e das modificações de elementos componentes da estrutura física dos ecossistemas e da paisagem como um todo (Rempel, 2000). Neste contexto, é imprescindível estimar, com a melhor exatidão possível, a incidência destas atividades sobre estas áreas.

Com o advento da tecnologia de satelização, dadas suas características de observação da Terra, desde o fim do século passado e no limiar deste novo, surgiram inúmeras abordagens e soluções de manejo na preservação dos recursos naturais. A existência de dificuldades em mapeamento das espécies vegetais com respostas espectrais semelhantes e classes de alvos com pequena distribuição espacial, através das técnicas de sensoriamento remoto, motivou a utilização de um satélite multiespectral. Dentre a nova geração dos satélites de média resolução destaca-se o satélite Terra, o qual tem a bordo o sensor ASTER. (*Advanced Spaceborne Emission and Reflection Radiometer*). Este sensor gera imagens de média resolução espacial e espectral e tem uma expectativa superior para o mapeamento destes padrões de florestas.

Nesta região, que pertence ao também conhecido Planalto das Araucárias, o menor de todos os ecossistemas brasileiros em extensão (Bristot, 2001), observa-se que a biodiversidade original sofre processo acentuado de degradação e necessita ser estudada em mais detalhes, viabilizando a implantação de linhas de pesquisa que possibilitam a sua conservação.

## 2. Materiais e Métodos

Este trabalho insere-se numa proposta inovadora no sentido do instrumento de coleta de dados. Aqui a base das informações provenientes de imagens digitais vem do sensor ASTER. Nesta região de estudo a metodologia empregada tornou-se conhecida através do projeto Sindimadeira (Ducati et al., 1999), que propõe a utilização integrada de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográficas para o desenvolvimento de um Sistema de Zoneamento Florestal.

A área alvo localiza-se em parte dos municípios de Bom Jesus, Jaquirana, São José dos Ausentes, São Francisco de Paula e Cambará do Sul, tendo uma área mapeada de 1.542 km<sup>2</sup>, inserida entre as latitudes -28°41' e -29°15'S e longitudes -49°54' e -50°18' W.

A imagem ASTER L1B utilizada (Abrams, 2000) corresponde à órbita 4954 de 22 de novembro de 2000. Neste produto foram utilizadas suas nove primeiras bandas do espectro de reflexão, as quais pertencem aos subsistemas VNIR (Visível e Infravermelho Próximo) e SWIR (Infravermelho Médio), excluindo-se as bandas do espectro de emissão (TIR) e a banda 3B do subsistema VNIR (**Tabela 1**).

Dentre as etapas para extração de mapeamento das florestas, destaca-se: Recorte e Registro da imagem, Transformações Espectrais, Classificação Supervisionada e Exatidão de Mapeamento.

1ª Fase: Processamento e Pré-Classificação: aquisição, seleção e recorte da área a ser estudada. Análise visual dos padrões de interesse e classificação não-supervisionada Isodata. Localização das classes que são objeto de estudo através de instrumento GPS (*Global Positioning System*) em saídas em campo, utilizados também na definição de pontos de controle para refinamento da imagem ASTER L1B já georeferenciada. Conversão dos contadores digitais para valores de radiância com a aplicação do coeficiente de unidade de conversão, dados os valores de ganho e “*offset*” por banda.

2ª Fase: Classificação pelo Método de Máxima Verossimilhança: recortes finais da área, delimitando a quebra do declive dos Campos de Cima da Serra com a encosta. Agrupamento das 9 bandas em 3 grupos:

- grupo 1(VNIR): bandas 1,2,3N, resolução espacial de 15 metros.
- grupo 2 (SWIR): bandas 4,5,6,7,8,9, resolução espacial de 30 metros.
- grupo 3 (VNIR + SWIR): bandas 1,2,3N,4,5,6,7,8,9, resolução espacial de 30 metros. As três primeiras bandas foram redimensionadas pelo método “vizinho mais próximo”.

