

## Índices Espectrais de Vegetação Aplicados no Parque Nacional do Itatiaia: Potenciais na Diferenciação Estrutural das Formações Florestais

Monika Richter<sup>1,2</sup>  
Marco Antonio Barreti<sup>2</sup>  
Carla Bernadete Madureira Cruz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ/DES-IM  
Moquetá, Nova Iguaçu, RJ  
mrichter84@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ/IGEO  
Avenida Brigadeiro Trompowsky CCMN – Bloco I - sala 12 – Ilha do Fundão - RJ  
carlamad@gmail.com

**Abstract.** One of the fundamental issues about conservation biology is the definition of criterias for conservation activities. The creation and implementation of natural protected areas has been considered strategic for biodiversity conservation *in situ*. Therefore, the establishment of proceedings that allow an integrated view of the different elements such as vegetation cover is fundamental. The present study analyses the use of remote sensing products as a tool for environmental management of protected areas, emphasizing the use of vegetation spectral index to indicate forest integrity. The case study was conducted at the Itatiaia National Park, because it was the first Park created in Brazil, shows considerable ecosystem diversity and makes part of the ecological corridor of Serra do Mar/Mantiqueira. The potential of the vegetation index was checked, concluding that the MVI5 was the most appropriated index in detecting forest structural parameters, such as total DBH (diameter breast height). It also accounts for an easy and rapid follow up of the vegetation cover state, showing its importance as it yields results for places quite difficult to reach. The results allow the analysis of the conservation state of the park and indirectly its principal threats, considering the adopted scale, 1:50.000.

**Palavras-chave:** Vegetation Spectral Index, Itatiaia National Park, Tropical Forest. Índice Espectral de Vegetação, Floresta Tropical, Parque Nacional do Itatiaia.

### 1. Introdução

O Parque Nacional do Itatiaia (PNI) apresenta dois ecossistemas principais bastante distintos: os campos de altitude que ocupam cerca de 4.492ha e as florestas densas, com 16.989ha. Estas representam cerca de 61% da área total (RICHTER, 2004), e possuem uma enormidade de variações em função: (i) da altitude (Floresta Baixo Montana, Montana e Alto Montana, segundo classificação de Rizzini, adotada pelo Plano de Manejo); (ii) da vertente, sendo diferenciadas por BRADE (1956) pelo fato de na vertente norte ocorrer espontaneamente as espécies *Podocarpus lambertii*, geralmente associado aos cursos d'água, e a *Araucaria angustifolia* (formação também classificada como ombrófila mista); e (iii) da sazonalidade, sendo o PNI considerado por alguns pesquisadores como área de transição entre as florestas ombrófila densa e a estacional semidecidual.

Em escala local, verificam-se além das diferenças florísticas, diferenças em termos estruturais, como altura do dossel, densidade de indivíduos, diâmetros das árvores, dentre outros parâmetros. Segundo a bibliografia, em estudos de diversidade beta, considerando diferentes habitats, as montanhas são os locais que apresentam os maiores índices por conta dessas variações (LAPIN e BARNES, 1995). Esses estudos na maioria das vezes são realizados utilizando-se a fitossociologia, o que demanda enorme esforço de campo além de envolver equipe de especialistas nos diversos táxons. São estudos de extrema importância, uma vez que pouco se sabe a respeito das espécies existentes. Porém, considerando-se a necessidade de monitoramentos periódicos quanto à integridade dessas florestas, buscou-se analisar métodos e técnicas que pudessem oferecer suporte as ações de manejo e gestão da UC sem a necessidade de exaustivos levantamentos de campo.

Desta forma, o uso de técnicas e produtos de sensoriamento remoto pode oferecer um meio prático de medição em escala de paisagem. Uma possibilidade são os índices espectrais de vegetação, que surgiram após investigações desenvolvidas a fim de quantificar e qualificar o dossel da vegetação a partir de dados espectrais. O principal objetivo é diminuir o volume de dados a serem processados, explorando o potencial do contraste entre algumas bandas (PERRY e LAUTENSCHLAGER, 1984). Os índices de vegetação, mais comumente utilizados em estudos de ecossistemas florestais são o NDVI e o SR (*Simple Ratio*) – razão simples - (FASSNACHT *et al*, 1997; AMARAL *et al*, 2000; Bawa *et al*, 2002) e o SAVI (MACIEL *et al*, 2003). O que se observa é que a performance deles em relação às características biofísicas é variada, tendo sido pesquisado por FOODY *et al* (2003) a questão da transferência de resultados. Estes autores concluíram, em estudo realizado com florestas tropicais da Malásia, Brasil e Tailândia, que resultados satisfatórios obtidos em uma determinada área não foram bem sucedidos em outras, ressaltando-se assim, a importância de estudos locais neste sentido.

