

UFRRJ

INSTITUTO DE FLORESTAS

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

DISSERTAÇÃO

**Detecção de mudanças na paisagem em área de
Floresta Tropical utilizando técnicas de sensoriamento
remoto e imagens *LANDSAT TM***

Fabício Rodrigues Teixeira

2008



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
FLORESTAIS**

**DETECÇÃO DE MUDANÇAS NA PAISAGEM EM ÁREA DE FLORESTA
TROPICAL UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO
E IMAGENS LANDSAT TM.**

FABRÍCIO RODRIGUES TEIXEIRA

Sob a Orientação do Professor
Carlos Rodrigues Pereira

e Co-orientação do Professor
Mauro Antônio Homem Antunes

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

Seropédica, RJ
Agosto de 2008

xxx.xx

xxxxx Teixeira, Fabrício Rodrigues, 2008-

Detecção de mudanças na paisagem em área de floresta tropical utilizando técnicas de sensoriamento remoto e imagens Landsat *TM*

Fabrício Rodrigues Teixeira. - 2008.

53f. : grafs., tabs.

Orientador: Carlos Rodrigues Pereira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas.

Bibliografia: f. xx-xx.

1. Sensoriamento remoto – Detecção de mudanças – Floresta Atlântica – Teses. 2.

Desenvolvimento organizacional – Brasil – Teses. I. Boas, Ana Alice Vilas. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Florestas. III. Título

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

FABRÍCIO RODRIGUES TEIXERIA

Dissertação/Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de Concentração em Conservação da Natureza.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/08/2008

Carlos Rodrigues Pereira. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ

Margareth Simões Penello Meirelles. Dr^a. UERJ

RESUMO

TEIXEIRA, Fabrício Rodrigues. **Detecção de mudanças na paisagem em área de Floresta Tropical utilizando técnicas de sensoriamento remoto e imagens *LANDSAT TM***. Seropédica: UFRRJ, 2008. p. (Dissertação, Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais).

Com a recente criação da Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima (APAMC), localizada no Município de Nova Friburgo do Estado do Rio de Janeiro, iniciou uma demanda por estudo, centrado no desenvolvimento de técnicas de manejo adequadas para fins de preservação da biodiversidade e uso racional dos recursos naturais presentes na área. O uso do sensoriamento remoto para caracterização dos recursos naturais existentes em uma região constitui ferramenta chave para subsidiar estudos de detecção de mudanças. Este trabalho tem como finalidade, contribuir para o desenvolvimento de métodos para detecção de mudanças do uso e cobertura do solo na APA de Macaé de Cima e a caracterização dos recursos florestais existentes na unidade. Neste estudo foram utilizadas imagens digitais *TM/Landsat*, modelo digital de elevação do radar SRTM e cartas topográficas na escala de 1: 50.000. As cartas topográficas foram utilizadas para a correção geométrica das imagens digitais. O modelo digital do terreno foi empregado na identificação da altimetria dos pontos de controle, necessários para proceder a ortorretificação das imagens *TM/Landsat*, mediante a utilização do software PCI geomática 9.0. As imagens digitais foram utilizadas na análise de detecção de mudanças, mediante técnicas de realce com operações aritméticas, para cálculo do índice de vegetação e de subtração de imagens, manipuladas no SPRING. Os resultados obtidos na análise em tela indicam a existência de áreas desmatadas convertidas para outros usos, mediante a análise dos valores dos níveis de cinza, presentes na imagem diferença do NDVI. O arquivo de saída para integrar um SIG, pode utilizar a vetorização das diferenças entre as datas com informações de estudos e levantamentos realizados na região, constituindo uma base de dados da área, contribuindo no planejamento das atividades de manejo, preservação, monitoramento e conservação do ambiente.

Palavras chave: Sensoriamento remoto, processamento de imagens, detecção de mudanças, Floresta Atlântica.

ABSTRACT

TEIXEIRA, Fabrício Rodrigues. **Change detection in the Landscape at Tropical Forest area using techniques of remote sensing and *LANDSAT TM* images.** Seropédica: UFRRJ, 2008. p. (Dissertation, Master Science in Environment Science and Forest).

With the recent creation of the environmental protection area in Macaé de Cima (APAMC), located in the town of Nova Friburgo in the state of Rio de Janeiro, it has started a demand for studies, in reference to the development of adequate handling techniques with the intention of preservation of the biodiversity and the rational use of the natural resources present in the area. The use of the remote sensing for the characterization of the existing natural resources in the region, constitutes of a key tool for subsidize the studies of detection of changes. This work has as its purpose, to contribute with the development of methods for change detection of the use and covering of the soil in the APA of Macaé de Cima and the characterization and monitoring of the forest resources existing in the area. In this study, it was used TM/Landsat digital images, digital model of elevation of the SRTM radar and topographic cards in the scale of 1:50,000. The topographic cards were utilized for the geometric correction of the digital images. The digital model of the terrain was used in the identification of the altimetry of the control points, necessary to proceed the orthorectification of the TM/Landsat images, with the utilization of the geometric PCI software 9.0. The digital images were utilized in the analysis of change detections, along with techniques to improve visibility with arithmetic functions, to calculate the index of the vegetation and the substitution of images, manipulated in the SPRING. The results obtained in the analysis in the screen indicate the existence of deforested areas converted for other purposes, along with the analysis of values in the level of gray, presents in the NDVI image difference. The exit file to integrate a SIG, there can be used a vectorization of the differences among the dates of the information of the survey studies done in the region, gathering a database for the area, contributing in the planning of the handling activities, preservation, monitoring and environment conservation.

Key words: Remote sensing, image processing, change detection, Atlantic Forest.

SUMÁRIO

	Pág.
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 Conceitos e Fundamentos do Sensoriamento Remoto	4
2.2 Comportamento Espectral dos Alvos	4
2.2.1 Comportamento espectral dos solos	5
2.2.2 Comportamento espectral da vegetação	6
2.3 Interação da radiação eletromagnética com a vegetação	6
2.3.1 Região do visível	8
2.3.2 Região do infravermelho próximo	8
2.3.3 Região do infravermelho médio	9
2.4 Interação da Radiação Eletromagnética com os Dosséis Vegetais	9
2.5 Sistema Sensor - Landsat Thematic Mapper (TM)	9
2.6 Correção Atmosférica	11
2.7 Transformação para Reflectância	12
2.8 Correção Geométrica	12
2.9 Ortorectificação	13
2.10 Índice de Vegetação de Diferença Normalizada	14
2.11 Sistemas de Processamento	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1 Área de estudo	16
3.2 Materiais Utilizados	19
3.3 Metodologia	20
3.3.1 Definição do projeto	20
3.3.2 Seleção de imagens orbitais	21
3.3.3 Correção atmosférica	21
3.3.4 Correção geométrica	22
3.3.5 Ortorectificação	24
3.3.6 Mosaicagem	25
3.3.7 Índice de vegetação de diferença normalizada	26
3.3.8 Interpretação e análise visual	28
3.3.9 Análise da cobertura florestal natural	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Correção geométrica	29
4.2 Atenuação dos efeitos atmosféricos	31
4.3 Índice de vegetação de diferença normalizada	33
5 CONCLUSÃO	38
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

No globo, o total de área estimada com cobertura florestal é aproximadamente quatro bilhões de hectares, correspondendo a 30% do total de superfície de terra do planeta. O estoque global de madeira encontrado nestas áreas representa 434 bilhões de metros cúbicos, correspondendo a 110m³ por hectare (FAO, 2005).

O crescente aumento da população mundial e o descontrole quanto à utilização adequada dos recursos naturais tem afetado diretamente o processo de perda da cobertura florestal, contribuindo para a redução do estoque de madeira, modificando a paisagem e o clima em escala global. O desflorestamento de áreas do globo no período de 2000-2005 está estimado a 7,3 milhões de hectares por ano (FAO, 2005).

Nos trópicos, o processo de simplificação e redução da cobertura natural tem causado a fragmentação e isolamento dos remanescentes florestais (RAVIKANTH *et al.*, 2000).

A América do Sul apresentou uma perda significativa de suas florestas de 2000 para 2005 da ordem de 4,3 milhões de hectares por ano. O Brasil e Indonésia foram responsáveis pelo desmatamento de 4,9 milhões de hectares de floresta primária durante o período de 2000 a 2005 (FAO, 2005).

O Estado do Rio de Janeiro possuía uma cobertura de 4,2 milhões de hectares de florestas, ou seja, 97% da sua área total (RAMBALDI, 2003). A conversão da cobertura florestal natural para cultura cafeeira, no século passado, foi o principal agente de pressão sobre estas florestas.

O cenário de desmatamento contribui para a degradação dos mananciais hídricos, processos erosivos e assoreamento das calhas dos rios (MARTINS *et al.*, 2003).

O monitoramento em ambientes naturais ou antropizados é um dos recursos utilizados para qualificação das informações na elaboração de planos de manejo dos recursos naturais, na determinação de áreas prioritárias para conservação e na análise e monitoramento da paisagem.

A análise multitemporal da vegetação consiste no estudo da evolução dos remanescentes florestais em uma escala de tempo. São analisadas alterações quanto ao uso, detecção de mudanças nas componentes da paisagem e suas implicações no ambiente. O mapeamento do uso e da cobertura do solo considera o estudo da dinâmica de evolução do ambiente e o potencial de utilização (GUIMARÃES, 2000).

As alterações no uso e cobertura do solo podem influenciar significativamente nas variações climáticas em escala regional e global. O aumento do albedo causado pelas mudanças quanto ao uso e cobertura do solo tem contribuído para as mudanças ambientais globais. O albedo de uma superfície coberta por vegetação varia com o ângulo de inclinação do Sol, tipo de vegetação, condições de umidade do ar e da superfície, umidade e tipo de solo, além da quantidade e tipo de nuvens (LEITÃO *et al*, 2002).

As modificações na paisagem causam alterações no clima em escala global, em função de alterar a dinâmica das radiações no planeta. A cobertura florestal possui um albedo baixo, porque apresenta uma superfície mais escura, absorvendo a radiação incidente que será utilizada na produção de carbono através da fotossíntese, acumulando biomassa vegetal ao longo do tempo.

A luz incidente em uma pastagem degradada é refletida e pouco absorvida sendo que boa parte retorna para a atmosfera contribuindo para o aquecimento global. Portanto as florestas tropicais são eficientes na utilização da energia em função de apresentarem uma alta taxa de produção de carbono ao longo do tempo.

Nesse sentido o monitoramento das mudanças no uso da cobertura do solo bem como o grau de evolução temporal dos remanescentes florestais, permite subsidiar estudos relacionados às mudanças climáticas.

O uso de imagens de sensores remotos associadas a técnicas e desenvolvimento de métodos de processamento digital de imagens e a integração de dados em sistemas geográficos de informação estão sendo utilizados para detecção de mudanças no ambiente.

Os dados de sensoriamento remoto e o tratamento da informação espacial integrada nos sistemas geográficos de informação fornecem suporte em ações de planejamento e manejo de ecossistemas.

O sensoriamento remoto é utilizado por especialistas para detectar mudanças no uso e na cobertura do solo contribuindo para a obtenção de dados e informações referente à situação dos recursos naturais e florestais por regiões.

A avaliação do uso inadequado da terra é fundamental para caracterizar o ambiente em função das propriedades rurais apresentarem algum tipo de uso conflitante da terra (NASCIMENTO *et al*, 2005; PINTO *et al*, 2005; MOREIRA *et al*, 2003; ALVES, 1993).

Neste sentido, a realização do presente estudo ficou motivada pela necessidade de identificar modificações na paisagem e caracterizar os recursos florestais existentes na Área de

Proteção Ambiental de Macaé de Cima, Nova Friburgo, RJ, no ano de 2007, em comparação com 1996. A caracterização dos recursos florestais na APA de Macaé de Cima, contribui para integração e complementação das informações em estudos e levantamentos da vegetação, em programas de manejo, conservação e preservação dos recursos naturais desta unidade de conservação de uso sustentável.

A hipótese deste estudo consiste em verificar se as técnicas de sensoriamento remoto empregadas foram suficientes no tratamento da informação espacial para a detecção de mudanças e representação da cobertura florestal da APA de Macaé de Cima, considerando a compatibilidade da escala de trabalho e a resolução espacial das imagens de satélite utilizadas.

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um método para subsidiar estudos temporais de detecção de mudanças na paisagem e o grau de evolução dos remanescentes florestais, utilizando técnicas avançadas de processamento digital de imagens, dados de sensoriamento remoto (imagens *TM/Landsat*) e sistema de informação geográfica, na APA de Macaé de Cima.

Para orientar estudos avançados sobre a detecção de mudanças e a dinâmica temporal da vegetação, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar o grau de evolução temporal dos remanescentes florestais para a APA de Macaé de Cima, Nova Friburgo, RJ;
- Apresentar uma análise e discussão do índice de vegetação de diferença normalizada, referente aos mosaicos gerados;
- Apresentar a espacialização da cobertura vegetal e recursos florestais existentes para a APA de Macaé de Cima, Nova Friburgo, RJ;
- Detectar alterações “*change detection*” no uso e na cobertura do solo e perda de área natural analisando o comportamento espectral dos alvos;

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Conceitos e Fundamentos do Sensoriamento Remoto

Neste contexto serão apresentados os conceitos e fundamentos do sensoriamento remoto, alguns princípios físicos, os sistemas orbitais utilizados, tratamento das imagens, entrada e manipulação de dados nos sistemas de informação geográfica.

O sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, mediante a captação e do registro de energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2002).

O sensoriamento remoto utiliza princípios físicos e técnicas computacionais para o processamento dos dados obtidos pelos sensores remotos. Ponzoni & Shimabukuro (2007), consideram que os conceitos de sensoriamento remoto que enfatizam terminologias como, *distância, informação e contato físico* estão associados à sua fundamentação, no entanto ofuscam conceitos ao usuário pela completa compreensão. Os referidos conceitos estão relacionados aos processos de interação da radiação eletromagnética e a resposta dos diferentes alvos aos quais se pretendem extrair algum tipo de informação.

2.2 Comportamento Espectral dos Alvos

O conjunto de características, componentes e constituintes dos alvos vão definir um padrão de comportamento no que se refere a sua resposta espectral.

O comportamento espectral é definido como a curva de reflectância em função do comprimento de onda no espectro eletromagnético (HOFFER, 1978).

A propriedade do objeto em refletir a radiação incidente é denominada de Reflectância. Esta propriedade espectral é inferida mediante o cálculo de Fatores de Reflectância, que estabelece a relação entre a intensidade da radiação refletida por um objeto, com a intensidade da radiação incidente em uma determinada região espectral, mediante estimativas quantitativas (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

A intensidade do fluxo radiante é designada Irradiância (E) representada por E_{λ} , quando definida para cada comprimento de onda ou regiões específicas do espectro eletromagnético. A intensidade da radiação eletromagnética emitida pelo Sol apresenta alterações pela intervenção dos efeitos atmosféricos.

O que é mensurado pelo sensor é a radiância (R) espectral que pode ser compreendida como uma grandeza que é definida por unidade de área e por comprimento de onda. A radiância é expressa pela equação:

$$R_{\text{alvo}} = (H (\rho\tau + B) / \pi) \text{ sem } \alpha$$

Sendo que:

ρ = reflectância do alvo ($\rho = R/H$)

H = energia solar que chega no alvo

T = transmitância da atmosfera

α = ângulo de elevação solar

B = efeito atmosférico do tipo aditivo

2.2.1 Comportamento espectral dos solos

O solo possui a capacidade de absorver e refletir radiação incidente. De acordo com Huete (1984), o solo interfere nas medidas de reflectância de coberturas com até 75% de densidade.

O comportamento espectral do solo é afetado pela cor do solo, tipo de solo, teor de matéria orgânica, teor de ferro, composição mineralógica do solo, o teor de umidade e a sua textura. As características e os componentes do solo encontram-se inexoravelmente relacionados, reforçando o efeito sobre o outro ou anulando, no que se refere ao estudo de sua resposta espectral.

Solos com a mesma composição mineralógica tendem apresentar redução da reflectância de acordo com o aumento do tamanho das partículas.

O teor de umidade do solo interfere na sua reflectância considerando todos os comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Este padrão não é geral para todas as classes e ordens de solo. Segundo Epiphânio *et al.* (1992) o decréscimo do albedo do solo seco é

diretamente proporcional a diminuição na porcentagem de variação da reflectância com a umidade.

A composição mineralógica também interfere o comportamento espectral do solo, considerando que, solos que apresentam elevado teor de óxido de ferro e constituído por minerais opacos, possuem reflectância mais baixa que do que solos com baixo teor de óxido de ferro.

A ocorrência de minerais opacos contribui para redução na reflectância dos solos em todos os comprimentos de onda e interfere na detecção de bandas de absorção relativas à presença de água e minerais de argila como a caulinita (1400nm) e a montmorilonita (2200nm).

2.2.2 Comportamento espectral da vegetação

O comportamento espectral da vegetação é caracterizado pela distinção entre três regiões no espectro eletromagnético: visível, infravermelho próximo e infravermelho médio.

No período de crescimento da planta a reflectância tende a diminuir no visível e aumentar no infravermelho próximo, no entanto, na senescência a situação se reverte e se apresenta em menor intensidade (BOWKER *et al.*, 1985). Durante a fase de crescimento a planta possui uma quantidade maior de clorofila, responsável pelo aumento na absorção de energia. As folhas maduras possuem uma estrutura interna menos compacta, com mesófilo esponjoso, inferindo em maior reflectância (GAUSMAN, 1985).

2.3 Interação da Radiação Eletromagnética com a Vegetação

O estudo do comportamento espectral da vegetação consiste na análise dos três fenômenos, como: absorção, transmissão e da reflexão da radiação.

Os aspectos que vão exercer influência no processo de interação da radiação eletromagnética e a vegetação são: o comprimento de onda da radiação, os elementos deste meio de propagação da radiação e os aspectos de fisiologia da planta.

Estudos das diferentes feições do terreno, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, permitem obter informações referentes ao comportamento espectral dos alvos.

Para compreender a interação da radiação eletromagnética com a vegetação, estuda-se o comportamento espectral das folhas. Na aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no

estudo da vegetação, a folha pode ser considerada um meio de propagação da radiação eletromagnética (LACRUZ, 2003).

A interação entre a radiação eletromagnética no espectro óptico e uma folha, está condicionada a aspectos químicos, como pigmentos fotossintetizantes e água, em associação com aspectos de estrutura e organização dos tecidos.

Os processos de interação da radiação eletromagnética e as folhas são interpretados considerando os fenômenos da absorção, da transmissão e da reflexão. O resultado obtido mediante a análise conjunta destes fenômenos é que representa o comportamento espectral da vegetação. O estudo do comportamento espectral da vegetação envolve aspectos que interferem na reflexão da radiação de folhas individuais e nos dosséis vegetais (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

A Figura 1 representa a curva de reflectância da vegetação e os fatores que determinam a reflectância da folha nas seguintes regiões do espectro eletromagnético: visível, infravermelho próximo e infravermelho médio.

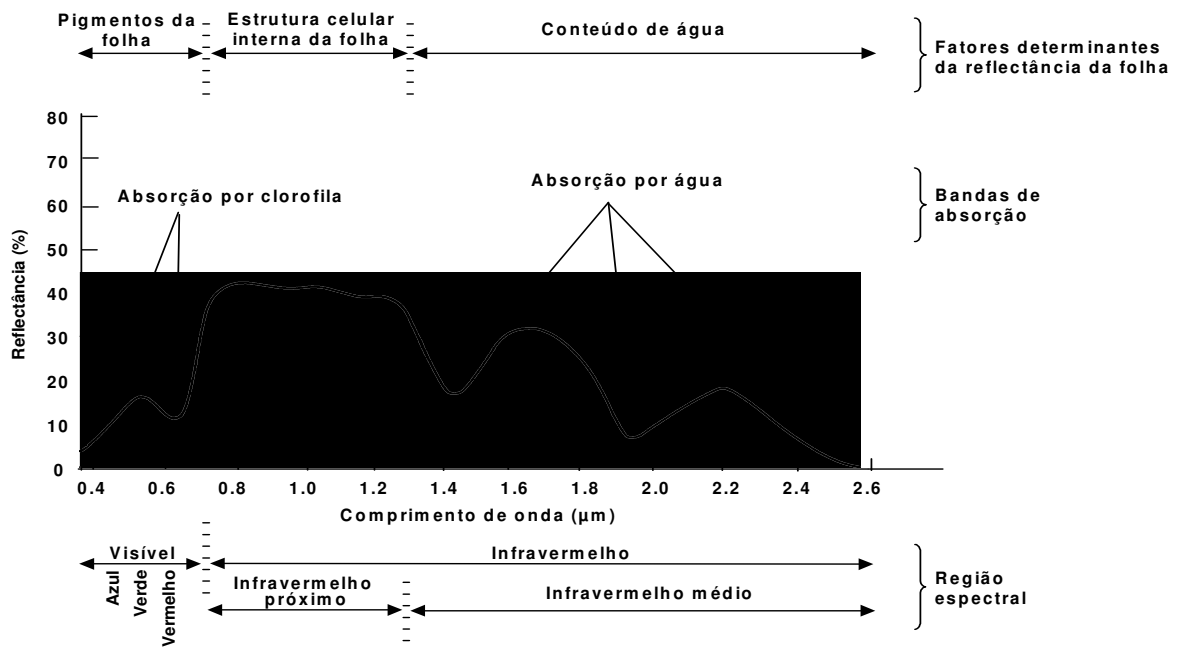


Figura 1 - Curva de reflectância típica da vegetação.
 FONTE: Modificada de Swain e Davis (1978), p. 232

2.3.1 Região do visível

A radiação eletromagnética na região do visível possui comprimento de onda na faixa de 0,4 a 0,72 μm . Nesta região do espectro eletromagnético, os pigmentos presentes no cloroplasto das folhas são: clorofila (65%), carotenos (6%) e xantofilas (29%), podendo apresentar variações nos valores percentuais conforme a espécie. Estes pigmentos definem a forma de reflectância para esta região espectral.

Hoffer (1978) considera que a folha apresenta pigmentos como carotenos e xantofilas (pigmentos amarelos) acrescidos das antocianinas (pigmentos vermelhos).

A interação da energia radiante e a estrutura da folha ocorrem na forma de absorção e espalhamento. As interações da radiação na região do visível, geram diferentes respostas espectrais, considerando a variação do comprimento de onda da energia radiante nas faixas do azul (0,450 - 0,520), do verde (0,520 - 0,600) e da faixa do vermelho(0,630 - 0,690).

A redução da reflectância da faixa do vermelho (0,65 μm) na região do visível está associada à absorção somente da clorofila (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

Os carotenos e as xantofilas presentes nas folhas possuem uma banda de absorção na faixa do azul (0,45 μm) no espectro eletromagnético, sendo que nesta região, boa parte da energia é absorvida e pouco transmitida (HOFFER, 1978).

2.3.2 Região do infravermelho próximo

A radiação eletromagnética na região do infravermelho próximo possui comprimento de onda na faixa de 0,72 a 1,10 μm .

Esta região é caracterizada pela baixa absorção da radiação e espalhamento interno na folha. A água absorve pouca radiação nesta região, sendo a reflectância constante.

A luz que incide em uma folha com compactação do mesófilo (predomínio de parênquima paliçádico) apresenta maior transmissão do que reflexão, devido à baixa superfície de contato do mesófilo com o ar dos espaços intercelulares. Entretanto, plantas com alta incidência de parênquima lacunoso, apresentam maior capacidade de reflexão da radiação recebida. O aumento está relacionado à elevada quantidade e disposição das superfícies de contato com o ar,

contribuindo para o espalhamento múltiplo, apresentando maior energia de retorno (VALERIANO, 1988).

Quanto mais lacunosa for à estrutura interna foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente, e conseqüentemente, maiores serão os valores de reflectância (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

2.3.3 Região do infravermelho médio

Nesta região o teor de umidade das folhas é inversamente proporcional a reflectância, sendo que as propriedades ópticas da folha estão vinculadas ao conteúdo de água presente. Como conseqüência, a análise desta região do espectro eletromagnético está caracterizada pelo conhecimento do vigor da folha em relação ao nível de umidade (GUYOT *et al.*, 1989).

Esta região do espectro eletromagnético apresenta três faixas de comprimento de onda para absorção de água, localizadas em 1,4, 1,9 e 2,7 μ m (SWAIN & DAVIS, 1978).

2.4 Interação da Radiação Eletromagnética Com os Dosséis Vegetais

Estudos de sensoriamento remoto consideram a estrutura do dossel florestal para caracterizar a absorção e o espalhamento do fluxo incidente. A utilização de técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação está associada com o entendimento do processo de interação entre a radiação eletromagnética e os diversos tipos fisionômicos de dosséis, como: florestas, culturas agrícolas e formações vegetais de porte herbáceo (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

2.5 Sistemas Sensores - Landsat Thematic Mapper (TM)

O sensor Thematic Mapper a bordo do satélite Landsat 5 foi lançado em órbita em 1º de março de 1984, sendo os dados utilizados até o final de 2005, constituindo um dos mais bem sucedidos sensores de observação dos recursos naturais até o momento (PONZONI & SHIMABUKURO, 2007).

O Sensor Thematic Mapper (TM) é composto por sete bandas, que são identificadas mediante a representação de algarismos de 1(um) a 7 (sete), sendo que cada banda corresponde a determinada faixa do espectro eletromagnético (Tabela 1). A resolução geométrica das imagens obtidas nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 é de 30 m, sendo que cada pixel da imagem equivale a uma área do terreno referente a 0,09 hectares. Considerando a banda 6, a resolução geométrica da imagem é de 120m, representando no terreno uma área equivalente a 1,4 hectares. A dimensão de cada cena do satélite LANDSAT corresponde na superfície uma área equivalente a 185 x 185 km.

Em relação à resolução radiométrica, as imagens obtidas pelos sensores do *TM/ Landsat* apresentam 8 bits. A resolução radiométrica deste sensor pode ser expressa por 2^n , sendo que “n” representa o número de bits da imagem, que no caso do *TM/Landsat*, 2^8 (dois elevado a oitava potência), apresentando como resultado, uma variação da 0 a 255 níveis de cinza.

O satélite LANDSAT 5 apresenta uma resolução temporal de 16 dias, com característica de repetitividade em relação a observação da mesma área. A distância de sua órbita a superfície terrestre representa 705 km com velocidade de 7,7km/seg., pesando duas toneladas (BATISTELLA et al, 2004).

Tabela 1 – Principais aplicações das bandas do *Thematic Mapper* para o estudo da vegetação.