Subsist.	Banda	Alcance ( $\mu\text{m}$ )	Resol. Espac. (m)	Resol Radiom. (bits)
VNIR	1	0.52-0.60	15	8
	2	0.63 - 0.69		
	3N	0.78 - 0.86		
SWIR	4	1.60 - 1.70	30	8
	5	2.145 - 2.185		
	6	2.185 - 2.225		
	7	2.235 - 2.285		
	8	2.295 - 2.365		
	9	2.360 - 2.430		

**Tabela 1.** Características dos subsistemas ASTER utilizados.

Classificação pelo método de Máxima Verossimilhança Gaussiana (Richards, 1986) em cada grupo, de acordo com as amostras de treinamento escolhidas através de dados de campo. Para a classificação supervisionada foram definidas treze classes mais representativas da área, objetivando a melhor quantificação das áreas das florestas de pinus. O critério para separação de amostras de pinus consistiu apenas nas variações das suas respostas espectrais e a relação direta com informações das idades destas amostras obtidas em campo.

As classes mapeadas foram: i) pinus com manejo (área de floresta de pinus em que ocorre o desbaste das mudas a partir de seu 5° a 7° ano de vida); ii) pinus jovem (área de pinus com predominância da resposta espectral do solo, com pequenas nuances de brilho); iii) pinus adulto (florestas de pinus consolidadas com espécies adultas); iv) pinus velho (florestas de pinus com resposta espectral com baixo valor de brilho, mais escuras); v) eucalipto (florestas de eucalipto em pequenos maciços); vi) mata nativa (área ocupada por mata nativa, em qualquer estágio de desenvolvimento, com exceção das florestas com predomínio de araucárias); vii) área de plantio (área ocupada por qualquer tipo de cultivo); viii) solo exposto (área que estava com solo desnudo); ix) nuvem; x) sombra (áreas de sombra de nuvem e fora da imagem); xi) campo; xii) mata de araucária; xiii) área de queimada.

3ª Fase: Avaliação da Exatidão de Mapeamento: avaliação dos resultados dos três grupos de classificação através da exatidão de mapeamento, usando as técnicas de Matriz de Confusão, Acurácia Total (Ippoliti-Ramilo, 1999) e Índice Kappa (Congalton e Green, 1998; Ippoliti-Ramilo, 1999; Smits et al., 1999). O índice kappa foi calculado tomando novas áreas amostrais de todas as classes representativas. Análise estatística, por classe, erros de comissão e omissão. Além disso, foi realizada estimativa da área das florestas de pinus sobre áreas de campo e mata nativa (Ducati et al., 1999).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Classificação Supervisionada:

As classificações (**Figura 1 -a,b,c**) mostram nuances no resultado, as quais correspondem aos diferentes grupos de bandas dos subsistemas.