Algumas pesquisas sugerem a inclusão de bandas do infravermelho médio para se obter melhor performance dos índices (NEMANI *et al*, 1993 *apud* FASSNACHT *et al*, 1997). Essa possibilidade foi pesquisada por PONZONI e SOUZA (1998), que propuseram dois índices (MVI5 e MVI7), adotando apenas bandas do infravermelho, concluindo que os mesmos são sensíveis à detecção de retirada de volume de madeira em florestas plantadas. FREITAS (2004), obteve com o MVI5 correlações substanciais e altas com parâmetros estruturais da vegetação, ao contrário do NDVI. O mesmo se observou em RICHTER (2004) em relação à diferenciação dos ecossistemas existentes no PNI, identificando ser o MVI7 o mais adequado para a área. Assim sendo, o presente trabalho de pesquisa buscou avaliar a correlação dos índices espectrais de vegetação com dados coletados em campo de estrutura florestal.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1 Processamento da Imagem

Todo o PDI foi realizado com imagem do LANDSAT 7 ETM<sup>+</sup> em formato Geotiff, da órbita 218, ponto 075 datada de 26 de junho de 2000. Após o recorte da imagem e a correção geométrica procedeu-se à correção atmosférica pelo método Chavez (1988) e à conversão dos dados digitais (níveis de cinza/NC) em valores físicos (reflectância). Esses processamentos foram feitos no sistema SPRING/INPE por meio de programação em linguagem legal.

A última etapa do PDI compreendeu a aplicação dos índices de vegetação realizada no software IDRISI. Esse programa, além de fácil manuseio, permite o cálculo de alguns parâmetros estatísticos. Todos os índices selecionados foram processados utilizando as bandas com e sem correção atmosférica (CA), e todas convertidas para reflectância (seja aparente nas sem CA ou de superfície com CA).

Os índices utilizados foram o MVI5 e o 7 com e sem correção atmosférica (CA), já que foram os que melhor diferenciaram os ecossistemas do PNI (RICHTER, *op cit*), apesar do MVI5 ter apresentado valores mais baixos, entretanto foi o de melhor performance nos trabalhos de FREITAS (2004) e PONZONI e SOUZA (1998). O NDVI também foi incluído na análise por ser o mais difundido.

### 2.2 Levantamentos de Campo

#### a) Seleção das áreas

Inicialmente traçou-se um entorno (*buffer*) do sistema de trilhas do PNI de 150m, de forma a facilitar o acesso as áreas a serem amostradas em campo. Para se garantir a aleatoriedade da amostragem, 500 pontos foram distribuídos pela área de estudo, utilizando-se o programa IDRISI. Posteriormente, esses pontos foram cruzados com a classe floresta densa

e o *buffer* traçado, obtendo-se somente os que poderiam ser utilizados. Como o objetivo era avaliar a capacidade dos índices em detectar diferenças estruturais das florestas, as amostras foram selecionadas considerando-se as sub-formações dentro da floresta densa (Alto-montana, Montana, Sub-montana, Ombrofila mista, Capões de altitude e floresta em estágio médio de regeneração), compreendendo três amostras para cada uma, totalizando 18 áreas amostradas (fig 01).

#### **b) Levantamentos de Dados de Estrutura Florestal**

Em cada área visitada foram demarcadas três parcelas de 400m<sup>2</sup> (20x20m), totalizando 1.200m<sup>2</sup>. No interior das parcelas todos os indivíduos acima de 30 cm de PAP (ou 9.55 cm de DAP) foram quantificados e medidos. O critério de inclusão de aproximadamente 10cm deve-se pelo fato de indivíduos menores pouco representarem o dossel (REJAN-GUEDES, 1998), ou seja, um critério de menor DAP aumentaria desnecessariamente o esforço de campo. Para a obtenção da altura dos indivíduos, utilizou-se o instrumento Haga que fornece a leitura diretamente. No centro de cada parcela foram coletadas as coordenadas com GPS portátil.

#### **c) Extração dos Valores dos Índices.**

Uma vez que cada ponto representa um pixel de 25x25m, poderia ser apenas utilizado o valor do índice que corresponde ao pixel/parcela. Porém considerou-se um erro médio de posicionamento do GPS de um pixel para cada lado, sendo então gerado um *buffer* de 25m no entorno do ponto/parcela. Em seguida os valores foram extraídos para cada conjunto de pixel (ponto parcela+*buffer*) e calculada a média desses pontos.