Banda	Faixa do espectro	Intervalo espectral (µm)	Aplicações das bandas <i>TM</i> dos satélites LANDSAT 5
TM 1	Azul	0,450-0,530	Distinção entre solo e vegetação Mapeamento de tipologias florestais Identificação de culturas
TM 2	Verde	0,520-0,600	Mensuração do pico de reflectância da vegetação Discriminação entre tipos de vegetação Vigor da vegetação Discriminação entre culturas
TM 3	Vermelho	0,630-0,690	Diferenciação entre espécies de plantas Discriminação entre culturas
TM 4	Infravermelho próximo	0,760-0,900	Determinação entre tipos de vegetação Determinação do Vigor da vegetação Determinação da Fitomassa
TM 5	Infravermelho médio	1,550-1,750	Determinação do conteúdo de umidade da vegetação no solo
TM 6	Infravermelho termal	10,4 – 12,5	Análise de estresse em plantas
TM 7	Infravermelho médio	2,0800 - 2,350	Determinação de conteúdo de umidade da vegetação

FONTE: Modificada de Lilesand e Kiefer (1987), p. 567.

2.6 Correção Atmosférica

A aplicação do sensoriamento remoto para detecção de mudanças em dados multitemporais, utiliza técnicas de processamento de imagens para regular a geometria e a radiometria das superfícies analisadas. Imagens utilizadas em estudos multitemporais apresentam-se sob condições distintas de atmosfera e iluminação.

A interação da radiação com a atmosfera causa absorção e espalhamento (DESCHAMPS et al., 1983), sendo este último, podendo ser originado de múltiplas interações.

As correções atmosféricas podem utilizar modelos de transferência radioativa ou mediante a aplicação de métodos empíricos (MATHER, 1999).

Um método empírico utilizado para correção atmosférica é o da subtração do valor do pixel mais escuro (CHAVEZ, 1988). A correção atmosférica utilizando o método da subtração do pixel mais escuro é realizada sem parametrização de variáveis físicas, que permitam a aplicação em condições distintas de superfície e atmosfera (ANTUNES, 2003).

A correção dos efeitos atmosféricos utilizando o modelo 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum) é baseada em parâmetros físicos da atmosfera (VERMOTE et al., 1997). O modelo 6S, por ser considerado um método que utiliza parâmetros físicos da atmosfera, fornece maior precisão para o cálculo dos valores de radiância e reflectância das superfícies terrestres a partir dos dados obtidos pelos sensores orbitais.

A aquisição de parâmetros atmosféricos para serem utilizados no 6S, é uma condição necessária para a aplicação do modelo. A coleta de dados *in situ* na obtenção dos parâmetros atmosféricos necessários para serem utilizados nos arquivos de entrada no 6S, pode ser uma tarefa inviável (SILVA & VALERIANO, 2003). Para inserir os parâmetros atmosféricos nos arquivos de entrada é utilizado modelos de padrões de atmosfera que caracterizam situações gerais e vinculadas a condições referentes ao tipo de superfície, geometria do imageamento e época do ano (ZULLO Jr., 1994).

2.7 Transformação Para Reflectância

Este tipo de transformação é definido pela obtenção de valores de radiância e reflectância planetária aparente (reflectância da superfície mais atmosfera em nível de satélite) e escalonada em níveis de cinza considerando a resolução radiométrica da imagem.

Considerando a transformação de níveis de cinza em radiância para uma dada banda (L_λ) de uma imagem de 8 bits temos:

$$L_\lambda = NC (L_{\max} - L_{\min} / 255) + L_{\min}$$

Sendo que L_{\max} e L_{\min} são a radiância máxima e mínima expressas em $Wm^{-2} sr^{-1}$ para o sensor e banda em questão e que são fornecidos pelo fabricante do satélite.

Para calcular a reflectância a partir da radiância utiliza-se a seguinte fórmula:

$$P_\lambda = (\pi L_\lambda d^2) / (ESol_\lambda \cos\theta_s)$$

Onde:

π = ângulo sólido do hemisfério projetado (sr);

ρ_λ = reflectância planetária ao nível do satélite;

L_λ = radiância espectral na abertura do sensor em $W Sr^{-1} m^{-2} \mu m^{-1}$;

d = distância do Sol a Terra em unidades astronômicas;

$ESol$ = irradiância solar média espectral fora da atmosfera em $W m^{-2} \mu m^{-1}$;

θ_s = Zênite solar no pixel da imagem em questão. Para simplificar utiliza-se o zênite solar do centro da imagem;

2.8 Correção geométrica

As correções geométricas modificam a geometria das imagens com a finalidade de ajustar as distorções causadas pelos sistemas sensores, efeitos de rotação da Terra ou variação da altitude da órbita, atitude e velocidade do satélite. As correções geométricas podem ser executadas de duas formas: mediante modelagem da natureza e a proporção das fontes de distorções, utilizando o modelo de geometria orbital, ou realizando a reamostragem dos *pixels* em relação a uma base cartográfica, pela coleta e alocação de pontos de controle (RICHARDS, 1986).

A qualidade do registro está vinculada a precisão dos pontos de controle, considerando três situações: o número, localização e distribuição dos pontos de controle.

O número de pontos de controle necessários para proceder ao registro está relacionado ao tamanho e a geometria da imagem. São necessários no mínimo três pontos de controle para uma função de ajuste de primeiro grau, seis pontos de controle para uma de segundo grau e dez pontos de controle para uma função de ajuste de terceiro grau, sendo recomendável considerar um número de pontos maior para cada função.

A escolha dos pontos tem de considerar a facilidade na identificação na imagem como na cartografia de referência, descartando as feições sujeitas a mudanças temporais. A distribuição dos pontos deve apresentar uma distribuição uniforme por toda a imagem.

A escolha do método de amostragem dos pixels para corrigir a geometria considera a distinção da interpolação a ser utilizada. Os métodos mais empregados são: vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica.

2.9 Ortorectificação

De acordo com SCHOWENGERDT (1997), a ortorectificação é definida como o processo de ajuste da imagem, pixel a pixel, das deformações proporcionadas pelo relevo, fazendo com que a imagem seja representada em perspectiva ortogonal fora de seu eixo. A ortorectificação é a ortogonalização do eixo nas feições irregulares e de declives acentuados.

Para proceder à retificação das imagens, ou seja, transformação de sua projeção cônica para ortogonal é necessário conhecimento sobre o relevo da região a qual se pretende trabalhar. A informação referente ao relevo da área objeto de trabalho pode ser obtida mediante a utilização de um Modelo Digital de Elevação (MDE), que consiste em uma grade espacial regular ou irregular com valores de altimetria do local.

2.10 Índice de Vegetação de Diferença Normalizada

O índice de vegetação é utilizado para obter o mapeamento do índice de área foliar (IAF), estimando a fração da radiação fotossinteticamente ativa que foi absorvida pelos dosséis vegetais, da biomassa e percentagem da cobertura verde da superfície (XAVIER & VETORAZZI, 2004). A alta absorção dos pigmentos dos vegetais nas regiões do vermelho e a alta reflectância no infravermelho, permitem a realização de cálculos que geram resultados passíveis de serem interpretados.

O índice de vegetação utilizado para caracterização de estudos de detecção de mudanças e caracterização da vegetação é o “índice de vegetação de diferença normalizada” (Normalized Difference Vegetation Index), de autoria de TUCKER (1979).

2.11 Sistemas de Processamento

O SIG pode ser definido como um conjunto organizado de equipamentos de computação, programas, aplicativos e dados georreferenciados, projetado para capturar, armazenar, manipular analisar e apresentar visualmente todas as formas de informações geográficas para um objetivo ou aplicação específica (ALVES *et al.*, 2000).

De acordo com Burrough (1989) o conceito de SIG é um conjunto de aplicativos estruturados por cinco módulos, sendo cada módulo um subsistema que possibilita operações de entrada e verificação de dados, exibição e saída de dados, transformação de dados e interação com o usuário. O SIG contribui para a aplicação de métodos variáveis visando o levantamento e a distribuição espacial dos remanescentes florestais naturais e plantados. As unidades de produção florestal apresentam diferentes sítios, indicando a necessidade de diferentes técnicas de manejo para o planejamento.

As informações levantadas utilizando o sensoriamento remoto serão integradas e manipuladas em um SIG.

O desenvolvimento de métodos que possibilitem a utilização de sistemas de informações geográficas aplicados ao planejamento ambiental e de uso da terra estão crescentes no Brasil (BELTRAME, 1991; ASSAD *et al.*, 1993; ALVES, 1993; CAVALCANTI, 1993).

Estudos envolvendo declividade do solo e monitoramentos do uso da terra em microbacias hidrográficas têm como base o uso do geoprocessamento, em função da capacidade de armazenamento e gerenciamento dos dados com rapidez e precisão, além de possibilitar o reconhecimento de regiões com tendência à degradação ambiental e adequação das técnicas de manejo em tempo de serem executadas (CÂMARA & DAVIS, 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A área objeto do estudo é a Área de Proteção Ambiental (APA) de Macaé de Cima, que constitui uma unidade de conservação de uso sustentável, criada pelo Decreto Estadual nº 29.213 de 14 de setembro de 2001. A Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estáticos ou culturais necessários para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, com objetivos de assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 2000).

A Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima está localizada no Município de Nova Friburgo, na Mesorregião do Centro Fluminense do Estado do Rio de Janeiro (Figura 2), com uma área de 35.037ha.

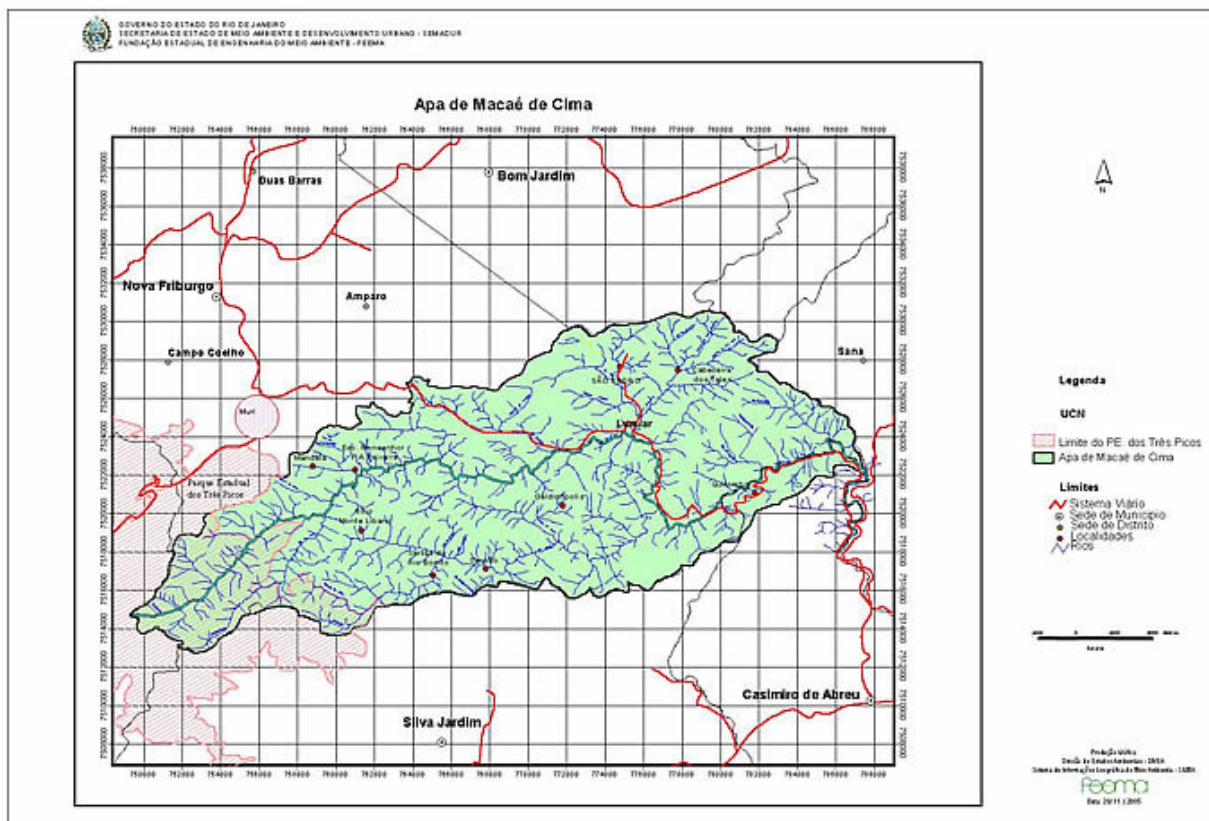


Figura 2 - Mapa de localização da Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima, Nova Friburgo, RJ. Fonte: FEEMA, 2005.

A vegetação natural do APA de Macaé de Cima, apresenta uma fisionomia predominantemente florestal, classificada de acordo com aspectos fitogeográficos como Floresta Ombrófila Densa Montana (VELOSO et al., 1991) ou Floresta Pluvial Atlântica Montana (RIZZINI, 1979). A ordem de solo predominante na região é o Cambissolos, com ocorrência de Latossolos (RADAM BRASIL, 1983).

O clima da região é classificado em superúmido e mesotérmico de acordo com a classificação de Thornthwaite (1995), correspondendo à designação Cfb, de Köppen. A precipitação anual pode chegar a 2.252mm (CARDOSO *et al*, 2006).

A região abriga áreas de florestas de encosta com sensibilidade hidrológica e incidência de chuva orográfica, favorecendo a perenidade dos fluxos e caracterizando a capacidade de administração de água das bacias hidrográficas (BARBOZA *et al*, 2004). O ecossistema florestal exerce efeito tamponante sobre a quantidade de água nas bacias hidrográficas da região, mantendo uma grande vazão nos meses de menor pluviosidade.

