



**DANIEL DIAS DE ANDRADE**

**ESTIMATIVA E MAPEAMENTO DE CARBONO EM FRAGMENTOS FLORESTAIS  
DA APA FERNÃO DIAS (MG) POR MEIO DE DADOS LANDSAT TM E DE CAMPO**

**CAMPINAS**

**2013**





**NÚMERO: 205/2013**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**DANIEL DIAS DE ANDRADE**

**“ESTIMATIVA E MAPEAMENTO DE CARBONO EM FRAGMENTOS FLORESTAIS  
DA APA FERNÃO DIAS (MG) POR MEIO DE DADOS LANDSAT TM E DE CAMPO”**

**ORIENTADOR: PROF. DR. MARCOS CÉSAR FERREIRA**

**CO-ORIENTADOR: DR. EDSON LUIS BOLFE**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA AO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DA UNICAMP COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
MESTRE EM GEOGRAFIA NA ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA  
TERRITORIAL**

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA  
DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO ALUNO DANIEL DIAS DE  
ANDRADE E ORIENTADO PELO PROF. DR. MARCOS CÉSAR  
FERREIRA**

---

**CAMPINAS**

**2013**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca do Instituto de Geociências  
Cássia Raquel da Silva - CRB 8/5752

An24e Andrade, Daniel Dias de, 1981-  
Estimativa e mapeamento de carbono em fragmentos florestais da APA  
Fernão Dias (MG) por meio de dados Landsat TM e de campo / Daniel Dias  
de Andrade. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Marcos César Ferreira.

Coorientador: Édson Luis Bolfe.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto  
de Geociências.

1. Biomassa. 2. Processamento de imagens - Técnicas digitais. 3. Ciências  
florestais. I. Ferreira, Marcos César, 1957-. II. Bolfe, Édson Luis. III. Universidade  
Estadual de Campinas. Instituto de Geociências. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Carbon estimation and mapping in forest fragments of APA Fernão  
Dias (MG) using Landsat TM and field data

**Palavras-chave em inglês:**

Biomass

Image processing - Digital techniques

Vegetation surveys

**Área de concentração:** Análise Ambiental e Dinâmica Territorial

**Titulação:** Mestre em Geografia

**Banca examinadora:**

Marcos César Ferreira [Orientador]

Jurandir Zullo Junior

Reinaldo Paul Pérez Machado

**Data de defesa:** 15-08-2013

**Programa de Pós-Graduação:** Geografia



**UNICAMP**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
ÁREA DE ANÁLISE AMBIENTAL E DINÂMICA TERRITORIAL**

**AUTOR:** Daniel Dias de Andrade

“Estimativa e Mapeamento de Carbono em Fragmentos Florestais da APA Fernão Dias (MG) por Meio de Dados LANDSAT TM e de Campo”

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Marcos César Ferreira

**CO-ORIENTADOR:** Dr. Edson Luis Bolfe

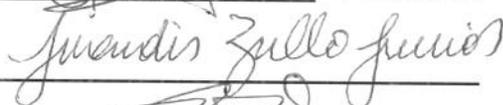
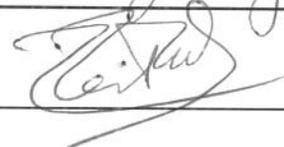
Aprovado em: 15 / 08 / 2013

**EXAMINADORES:**

Prof. Dr. Marcos César Ferreira

Prof. Dr. Jurandir Zullo Junior

Prof. Dr. Reinaldo Paul Pérez Machado

  
\_\_\_\_\_- Presidente  
  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_

Campinas, 15 de agosto de 2013.



## Agradecimentos

Aos meus pais, a minha família e aos amigos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Unicamp, pela acolhida.

Aos colegas e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Geografia, pela colaboração, convivência e amizade.

A CAPES, pelo financiamento concedido.

Aos colegas da Embrapa Monitoramento por Satélite, pela colaboração.

Aos professores e à equipe da Universidade Federal de Lavras, pelo apoio na aquisição dos dados e na realização do campo.

A Melhoramentos Florestal pela permissão de entrada, equipamentos e treinamento.

Em especial aos que mais proximamente tornaram as páginas seguintes possíveis de serem redigidas, ao meu orientador Professor Dr. Marcos César Ferreira, ao meu co-orientador, Dr. Édson Luis Bolfe, ao aluno e professor Dr. Rafael Feltran Barbieri, ao colega e amigo Me. Edson Antonio Mengatto Junior e ao Dr. Mateus Batistella.



## Vegetação: vida sem vida, antigravidade

A vegetação é o elo final da cadeia da interação relevo-rocha-clima-rio-solo, exprimindo e fechando a totalidade do processo estrutural de arrumação corológica da natureza. Por isso, é ela a forma sintética mais completa e total dessa estrutura.

Sendo o produto-síntese de todo esse encadeamento causal, nela se reúnem todos os elos e por isso nela reside o delicado segredo do equilíbrio do conjunto da natureza.

Suas raízes fincadas no solo são a argamassa que sustenta a permanência desse equilíbrio. É essa característica que por excelência chama a atenção do geógrafo. E por onde ele se orienta na sua relação com a vegetação.

Ruy Moreira



## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	xiii
LISTA DE TABELAS .....	xv
LISTA DE QUADROS .....	xvii
LISTA DE ANEXOS .....	xix
<b>RESUMO .....</b>	<b>xxi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Questões de Pesquisa .....	1
1.2 Hipótese.....	3
1.3 Objetivos .....	3
<b>2. GESTÃO DO CARBONO.....</b>	<b>5</b>
2.1 Histórico .....	5
2.2 Primeiras Iniciativas .....	6
<b>3. A FLORESTA OMBRÓFILA NO SUL DE MINAS GERAIS .....</b>	<b>15</b>
3.1 A APA Fernão Dias .....	15
3.2 Condicionantes Físico-Geográficas da Floresta Ombrófila da Serra da Mantiqueira ...	18
<b>4. ESTIMATIVA DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS POR MEIO DE IMAGENS ORBITAIS .....</b>	<b>23</b>
4.1 Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação.....	23
4.2 Eliminação de ruídos, correção de efeitos bidirecionais e de distorções geométricas ...	26
4.3 Índices de Vegetação e Estimativa de parâmetros biofísicos.....	33
4.4 Classificação da Floresta Ombrófila da APA Fernão Dias .....	41
<b>5. ANÁLISE ENTRE OS DADOS DE CAMPO E AS VARIÁVEIS ESPECTRAIS .....</b>	<b>49</b>
5.1 Modelos para medição, monitoramento e estimativa dos parâmetros biofísicos em campo	49
5.2 Materiais e Métodos .....	51
5.3 Resultados.....	58

<b>6. MAPEAMENTO DO CARBONO.....</b>	<b>69</b>
6.1 Considerações .....	82
6.2 Conclusões .....	85
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>87</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>97</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1. Localização da APA Fernão Dias, com municípios, principais rios e Rodovia Fernão Dias.....	17
Figura 3-2 Pedra do Forno vista da estrada secundária para Gonçalves, na divisa de Sapucaí-Mirim com Gonçalves. Detalhe da Floresta Ombrófila Alto-Montana e Floresta Ombrófila Densa com Floresta Ombrófila Mista em primeiro plano.....	22
Figura 4-1. Classificação da Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semidecidual da APA Fernão Dias pelo método da Máxima Verossimilhança.....	47
Figura 5-1. Fluxograma da metodologia utilizada .....	55
Figura 5-2. Localização das parcelas vetorizadas a partir das coordenadas obtidas em campo. ...	57
Figura 5-3. Parcelas do transecto 1 percorridas em 13 e 14/06/2012, e parcelas do transecto 4 percorridas em 15/06/2012. ....	57
Figura 5-4. Área dos polígonos referentes à parte do pixel inserido na parcela e valores da média ponderada (MP) do SAVI para a parcela 01 utilizada na avaliação 4.....	58
Figura 5-5. Localização do Fragmento 97.. ....	60
Figura 5-6. Localização das parcelas sobre respectivas imagens utilizadas nas avaliações 1,2,3 e 4.....	63
Figura 5-7. Comparação gráfica entre o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) para as avaliações realizadas.....	67
Figura 6-1. Estoque de carbono para a APA Fernão Dias estimado a partir do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI). ....	70
Figura 6-2. Estoque de carbono para a APA Fernão Dias estimado a partir do Índice de Vegetação pela Razão (SRI) .....	71
Figura 6-3. Estoque de carbono para a APA Fernão Dias estimado a partir do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) .....	72
Figura 6-4. Estoque de carbono para a APA Fernão Dias estimado a partir do Índice de Vegetação Perpendicular (PVI).....	73
Figura 6-5. Estoque de carbono para a APA Fernão Dias estimado a partir do Índice de Vegetação Melhorado (EVI) .....	74
Figura 6-6.6. Estoque de carbono estimado a partir do NDVI para os limites da classe “Floresta Ombrófila Montana e Alto/Montana” presente na APA Fernão Dias .....	77
Figura 6-7. Estoque de carbono estimado a partir do SAVI para os limites da classe “Floresta Ombrófila Densa” presente na APA Fernão Dias.....	78
Figura 6-8. Estoque de carbono estimado a partir do SAVI para o município de Camanducaia - MG .....	79