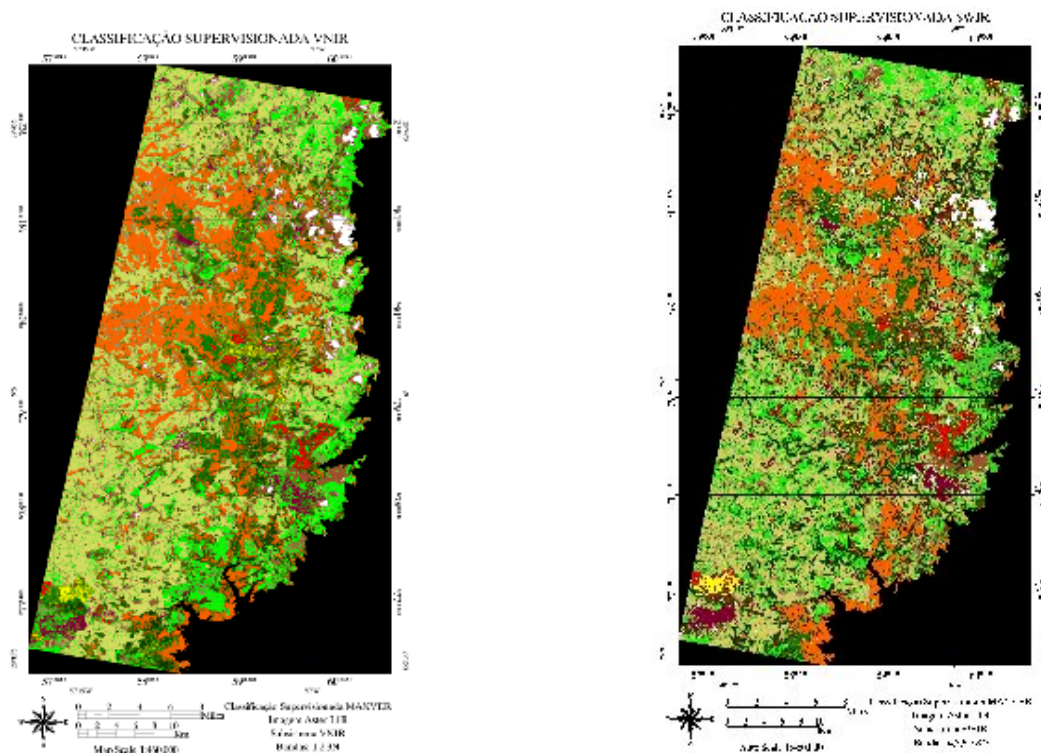
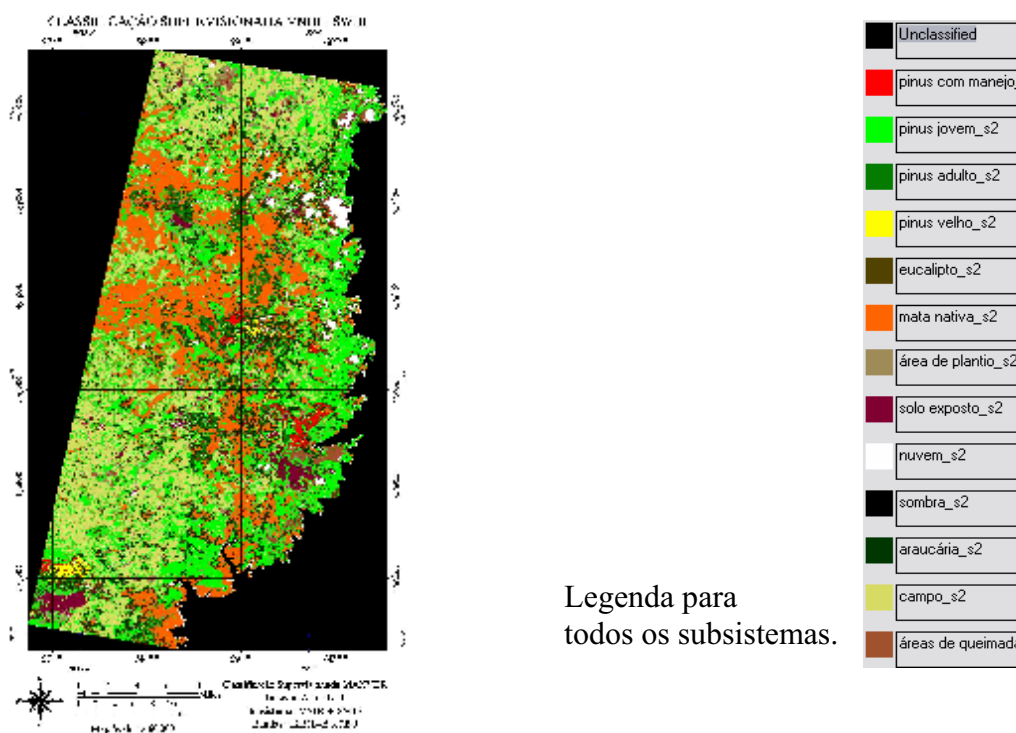


Figura 1a. Classificação com grupo VNIR. Figura 1b. Classificação com grupo SWIR.



Legenda para todos os subsistemas.