O conjunto de processos hidrodinâmicos, contribui para formação de nascentes pontuais e difusas, drenagens perenes e intermitentes, córregos, rios, brejos, várzeas, reservatórios naturais e artificiais (CARDOSO *et al*, 2006). A hidrografia da região é formada pelos Rios Macaé de Cima, Rio Bonito, Rio das Flores e Rio Santo Antônio.

O relevo fortemente ondulado da área caracteriza-se por altitudes que variam de 780 a 1790 sobre o nível do mar. Os afloramentos rochosos ocupam áreas extensas na APA de Macaé de Cima, apresentando em sua constituição rochas intrusivas e metamórficas Pré-Cambrianas. Os afloramentos rochosos são compostos de granitos, assumindo formação de “pães de açúcar” ou monadknocks, sendo que em alguns casos já foram “inselbergs”, associados a áreas baixadas sedimentares, originárias de transformações das rochas graníticas. A geomorfologia da região é caracterizada por faixas de dobramento remobilizado, modelado de dissecação diferencial. A dissecação é caracterizada por controle estrutural, marcada pelo aprofundamento da drenagem (OLIVEIRA *et al.*, 1983; LIMA, H. C. & GUEDES-BRUNI, 1997).

A região apresenta ocorrência de movimentos de massa nas escarpas florestadas, demonstrando, assim, o processo de evolução geomorfológica dessa unidade de relevo.

As enxurradas durante eventos pluviais críticos podem promover problemas em localidades situadas nos altos cursos de rios em posição de sopé da escarpa.

A escolha da área de estudo deve-se as características locais de relevo, considerando que a região apresenta alta incidência de áreas de preservação permanente de topos de morro, faixas marginais de corpos d'água em áreas pontuais e difusas, apresentando declives de 25 a 45 graus e acima de 45 graus ou 100%, em áreas remotas e de difícil acesso (BRASIL, 2002; BRASIL 1965)

Neste contexto estudos envolvendo a detecção de mudanças em área de Floresta Atlântica na APA de Macaé de Cima, contribui com informações para a conservação, preservação, manejo e monitoramento dos ecossistemas.

3.2 Materiais Utilizados

A seguir é apresentada a descrição dos materiais utilizados para a elaboração deste trabalho.

a) Produtos Orbitais:

- Imagens *TM/Landsat* em formato digital, órbita/ponto, 217/75, quadrante D, bandas 3, 4 e 5, de 16 de junho de 1996;

- Imagens *TM/Landsat* em formato digital, órbita/ponto, 217/75, quadrante D, bandas 3, 4 e 5, de 2 de agosto de 2007;

- Imagens *TM/Landsat* em formato digital, órbita/ponto, 216/75, quadrante C, bandas 3, 4 e 5, de 27 de julho de 1996;

- Imagens *TM/Landsat* em formato digital, órbita/ponto, 216/75, quadrante C, bandas 3, 4 e 5, de 27 de agosto de 2007;

- Imagens *TM/Landsat* em formato digital, órbita ponto, 216/76, quadrante A, bandas 3, 4 e 5 de 27 de julho de 1996;

- Imagens *TM/Landsat* em formato digital, órbita ponto, 216/76, quadrante A, bandas 3, 4 e 5 de 27 de agosto de 2007;

- Imagem de radar SRTM, Digital Elevation Model DEM

As imagens do sensor *TM/Landsat 5*, foram adquiridas no Banco de Imagens da Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas (DGI/INPE), mediante transferência de arquivos (FTP) via internet.

O modelo digital de elevação foi adquirido no site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (MIRANDA, 2005).

b) Material Cartográfico

- Carta topográfica IBGE, 27171, CORDEIRO, escala 1:50.000;
- Carta topográfica IBGE, 27164, NOVA FRIBURGO, escala 1:50.000;
- Carta topográfica IBGE, 27173, QUARTÉIS, escala 1:50.000;
- Carta topográfica IBGE, 27471, SILVA JARDIM escala 1:50.000;
- Carta topográfica IBGE, 27162, DUAS BARRAS, escala 1:50.000;

As cartas topográficas foram adquiridas no site do Instituto Brasileiro de Geografia Estatística – IBGE.

c) Sistemas de Processamento

Os sistemas utilizados para o processamento das imagens digitais e geração dos mapas temáticos foram:

- 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum) adaptado;
- PCI geomática 9.0 Licença utilizada no Depart. de engenharia / Instituto de Tecnologia
- SPRING 4.3 (Sistema de Processamento de Informações Geo-referenciadas) / INPE;

3.3 Metodologia

3.3.1 Definição do projeto

O método proposto para este estudo foi baseado na detecção de mudanças no uso e na cobertura do solo, utilizando perfis temporais de reflectâncias das classes de uso e cobertura do solo com intervalo de tempo de 11 anos. O método consiste na classificação de referência realizada em uma imagem *TM/Landsat*. A Figura 3 apresenta o organograma das fases de execução do projeto.

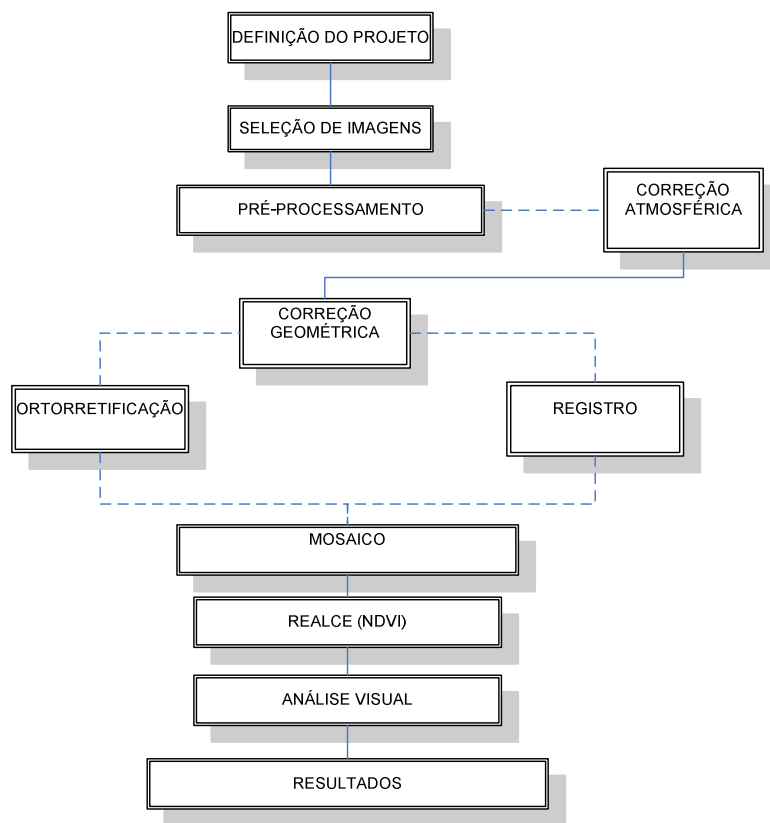


Figura 3 - Organograma das fases do projeto

3.3.2 Seleção das imagens orbitais

O sensor TM/Landsat foi escolhido para o desenvolvimento deste trabalho por apresentar uma satisfatória resolução espacial (30m), considerando o tamanho da área de estudo e pela disponibilidade das informações. O Landsat 5 foi lançado em órbita em 01 de março de 1984, constituindo um dos mais bem sucedidos sensores de observação dos recursos naturais desenvolvidos até o momento.

As imagens orbitais foram adquiridas mediante consulta aos arquivos do catálogo de imagens no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE.

Para assegurar o recobrimento da Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima, foram selecionadas imagens do sensor Thematic Mapper (TM), que está a bordo do satélite Landsat-5, correspondente as cenas 217-75, 216-75 e 216-76, nos anos de 1996 e 2007.

Os meses de referência para seleção das imagens orbitais foram junho, julho e agosto. Como critérios de seleção das imagens foram considerados a cobertura mínima de nuvens, melhor visibilidade e adequada qualidade radiométrica.

3.3.3 Correção atmosférica

Para proceder à correção atmosférica das distorções presentes nas imagens do sensor *TM / LANDSAT*, foi utilizado o modelo de transferência radioativa, com os seguintes parâmetros da atmosfera local:

Modelo Tropical para atmosfera gasosa, correspondendo a numeração “1”;

Modelo Continental para aerossóis com visibilidade de 17 e 19Km, correspondendo a numeração “1”;

Outros parâmetros necessários foram utilizados como: latitude e longitude, hora de obtenção da imagem, altitude do alvo, altitude do sensor e visibilidade horizontal. A visibilidade foi obtida mediante análise visual das imagens orbitais.

O software utilizado para a correção atmosférica foi o modelo 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum), em condições variadas de alvos, atmosfera e altitude (ANTUNES *et al.*, 2003). Este modelo foi elaborado para ser utilizado na simulação do sinal de sensores remotos entre 0,25 μm a 4,00 μm (Vermote et al 1997). Neste trabalho sua aplicação

considerou a adaptação de Antunes et al (2003), para a utilização do 6S na correção atmosférica de imagens de sensores remotos.

O método de correção atmosférica consistiu na caracterização e aplicação de parâmetros físicos em condições variadas de superfícies e atmosfera. Antes de realizar a correção atmosférica foi necessário realizar a transformação dos arquivos “TIFF”, referente às bandas das imagens *TM* com os valores digitais originais, em formato simplificado “raw”, servindo assim de entrada para o 6S. Após executada a correção atmosférica os arquivos foram convertidos novamente para o formato “TIFF”. As imagens tiveram os níveis de cinza (NC) transformados para reflectância.

3.3.4 Correção geométrica

Para a correção geométrica foi utilizado o módulo do programa PCI geomática denominado *Ortoengine*. Neste módulo foi indicado como tipo de correção, o método de modelagem matemática utilizando funções racionais, para a correção das imagens orbitais.

A indicação dos dados do sistema de projeção da Terra foi Universal Transversa de Mercator (UTM), com *datum* horizontal SIRGAS no sistema de referência, fuso 23 e zona K. O tamanho do pixel de saída foi fixado em 30x30m. A seguir é feita a descrição dos procedimentos para execução do registro.

O registro das imagens selecionadas foi realizado no ambiente computacional do aplicativo *Ortoengine* do software, PCI Geomática. Para proceder ao georreferenciamento das imagens *TM/LADSAT* no *Ortoengine*, foi necessário utilizar como base cartográfica de referência para aquisição dos pontos de controle, cartas topográficas no formato TIFF. As malhas, contendo informações cartográficas, na escala de 1: 50.000, com tamanho de pixel de 1,61 x 1,61m, foram obtidas no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

As cartas foram georreferenciadas utilizando pontos obtidos no grid do sistema de coordenadas UTM e reprojctadas do sistema de referência Córrego Alegre para o sistema SIRGAS 2000. As cartas foram salvas como imagem em arquivos TIFF descompactados

Para o georreferenciamento das imagens no PCI geomática, foi necessário a criação de uma estrutura hierárquica composta por bancos de dados e projetos (Figura I). O nome do banco de dados e o nome do projeto foram escolhidos com base no ano de levantamento e das informações órbita ponto das imagens *TM/Landsat*.

Os pontos de controle foram adquiridos utilizando a opção de *GCP Collection (Ground Control Points)* a partir de uma imagem geocodificada. O registro foi realizado a partir do georeferenciamento com as os pontos de controle (*GCP Collection*) adquiridos nas cartas de referência e clicando com o mouse sobre pontos conhecidos nas imagens *TM/Landsat*.

A recuperação da geometria da imagem, mediante sua correção geométrica, consistiu na aquisição de seis pontos de controle distribuídos pela imagem. O registro destes pontos utilizou um polinômio de terceiro grau e a reamostragem dos pixels pelo método do vizinho mais próximo.

Os pontos que apresentaram erro elevado foram realocados. O registro foi refeito com a reamostragem dos pontos, conforme observado na Figura 4.

O processo foi executado sucessivamente até que os pontos representassem o limite de precisão cartográfica, equivalente a 0,2mm (acuidade visual) da escala da carta topográfica de referência.

Considerando que a escala da carta topográfica utilizada corresponde a 1:50.000, o erro obtido no mapeamento dos pontos amostrados deve ser menor que 10m, o equivalente a 0.33 *pixels* de acordo com a resolução espacial do *Thematic Mapper* de 30 metros.