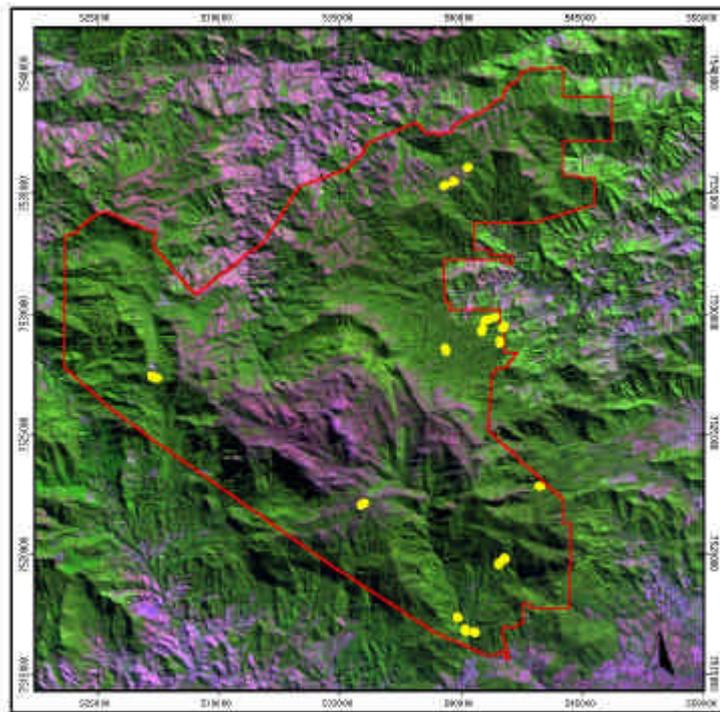


Figura 01) Imagem do PNI com a distribuição espacial das áreas levantadas em campo

### **2.3 Organização e Processamento dos Dados Brutos**

Todos os dados obtidos, espectrais e de campo, foram organizados em planilhas excel, sendo posteriormente realizados os cálculos necessários por área: (a) número total de indivíduos; (c) DAP (diâmetro a altura do peito) a partir do PAP (perímetro a altura do peito), sendo calculado o DAP médio e o total; (d) AB (área basal) total a partir do DAP; (e) altura

média. Por fim, os dados de campo, bem como os valores médios dos índices foram convertidos para  $\log_{10}$ , a fim de normalizá-los.

## 2.4 Análise Estatística dos Dados

**Estatística descritiva** - Os parâmetros calculados foram: média, mediana, amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação (medidas de dispersão), bem como a curtose.

**Correlações** – a empregada foi a de Pearson, mais utilizada em estatística paramétrica. Seu objetivo é medir o grau de relacionamento linear entre duas variáveis, sendo representada por  $r$  e com valores entre  $-1$  e  $+1$ , indicando que quanto mais próximo dos números extremos mais forte é essa relação. A correlação é interpretada, além da direção (positiva ou negativa), quanto ao nível de significância, quando se avalia apresentar ou não consistência a um determinado nível de certeza (99%, 95% ou 90%). Todos esses cálculos estatísticos foram feitos com o apoio do programa *Statistica for Windows*.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Estatística descritiva

#### 3.1.1 Estrutura Florestal

De acordo com a tabela 01, observa-se que as diferenças entre média e mediana foram pequenas, havendo um afastamento maior na AB seguido pelo DAP total. A amplitude fornece uma idéia do afastamento entre os valores máximo e mínimo, porém nesse caso não deu uma noção da dispersão da distribuição, sendo então calculado o desvio padrão que possibilita chegar ao coeficiente de variação, um indicador do grau de dispersão em relação à média. Os valores foram altos, variando aproximadamente entre 20 a 30%, porém segundo OLIVEIRA (2002), isso já era esperado tendo em vista serem os CV geralmente maiores em florestas maduras.