Figura 6-9. Estoque de carbono para as Bacias Hidrográficas do Córrego do Abel e do Ribeirão dos Poncianos, estimado a partir do SAVI.....80

Figura 6-10. Estoque de carbono estimado a partir do SAVI para o limite do Setor Censitário 311050910000006.....81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1.Coordenadas e altitudes obtidas dos vértices das parcelas percorridas em campo .....	64
Tabela 5.2. Valores da média ponderada por parcela para o índice de vegetação melhorado (EVI), índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), índice de vegetação pela diferença normalizada (NDVI) e índice de vegetação pela razão simples (SRI), calculados para a avaliação 4, e para o índice de vegetação perpendicular (PVI), calculado para a avaliação 4c. ....	65
Tabela 5.3. Coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e valor- $p$ para cada avaliação realizada, utilizando como variável independente a média ponderada (MP) de cada índice.. ....	66



## **LISTA DE QUADROS**

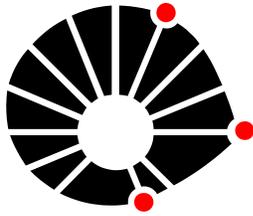
Quadro 5.1. Pré-Processamento das imagens utilizadas nas avaliações realizadas .....	59
--	----



## LISTA DE ANEXOS

Anexo 01. Tabela original com os dados para o fragmento "97" utilizados pelo Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais (2006).....	a
Anexo 02. Regressões lineares simples para cada índice avaliado na avaliação 1 .....	b
Anexo 03. Regressões lineares simples para cada índice avaliado na avaliação 2 .....	c
Anexo 04. Regressões lineares simples para cada índice avaliado na avaliação 3 .....	d
Anexo 05. Regressões lineares simples para cada índice avaliado na avaliação 4 .....	e
Anexo 06. Regressões lineares simples para cada índice avaliado na avaliação 4b .....	f
Anexo 07. Regressões lineares simples para cada índice avaliado na avaliação 4c .....	g
Anexo 08. Qualidade do ajuste para cada índice avaliado nas avaliações 1 e 2 .....	h
Anexo 09. Qualidade do ajuste para cada índice avaliado nas avaliações 3 e 4 .....	i
Anexo 10. Qualidade do ajuste para cada índice avaliado nas avaliações 4b e 4c .....	j





**UNICAMP**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

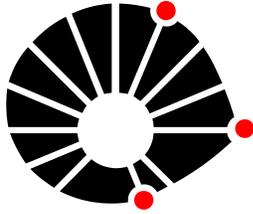
Estimativa e mapeamento de carbono em fragmentos florestais da APA Fernão Dias (MG) por meio de dados LANDSAT TM e de campo

#### RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Daniel Dias de Andrade

O uso de modelos de estimativa de biomassa através de dados de sensoriamento remoto pode contribuir à geração de conhecimento para a mitigação dos efeitos negativos no clima e na biodiversidade do planeta, oriundos da utilização humana dos recursos naturais. A Área de Proteção Ambiental (APA) Fernão Dias é uma Unidade de Conservação Estadual de Uso Sustentável localizada na Serra da Mantiqueira no Estado de Minas Gerais, próxima à fronteira com o Estado de São Paulo. Por meio da estimativa realizada a partir de dados de campo para a biomassa acima do solo do fragmento denominado “97”, coberto por Floresta Ombrófila Madura, e de respostas espectrais detectadas pelo sensor *TM* do satélite *Landsat 5*, realizou-se a estimativa do carbono para a cobertura florestal presente no território da APA. O grau de relação entre o Índice de Vegetação ajustado ao solo (SAVI), o Índice de Vegetação pela Razão (SRI), o Índice de Vegetação Melhorado (EVI), o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Vegetação Perpendicular (PVI) e os dados de campo foi obtido por meio de equações de regressão linear simples. Foram obtidas correlações distintas entre as variáveis espectrais (índices de vegetação) e os parâmetros biofísicos (carbono):  $r^2 = 0,738; 0,728; 0,721; 0,670; e 0,542$ , respectivamente. Mapas síntese do estoque de carbono acima do solo (t/ha) foram gerados para as áreas florestadas da APA, delimitados por divisões físicas e político-administrativas. A estimativa se aproximou dos valores amostrados para a biomassa medida em campo, apresentando menor equivalência na medida em que se amplia e se diversifica a área utilizada na estimativa.





**UNICAMP**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Carbon estimation and mapping in forest fragments of APA Fernão Dias (MG) using Landsat TM  
and field data

**ABSTRACT**

Master Degree

Daniel Dias de Andrade

The use of biomass estimation models by means of remote sensing data may contribute to the generation of knowledge for the mitigation of negative effects on climate and biodiversity in the planet, due to the human appropriation of the natural resources. Fernão Dias Environmental Protection Area (APA) is a State Conservation Unit of Sustainable Use located at the Mantiqueira Mountains, Minas Gerais State, nearby the São Paulo State border. Aboveground biomass was estimated for the fragment denominated "97", covered by Mature Evergreen Forest. Landsat 5 imagery was used to map forest cover, so Carbon estimation could be represented for the entire Fernão Dias APA Area. The relationship between Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Simple Ratio Index (SRI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Perpendicular Vegetation Index (PVI), and field data was obtained by simple linear regression equations. Distinct correlations for the spectral variables (vegetation indices) and the biophysical parameters (Carbon) were obtained:  $r^2 = 0,738; 0,728; 0,721; 0,670; e 0,542$ , respectively. Synthetic maps for aboveground Carbon (t/ha) were generated for the Fernão Dias APA's forest areas, delimited by physical and political-administrative divisions. The estimations were similar to the biomass values sampled in the field, presenting smaller equivalences as the area used in the estimation is increased and diversified.



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Questões de Pesquisa

A ocupação do espaço pelo homem, por meio do desenvolvimento econômico e dos modos de produção, têm gerado custos ambientais elevados ao planeta. As emissões de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), oriundas dos processos da queima de combustíveis fósseis (carvão, óleo e gás) das mudanças no uso e cobertura das terras e dos processos industriais, são as principais causas das alterações antropogênicas do clima no planeta (IPCC, 2011). Segundo o IPCC (2007), a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera tem aumentado de um valor pré-industrial de cerca de 280 partes por milhão (ppm) para 379 ppm em 2005. Em maio de 2013 a chamada "Curva de Keeling", maior registro contínuo de CO<sub>2</sub> desde 1958, registrou no Observatório de Mauna Loa, no Havaí, a marca de 399.77 ppm<sup>1</sup>.

O processamento e a utilização dos recursos energéticos representam um desafio significativo para a saúde da população mundial, devido ao aumento da poluição do ar local, à diminuição da qualidade da água e ao aumento da introdução de substâncias perigosas para a biosfera. Os efeitos negativos da combustão de combustíveis fósseis e em especial da biomassa são ainda agravados pelas ocorrências de degradação do solo e da perda simultânea de biodiversidade (IEA, 2010). Este cenário de supressão da cobertura vegetal nativa acaba exacerbando os padrões aceitáveis de aquecimento global e de degradação ambiental.

O estabelecimento de Unidades de Conservação no Brasil (UC), através da instituição do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (BRASIL, 2000), pode ser considerado uma das maneiras mais adequadas para a preservação da biodiversidade das espécies *in situ*, além de corresponderem às coberturas naturais essenciais para captura de carbono e mitigação da emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) na atmosfera. Adicionalmente, as pesquisas em fragmentos florestais que consideram a sua preservação e sua dinâmica de

---

<sup>1</sup> Fonte: <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/obop/mlo>>. Acesso em: 19/06/2013

regeneração frente aos padrões de ocupação do espaço, têm fornecido subsídios para a elaboração de modelos de recomposição e de implementação de reservas, gerando diminuição de custos e o aumento de eficiência, auxiliando nos estudos de manejo e em medidas que efetivamente preservem os maciços de vegetação remanescente.

Concomitantemente, os estudos sobre a redução dos Gases de Efeito Estufa têm aberto caminho para as pesquisas direcionadas à mitigação do aquecimento global, natural ou antrópico, com uma necessidade cada vez mais presente de desenvolvimento de novas metodologias para a mensuração e valoração das coberturas vegetais, principalmente no campo das geotecnologias. Dessa forma abre-se caminho para a aplicação de procedimentos e modelos eficazes para amostrar, mensurar e estimar o carbono fixado na biomassa, formatados com base nas características intrínsecas ao local de estudo, porém passíveis de extrapolações para a paisagem analisada (BOLFE, 2010).

Ainda Bolfe (2010) coloca como um dos principais desafios na estimativa de biomassa, do fluxo de carbono e da capacidade fotossintetizante das coberturas vegetais, o desenvolvimento de modelos de quantificação indireta, baseados em processos não-destrutivos. Esses modelos envolvem equações *alométricas* ou *dendométricas* (variáveis biofísicas) e dados de sensoriamento remoto, e partem da hipótese que variações da biomassa presente em diferentes tipos e estágios de cobertura vegetal são detectáveis nas propriedades espectrais destas coberturas, permitindo, através de modelos apropriados, o estabelecimento de correlações significativas entre a quantidade de biomassa medida na superfície e a cobertura vegetal obtida por meio de imagens orbitais.