Figura 1a. Classificação com grupo VNIR+SWIR.

### 3.2. Avaliação da Exatidão de Mapeamento

Tomando-se, novamente, amostras das feições acima como verdade terrestre, retiradas de regiões não coincidentes com as amostras de treinamento do classificador, para cada grupo de subsistemas, calculou-se as matrizes de confusão. Na **Tabela 2** observamos o resultado da matriz de confusão para classes de pinus e os índices de Acurácia Geral e valor *Kappa* gerais (**Tabela 3**).

**Tabela 2.** *Diagonal principal da matriz de confusão.*  
**VALORES DA DIAGONAL PRINCIPAL DA MATRIZ DE CONFUSÃO NOS SUBSISTEMAS PARA CLASSES DE PINUS**

CLASSES	VNIR (%)	SWIR (%)	VNIR + SWIR (%)
Pinus com manejo	63,79	75,42	<b>80,18</b>
Pinus jovem	<b>87,93</b>	65,30	87,12
Pinus adulto	77,76	66,28	<b>79,54</b>
Pinus velho	<b>64,64</b>	39,00	57,89

A comparação dos valores obtidos acima mostra que o conjunto VNIR vence duas vezes junto com o conjunto (VNIR+SWIR). O subsistema SWIR não vence em nenhum dos casos. As classes “pinus” apresentaram diferentes resultados: 1) classes “pinus adulto” e “pinus velho” obtiveram melhores índices de confusão em subsistemas diferentes. 2) pinus de mesma idade, com ou sem “manejo”, são melhor classificados no mesmo subsistema. Isto indica que a classificação é feita a partir de informações espectrais dependentes da condição “idade”.

Em termos de qualidade de classificação associada aos valores da estatística *Kappa*, todos os grupos enquadram-se dentro de uma qualidade muito boa à excelente. As diferenças mais significativas aparecem nos valores de Acurácia Total, sendo o grupo VNIR superior a todos os demais (**Tabela 3**).

**Tabela 3.** *Índices de qualidade da classificação.*

Subsistema	Acurácia Total	Índice Kappa
VNIR	<b>90,8851%</b>	0,8129
SWIR	79,8868%	0,7414
VNIR+SWIR	87,1667%	<b>0,8180</b>

O subsistema SWIR apresentou os maiores percentuais de erros de Omissão e Comissão, em média, enquanto que os menores valores ocorreram no maior grupo de bandas correspondente ao subsistema VNIR+SWIR. (**Tabela 4**)

**Tabela 4.** *Média dos erros de Omissão e Comissão das classes.*

Subsistema	Erro de Omissão	Erro de Comissão
VNIR	21,43%	28,67%
SWIR	<b>29,17%</b>	<b>35,86%</b>
VNIR+SWIR	19,54%	25,23%

A partir dos dados classificados fez-se a estimativa de área cultivada de pinus sobre a área mapeada. Esta estimativa permite avaliar o percentual de invasão sobre a região de estudo (**Tabela 8**), e neste caso, estão apresentadas as áreas de todas as classe com exceção da classe “sombra” já que esta não mapeou corretamente áreas de sombra de nuvem.

**Tabela 8.** Comparação entre as distribuições percentuais das classes em cada subsistema.

<b>Distribuição Percentual das Classes sobre a Totalidade da Área da Imagem com Território Área Mapeada: 1543,63km<sup>2</sup></b>			
<b>CLASSES</b>	<b>VNIR (%)</b>	<b>SWIR (%)</b>	<b>VNIR + SWIR (%)</b>
<b>Pinus com manejo</b>	1,151	2,197	<b>1,615</b>
<b>Pinus jovem</b>	<b>14,664</b>	16,679	27,887
<b>Pinus adulto</b>	5,071	3,850	<b>3,081</b>
<b>Pinus velho</b>	<b>1,398</b>	1,096	0,850
Eucalipto	4,209	8,027	<b>1,181</b>
Mata nativa	18,765	18,539	<b>20,819</b>
Área de plantio	<b>5,555</b>	7,780	3,247
Solo exposto	5,229	3,201	<b>3,835</b>
Nuvem	<b>1,344</b>	1,763	2,208
Mata de Araucária	8,581	11,884	<b>10,104</b>
Campo	<b>32,115</b>	23,673	23,257
Queimada	<b>1,918</b>	1,307	1,876
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Considerando na avaliação estatística acima, dados pelas Acurácias Totais, Índice *Kappa*, bem como erros de Comissão e Omissão, vemos que a melhor classificação para mapeamento de florestas nativas e exótica pertence ao subsistema VNIR+SWIR, com exceção das classes “pinus jovem” e “pinus velho”.