Tabela 01) Parâmetros estatísticos das variáveis de estrutura florestal

Variáveis	Média	Mediana	Amplitude	Desv. Padrão	Kurtosis	Coef. Var.
DAP Total (cm)	2310.74	2126.90	1627.86	485.95	-0.542	21.03
DAP Méd.(cm)	20.35	19.37	16.86	4.23	2.832	20.77
AB (m <sup>2</sup> /ha)	40.46	37.18	45.24	12.18	-0.040	30.11
H Média (m)	9.97	10.19	9.40	2.32	0.448	23.27
Densid. (Ind/ha)	985.61	974.96	949.96	283.05	-0.680	28.72

Já a densidade média de indivíduos por hectare está acima da encontrada por REJAN-GUEDES (1998) no PNI, entretanto seu estudo foi realizado apenas na floresta Baixo Montana, onde geralmente o número de árvores é menor comparativamente a formação Alto Montana. Segundo a autora, a área basal calculada foi de 29.22m<sup>2</sup>/ha, também menor do que a observada nesta pesquisa. Por outro lado o valor obtido por BOHRER (2000) em Macaé de Cima, para densidade e área basal foi respectivamente 1.108 ind/ha e 43m<sup>2</sup>/ha, ambos um pouco maiores que os valores obtidos (tabela 01). Esse autor também utilizou parcelas de 20x20m, distribuídas entre as altitudes de 950 a 1520m.

A curtose calculada (em todos os casos  $\neq$  de zero) apontou a necessidade de normalização dos dados. O valor que se destacou foi para DAPm.

Quanto ao parâmetro DAPtotal, apesar de não ser geralmente utilizado em estudos quantitativos de vegetação, foi incluído na análise, por ser a única variável que apresenta o somatório de todos os seus valores medidos diretamente em campo. Em geral utiliza-se a área

basal e a densidade de indivíduos, bem como o DAP médio e a altura média na descrição das formações florestais. Porém, deve-se considerar que as variáveis em análise foram correlacionadas com dados espectrais, daí a importância em se incluir o somatório das variáveis originais e não somente as calculadas a partir delas.

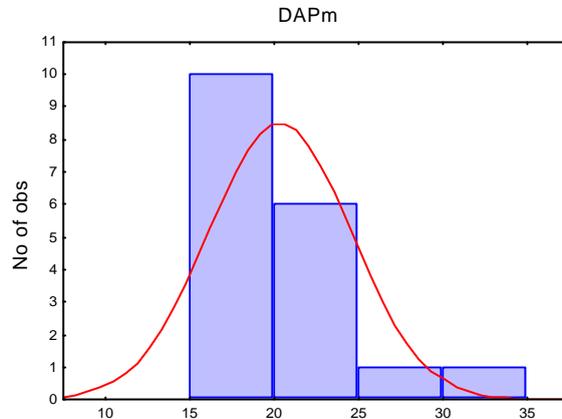


Gráfico 01) Histograma da Variável DAP médio

### 3.1.2 Índices de Vegetação

Segundo a Tabela 02, os valores de média e mediana apresentaram reduzida diferença, assim como as curtoses diferentes de zero indicam a necessidade de normalização dos dados para posterior análise de correlação.

Dentre os coeficientes de variação observados, o do MVI5 reflec, seguido do NDVI reflec. foram os maiores, indicando apresentar as mais altas variações relativas em torno de suas médias.

Tabela 02) Parâmetros estatísticos dos índices espectrais de vegetação pesquisados

Índices	Média	Mediana	Amplitude	Desv. Padrão	Kurtosis	Coef. Var.
MVI7-Chz	0.662	0.669	0.114	0.026	1.738	3.976
MVI7-Reflec	0.697	0.696	0.101	0.023	1.550	3.328
NDVI-Chz	0.809	0.818	0.098	0.028	3.115	3.469
NDVI-Reflec	0.681	0.700	0.233	0.066	3.677	9.729
MVI5-Chz	0.344	0.341	0.119	0.027	1.624	7.939
MVI5-Reflec	0.375	0.363	0.157	0.038	0.882	10.027

## 3.2 Análise de Correlação

No sentido de normalizar os dados, estes foram transformados através de função logaritma (ZAR, 1996), para então se calcular as correlações de Pearson, ao nível de 95% de significância.

### 3.2.1 Estrutura Florestal

Os resultados apontam uma alta correlação entre densidade de indivíduos por hectare e DAP total, nesse caso positiva, indicando que quanto maior o número de indivíduos, maior o DAP total, e entre densidade e DAP médio, agora negativa, ou seja, quanto maior o número de árvores, menor o DAP médio da formação (tabela 03). Já a área basal, parâmetro indicador de grau de maturidade de florestas, apresentou correlações substanciais com DAP total e um

pouco maior com DAP médio. A H média se relacionou com o DAP médio de acordo com a tabela de Pearson, entretanto apresentou baixa correlação.