Esse fato pode creditar o uso de modelos de estimativa de biomassa através do uso de dados de sensoriamento remoto, constituindo um vetor de contribuição em direção à geração de conhecimento para a mitigação dos efeitos negativos no clima do planeta e da apropriação destrutiva dos recursos florestais.

## 1.2 Hipótese

Variações da biomassa epígea (biomassa viva acima do solo) ocasionam modificações nas propriedades espectrais dessa vegetação, e permitem obter correlações significativas entre o estoque de carbono medido em campo e os índices de vegetação gerados por meio de imagens orbitais.

## 1.3 Objetivos

Objetivo geral: Investigar o grau de relação entre a quantidade de carbono estimada a partir de dados de campo pelo Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais (2006) e os índices de vegetação obtidos no cálculo do Índice de Vegetação pela Razão (SRI), do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), do Índice de Vegetação Perpendiculares (PVI) e do Índice de Vegetação Melhorado (EVI), gerados através do uso das bandas espectrais do sistema sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite *Landsat 5*.

### *Objetivos específicos:*

Gerar mapas sínteses do carbono estocado na Área de Preservação Ambiental (APA) Fernão Dias, delimitados por divisões político-administrativas e por bacias hidrográficas, através do índice que apresente a maior correlação para o carbono medido em campo;

Mapear a distribuição do carbono estocado, constituindo um produto que possa ser utilizado tanto no diagnóstico ambiental da APA, quanto nos processos de avaliação de redução de emissões e programas de pagamentos por serviços ambientais.



## 2. GESTÃO DO CARBONO

### 2.1 Histórico

A disponibilidade de uma grande extensão de terra adequada à agricultura e às pastagens possibilitou que estas se tornassem setores-chaves para a sustentação do crescimento econômico do Brasil. Áreas agrícolas e pastagens avançaram sobre o território por décadas, transformando áreas de vegetação nativa e tornando a mudança no uso e cobertura das terras a principal fonte de emissão de Gases do Efeito Estufa do país (BANCO MUNDIAL, 2010).

Em nível global, estimativas para a emissão do carbono terrestre (carbono armazenado no sistema terrestre, incluindo árvores, solo e turfa) oriunda da mudança do uso da terra, dão conta de aproximadamente 20% do total das emissões de GEE do planeta. Além disso, estima-se que a redução de emissões e o aumento na captura de carbono terrestre nas florestas e na agricultura representem um terço de todo o potencial de redução para 2030, e metade para 2020 (THE TERRESTRIAL CARBON GROUP PROJECT, 2009a).

Historicamente, o Brasil utilizou o patrimônio de recursos naturais de seu enorme território para desenvolver a produção de energia renovável, através da construção de diversas barragens para a geração de energia hidrelétrica e substituindo em grande escala a gasolina pelo bioetanol, constituindo, em grande parte, uma matriz energética de baixa intensidade de emissão de Carbono (BANCO MUNDIAL, 2010).

Segundo o relatório publicado após o II Inventário brasileiro de emissões de GEE (MCT, 2013), estendendo o período analisado até 2010, o principal GEE emitido é o CO<sub>2</sub>, oriundo principalmente da agropecuária, através de fermentação entérica e do manejo de dejetos, e do setor de energia, através da queima de combustíveis fósseis.

Uma recente análise geostatística da conta de que o principal setor que impulsiona a emissão de CO<sub>2</sub> na Amazônia é a pecuária, seguida pela expansão da produção agrícola, muito embora outros fenômenos, como a migração, a abertura de estradas pavimentadas e a especulação fundiária também contribuam (SOARES FILHO, 2009). De acordo com Lemos et al. (2010), as principais atividades antrópicas responsáveis pela emissão de GEE no Brasil relacionam-se à

agricultura, ao desmatamento e à atividade industrial dependente da energia derivada de combustíveis fósseis<sup>2</sup>.

As mudanças climáticas decorrentes deste processo preocupam não só em relação à produtividade agrícola, já hoje afetada pela evidência de aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, mas quanto à demanda crescente por alimentos frente ao aumento da população mundial.

Dentre os efeitos da elevação da temperatura global estão o aumento da escassez hídrica nas diferentes regiões, a diminuição da biodiversidade dos ecossistemas, o decréscimo da produtividade de certas regiões agropecuárias, silviculturais e pesqueiras e da disponibilidade de alimentos frente ao aumento populacional, além do aumento dos danos decorrente do aumento da incidência de pragas, doenças e incêndios (BOLFE, 2010; LEMOS et al, 2010; RIBEIRO, 2007).

## 2.2 Primeiras Iniciativas

Após a Conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre o Homem e o Meio Ambiente em Estocolmo, em 1972, o segundo grande encontro multilateral organizado pela ONU foi a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD) também conhecida como Rio-Eco 92, na cidade do Rio de Janeiro em 1992, onde se estabeleceu a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change* - UNFCCC). As reuniões posteriores realizadas entre os então 175 países participantes da Convenção-Quadro ficariam conhecidas como as Conferências das Partes (COP).

A partir de inúmeras evidências que são apontadas no relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC) (IPCC 2000, 2007) sobre as consequências do processo de aquecimento global, houve um aumento sensível nas discussões sobre as formas de minimização desse cenário, as principais no âmbito do Protocolo de Quioto, assinado em 1997 e ratificado em 2005 (BRASIL, 2005).

---

<sup>2</sup> Em particular, termoelétricas, transporte rodoviário, siderurgia, cimento e aterros sanitários (lixões).

Para que o Protocolo entrasse em vigor, necessitava-se que pelo menos 55 países o ratificassem, atingindo 55% do total de emissões global de GEE. Isso só foi acontecer em novembro de 2004 com a ratificação da Rússia, representante de cerca de 17% das emissões globais dos GEE. Entre as medidas mais importantes do Protocolo destaca-se o estabelecimento de metas e prazos para a redução ou limitação das emissões futuras de GEE para os países pertencentes ao bloco do IPCC denominado Anexo I, relativo aos países desenvolvidos (IPEA, 2011).

Os países signatários se comprometeram a reduzir as suas emissões em ao menos 5% durante o período 2008-2012, em relação ao verificado em 1990. Dessa forma, o conjunto desses países deverá atingir a meta global, onde cada país poderá negociar individualmente com outros países de forma que o superávit de contenção de emissões de um país possa ser contabilizado a favor de outro que não tenha atingido a sua própria meta (IPCC, 2000).

Buscando aumentar a eficiência no alcance das metas estabelecidas para os países do chamado Anexo I, na COP 07 (Marrakech, 2001) foi proposto um mercado para as reduções de GEE por meio de três mecanismos de flexibilização: a Implementação Conjunta (IC), do inglês *Joint Implementation* (JI), o Comércio Internacional de Emissões (CE), do inglês *Emission Trade*, e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), do inglês *Clean Development Mechanism* (CDM) (LEMOS et al., 2010; IPEA, 2011)

Por intermédio do Comércio de Emissões (CE), os países do Anexo I poderão comercializar as reduções que excederem sua meta de redução de GEE, através de um modelo também conhecido como *cap and trade*. A Implementação Conjunta e o Comércio de Emissões foram constituídos de forma a serem utilizados apenas entre os países desenvolvidos, porém os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo possibilitam a participação dos países em desenvolvimento, e constituem uma oportunidade importante para o Brasil.

Os projetos de MDL fornecem a possibilidade de um país desenvolvido alcançar parte de suas metas de redução por meio da aquisição de Redução Certificada de Emissão (RCE) - mais

conhecida como crédito de Carbono - para cada unidade métrica de Carbono<sup>3</sup> reduzida por meio de um projeto de MDL em países em desenvolvimento (IPEA, 2011).

As atividades previstas no primeiro período de contabilização dos créditos (2008-2012) estão limitadas ao florestamento e reflorestamento, principalmente no que tange às questões de permanência (relacionada à quantidade de tempo que o Carbono permanecerá fixado no sistema implantado), adicionalidade (que consiste na redução de emissões de GEE - ou no aumento de remoções de CO<sub>2</sub> - de forma adicional ao que ocorreria na ausência do projeto de MDL) e vazamento (o mesmo que *leakage*; que significa a variação líquida das emissões de GEE que ocorre fora dos limites do projeto e que é mensurada e atribuída à atividade do projeto de MDL).

No caso de projetos de MDL, os elevados custos de transação na operação desse mecanismo desafiam a comunidade internacional na criação de um sistema de créditos setoriais, eficaz e eficiente. Nas negociações climáticas após 2012, as pressões serão elevadas para que países em desenvolvimento como o Brasil, China e Índia participem ativamente no esforço de redução de emissões.