Somando os melhores resultados dos grupos de classes de essências exóticas de pinus, em todos os estágios, em termos percentuais, se observa que esta já representa 20,76% da extensão total mapeada. Isto indica a forte tendência da região para produção em larga escala de florestas para indústria de madeira e resinas.

Uma estimativa da qualidade do presente trabalho pode ser feita se compararmos nossos resultados com estudos realizados na mesma região, utilizando, seja outras técnicas, seja outros sensores. Neste aspecto, a literatura não é muito abundante, e uma comparação quantitativa pode ser feita com o trabalho realizado por Ducati *et al.* 1999.

Este estudo utilizou imagens Landsat dos anos de 1995 e 1997. A comparação é dificultada pela diferença entre as áreas cobertas pelos dois estudos. Dado que a superfície do município de Cambará do Sul, segundo o IBGE, é de 115.800 ha, nosso trabalho cobriu 92,50% desta área, ou seja, 107.110,04 ha, ficando excluídas algumas regiões não cobertas pela imagem. A região de Cambará coberta pelo Projeto Sindimadeira totaliza 127.446,20 ha, ou seja, aproximadamente 20.000 hectares a mais. Tendo em mente esta diferença, mostramos na tabela 25 alguns indicadores comparativos de seis classes, incluindo para o presente estudo resultados para os subsistemas VNIR e (VNIR + SWIR), estando grafado, para cada classe, o subsistema de melhor desempenho segundo os critérios mencionados anteriormente (**Tabela 9**), sendo em itálico o subsistema VNIR e sublinhado o subsistema VNIR + SWIR.

Para a classe “pinus”, o resultado pelo subsistema VNIR indica um incremento considerável nas florestas desta espécie, o que é esperado, dado o espaço de tempo transcorrido entre os dois estudos.

O presente trabalho introduziu algumas novas classes, notadamente “pinus jovem” e “áreas de cultivo”, inexistentes em Ducati *et al.*, 1999. A assinatura espectral destas classes é semelhante à da classe “campo”, e se somarmos as superfícies em hectares de (com melhores desempenhos) “campo: 30.809,56 ha” + “pinus jovem: 16.090,86 ha” + “áreas de cultivo: 5.362,72 ha” teremos um valor de 52.262,61 ha, próximo à área da classe “campo” em Ducati *et al.* (1999), ressalvada a diferença de 20.000 ha já mencionada, e dado ainda que as



implantações de pinus jovem, com idades inferiores a dois anos, crescem sobre o próprio campo, estando misturadas ou sobrepostas às gramíneas nativas.

**Tabela 9.** Comparação das classes de interesse com resultados anteriores (Ducati *et al* 1999).

<b>Município de Cambará do Sul (em hectares)</b>						
	<b>Pinus</b>	<b>Eucalipto</b>	<b>Araucária</b>	<b>Mata Nativa + Ciliar</b>	<b>Campo</b>	<b>Solo Exposto</b>
<b>Ducati et al 1999</b>	8.775,9	674,9	14.827,3	33.916,1	64.631,1	4.027,3
<b>Este Trabalho</b>	<u>10.075,0</u>	<u>1.430,1</u>	<u>11.814,5</u>	<u>24.693,1</u>	<u>30.809,9</u>	<u>4.421,7</u>

O que se observa claramente é um acréscimo na quantidade de florestas de pinus, há provavelmente um fator de incerteza com respeito ao pinus jovem, como se pode constatar examinando a **Figura 1**(a,b,c), onde há confusão com outras classes, provavelmente campo, que é onde o pinus é em geral plantado. De qualquer forma, o campo apresenta forte retração, o qual provavelmente ocupado por áreas de pinus jovem, cujo mapeamento não foi executado em Ducati *et al* 1999.