Tabela 03) Matriz de correlação entre as variáveis de estrutura florestal

	DAPt	DAPm	AB	Hm	Dens
DAPt	1.000				
DAPm	-0.273	1.000			
AB	0.515	0.649	1.000		
Hm	-0.086	0.488	0.358	1.000	
Dens	0.814	-0.781	-0.057	-0.350	1.000

### 3.2.2 Índices de Vegetação

Analisando-se a matriz de correlação entre os índices (Tabela 04), verifica-se que os relacionamentos que se destacaram foram entre o MVI5 reflec e o NDVI com e sem correção atmosférica, ambas negativas. Cabe ressaltar que essas observações referem-se apenas a floresta densa, e provavelmente essa forte correlação negativa ocorre por influência da sombra. Apesar de parecer redundante, esta análise foi realizada, por ser indicação de alguns pesquisadores, que se utilize valores de mais de um índice de vegetação em análises de regressão múltipla. Desta forma, os resultados podem servir para nortear pesquisas mais avançadas.

Tabela 04) Matriz de correlação entre os índices de vegetação

	MVI7chz	MVI7reflec	NDVIchz	NDVIreflec	MVI5chz	MVI5reflec
MVI7chz	1.000					
MVI7reflec	0.744	1.000				
NDVIchz	0.539	0.051	1.000			
NDVIreflec	0.529	0.016	0.974	1.000		
MVI5chz	0.200	0.535	-0.457	-0.493	1.000	
MVI5reflec	-0.135	0.291	-0.731	-0.775	0.902	1.000

### 3.3 Correlação entre Dados de Estrutura Florestal e Índices Espectrais de Vegetação

Os resultados obtidos indicam que o DAP médio e a altura média não se correlacionam com os índices de vegetação aplicados. No entanto, o MVI5 com e sem correção atmosférica (CA), apresentou correlação satisfatória com o DAP total e densidade de indivíduos arbóreos, destacando-se a forte correlação entre o MVI5 reflec e o DAP total (Tabela 05).

Tabela 05) Matriz de correlação entre dados estruturais e espectrais

	DAPt	DAPm	AB	Hm	Dens
MVI7chz	-0.323	-0.159	-0.492	-0.094	-0.106
MVI7reflec	0.102	-0.335	-0.244	-0.053	0.272
NDVIchz	<b>-0.612</b>	-0.033	<b>-0.550</b>	-0.175	-0.367
NDVIreflec	<b>-0.665</b>	-0.062	<b>-0.622</b>	-0.253	-0.383
MVI5chz	<b>0.637</b>	-0.293	0.159	0.023	<b>0.585</b>
MVI5reflec	<b>0.790</b>	-0.247	0.358	0.063	<b>0.653</b>

Quanto ao MVI7, que segundo RICHTER (2004), apresentou-se como mais indicado para a diferenciação dos ecossistemas do PNI, nesta pesquisa não mostrou relação com nenhuma das variáveis analisadas.

Já o NDVI demonstra correlação negativa com DAP total e área basal. Segundo BERNARDES (1998), a medida que a floresta se adensa a proporção vegetação se reduz e aumenta a proporção sombra, encontrando para florestas primárias uma proporção de 50% de cada componente, o que pode explicar a forte correlação negativa entre a AB e o SAVI, observada em seu estudo. O mesmo demonstrou MACIEL *et al* (2003). Dessa forma, como o NDVI utiliza as mesmas bandas que o SAVI, essa pode ser a razão para o fato de diversos estudos afirmarem que o NDVI satura conforme aumenta o porte florestal. O que parece ocorrer é que na medida que a complexidade do dossel aumenta, aumenta também o sombreamento interno na floresta abaixando os valores do NDVI e do SAVI. Esse aumento do sombreamento aparentemente não influencia da mesma maneira o MVI5, daí ser mais indicado para florestas primárias, ou em estágios médio a avançado de regeneração.

Finalizando, testes foram efetuados utilizando os recursos de linearização, no sentido de investigar a possibilidade de uma melhor relação entre os dados que poderia não ser linear, entretanto não foi observada diferença entre os resultados obtidos.

#### 4. Conclusões

Os resultados obtidos ressaltam o potencial de utilização dos índices espectrais de vegetação para a indicação de parâmetros estruturais florestais, destacando-se o MVI5 que apresentou forte correlação positiva com o Diâmetro a Altura do Peito (DAP) total ( $r= 0.790$ ); e correlação substancial com a densidade de indivíduos arbóreos.