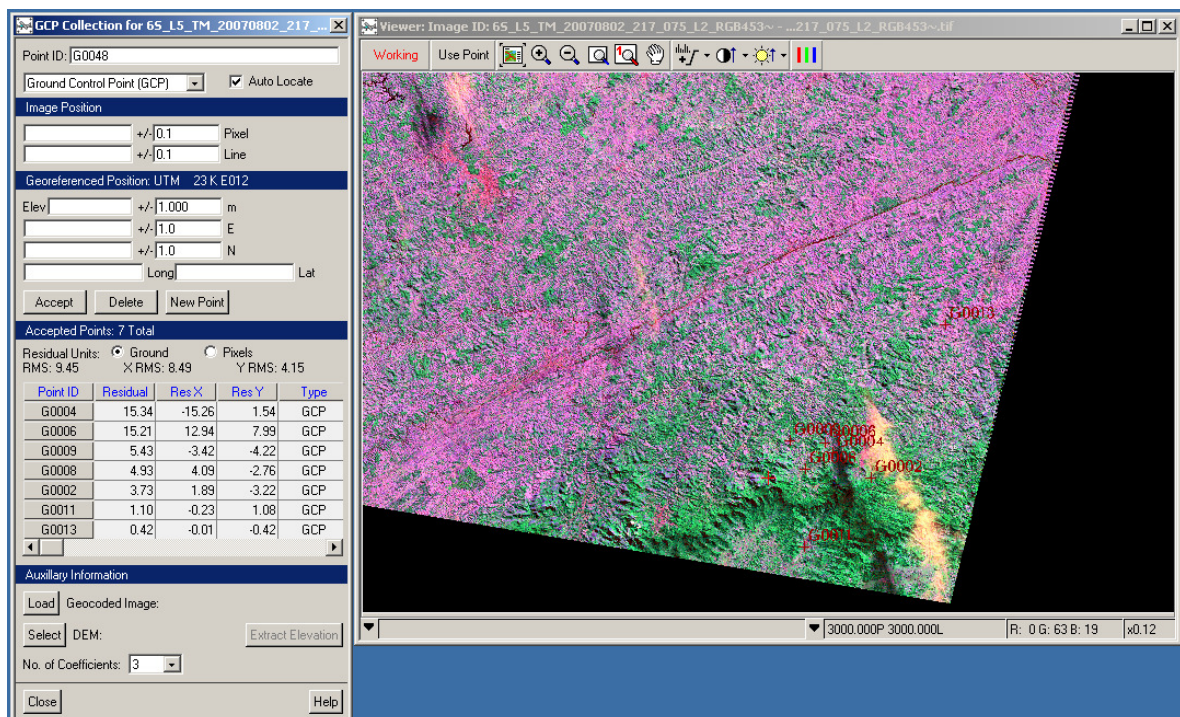


Figura 4 - Interface gráfica do aplicativo *Orthoengine* do software PCI geomática 9.0, apresentando o resíduo dos erros nos pontos de controle amostrados para o registro da imagem.

Para avaliar a qualidade do geo-referenciamento, foi realizada uma comparação entre o erro médio quadrático (RMS) e a frequência de Nyquist (FN), devido aos seguintes pressupostos:

- $RMS < FN$, geo-referenciamento aceitável, é possível a extração de informações, utilizando o potencial cartográfico da imagem para a geração de produtos cartográficos.
- $RMS > FN$, geo-referenciamento deve ser ajustado, nesta situação a extração de informações não estará utilizando o potencial cartográfico da imagem, para a geração de produtos cartográficos.

3.3.5 Ortorretificação

Devido a variações do relevo na área de estudo, foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (DEM) do Radar SRTM (FARR, 2000), para fornecimento da altimetria dos pontos amostrados no processo de ortorretificação das imagens *TM/Landsat*.

A ortorretificação das imagens *TM/Landsat* foram realizadas no aplicativo *Orthoengine* do PCI geomática 9.0. Para obtenção da altimetria foi utilizado o modelo digital do terreno do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), adquirido no site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

Para proceder a ortorretificação foi utilizado o sistema de reamostragem de pixels de convolução cúbica (cubic convolution), com a finalidade de representar com maior fidelidade a imagem de entrada na imagem de saída. Este modelo de reamostragem de pixel considera que o novo pixel, é obtido pela média dos níveis de cinza dos 16 pixels vizinhos mais próximos (RICHARDS, 1986).

A Figura 5 apresenta o modelo digital de elevação do SRTM referente à região da Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima, localizada no Município de Nova Friburgo no Estado do Rio de Janeiro.

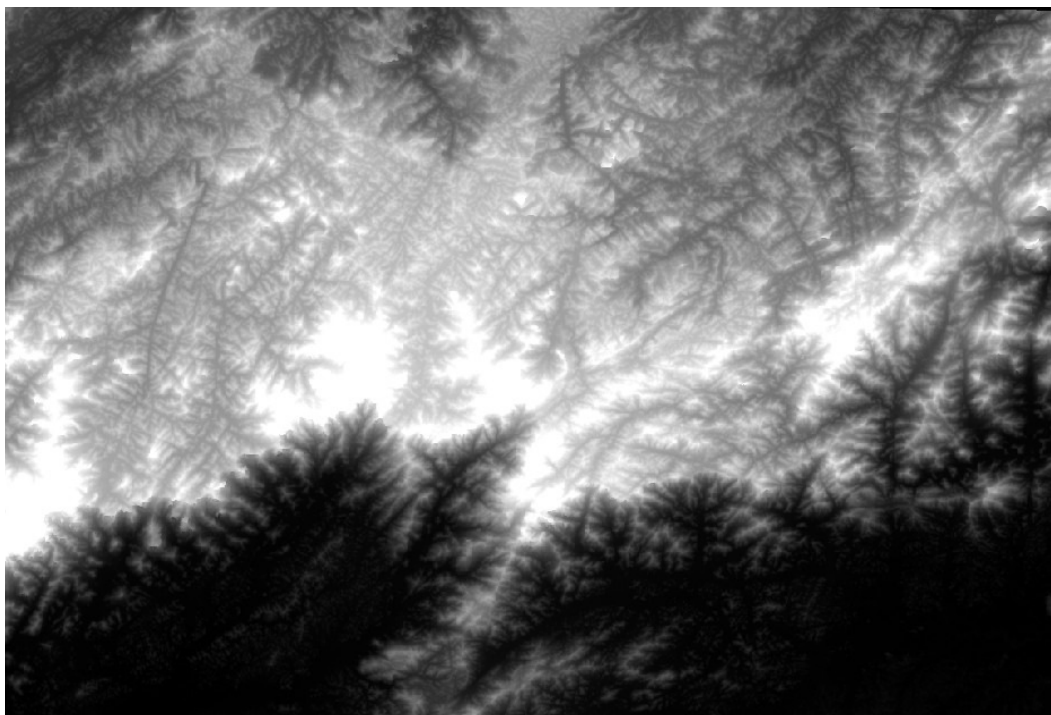


Figura 5 - Imagem de radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), referente à área de estudo.

3.3.6 Mosaicagem

O mosaico das imagens ortorretificadas foi realizado no módulo “*Orthoengine*” do software, PCI geomática 9.0. Na criação do arquivo foi utilizada a opção sem normalização, para que fossem mantidas as variações no brilho e a mesma reflectância da data de aquisição. Para junção das imagens foi considerado o método da linha de corte para geração de arquivo com linha de corte. Em seguida foi realizado o ajuste do mosaico, gerando um arquivo sem linha de corte.

Foi definida uma área para o mosaico e em seguida a geração dos arquivos no formato “*pix*” referente aos anos de 1996 e 2007. A Figura 6 apresenta o mosaico gerado a partir das imagens ortorretificadas referente ao ano de 1996.

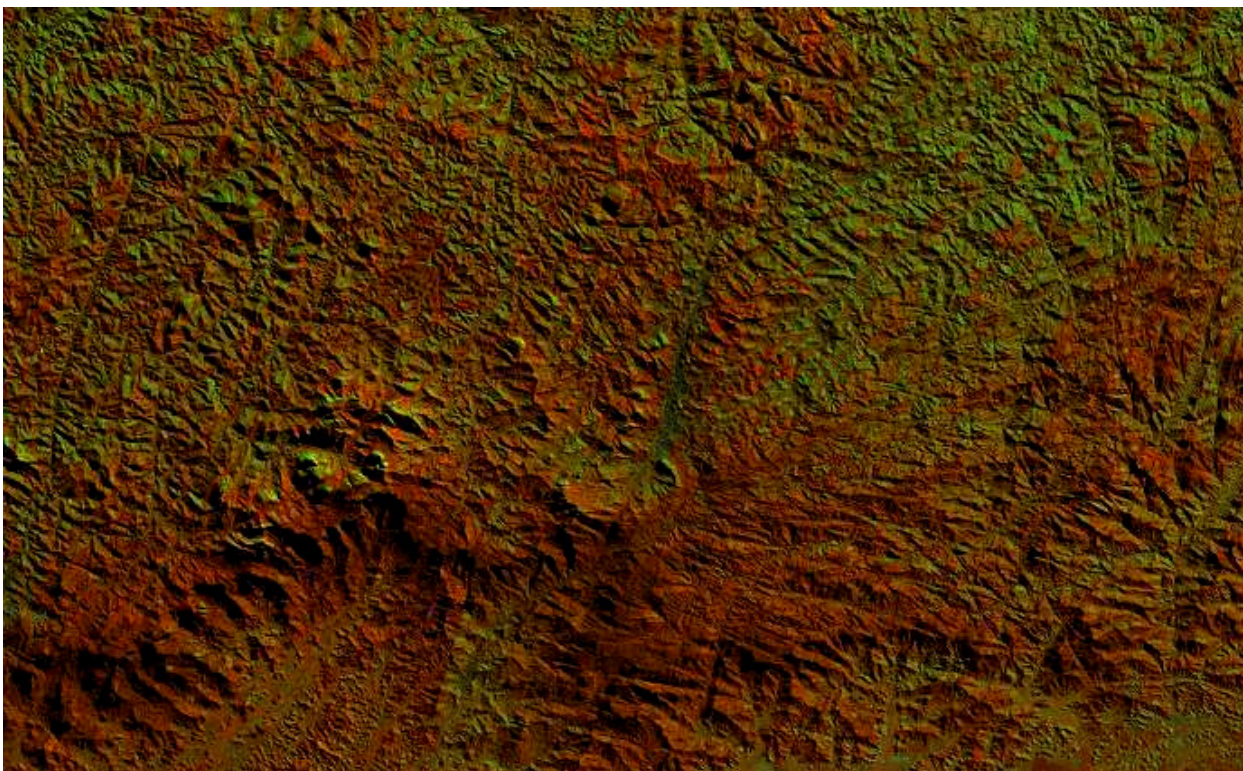


Figura 6 - Mosaico das cenas do sensor *TM/Landsat*, referente ao ano de 1996, bandas RGB - 453.

3.3.7 Índice de vegetação de diferença normalizada

Após realização da mosaicagem nas imagens referentes ao ano de 1996 e 2007, foram calculados os respectivos índices de vegetação, mediante a utilização do software Sistema de Processamento de Informações Geo-referenciadas - SPRING (CAMARA et al., 1996), utilizando a opção operações aritméticas do item imagem no menu principal.

De conhecimento das curvas de comportamento espectral dos alvos de interesse e o intervalo espectral das bandas dos sensores, foram selecionadas as bandas para utilização no realce das diferenças espectrais, mediante a subtração de bandas. Neste caso, foram utilizadas as diferenças nas bandas entre as duas datas e uma interpretação destas diferenças. Este procedimento foi realizado utilizando o software SPRING, no menu principal, ativando a opção “Imagem” e “Operações aritméticas”.

A opção escolhida correspondeu ao tipo de operação referente à subtração, com modelo genérico expresso da seguinte forma:

$$C = \text{Ganho} * (A-B) + \text{Offset}$$

O ganho é definido como um fator de “*ganho*” multiplicativo para melhorar a qualidade de contraste da imagem. O offset é definido como um fator de “*off-set*” aditivo para melhorar a qualidade de contraste da imagem. O ganho utilizado para obter um satisfatório contraste na imagem diferença foi “2” com offset “0”.

Neste caso as operações de subtração foram realizadas com a finalidade de realçar as diferenças espectrais. A interpretação foi realizada em tela com discussão dos resultados, sem a vetorização. O arquivo de saída para integrar um SIG, poderia ser obtido mediante a vetorização das diferenças entre as datas.

Foi calculado o índice de vegetação de diferença normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) para cada mosaico referente a 1996 e 2007. Neste caso tanto o ganho como o offset utilizados para o cálculo dos NDVI’s foram 127.5, com a finalidade de redistribuir os valores entre 0 e 255, para ambas as datas. Após proceder ao cálculo do NDVI, foi realizada a operação de subtração de imagens NDVI’s, para obter a imagem diferença entre as datas, com realce das diferenças espectrais apresentadas, constituindo em uma operação linear. O ganho e o offset utilizado para a subtração dos NDVI’s foi de “2” e “0”, respectivamente. A interpretação dos resultados foi apenas visual, procedendo a uma análise na detecção do padrão de mudança na cobertura da superfície.

Para a aplicação da subtração foram observados nas imagens se a média e o desvio padrão dos histogramas a serem subtraídos não coincidem. Nos casos em que os histogramas das imagens apresentaram média e desvio padrão coincidentes, foram adotados procedimentos referentes à equalização destes parâmetros estatísticos, antes da subtração, mediante um aumento de contraste adequado em ambas as imagens. Este procedimento teve como finalidade, proporcionar que o resultado da subtração entre as imagens apresenta-se uma correspondência a diferença real entre elas.

3.3.8 Interpretação e análise visual

Foram analisadas as feições quanto ao tipo de cobertura do solo, a partir da interpretação visual das imagens, utilizando o mosaico dos NDVI's. A análise visual das classes de uso do solo foi realizada com base na individualização dessas classes, utilizando como componentes para interpretação visual a textura, o padrão, porte e a forma.

Os mosaicos das imagens de satélite obtidas foram utilizados na análise comparativa das feições para confirmação das classes de uso e cobertura do solo. Os mosaicos foram gerados na composição entre bandas 453.

3.3.9 Análise da cobertura florestal natural

A análise temporal da cobertura florestal natural foi realizada com base nos seguintes parâmetros: áreas que ocorreram mudanças (áreas claras) e área que não ocorreram mudanças (áreas escuras).