De forma geral, pode-se dizer que o MDL tem sido capaz de influenciar o padrão de emissões de forma localizada, em alguns setores. Entretanto, ainda não foi capaz de influenciar as emissões em setores estratégicos, como energia e gestão de florestas. No Brasil, os projetos ainda se concentram na redução de emissões do dióxido de carbono (e não do metano ou óxido nítrico, gases importantes da matriz nacional de emissões) e, em sua maioria, no setor de energia renovável, em que o país naturalmente já tem vantagens comparativas.

Adicionalmente, a pequena porcentagem de projetos de reflorestamento está relacionada à dificuldade de se medir o Carbono absorvido pelas árvores em crescimento e de adequá-las ao critério de adicionalidade (LEMOS et al., 2010). Por outro lado, incentivam-se ações imediatas nas atividades de redução das emissões de GEE, para que os créditos relativos aos projetos possam ser contabilizados no futuro (BOLFE, 2010). Nesse sentido, um MDL setorial amplo

---

<sup>3</sup> Calculada conforme o potencial de aquecimento global, índice divulgado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) em seu Segundo Relatório de Avaliação, que possibilita a uniformização dos diferentes gases em termos de dióxido de carbono equivalente.

poderia ser um instrumento importante para que os objetivos de desenvolvimento sustentável fossem alcançados (IPEA, 2011).

Deve-se também ter em mente as dificuldades no estabelecimento de um mercado de licenças de emissão. Os diferentes mercados divergem em vários aspectos, destacando-se tamanho, características de concepção, abrangências setoriais e geográficas e de natureza, podendo também ser voluntário ou não. O estabelecimento de um mercado de Carbono envolve elevados custos de transação, muitas vezes não subtraídos dos benefícios finais líquidos do comércio, originados na definição e na transferência de direitos de propriedade, nos fluxos de informação necessários para completar a operação, na verificação e no monitoramento dos direitos e das transações entre os agentes (Ibidem, p. 3; 6).

Em geral, os fundos de Carbono e outros intermediários assumem os custos de transação, para depois recuperá-los com a venda das Reduções Certificadas de Emissões (RCE). Entretanto, o alto grau de rejeição de metodologias de linhas de base e processos de monitoramento pelo Conselho Executivo do MDL, responsável pela certificação dos créditos de Carbono, enfraqueceu a expectativa inicial de que os custos de transação se reduzissem com um maior número de projetos de MDL, além do próprio fato de muitos projetos não saírem do papel por consequência desses custos. Os projetos mais penalizados são os de pequena escala, que muitas vezes não conseguem gerar RCE suficientes para cobri-los (Ibidem, p. 8; 9).

Na COP 11 (Montreal, 2005) foi aprovado o MDL programático, permitindo que pudessem ser agregados programas ou projetos pertencentes a políticas nacionais ou regionais para efeitos de gerar créditos de Carbono, permitindo, por exemplo, que se incluam projetos de pequena escala em um mesmo programa, ou projetos de setores econômicos específicos, que gerem desenvolvimento ao mesmo tempo em que reduzam emissões (Ibidem, p. 13).

Também em Montreal foi introduzida pelos governos de Papua Nova Guiné e Costa Rica a Redução de Emissões por Degradação de Florestas e Desmatamento (REDD), que objetiva oferecer recursos aos países não relacionados no Anexo I. O desmatamento evitado é quantificado e traduzido em créditos de Carbono sob a forma de RCE, negociáveis no mercado internacional de Carbono (LEMOS et. al., 2010).

Após a COP 17 (Durban, 2011) a segunda fase do Protocolo de Quioto (*second Kyoto Protocol commitment period - 2CP*) começou a ser acertada e terminou por aprovada na COP 18 (Doha, 2012), com perspectiva de vigorar de janeiro de 2013 a dezembro de 2020, com a retirada de países como a Rússia, o Japão, o Canadá e a Nova Zelândia, e com a continuidade da não adesão por parte dos Estados Unidos.

Em Durban os países participantes se comprometeram também na criação do Fundo Verde para o Clima (*Green Climate Fund - GCF*) e na adesão ao Pacto Climático Global, projetado para ter início em 2020. Adicionalmente deve começar a ser negociado em 2014 sob um novo acordo global para ser aprovado em 2015, que representaria um instrumento com força de lei que projete compromissos entre todos os países, inclusive os não signatários do 2CP Quioto.

Na busca de se tornar o MDL mais eficiente para a segunda fase de Quioto, e respondendo a uma demanda da UNFCCC, o Relatório da 72ª reunião do Conselho Executivo sobre Mecanismos de Desenvolvimento Limpo<sup>4</sup> (UNFCCC, 2013a) aprovou uma série de 22 recomendações no que tange às dificuldades em se estabelecer um comércio de RCE. As sugestões vão desde o incremento do papel dos países hospedeiros contando da retirada pelo país da carta de aprovação de uma iniciativa, desde medidas que garantiriam melhor a consideração das críticas durante o processo de veto de um projeto por parte do conselho.

Segundo o conselho, o papel do país hospedeiro e de suas autoridades nacionais designadas na supervisão das atividades de projetos no seu país não é tão integralmente elaborado nas *Modalidades e Procedimentos* (M&P) do MDL, havendo uma necessidade em aprimorar as responsabilidades dos hospedeiros. Outro ponto que pode ser melhorado nas M&P é a questão da submissão de novas metodologias e revisões de metodologias já aprovadas sob o MDL, que segundo as regras atuais precisam ser realizadas através de alguma entidade operacional designada (EOD). O relatório sugere que se permita a submissão direta de novas metodologias e revisões.

---

<sup>4</sup> Conselho Executivo do MDL (*CDM Executive Board - CDM EB*) supervisiona os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto, sob a autoridade e orientação da Conferência das Partes (COP).

Quanto à controversa questão da adicionalidade, culpada por muitos desenvolvedores por atrasar projetos, a proposta é que seja incluída nas M&P uma lista de tipos/escala de atividades consideradas automaticamente adicionais, especificando que tais projetos são sujeitos a uma validação simplificada (UNFCCC, 2013a).

Uma questão-chave pós-Doha e difícil ainda a ser respondida é como serão financiados os fundos fornecidos pelos países desenvolvidos, através de mecanismos como o Fundo Verde para o Clima - GCF. Futuramente também as questões sobre transferência de tecnologia (*Intellectual property rights* - IPR) dos países ricos para os pobres deverão fazer parte da pauta de negociações, e sobre como isso afetará as relações comerciais entre os países (THE CLIMATE GROUP, 2012).

O Protocolo de Quioto conseguiu que os países que tinham metas razoáveis as cumprissem, porém as grandes economias emergentes, como os BRICS e a Indonésia, ficaram sem metas e, mesmo cumprindo com Quioto voluntariamente, apresentaram uma explosão nas suas emissões nas últimas duas décadas.

Por outro lado, a isenção dos países em desenvolvimento da obrigação de possuir metas concretas pode ser interpretada como uma ingenuidade que gerou a recusa dos Estados Unidos em ratificar Quioto, e permitiu que a China tenha atingido, ao lado dos Estados Unidos, o patamar de maior emissor mundial de GEEs, ambos correspondendo a cerca de 37% do total de emissões (FLANNERY et al., 2013). Na visão norte-americana, Quioto é prejudicial para a economia dos países ricos por colocar suas empresas em uma situação de desvantagem com relação a companhias chinesas, indianas e brasileiras. (MÜLLER, 2013).

A incapacidade de ampliar o acesso ao MDL para as Partes não-2CP Quioto representa um retrocesso ao futuro da política climática mundial. Neste primeiro período de vigência do protocolo os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo foram responsáveis pela implementação de mais de 5.200 projetos, registrados em mais de 80 países, com mais de 50 programas em processo de registro em 27 países, e pela emissão de mais de um bilhão de RCEs, e um total de 215 bilhões

de dólares investidos (UNFCCC, 2013b), 3,6 bilhões de dólares poupados com custos de mitigação nos países do Anexo I, e por ter evitado a emissão de uma gigatonelada de GEEs<sup>5</sup>.

Sem a demanda por créditos de compensação, todo o conhecimento, habilidades e infraestrutura construída ao longo dos últimos dez anos em torno do MDL - em ambos os países desenvolvidos e em desenvolvimento - estariam perdidos (THE CLIMATE GROUP, 2012).

Por outro lado, estima-se que em 1997, 59% do total das emissões mundiais de GEEs estavam incluídas na UNFCCC. No Protocolo de Quioto (2008-2012) sem a assinatura dos Estados Unidos, com o abandono do Canadá e com o crescimento acelerado da China e Índia, apenas 23 a 27% das emissões teriam sido reguladas. Em 2011, somente 13% do total mundial era limitado por Quioto (MÜLLER; FLANNERY et al., 2013). A parte signatária do 2º CP Quioto da forma como definida em Doha, cobriria apenas 15% das emissões globais (THE CLIMATE GROUP, 2012).

Coletivamente, a redução global das emissões será de aproximadamente 18% até 2020, a partir dos níveis de 1990, significativamente menor do que a faixa de 25-40% recomendada pelos cientistas do clima, o que manteria o aumento das temperaturas em 2°C. Na prática, isso desmembra o Protocolo de Quioto - ainda o único tratado internacional do clima legal, quantificado e vinculante, e o desqualifica como instrumento nos termos da reduções de emissões (Ibidem, p. 2).