O NDVI, mais difundido e utilizado dentre os índices, demonstrou correlação substancial inversa com a área basal e com o DAPtotal, provavelmente por influência da sombra ocasionada pela estrutura irregular do dossel e estratificação interna da floresta que aumenta com a maturidade da formação.

As correlações mais altas entre os dados de estrutura florestal foram: i) entre DAP total e densidade com  $r= 0,814$ , e ii) DAP médio e densidade com  $r =-0.781$ .

Dentre os índices avaliados, a mais forte correlação foi entre o MVI5 e o NDVI, ambos sem correção atmosférica, sendo  $r=-0.775$ .

#### Agradecimentos

A WWF através do programa Natureza e Sociedade.

#### Bibliografia

AMARAL, S.; SOARES, J. V.; ALVES, D. S.(1997) Relações entre índice de área foliar (LAI), área basal e índice de vegetação (NDVI) em relação a diferentes estágios de crescimento secundário na Floresta Amazonica em Rondônia. *Revista Selper*, v. 13, p. 35-39.

BERNARDES, S.. (1998) Índice de vegetação e valores de proporção na caracterização e floresta tropical e primária e estágios sucessionais na área de influência da Floresta Nacional do Tapajós – Estado do Pará. São José dos Campos. 97 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE.

BOHRER, C. B.A. (2000) Classificação e Ordenação da Floresta Ombrófila Densa Montana de Macaé de Cima (RJ) em Relação ao Ambiente Físico. In: Anais do Sexto Congresso Internacional sobre Florestas. Bahia. 60 – 62p.

BRADE, A.C. (1956) **A flora do Parque Nacional do Itatiaia**. Boletim do Parque Nacional do Itatiaia, **5**, 1-114.

CATHARINO, E.L.M. (1989). Estudos Fisionômicos-Florísticos e Fitossociológicos em Matas Residuais Secundárias no Município de Piracicaba. Dissertação de Mestrado. Instituto de Biologia, UNICAMP. 181p.

CHAVEZ, JR., P.S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment** 24: 459-479.

FASSNACHT, K.S., GOWER, S.T., MacKENZIE, M.D.; Nordheim, E. V. & LILLESAND, T. M. (1997). Estimating the Leaf Area Index of North Central Wisconsin Forest Using Landsat Thematic Mapper. In. **Remote Sensing of Environment**, 61. 229-245p.

FOODY, G.M., DOREEN S. B. & CUTLER, M.E.J., (2003), Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. In. **Remote Sensing of Environment**, 85, 463-474.

FREITAS, S. (2004) **Modelagem dos Padrões de Fragmentação Florestal na Bacia do Rio Guapiaçu/RJ**. Tese Doutorado, 365p. UFRJ/IGEO/PPGG. Orientadora: Carla Bernadete Madureira Cruz

LAPIN, M. AND BARNES, B.V. (1995) Using Landscape Ecosystema Approach to Assess Species and Ecosystem Diversity. In **Conservation Biology**, V. 9 N<sup>o</sup> 5, p 1148-1158.

MACIEL, M.N.M.; LINGNAU, C.; SANQUETTA, C. R. & NETTO, S. P. (2003). Relações entre Variáveis Digitais de Imagem Landsat e Variáveis Biométricas de Uma Floresta Primária na Amazônia Oriental. In. **Anais do XI SBSR**, Belo Horizonte, 2791 – 2798p.

OLIVEIRA, R. R. (2002) Ação antrópica e resultantes sobre a estrutura e composição da Mata Atlântica na Ilha Grande, RJ. **Rodriguésia**, v. 53, p. 33-58.

PERRY C.R. & LAUTENSCHLAGER, L.F. (1984). Functional equivalence of spectral vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, 14 169-182.

REJAN-GUEDES, B. (1998). Composição Estrutura e Similaridade Florística de Dossel em Seis Unidades Fisionômicas de Mata Atlântica no Rio de Janeiro. Tese Doutorado. Instituto de Biociências, USP. Orientador: Waldir Mantovani.

RICHTER, M. (2004). **Geotecnologias como suporte ao planejamento e gestão de unidades de Conservação. Estudo de Caso: Parque Nacional do Itatiaia**, PPGG, UFRJ. Orientadores: Paulo Marcio Leal de Menezes e Carla Bernadete Madureira Cruz

SOUSA, C.L. & F.J. PONZONI. (1998). Avaliação de índices de vegetação e de bandas TM/Landsat para estimativa de volume de madeira em floresta implantada de *Pinus spp.* **Anais do IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE/SELPER, [on line] <<http://www.inpe.br/>>