Foi realizada uma análise visual do grau de evolução da cobertura florestal nas áreas, avaliando as alterações na paisagem, considerando um intervalo de temporal de onze anos, utilizando imagens dos sensores referentes à série histórica dos anos de 1996 a 2007. Nas áreas cobertas com floresta foram observadas mudanças na densidade da cobertura, alterações nos padrões de reflectância e a interferência de fatores limitantes e interpretação das feições.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Correção Geométrica

Para avaliar a qualidade do geo-referenciamento, foi realizada uma comparação entre o erro médio quadrático (RMS) e a frequência de Nyquist (FN). A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos no geo-referenciamento das imagens *TM/Landsat*.

A frequência de amostragem nas bandas 4, 5 e 3 é de um ciclo por 30 metros ($0,0333\text{m}^{-1}$), e a frequência de Nyquist a metade desta frequência ($0,0166\text{m}^{-1}$) equivalendo a dois pixels ou 60m.

Tabela 2 - Apresentação dos resultados do erro médio quadrático (RMS) referente ao registro das imagens.

Órbita / Ponto (ano) TM/Landsat	Número de pontos de controle	Erro Médio Quadrático (RMS)	Média dos resíduos	
			Ground	Pixels
216 / 76 (2007)	6	14.59	11,26	0,375
216 / 76 (1996)	6	20.80	16,07	0,535
216 / 75 (2007)	6	10.96	6,99	0,233
216 / 75 (1996)	6	9.15	5,855	0,195
217 / 75 (2007)	7	9.45	4,27	0,142
217 / 75 (1996)	7	4.76	7,69	0,256

O erro médio quadrático (RMS) obtido após o registro das imagens digitais foi menor que a frequência de Nyquist (FN). Neste caso, foi possível a extração das informações, utilizando o potencial cartográfico da imagem para a geração de produtos cartográficos.

A relação entre o erro de grafismo e o número de pixels definido pela frequência de Nyquist, para obtenção da escala máxima de representação dos produtos cartográficos gerados, com base nesta fonte de dados (TAVARES JUNIOR et al, 2006):

$$Eg = 0,0002(\text{m}) \times Fe;$$

$$Eg = 2 \times Re;$$

Igualando as duas equações

$$Fe = 10.000 \times Re;$$

Onde,

E_g = Erro de grafismo;

F_e = Fator de escala;

R_e = Resolução espacial;

0,0002 (m) = acuidade visual expressa em metros;

Na aplicação da equação $F_e = 10.000 \times R_e$, para o cálculo da escala máxima de representação dos produtos cartográficos que podem ser gerados a partir das bandas 4, 5, 3 da imagem digital do sensor *TM/Landsat*, foram gerados os seguintes resultados, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Apresentação dos resultados referente ao cálculo da escala máxima de representação dos produtos cartográficos que podem ser gerados, considerando as bandas 4, 5, 3 do sensor *TM/Landsat*.

Sensor	Banda Espectral	Resolução Espacial	$F_e = 10.000 \times R_e$	Escala Máxima
TM/Landsat	4, 5, 3	30m	300.000	1/300.000

O cálculo da escala acima desconsidera os erros referentes ao processo de registro destas imagens, que varia de acordo com o erro quadrático médio (RMS), considerando a equação ajustada $F_e = 5.000 \times (2R_e + RMS)$, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 - Resultado do cálculo da escala máxima considerando a equação ajustada.

Órbita / Ponto (ano) TM/Landsat	Banda Espectral	Resolução Espacial	$F_e = 5.000 \times (2R_e + RMS)$	Escala Máxima
216 / 76 (2007)	453	30	372.950	1/372.950
216 / 76 (1996)	453	30	404.000	1/404.000
216 / 75 (2007)	453	30	354.800	1/354.800
216 / 75 (1996)	453	30	345.750	1/345.750
217 / 75 (2007)	453	30	347.250	1/347.250
217 / 75 (1996)	453	30	323.800	1/323.800

4.2 Atenuação dos Efeitos Atmosféricos

O resultado da correção atmosférica indica que as imagens sem correção atmosférica não representam a reflectância dos alvos avaliados (vegetação e solo). A utilização do modelo 6S para a correção atmosférica das imagens apresenta a obtenção de valores de físicos da reflectância característica para cada alvo analisado. A utilização do modelo 6S foi suficiente para a satisfatória correção atmosférica das imagens orbitais, sendo indicado para a correção atmosférica de imagens digitais em estudos de sensoriamento remoto.

Antunes et al (2003) verificou que, os gráficos para vegetação mostram que a reflectância planetária decresce da banda 1 para a banda 3, aumenta da banda 3 pra a banda 4 e desta para a banda 7 decresce, sendo este padrão de comportamento no visível não típico da vegetação. A correção atmosférica permite a recuperação de valores de reflectância mais próximos para a vegetação, com ligeiro aumento na faixa do verde (banda 2).

Segundo Antunes et al (2003), o efeito da atmosfera nas bandas do visível é aditivo, sendo que mais radiação é adicionada pela atmosfera do que retirada, ocasionando que a correção atmosférica promova uma diminuição nos valores de reflectância da superfície.

Em análise de vegetação de altitude, foram constatadas diferenças em valores de reflectância da superfície em relação à vegetação de eucaliptos devido a diferenças nas folhagens entre as duas superfícies vegetadas, sendo este padrão similar ao observado por Antunes et al (2003).

A correção atmosférica foi considerada nas fases iniciais desta pesquisa, constituindo um método promissor para melhorar a reflectância dos alvos para distinção e detecção de mudanças e

As Figuras 7 e 8 apresentam imagens *TM/Landsat*, com a composição 453 sem correção atmosférica e com correção atmosférica, respectivamente.

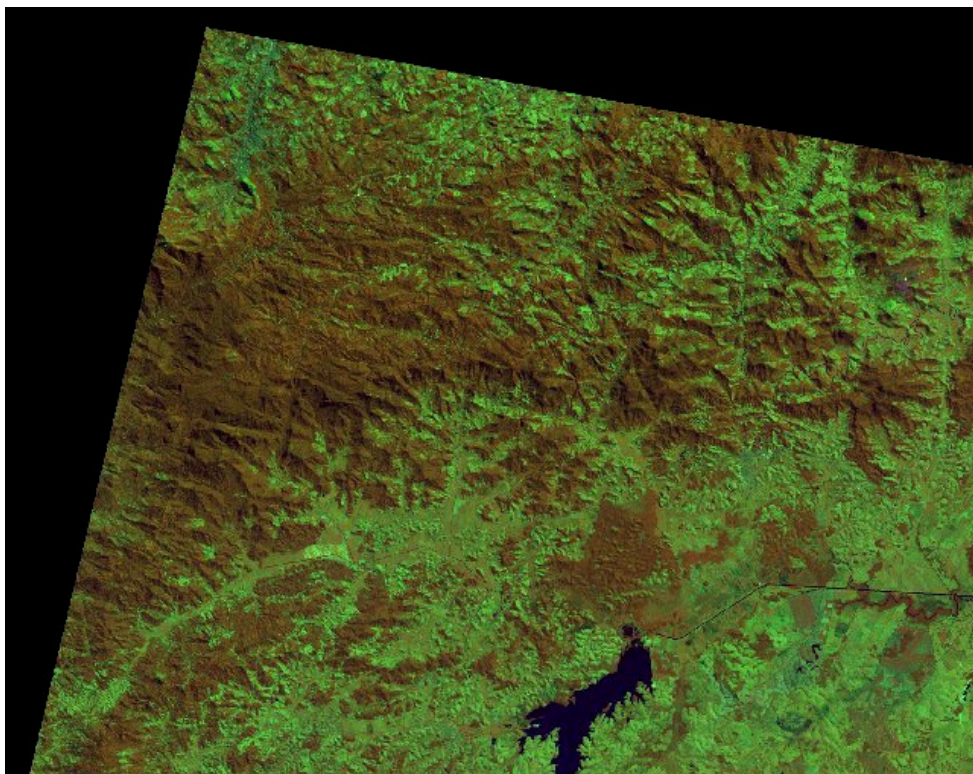


Figura 7 - Composição 453 de imagem *TM*/Landsat, sem correção atmosférica, referente à órbita ponto 216/76 com data de 27.08.2007.

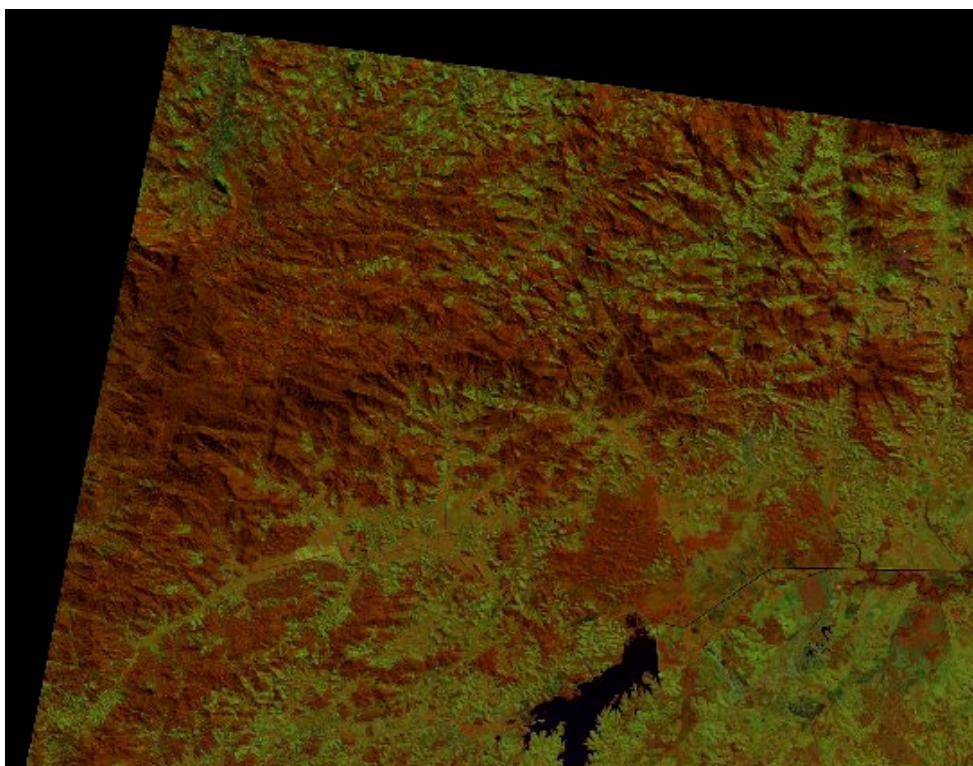


Figura 8 - Composição 453 de imagem *TM*/Landsat com correção atmosférica, referente à órbita ponto 216/76 com data de 27.08.2007.

4.3 Índice de Vegetação de Diferença Normalizada

Neste item são apresentados os resultados da composição colorida dos mosaicos 453, referente ao ano de 1996 e 2007 (Figuras 9 e 13), do índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) referente ao ano de 1996 e 2007 (Figuras 10 e 14) e a imagem diferença dos NDVI's (Figura 15), ambas referentes à Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima (RJ).

A interpretação dos resultados referente ao cálculo do NDVI é feita visualmente em tela com base nas informações observadas na composição colorida 453. De acordo com a aparência da imagem NDVI e os mosaicos elaborados com imagens do sensor *TM* foram observadas algumas correspondências, entre feições da composição destes mosaicos como solo e vegetação, em relação às feições correspondentes na imagem NDVI.

As áreas que apresentaram tonalidades de cinzas mais escuras nas imagens NDVI, podem estar relacionadas às classes associadas a pouca fitomassa, como solo exposto, diferentes tipos de pastagens ou culturas agrícolas. No entanto, é necessário que se faça uma análise numérica mais aprimorada para a confirmação dos resultados.

Neste caso foi necessário considerar a caracterização espectral das classes apresentadas. Os fatores que interferem na reflectância dos alvos nos diferentes dosséis interferem no cálculo do índice.

Os menores valores obtidos para classe Floresta em relação à classe regeneração pode ser entendido pelas sombras proporcionadas pelo dossel da floresta primária em relação à cobertura florestal em regeneração, proporcionando incertezas na relação direta esperada entre NDVI e biomassa. Neste caso, a interpretação levou em conta fatores limitante considerando as regiões que apresentaram estes pontos de saturação, que se manifestaram de forma diferente nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo. Outros fatores, como a interferência atmosférica, não afetaram a análise dos NC nos mosaicos NDVI's.

As classes com menor fitomassa apresentaram resultados compatíveis com a relação direta entre NDVI e biomassa. Entretanto, a aplicação do índice NDVI não deve ser utilizada para comparação de distintos padrões na biomassa e estrutura florestal em diferentes classes fitofisionômicas, mas aplicado dentro da mesma classe, conforme resultados em estudos realizados por Ponzoni & Shimabukuro (2007).

A interpretação foi realizada em tela com discussão dos resultados, sem a vetorização. A Figura 9 apresenta o mosaico com a composição de bandas 453 do ano de 1996. A Figura 10 apresenta a imagem do NDVI, do ano de 1996, com diferentes padrões de níveis de cinza para solo exposto, pastagem, áreas agrícolas, vegetação e sombra.