Por mais que se tenha cumprido os acordos, o fato é que a UNFCCC não foi capaz de lidar com o problema e não alcançou ainda uma concordância em relação às metodologias utilizadas e aos acordos políticos internacionais. Um dos pontos críticos desde a constituição da UNFCCC poderia estar em um dos princípios de sua existência, que amarra a realização das ações de precaução à sua efetividade econômica, limitando a aplicabilidade das ações e projetos à lógica da compensação financeira, não correspondendo na totalidade à uma ação compensatória pelos danos causados ao planeta, justamente na esteira do modo de produção capitalista.

---

<sup>5</sup> Dados apresentados pela Agência internacional de Energia sugerem que as emissões de GEEs bateram um novo recorde no ano de 2012, atingindo a marca de 31,6 gigatoneladas, representando um acréscimo de 1,4% em relação a 2011, mesmo assim o menor desde 2003 (IEA, 2013).

O desenvolvimento de metodologias mais reais de valoração dos recursos ambientais poderá no futuro permitir que as ações compensatórias sejam de fato equivalentes ao valor do recurso natural usado pela indústria mundial, levando em consideração sua capacidade de renovação, impacto ambiental e escassez futura. O valor do recurso extraído, de sua recomposição no ambiente e dos mecanismos que sincronizem a produção para a sua utilização sustentável poderá ser incorporado já nos custos da cadeia de produção, eliminando o caráter compensatório das ações de mitigação. Legislações ambientais internas mais rígidas, a busca pela substituição de matéria-prima, o desenvolvimento de tecnologia que dependa cada vez menos da extração dos recursos naturais e o aumento dos investimentos em energias renováveis deve ser concomitante a esse processo.

Paralelamente, deve-se investir em pesquisa para que as resoluções propostas pelos acordos internacionais que ainda pairam sobre as incertezas na efetividade de determinadas ações nos projetos de mitigação do aquecimento global possam ser adotadas, e que auxiliem na aprovação de ações de preservação do meio ambiente.

Segundo relatório do Conselho Executivo do MDL (UNFCCC, 2013b), uma solicitação feita pela Conferência das Partes em Doha, pede à este conselho a consideração do uso de abordagens metodológicas mais eficientes economicamente na estimativa dos estoques iniciais e remoções, incluindo o uso de sensoriamento remoto para monitoramento, ao mesmo tempo em que as estimativas mais conservadoras continuem sendo utilizadas para garantir a integridade ambiental dos projetos de florestamento e reflorestamento.



### **3. A FLORESTA OMBRÓFILA NO SUL DE MINAS GERAIS**

#### *3.1 A APA Fernão Dias*

A Área de Proteção Ambiental (APA) Fernão Dias é uma Unidade de Conservação Estadual de Uso Sustentável (CNUC, 2000) localizada no extremo Sul do Estado de Minas Gerais, próxima à fronteira com o Estado de São Paulo, abrangendo uma área de 180.373 hectares (ha) e integralmente os municípios mineiros de Toledo, Extrema, Itapeva, na porção Oeste, Camanducaia e Sapucaí Mirim, na porção centro-leste, onde ocupam terrenos na Serra da Mantiqueira Meridional e Serra da Bocaína, Gonçalves e parte dos municípios de Paraisópolis e Brazópolis, na porção Nordeste. A localização da APA é mostrada na Figura 3.1. Os municípios têm como base econômica a atividade agropecuária em pequenas propriedades, a silvicultura e o turismo na região serrana (MORETTI, 2011).

A industrialização acontece principalmente em Extrema e Camanducaia, no corredor da Rodovia Fernão Dias (BR-381), favorecida pela proximidade com a Região Metropolitana de São Paulo e Campinas, e por incentivos fiscais que favorecem a implantação de novas unidades industriais (HOEFFEL et. al., 2008).

Por sugestão expressa nos estudos de impacto ambiental das obras de duplicação da Rodovia Fernão Dias, a APA foi criada em 1997 pelo Decreto nº 38.925, do Governo do Estado de Minas Gerais, com a finalidade de compensação ambiental (IBITU, 1998). Especificamente, o Plano de Gestão da APA, em seu Programa de Implantação das Unidades de Conservação de Proteção Integral, prevê a geração de renda aos municípios provenientes de repasse do ICMS Ecológico (SCOGNAMIGLIO, 2012).

As bacias hidrográficas dos rios Camanducaia e Jaguari, incluídas na área de abrangência do Comitê das Bacias Hidrográficas do Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), drenam os municípios de Toledo, Extrema, Itapeva e Camanducaia. Dentro dos limites da APA Fernão Dias estão localizados os principais corpos d'água formadores dos rios Camanducaia - principal afluente do Rio Jaguari - e Jaguari, que alimentam o reservatório Jaguari - o maior dos contribuintes do Sistema Cantareira, responsável pela maior parte do abastecimento de água da

Região Metropolitana de São Paulo e Campinas. O território da APA abrange também as bacias hidrográficas dos rios Sapucaí e Sapucaí-Mirim, formadores do reservatório de Furnas.

A APA compreende duas unidades geomorfológicas que apresentam contato bem nítido, praticamente coincidente com o traçado da Rodovia Fernão Dias. O Planalto de Campos do Jordão é caracterizado pelo predomínio de serras alongadas e limitadas por escarpas de falhas e vales retilinizados, a exemplo das Serras de Itapeva e do Lobo, importantes divisores de água da região. Este planalto se estende pelos municípios de Brazópolis, Paraisópolis, Sapucaí-Mirim e Gonçalves e parcialmente pelos municípios de Camanducaia e Extrema. O Planalto de Lindóia se estende por parte dos municípios de Camanducaia e Extrema, e pelos municípios de Itapeva e Toledo, e apresenta relevo com predomínio de morros com porções menores de serras alongadas (MORETTI, 2011).

Nas regiões onde o relevo apresenta maiores declividades, a expansão das áreas urbanas e das mudanças no uso e ocupação das terras é de certa forma limitada pelas condições do terreno (HOEFFEL et al., 2008). O município de Camanducaia, por exemplo, abriga uma área de importância biológica muito grande para conservação da biodiversidade nos estados de Minas e São Paulo, devido à ocorrência de endemismos de espécies animais, sendo a região serrana do município, área prioritária para conservação de répteis e anfíbios, mamíferos e aves ameaçados de extinção, e à existência significativa de remanescentes de vegetação nativa (VALOR NATURAL, 2006).

No município ocorrem grandes áreas de floresta Ombrófila Mista, de expressividade incomum no Estado devido às excelentes condições bióticas preservadas deste bioma. O distrito de Monte Verde, situado na divisa dos Estados de Minas Gerais e São Paulo, apresenta áreas expressivas de Floresta Ombrófila, com excelente qualidade ambiental, de características ambientais nativas de grande beleza paisagística, o que tem dado a essa área um crescimento turístico potencial (IBITU, 1998).