#### 4. Conclusões

Na área de estudo as ações antrópicas têm avançado tanto quanto em todo o Estado, alcançando desde as porções mais altas até as zonas de terraços dos rios, de forma que estas plantações de florestas se estendem intensivamente.

Novas áreas de cultivo sobre o campo, nesta classificação, indicadas como “pinus jovem” estão presentes em quase toda área mapeada, seja em pequenas ou grandes dimensões, ainda dificilmente classificada devido à sua resposta espectral confundir-se com solo exposto e áreas de campo.

Através da análise dos dados levantados em campo e interpretações visuais da imagem pode-se verificar que a área de estudo apresenta diversidade expressiva de idades das florestas de pinus e diferentes manejos, as quais foram detalhadamente descritas no momento da definição das classes.

A quantificação e mapeamento tiveram resultados diferenciados nos grupos classificados, acentuado-se em algumas classes amostrais. De modo geral, a presença de espécies de pinus jovem, consolidado (adulto), velho (resposta espectral com menor valor de brilho) manejado (com desbaste e corte) ocorreram em cerca de 20,76% da área estudada. Isto implica um novo perfil das características sociais, econômicas e ambientais dos Campos de Cima da Serra.

Como resultado final deste trabalho, pode-se concluir que técnicas de Sensoriamento Remoto são extremamente úteis para análise ambiental, especificamente, para constatação mais rápida e eficaz no mapeamento de florestas. Estes resultados são somados ao desempenho excepcional do sensor ASTER, principalmente dos subsistemas VNIR + SWIR.

#### BIBLIOGRAFIA

Abrams, M. **ASTER User Handbook**. V.1, JPL, NASA, 2000.

Bristot, A. Planalto das Araucárias – um sistema em perigo de extinção? **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável. Revista**. Porto alegre. v. 2, n. 4, outubro/dezembro 2001.

Congalton, R. G.; Green, K. **Assesing the accuracy of remotely sensed data: principles and pratics**. New York: 1998. 137 p.

Ducati, J.R., et al.. **Desenvolvimento de um sistema de zoneamento florestal aplicado ao manejo e planejamento florestal, através da utilização integrada de tecnologia de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica.** Relatório do projeto CEPSSRM - UFRGS - Sindimadeira, 1999. 56p.

Ipolliti-Ramilo, G. A. **Imagens TM/Landsat -5 da época de pré-plantio para previsão da área de culturas de verão.** São José dos Campos. 183 p. (INPE-7116-TDI/668). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.

Jasper, A. 1997. Determinação da Biodiversidade da Encosta do Planalto Meridional, na Região do Vale do Taquari – RS – BR- Lajeado, UNIVATES (**Projeto de Pesquisa**).

Oliveira, Y., et al.. The relationship between LANDSAT TM reflectance and structural variables for a Brazilian Pine plantation. IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais...** 2000.

Rempel, C. **Aplicação do sensoriamento remoto para determinação da evolução da mata nativa da Bacia Hidrográfica do rio Forqueta - RS,** entre 1985 e 1995. Dissertação de Mestrado. CEPSSRM - UFRGS - 2000. 70p.

Richards, J. A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction.** Berlin: Springer-Verlang, 1986. 281 p.

Smits, P. C.; Dellepiane, S. G.; Schowengert, R. A. Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and a proposal for a cost based approach. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n.8, p. 1461-86, 1999.

Wagner, A. P. L. **Aplicação de Imagens Aster para Estudos Territoriais no Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul.** Dissertação de Mestrado. CEPSSRM- UFRGS, 2004.