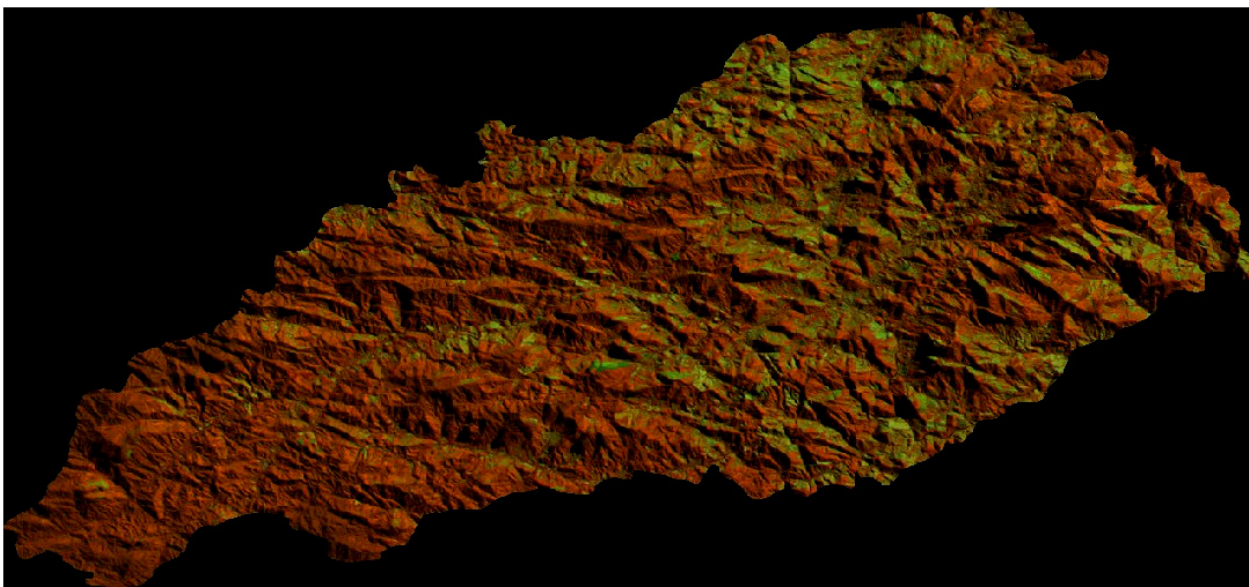


Figura 9 - Mosaico *TM/Landsat* de composição 453, do ano de 1996, referente a APA de Macaé de Cima.

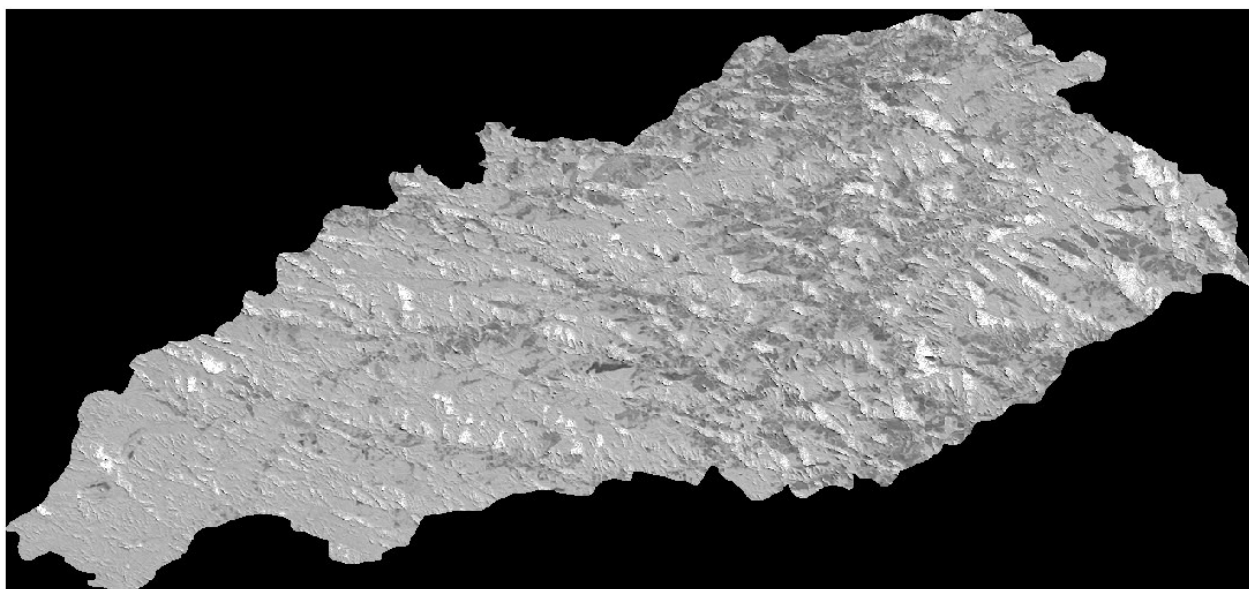


Figura 10 - Imagem NDVI de 1996, referente à Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima.

No mosaico de 1996 formado pela composição entre bandas 453, as diferenças nos níveis de cinza em valores de reflectância da superfície de vegetação natural em relação às diferenças em valores de reflectância da vegetação de eucaliptos são devidas a diferenças de densidade de folhagens entre as duas superfícies vegetadas.

As áreas mais claras da imagem NDVI de 1996, apresentada na Figura 10, foram caracterizadas como áreas com ocorrência de sombra do relevo. As áreas com tons de cinza claro representam as regiões cobertas por floresta natural com maior presença de fitomassa. As áreas com os níveis de cinza escuros são definidas como área de solo exposto, pastagens e cultivos agrícolas, com pouca fitomassa.

Neste caso foram estabelecidas as seguintes classes, considerando a interpretação realizada em tela e a função de leitura de pixel (Figuras 11 e 12), no SPRING:

- Vegetação natural;
- Eucalipto;
- Solo exposto, pastagens em diversos níveis e cultivos agrícolas;
- Sombra;

156	188	203	181	153
165	187	196	185	167
192	202	200	206	185
176	213	202	205	197
126	193	222	214	201

Figura 11 - Matriz numérica de valores de níveis de cinza referente o mosaico NDVI de 1996, classe eucalipto, coordenadas planas (X = 775718.5m; Y = 7528501.8m)

139	111	112	129	125
131	104	110	123	127
104	102	118	139	132
124	124	123	121	127
125	110	105	118	130

Figura 12 - Matriz numérica de valores de níveis de cinza referente o mosaico NDVI de 2007, classe eucalipto, coordenadas planas (X = 775718.5m; Y = 7528501.8m)

Os valores mais elevados apresentados na Figura 11 estão relacionados com áreas de maior quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa, enquanto que a Figura 12 apresentou níveis com menor quantidade de vegetação para a classe eucalipto. Neste caso, os altos valores dos níveis de cinza representam uma vegetação com maior vigor ou densidade para a classe eucalipto.

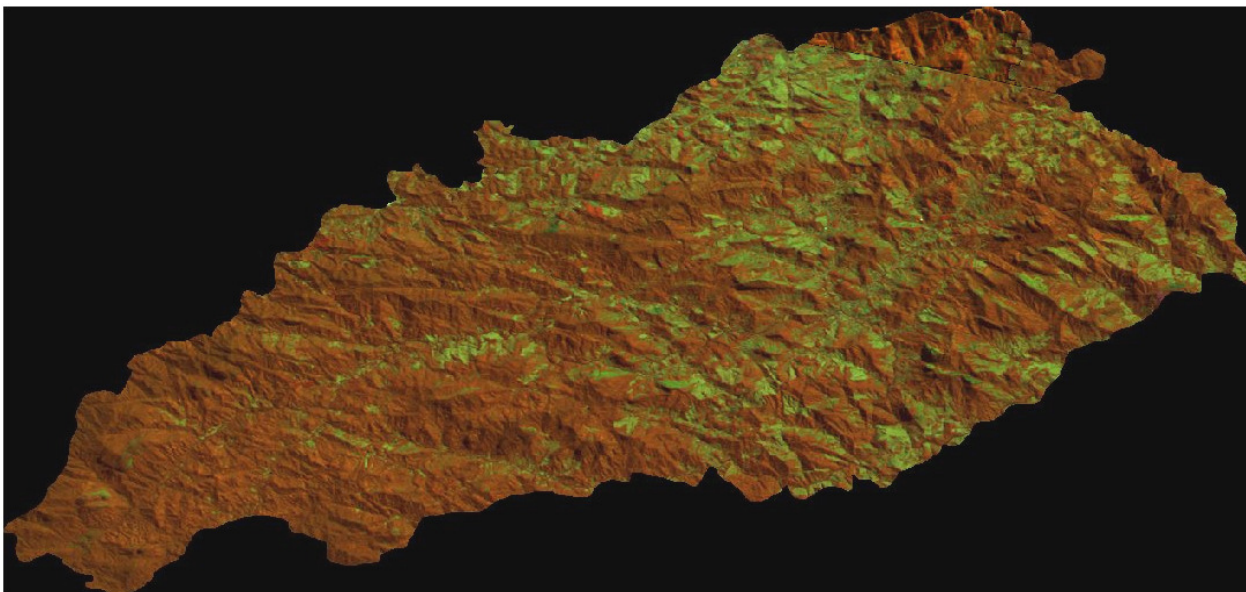


Figura 13 - Mosaico *TM/Landsat* de composição 453, do ano de 2007, referente a APA de Macaé de Cima.

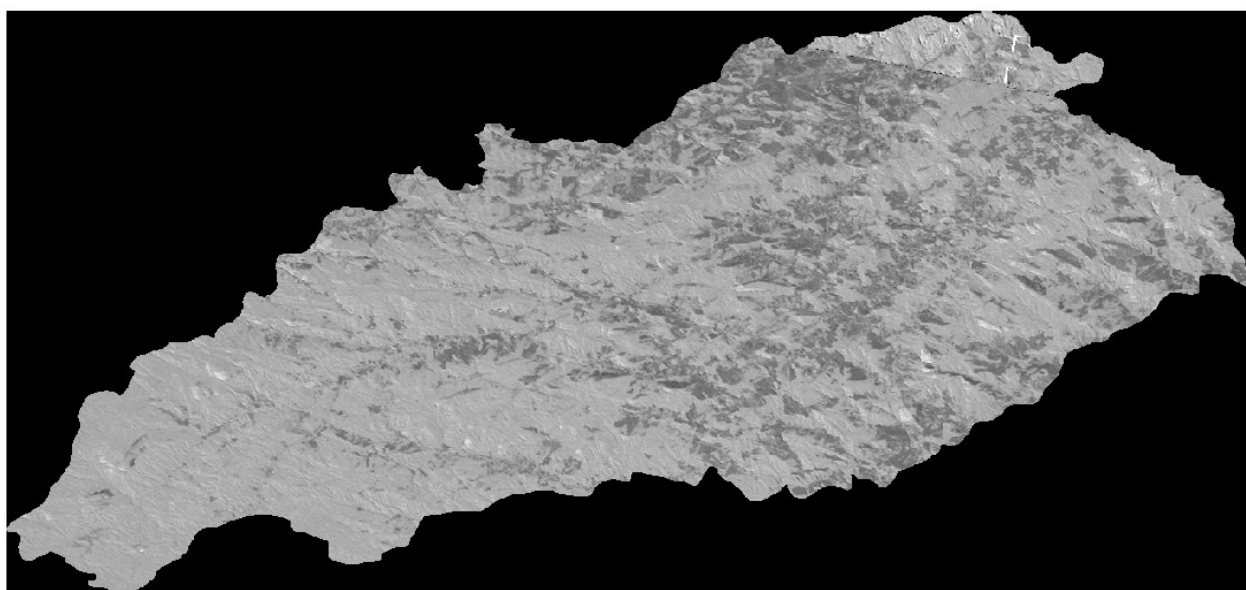


Figura 14 - Aplicação do índice NDVI sem contraste e escalonados entre 0 e 255 (8 bits), referente ao mosaico de 2007.

O mosaico referente ao NDVI do ano de 2007 apresenta poucas áreas com incidência de sombra, causada pelo relevo. Os níveis de cinza (NC) apresentados na matriz numérica de valores na Figura 12 caracterizam mudanças nos padrões de reflectância na classe eucalipto, considerando os NC apresentados na matriz numérica da Figura 11, referente ao NDVI de 1996.

As regiões que apresentam tonalidade de níveis de cinza, de valores baixos, observados na Figura 14 são constituídas por áreas de pastagem, cultivo agrícola e solo exposto. As regiões com NC altos apresentam uma cobertura formada florestal natural com alta densidade de fitomassa nos topos de morros e encostas. A cobertura florestal natural sofreu uma perda significativa de vegetação nas áreas menos acidentadas do relevo, sendo o uso destas áreas convertido em pastagem e cultivo agrícola.