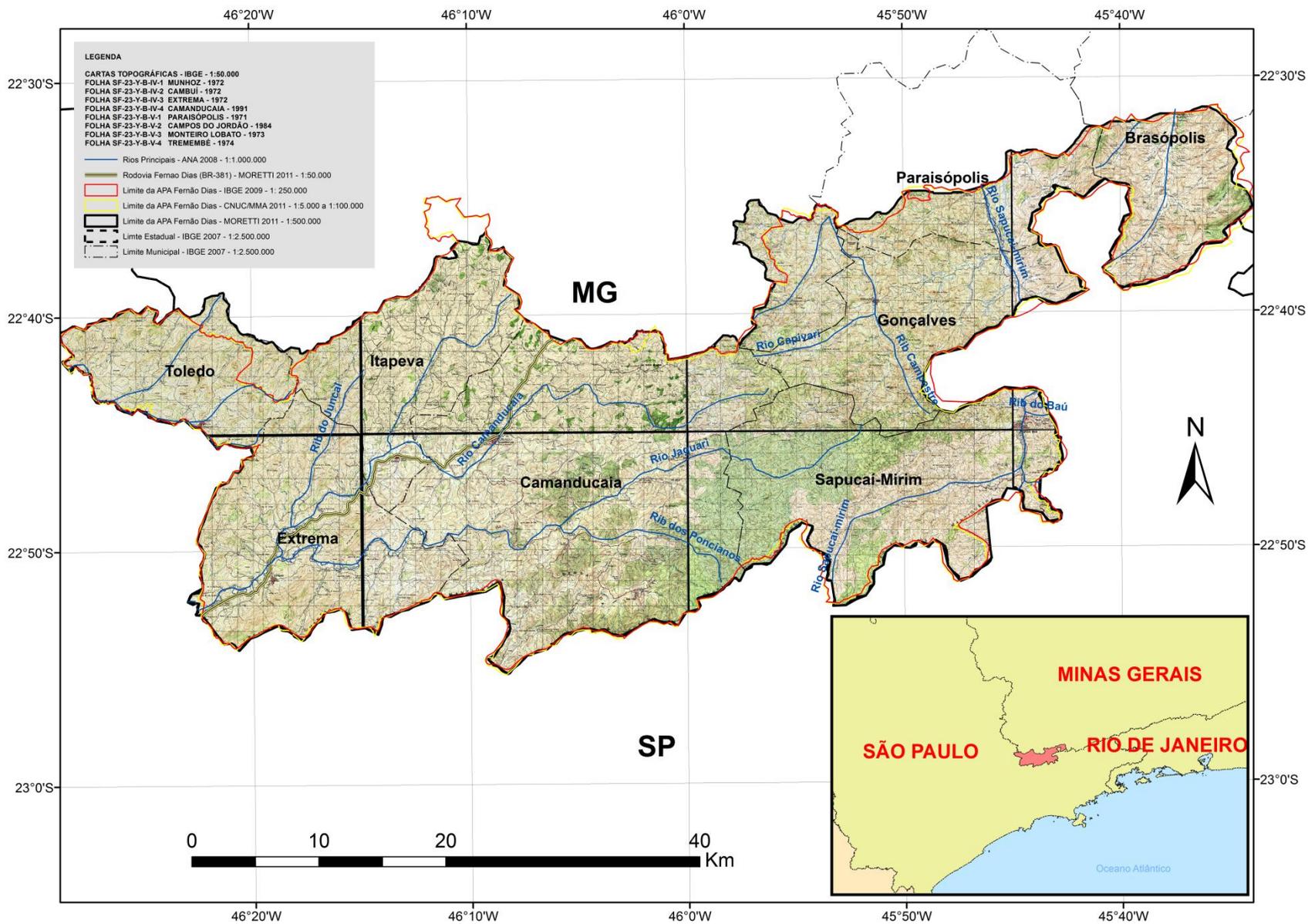


Figura 3.1. Localização da APA Fernão Dias, com municípios, principais rios e Rodovia Fernão Dias.

O aumento da população urbana no município de Camanducaia é resultado, principalmente, do aumento populacional no distrito de Monte Verde, alavancado pela atividade turística. O município passou de 6.044 habitantes no ano de 1980 para 14.262 habitantes em 2000 e para 21.080 no ano de 2010 (IBGE, 2010). Com uma área total de 527,57 km<sup>2</sup>, Camanducaia apresenta apenas 6 km<sup>2</sup> de área urbana, distribuída em três perímetros distritais: a sede municipal e os distritos de Monte Verde e São Mateus de Minas (HOEFFEL et al., 2008).

### *3.2 Condicionantes Físico-Geográficas da Floresta Ombrófila da Serra da Mantiqueira*

Na Mata Atlântica de Minas Gerais, encontram-se quase todas as tipologias florestais descritas para o bioma, como a Floresta Ombrófila Densa, a Floresta Ombrófila Aberta, a Floresta Ombrófila Mista e a Floresta Estacional Semidecidual. Esta última, cobrindo originalmente a maior extensão do Estado. A Mata Atlântica ocupava originalmente pouco menos da metade da área de Minas Gerais, e hoje se encontra reduzida a cerca de 4% da cobertura original, constituída em sua grande maioria de vegetação secundária em diferentes estágios de sucessão, o que dificulta significativamente a estimativa de sua riqueza original (SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR DE MINAS GERAIS, 2009).

Apesar de muitos remanescentes serem considerados áreas prioritárias para conservação das espécies de nossa flora, a grande maioria dos estudos contempla as matas de altitude, os campos rupestres e altimontanos e os afloramentos rochosos das regiões serranas do Complexo da Mantiqueira (acima de 1000 m de altitude), “apresentando características em comum, seja pela fisionomia geral dos ambientes, seja pelos incríveis endemismos, evidenciando estas regiões serranas como laboratórios vicariantes da evolução dos anuros no Sudeste do Brasil” (CRUZ e FEIO, 2007 *apud* SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR DE MINAS GERAIS, 2009), aparentemente determinados pela grande variação altitudinal associada a fatores climáticos e à fragmentação natural da cobertura vegetal (Ibidem, p. 229).

A Serra da Mantiqueira é formada por rochas intrusivas soerguidas por epirogênese no Período Cristalino. Meireles (2003, p. 7) em estudo da caracterização florística das fisionomias vegetacionais presentes no distrito de Monte Verde, discorre sobre a formação montanhosa:

A Serra da Mantiqueira, localizada no sudeste brasileiro, apresenta desníveis altitudinais que excedem a 2.000m. Estende-se ao longo dos estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo, com direção NE-SW, aproximadamente entre 20<sup>o</sup> e 23<sup>o</sup> de latitude sul, formando o segundo degrau do Planalto Brasileiro, detrás da Serra do Mar (MOREIRA; CAMELIER, 1977). Essas serras foram modeladas por arqueamentos em rochas do complexo cristalino brasileiro no Pós-Cretáceo e, desde então, estão submetidas a mudanças climáticas ao longo das épocas geológicas posteriores (MOREIRA; CAMELIER, 1977; SAFFORD, 1999; BEHLING, 1988). A Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar constituem o sistema montanhoso com a mais destacada feição orográfica da borda atlântica do continente sul-americano, estando na Serra da Mantiqueira o orobioma mais frio ao leste da América do Sul (ALMEIDA; CARNEIRO, 1998; SAFFORD, 1999).

Leitão Filho (1982) destacou a ocorrência de uma fisionomia florestal exclusiva das áreas montanhosas da Serra da Mantiqueira associada à climas mais frios, e composta por espécies com distribuição geográfica restrita.

Também Azevedo (1962) discorre que no Sul de Minas Gerais a cobertura vegetal original era constituída por formações florestais extensas (reduzidas nas últimas décadas a fragmentos que sofrem constantes pressões agropastoris) e reconhece existir variações fitofisionômicas nas florestas desta região, decorrentes de condições diversas do clima, solos, altitude, relevo e duração da estação seca.

O Clima da região, de acordo com o sistema de Köppen, é caracterizado como subtropical de altitude (Cwb), temperado chuvoso com verão fresco. Nas superfícies mais elevadas (acima de 1.600 m) é registrada uma média de temperatura nos meses mais quentes inferior a 17°C e uma média anual inferior à 14°C, uma das mais baixas do Brasil, sendo comum, nos meses de junho e julho, mínimas diárias inferiores à 0°C (IBITU, 1998).

Os Latossolos Vermelho-Amarelo Distróficos ocorrem nas cotas altitudinais inferiores às de ocorrência dos Cambissolos Háplicos Tb Distróficos (SANTOS, 2011), onde também ocorrem Argissolos e, nas planícies dos rios e córregos, ocorrem os solos aluviais resultantes de deposições fluviais recentes (IBITU, 1998).

As áreas de Floresta Estacional Semidecidual que recobrem os municípios da APA Fernão Dias predominam nas porções oeste, na região de Toledo, Itapeva e Extrema, e nas menores altitudes de Camanducaia, e norte, na região de Luminosa (distrito de Brazópolis) e Paraisópolis, principalmente em propriedades agrícolas produtivas, relacionadas à bataticultura e à pecuária (MORETTI, 2011).

Segundo IBGE (1992), este tipo de vegetação está condicionado pela dupla estacionalidade climática, tropical e outra subtropical sem período seco, recobrando áreas que apresentam chuvas intensas no verão, seguidas por estiagem acentuada, e outras sem o período seco, porém com seca fisiológica provocada pelo frio intenso, com temperaturas médias inferiores a 15°C.

É caracterizada por um dossel irregular que varia de 15 a 25 m de altura, com o predomínio de espécies das famílias lauráceas, mirtáceas, bombacáceas e anacardiáceas, e de um sub-bosque denso no qual predominam espécies de rubiáceas e bambusóides. Possui densidade variável de lianas e menor abundância de samambaias e epífitas, quando comparada às Florestas Ombrófilas (SCOLFORO e CARVALHO, 2006).

As zonas de tensão ecológica entre as formações de Floresta Estacional Semidecidual, Ombrófila Densa e Ombrófila Mista estão relacionadas muitas vezes ao relevo e a gradientes topográficos. Estas áreas ocorrem em regiões de montanhas, compondo o relevo típico da Serra da Mantiqueira (IBITU, 1998).

O traço marcante da fisionomia de Floresta Ombrófila Mista é a presença da araucária – o pinheiro do Paraná, que se destaca na paisagem das regiões serranas de clima tropical, porém influenciado pelas altitudes da Mantiqueira, com características de clima temperado (HOEFFEL et al., 2008). Está associada à alta umidade, temperaturas baixas, solos profundos e altitudes elevadas (acima de 900 m) (IBITU, 1998) e caracteriza-se por um dossel de 15 a 25 m de altura, com abundância de espécies epífitas e da família das lauráceas, mirtáceas, melastomatáceas e

asteráceas no dossel, e de espécies de samambaias, no sub-bosque (SCOLFORO e CARVALHO, 2006).