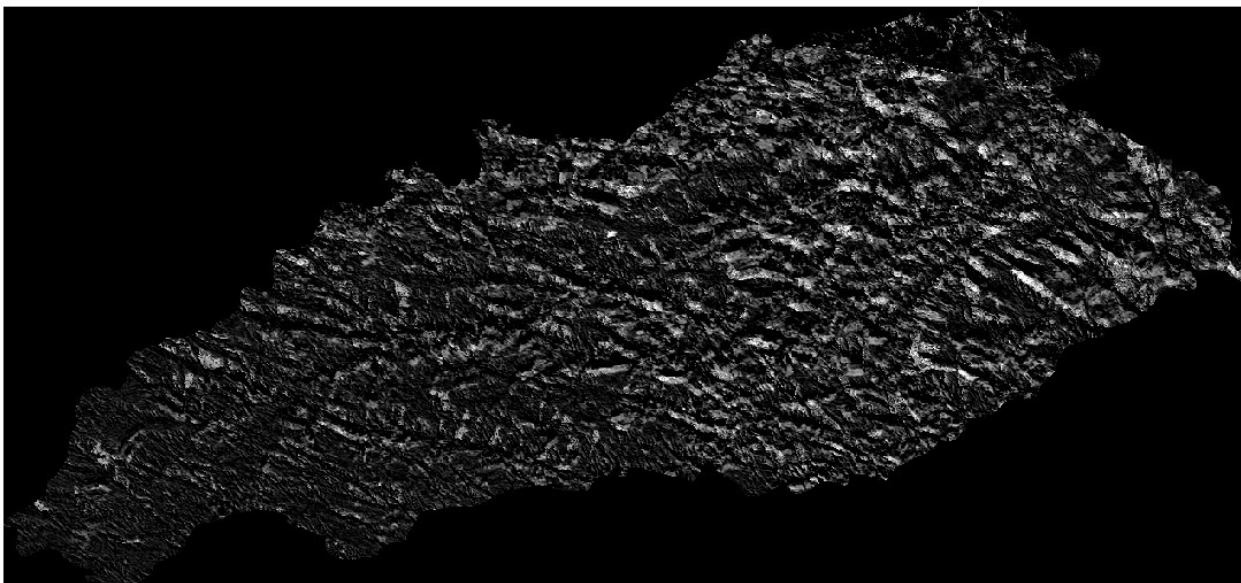


Figura 15 - Imagem diferença dos NDVI's de 1996 e 2007, com aplicação de contraste, com ganho 2 e 0 de offset.

A Figura 15 apresenta o resultado da operação de subtração dos índices de vegetação de diferença normalizada (NDVI), para os anos de 1996 e 2007. As áreas mais claras apresentaram algum tipo de mudança na cobertura da superfície. As áreas com níveis de cinza escuros, não apresentaram mudanças na cobertura.

5 CONCLUSÃO

Mediante a apresentação dos resultados desta pesquisa pode-se concluir que foram alcançados os objetivos estabelecidos, mostrando-se adequada e suficiente a metodologia de trabalho empregada. Entretanto, para o desenvolvimento de trabalhos futuros referentes à detecção de mudanças, são propostas algumas conclusões específicas.

A utilização do índice de vegetação de diferença normalizada NDVI foi suficiente para a separação de feições como vegetação e solo. Portanto recomendável para distinção de alvos agrícolas e vegetação natural, apresentado bom contraste entre os pixels de superfície, demonstrando satisfatório potencial para a separação de alvos.

O arquivo de saída para integrar um SIG, pode ser mediante a vetorização das diferenças entre as datas na imagem gerada pela subtração dos NDVI's.

A aplicação desta metodologia em outras áreas é recomendável para qualificação deste método, bem como a comparação de resultados obtidos.

As áreas com presença de sombra ocasionou uma perda de informação, interferindo no processo de análise dos níveis de cinza dos alvos.

Considerando crescente, o volume de informações referentes à Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima, é recomendável que o armazenamento e a manipulação das informações apresentadas, venham constituir uma base de dados para utilização em um sistema geográfico de informação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, H. M. R. Sistema de informação geográfica na avaliação de impactos ambientais provenientes de atividades agropecuárias. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v 21, n.202, p. 99-109, jan /fev. 2000.

ALVES, L. M. Sistemas de Informação Geográficas como Instrumentos para o Planejamento de uso da Terra em Microbacias Hidrográficas, Viçosa, UFV, 1993, 108p. (Tese DS).

ANTUNES, M.A.H.; FREIRE, R.M.B.; BOTELHO, A.S.; TONIOLLI, L.H. Correções atmosféricas de imagens de satélites utilizando o Modelo 6S. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, Belo Horizonte, 2003. Anais... XXI Congresso Brasileiro de Cartografia. 2003.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E.; MEIRELLES, M. L.; MOREIRA, L. Estruturação de dados geo-ambientais no contexto de microbacia hidrográfica. In: ASSAD, E. D.; SANO, E.E. (Ed.). Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura. Brasília: EMBRAPA – CPAC, 1993. Cap. 4, p. 89 – 108.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24p. Disponível em: <http://www.unb.br/ciord/informacoes/defesa/abnt_nbr6023_2002_referencia.pdf>. Acesso em: 08 de agosto de 2008.

BARBOZA, R. S.; BORGES A. C.; MELO, A. L. & VALCARCEL, R. Interceptação vertical na Serra do Mar do Rio de Janeiro. In: Jor. de Iniciação Científica da UFRRJ,. Resumo..., 5p pxxx-xxx..UFRRJ, vol II, n.2. Seropédica, RJ (30/11-02/12/2004). ISSN1518-5680.

BATISTELLA, M. et al. Satélites de Monitoramento. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 20 ago. 2008.

BELTRAME, A. V. Uma aplicação do sensoriamento remoto no planejamento físico de microbacias hidrográficas, Agropecuária Catarinense, Florianópolis, v.4, n°1, p. 37-41, 1991.

BOWKER, D. E.; DAVIS, R. E.; MYRICK, D. E.; STACY, K.; JONES, W. T. Spectral reflectances of natural targets for use in remote sensing studies. Washington, D.C., NASA, 1985. 184 p. (NASA Reference Publication, 1139).

BRASIL. Congresso. Senado. Resolução n.º. 303, de 20 de mar de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama/>>. Acesso em: 03 set. 2006 a.

BRASIL. Lei n. 4.771, 15 set. 1965. Institui o novo Código Florestal. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/Leis/L4471.htm>>. Acesso em: 03 set. 2006 b.

BRASIL. Lei n. 9985, 18 jul. 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e IV da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm>. Acesso em 09 set. 2008.

BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford : Clarendon, 1989. 194p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Capítulo 1: Apresentação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C. e MONTEIRO, A. M. V. Introdução a Ciência da Geoinformação – 2002. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em 20 ago. 2008.

CAMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by objectoriented data modelling. *Computers & Graphics*, v. 20, n.3, p. 395-403, 1996. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acesso em 10 ago.. 2008.

CAVALCANTI, H. C. Uso de um sistema de informações geográficas no processo de elaboração de laudos e na concessão de licenças para desmates, Viçosa, UFV, 1993, 62p. (Tese M. S.)

CARDOSO C. A.; DIAS, H.C.T.; SOARES, C.P.B.; MARTINS, S.V. 2006. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. Viçosa-MG. R. *Árvore*, v.30, n.2, p.241-248.

CARDOSO C. A.; DIAS, H.C.T.; MARTINS, S.V.; SOARES, C.P.B. 2006. Caracterização Hidroambiental da bacia Hidrográfica do Rio debossann Nova Friburgo, RJ. Viçosa-MG. R. *Árvore*, v.30, n.2, p.249-256.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. Remote Sensing and image interpretation. 2. Ed. New York, John Wiley, 1987. 721 p.

CHAVEZ, P. S. Jr., 1988, na improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multi-spectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24, 459-479.

DESCHAMPS, P. Y., Hatman, M., Tanré, D., 1983, Definitions of atmospheric radiance and transmittances in remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 13, 89-92.

EPIPHANIO, J. C. N., FORMAGGIO, A. R., VALERIANO, M. M. & OLIVEIRA, J. B. - 1992 – Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo. Relatório do Convênio FAPESP – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 132 p.

FAO. Global Forest Resources Assesment 2005. p.320.

FARR, T. G., KOBRICK, 2000, Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data, Amer. Geophys. Union Eos, v. 81, p.583-585.

FLORENZANO, T.G. Imagens de Satélite para Estudos Ambientais. São Paulo: Oficina de textos 2002, p.97.

GAUSMAN, H. W. Leaf reflectance of near infra-red. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(11):1725-1734, nov. 1985.

GUIMARÃES, L. T. Utilização de sistema de informação geográfica (SIG) para identificação de áreas potenciais para disposição de resíduos na bacia do Paquequer, município de Teresópolis – RJ. 2000. 163 p. Dissertação de (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.labgis.uerj.br/publicações/lucy/index/.htm>>. Acesso em: 21 ago. 2006.

GUYOT, G.; GUYON, D.; RIOM, J. Factors affecting the spectral response of forest canopies: a review, Geocarto International, 4(3):3-18, sept.1989.

HOFFER, R. M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data, In: Swain P. H.; Davis S. M. ed. Remote sensing: the quantitative approach. s.l. McGraw-Hill. 1978. P. 227-290.

HUETE, A. R. Soil spectral effects on vegetation discrimination. (Doctoral Dissertation) – University of Arizona, Tucson, 1984. 208 p.

LACRUZ, M. S. P. Sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica como subsídio para levantamentos fiionômico-estruturais em floresta tropical úmida – estudo de caso: estação científica Ferreira Penna, PA. – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003. 114p.

LEITÃO M. de M. V. B. R. ; SANTOS, J. M. dos & OLIVEIRA, G. M. de. Estimativas do albedo em três ecossistemas da floresta amazônica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p.256-261, 2002.

LIMA, H. C. & GUEDES-BRUNI, R. R. 1997. **Diversidade de plantas vasculares na Reserva Ecológica de Macaé de Cima**, PP, 29-40. In: Serra de Macaé de Cima: diversidade florística e conservação em Mata Atlântica. Lima, H. C. & Guedes-Bruni, R. R. (ed.). Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; FONSECA, S.; MARQUES, J.J.G.S.M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz, ES. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, p.395-403, 2003.

MATHER, P. M. 1999. Computer Processing of Remotely-Sensed Images An Introduction, Jonh Wiley & Sons, New York, 352 p.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 20 jun. 2008.

MOREIRA, A. A.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, J. C. ; SILVA, E.; RIBEIRO, C. A. A. S. Determinação de áreas de preservação permanente em uma microbacia hidrográfica a partir de fotografias aérea de pequeno formato. In: XI SBSR, 2003, Belo Horizonte, mg. Anais... INPE.

NASCIMENTO, M. C. et al. Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo. *Ciência Florestal*, v.15, n.2, p. 207-220, 2005.

OLIVEIRA, M.; CURI, N. & FREIRE, J. C. 1983. Influência do cultivo na agregação de um podzólico vermelho-amarelo textura média/argilosa da região de Lavras, MG. *Revista Brasileira de ciência do Solo*, Campinas, 7(3):317-322.

PCI GEOMATICS, OrthoEngine User guide version 9.0. Canadá, 2003.

PINTO, L.V.A.; FERREIRA, E.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C. Caracterização física da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG e uso conflitante da terra em suas áreas de preservação permanente. *Cerne*, v.11, n.1, p. 49-60, 2005.

PONZONI, F. J. & SHIMABUKURO, Y. E. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 135 p.

RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, 1983. v.32. 775p.

RAMBALDI, D. M.; MAGNANI A.; ILHA, A.; LARDOSA E.; FIGUEIREDO P.; OLIVEIRA, R. F. de. 2003. A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CNRBMA. Série Estados e Regiões da RBMA, Caderno da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. 61p.

RAVIKANTH, G.; SHAANKER, R.U.; GANESHIAH, K.N. Conservation status of forests in India: a cause for worry? *Journal of the Indian Institute of Science*, v.80, n.6, p.591-600, 2000.

RICHARDS, J. A. Remote sensing digital image analysis: na introduction. Berlin, Springer-Verlag, 1986. 281 p.

RIO DE JANEIRO (Estado). Decreto nº 29.213, de 14 de setembro de 2001. CRIA a Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima (APA de Macaé de Cima), no Município de Nova Friburgo e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.ief.rj.gov.br/legislacao/docs/29213.pdf>> Acesso em 08 de agosto de 2008.

RIZZINI, C.T. Tratado de fitogeografia do Brasil. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1979. v.2. 374p.

SCHOWENGERDT, R.A. Remote sensing: models and methods for image processing. Academic Press, 2ª edição, San Diego, USA, 1997.

SILVA, B. S. G. & VALERIANO, D. M. Geo-referenciamento e análise da correção atmosférica para o cálculo do albedo usando o sensor Landsat ETM+. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., 2003, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2143-2150.

SWAIN, P. H.; DAVIS, S.M., Ed. Remote sensing: the quantitative approach. New York, Mc Graw-Hill, 1978. 396p.

TAVARES JUNIOR, J. B.; OUVÉNEY, M. I. M.; UBERTI, M. S.; ANTUNES, M. A. H. Avaliação de imagens Ikonos e Quickbird para obtenção de bases cartográficas para o cadastro técnico municipal. In: COBRAC 2006 Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2006, Florianópolis. Anais do COBRAC 2006. Florianópolis. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/marlene/downloads/Artigos/COBRAC%202006%202.pdf>> Acesso em: 17 ago. 2008.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. New Jersey: Laboratory of Climatology, 1955. 125p.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, v.8, n.2, p. 127-150, 1979.

VALERIANO, D. M. Interações da radiação solar com a vegetação. São José dos Campos, set. 1988, 31p. (INPE-4697-MD/038).

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. 1991. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 123p.

VERMOTE, E.; TANRÉ, D.; DEUZÉ, J. L.; HERMAN, M. e MORCETTE, J. J. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum: An overview. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 35, p. 675-686, 1997.

XAVIER, A. C. and VETTORAZZI, C. A. Mapping leaf area index through spectral vegetation indices in a subtropical watershed, **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 9, p1661–1672, 2004.

ZULLO, Jr., J. *Correção Atmosférica de Imagens de Satélite e Aplicações*. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Elétrica/Unicamp. Campinas/SP. 1994. 190p.