O termo Ombrófila substituiu Pluvial (de origem latina) por Ombrófila (de origem grega), ambos com o mesmo significado “amigo das chuvas”, presa aos fatores climáticos tropicais de temperaturas elevadas (médias de 25°C) e de alta precipitação bem distribuída durante o ano (de 0 a 60 dias secos) (IBGE, 1992). Na APA Fernão Dias, a Floresta Ombrófila Densa predomina na porção centro-leste, rareando-se a noroeste, e possui em sua formação Montana um dossel de 25 m de altura em média, com indivíduos chegando a 40 m de altura, com um sub-bosque denso; na sua formação Alto-Montana, possui dossel com aproximadamente 20 m de altura (IBGE, 2013) e altura média de 4 m sobre solos rasos ou litólicos. A composição florística predominante dessa formação é dada por espécies da família das lauráceas, mirtáceas, melastomatáceas e asteráceas no dossel, e de espécies de samambaias e rubiáceas no sub-bosque, além de apresentar abundância de epífitas e uma densidade variável de lianas (SCOLFORO e CARVALHO, 2006).

Também em regiões montanhosas há o predomínio da Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana, além da ocorrência de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana, afloramentos rochosos e campos de altitude com áreas alagadiças. Estes últimos representam a formação mais impactada e descaracterizada pela ocupação humana recente (MEIRELES et al., 2008). A Figura 3.2 mostra um exemplo de uma área de transição entre estas duas últimas fisionomias, na extremidade leste da Serra do Juncal, nos contrafortes da Serra da Bocaina

Segundo IBGE (1992), a formação Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana encontra-se ainda bem conservada e com seus elementos quase intactos no Parque Estadual de Campos do Jordão (SP) e em Monte Verde (MG). A composição florística da Disjunção de Campos do Jordão é possivelmente semelhante à que outrora existia nos Estados do Paraná e de Santa Catarina (IBGE, 2013).



**Figura 3.2 Pedra do Forno (1.970 m) vista da estrada secundária para Gonçalves, na divisa de Sapucaí-Mirim com Gonçalves. Detalhe da transição entre a Floresta Ombrófila Alto-Montana (SCOLFORO e CARVALHO, 2006) e a Floresta Ombrófila Mista (MORETTI, 2011), em primeiro plano. Foto: Daniel Dias de Andrade - 23/04/2013**

## 4. ESTIMATIVA DE PARÂMETROS BIOFÍSICOS POR MEIO DE IMAGENS ORBITAIS

### 4.1 Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação

O sensoriamento remoto utiliza princípios físicos e técnicas computacionais para o processamento dos dados obtidos pelos sensores remotos, e está relacionado aos processos de interação da radiação eletromagnética e a resposta espectral dos diferentes alvos dos quais se pretendem extrair algum tipo de informação (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

Um fluxo de radiação incidente sobre um dossel de cobertura vegetal, constituído por muitos elementos da própria vegetação (folhas, galhos, frutos, flores, etc.), está sujeito a dois processos: espalhamento e absorção, sendo o primeiro dividido em dois sub-processos: reflexão e transmissão através do elemento. O destino do fluxo radiante incidente sobre um destes elementos depende do fluxo (comprimento de onda, ângulo de incidência e polarização) e das características físico-químicas destes mesmos elementos (LTC\UFES, 2001).

A intensidade do fluxo de radiação eletromagnética (REM) é designada irradiância ( $E$ ), representada por  $E_\lambda$ , quando definida para cada comprimento de onda ou regiões específicas do espectro eletromagnético. O que é mensurado pelo sensor é a radiância espectral ( $L$ ) que pode ser compreendida como uma grandeza que é definida por unidade de área e comprimento de onda ( $L_\lambda$ ).

As florestas e culturas em campo geralmente produzem muitas folhas, cobrindo o solo, e, em geral, a radiação solar passa por várias camadas nas folhas de vegetação e é refletida uniformemente em todas as direções (lei do espalhamento Lambertiano). Entretanto, as medidas espectrais obtidas pelos sensores remotos são afetadas pelos mecanismos de espalhamento atmosférico, juntamente com a radiação refletida por uma superfície não lambertiana (anisotrópica).

Ponzoni e Shimabukuro (2009) lembram que o fluxo de radiação incidente é composto por radiação em diferentes comprimentos de onda, e que as condições geométricas da reflexão variam para cada comprimento de onda, ou seja, a maioria dos objetos localizados na superfície

da Terra não é isotrópica para amplas faixas do espectro eletromagnético. Neste caso, o Fator de Refletância Bidirecional (FRB) representa a quantidade relativa de radiação eletromagnética que é refletida por uma dada superfície ou objeto, para uma dada condição geométrica de iluminação e de visada.

Um grande número de estudos tem sido realizado para explorar as relações existentes entre as propriedades biofísicas e químicas da vegetação e as propriedades da refletância espectral. Segundo Liu (2006), parte da radiação é espalhada dentro das folhas da copa da vegetação pela refletância múltipla, mudando a qualidade da luz e retificando a refletância no topo da copa. Sendo assim, a refletância total de uma copa de vegetação raramente ultrapassa 25% da refletância obtida de uma folha.

Segundo Nunes (2008), em uma folha as cavidades esparsas do mesófilo constituem-se em redes de transporte do ar, pelas quais o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera alcança as células fotossintéticas e libera moléculas de oxigênio ( $\text{O}_2$ ). O mesófilo fotossintético encontra-se abaixo da epiderme, subdividido em camadas de células do parênquima, ocupadas por seiva e protoplasma.

A resposta espectral da vegetação fotossinteticamente ativa varia em função de suas características biofísicas. Até  $0,7 \mu\text{m}$ , a refletância é baixa, possuindo uma região com uma alta absorção da radiação na faixa do azul ( $0,4 \mu\text{m}$  a  $0,5 \mu\text{m}$ ) e do vermelho ( $0,6 \mu\text{m}$  a  $0,7 \mu\text{m}$ ), atribuída à presença de pigmentos de carotenóides ( $0,48 \mu\text{m}$ ) e clorofilas ( $0,62 \mu\text{m}$ ) nas folhas; uma região de pequeno aumento da reflexão se manifesta na faixa do verde ( $0,5 \mu\text{m}$  a  $0,6 \mu\text{m}$ ), em  $0,56 \mu\text{m}$ , onde não atinge níveis superiores a 20% (NOVO, 2008). Ainda segundo Jensen (2011) *apud* Farabee (1997), a clorofila *a* absorve a luz azul e vermelha nos comprimentos de onda  $0,43 \mu\text{m}$  e  $0,66 \mu\text{m}$  respectivamente, e a clorofila *b* nos comprimentos de  $0,45 \mu\text{m}$  e  $0,65 \mu\text{m}$ , sendo a região de aumento de reflexão no verde em aproximadamente  $0,54 \mu\text{m}$ , fazendo com que as folhas verdes sadia apareçam verdes aos nossos olhos (JENSEN, 2011).

Quimicamente, espera-se que a diminuição da quantidade de água nessas regiões espectrais acarretará na degradação de proteínas e de pigmentos fotossintetizantes, tornando a folha menos apta a absorver a radiação (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

Liu (2006) argumenta que, na faixa do visível, a refletância de uma folha madura esponjosa é 5% menor que a de uma folha nova compacta, entretanto, no infravermelho próximo (0,72 a 1,10  $\mu\text{m}$ ), a folha madura reflete 15% mais que a folha nova, em consequência do aumento das cavidades bem estruturadas na camada de parênquima lacunoso. De acordo com Gates et al. (1965) *apud* Ponzoni e Shimabukuro (2009), a absorção da água é geralmente baixa nessa região. Além disso, fatores externos à folha, como por exemplo a disponibilidade de água, podem alterar a refletância de uma folha no infravermelho. De maneira geral, quanto mais lacunosa a estrutura interna foliar, maior o espalhamento interno e, por consequência, maior será também a refletância (LTC\UFES, 2001).

Na região do infravermelho próximo, a vegetação verde sadia é geralmente caracterizada por uma alta refletância (40 - 60%), alta transmitância (40 - 60%) e relativamente baixa absorvância (5 - 10%). Nessa região, a luz solar direta incidente sobre as plantas tem o maior volume de energia, e caso as plantas não tivessem desenvolvido o mesófilo esponjoso que controla a quantidade de energia através da reflexão ou da transmitância para as camadas inferiores de folhas ou para o solo, as plantas poderiam esquentar muito e danificar irreversivelmente suas proteínas, caso absorvessem esta energia com a mesma eficiência que acontece no visível (JENSEN, 2011).

Na região do infravermelho médio (1,10 – 3,20  $\mu\text{m}$ ), o teor de umidade das folhas é inversamente proporcional à refletância. A água absorve consideravelmente a radiação incidente na região espectral compreendida entre 1,3  $\mu\text{m}$  a 2,0  $\mu\text{m}$ . Em termos mais pontuais, a absorção da água se dá em 1,1  $\mu\text{m}$ , 1,45  $\mu\text{m}$ , 1,95  $\mu\text{m}$  e 2,7  $\mu\text{m}$  (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

Em relação às folhas senescentes, estas apresentam uma baixa refletância na região do azul e verde, porém, mostram uma alta refletância na região do vermelho, devido à predominância de outros pigmentos, como as xantofilas e feofitinas, em contraponto à degradação da clorofila durante o processo de envelhecimento da folha (NUNES, 2008).

De maneira geral, quando as folhas envelhecem, a refletância aumenta na faixa do visível, (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) - exceto o pico em 0,55  $\mu\text{m}$  (verde), e diminui na faixa do infravermelho próximo. Estes fatores estão relacionados à diminuição de clorofila e da abundância dos pigmentos carotenóides, que contribuem para o aumento de refletância nas faixas vermelha e azul

(KINIPLING, 1967 *apud* LIU, 2006). O pico da faixa 0,55  $\mu\text{m}$  desaparece e a cor verde também (LIU, 2006).

Quando comparadas as curvas de refletância de uma folha verde sadia e as medições espectrais dos dosséis, estas apresentam formas muito semelhantes, permitindo a previsão de padrões de refletância dos dosséis. Para um dossel ou sub-dossel homogêneo, assume-se que a densidade dos elementos da vegetação é uniforme, o que é caracterizado pelo Índice de Área Foliar (IAF)<sup>6</sup>.

A refletância na região do visível decresce quase que exponencialmente com o aumento do IAF, até atingir um valor próximo de zero; entretanto, na região do infravermelho próximo, onde a absorção é mínima, o aumento do IAF implica no aumento da refletância da vegetação.

Dependendo da arquitetura do dossel, esse efeito pode ser “mascarado”, principalmente em razão do brilho do solo e do sombreamento gerado pelos elementos da vegetação. O efeito do primeiro será menor quanto maior for o ângulo de incidência da radiação solar, e inversamente para o efeito do sombreamento, o qual aumenta proporcionalmente com o aumento do ângulo de incidência (LTC\UFES, 2001).

#### 4.2 *Eliminação de ruídos, correção de efeitos bidirecionais e de distorções geométricas*

Segundo Liu (2006), os valores de radiância nas faixas do espectro solar, obtidos pelos sensores de satélites, são afetados por dois processos atmosféricos:

- a) absorções pelos gases e aerossóis atmosféricos;
- b) espalhamento pelas moléculas e aerossóis

---

<sup>6</sup> usado para medir a área total das folhas. O IAF é definido como a soma da área total das folhas em uma área da superfície do solo de 1 metro quadrado. O aumento da refletância chega a um valor constante quando o IAF alcança um valor máximo. (LIU, 2006. pg137).

Os processos complexos de interações entre atmosfera, radiação solar incidente e radiação refletida pela superfície afetam os valores de radiância nas faixas do espectro obtidos pelos sensores de satélites. Esta interação envolve processos múltiplos de espalhamento, absorção, reflexão e emissão, sendo uma tarefa dispendiosa descrevê-los matematicamente com exatidão. Mesmo assim, algumas técnicas de modelagem são empregadas para simular esses processos (LIU, 2006).

Os Fatores de Refletância podem ser bidirecionais quando existem duas geometrias envolvidas no processo de interação entre a radiação eletromagnética e uma dada superfície de um recurso natural, sendo uma caracterizada pelos ângulos zenital e azimutal da fonte de REM incidente, e a outra caracterizada pelos ângulos zenital e azimutal de visada do sensor do satélite (PONZONI et al., 2007).

Ainda, segundo Ponzoni et al. (2007), todo sensor transforma o valor da intensidade do fluxo de REM incidente sobre o detector em voltagem. Esta, por sua vez, é transformada em potência (radiância). Os valores de radiância espectral bidirecional ( $L_\lambda$ ) são discretizados em intervalos numéricos que variam de amplitude segundo  $2^x$  (dois elevado a potência "x"), sendo "x", na maioria dos casos, valores múltiplos de 2, que definem a resolução radiométrica de um sensor.

As imagens obtidas pelos sensores *Thematic Mapper* (TM) dos satélites *Landsat 4 e 5*, por exemplo, apresentam resolução radiométrica de 8 bits, sendo  $2^8$  uma variação de 0 (zero) a 255 níveis de cinza, discretizados em números digitais (ND). O TM corresponde a um ganho quatro vezes maior se comparado ao intervalo relativo na escala de cinza de 64 níveis usado pelo sensor *Multi-spectral Scanner System* (MSS) também da série *Landsat*.

Os dados do *Landsat TM* têm um campo de visada instantâneo (*Instantaneous Field of View* - IFOV) projetado no terreno de 30 x 30 metros, para as bandas de 1 a 5 e 7, representando também um ganho na resolução espacial em relação aos 79 x 79 metros do MSS, e foram selecionadas para maximizar o uso dos fatores dominantes que controlam a refletância das folhas, tais como pigmentação, estrutura da folha e dossel e conteúdo de umidade (JENSEN, 2011).

Na etapa de pré-processamento de dados orbitais é constituída por procedimentos típicos de processamento dos dados digitais de uma imagem registrada pelos sensores de um satélite, e envolvem técnicas de correção radiométrica, atmosférica e geométrica.

Os números digitais são relacionados por um modelo linear (calibração) conforme a intensidade de energia radiante refletida que, embora relacionados, não representam quantitativamente valores físicos reais, e não são diretamente comparáveis entre satélites diferentes devido às diferenças na calibração dos sensores (RAMIREZ, 2002).

O conceito de *Coefficiente de Calibração* pode ser diretamente empregado, uma vez que estabelece relações precisas entre as quantificações da radiação refletida ou emitida por diferentes objetos da superfície terrestre, e as quantidades de radiação efetivamente refletidas ou emitidas (PONZONI et al., 2007).

Sob o ponto de vista radiométrico, é fundamental, por exemplo, que uma imagem apresente uniformidade entre os valores dos NDs gerados por diferentes detectores que atuam em uma faixa espectral específica. Cada detector registra valores diferentes de ND, pois cada um tem sensibilidade específica e vai traduzir as intensidades de REM incidente de forma particular. Essas desigualdades precisam ser eliminadas mediante a aplicação de algoritmos de correção, que incluem o uso de coeficientes que visam uniformizar algebricamente esses valores, tornando as imagens aptas para serem disponibilizadas aos diferentes usuários (PONZONI et al., 2007) e livres de listras ou ruídos indesejáveis (BOLFE, 2010).

Nos sensores colocados a bordo de plataformas aerotransportadas ou orbitais, são necessárias calibrações antes da colocação do sensor na plataforma (calibração em laboratório ou pré-lançamento), calibrações durante o voo, ou calibrações a partir da caracterização espectral de objetos de referência, caracterizados espectralmente em campo concomitantemente à passagem do sensor sobre eles Chen (1997) *apud* Ponzoni et al. (2007).

Como a órbita original de um satélite sofre deslocamentos após o seu lançamento devido ao atrito atmosférico e à variação de seu ângulo de inclinação, a hora certa de passagem do satélite em um local e *pixel* específico deve ser recalculada em função do ângulo zenital solar, para cada dia específico e para cada satélite (LIU, 2006). A correção é feita dividindo-se cada valor de pixel em uma cota pelo seno do ângulo de elevação solar no momento de sua obtenção,

ou pelo co-seno do ângulo de elevação solar a partir do Zênite. A correção da distância entre Terra-Sol também é aplicada para normalizar as mudanças sazonais que ocorrem, sendo que a irradiância decresce ao quadrado em relação ao aumento desta distância (LILLESAND et al., 2007). Este ítem tem muita importância quando se deseja comparar imagens de um mesmo local em diferentes datas.

Dessa forma, com objetivo de caracterizar as imagens no caso de uma recepção ideal, indica-se o satélite e o sensor utilizado, o ano, dia, hora e minutos da tomada da imagem e o ângulo de elevação solar, obtendo-se assim os ganhos e compensações na imagem de saída. Esse procedimento é chamado de Calibração Radiométrica da imagem, e modifica os números digitais (ND) para valores físicos em reflectância bidirecional aparente (FRB), e permitem a caracterização espectral dos objetos (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

A irradiância e o espalhamento por moléculas gasosas dependem do comprimento de onda, fazendo com que os efeitos da atmosfera sejam diferentes nas faixas espectrais de um dado sistema de sensor. Fraser (1975) *apud* Ponzoni et al. (2007) considera a atmosfera o meio pelo qual a REM se propaga, sofrendo interferências caracterizadas pela ação de partículas dos gases na sua absorção e pela ação de moléculas e aerossóis no seu espalhamento ou difusão/dispersão. Em particular, as moléculas de oxigênio, dióxido de carbono, ozônio e água atenuam fortemente a radiação em certos comprimentos de onda.

Quanto à dispersão atmosférica/difusa, Richards (1993) aponta dois mecanismos principais para identificá-la. A dispersão de *Rayleigh* é provocada por moléculas muito menores que o comprimento de onda (inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda), ocorrendo com maior frequência nos gases. A dispersão por aerossóis, ou Mie, ocorre em partículas um pouco maiores, quando a razão diâmetro/comprimento de onda situa-se entre décimo e dez, associada à fumaça, neblina e vapor. Embora este último seja menos dependente do comprimento de onda, a dependência só desaparece quando as partículas da atmosfera se tornam muito maiores que o comprimento de onda – como em nevoeiros, nuvens e poeira (RICHARDS, 1993).

Aerossóis de poeira e fumaça são pequenas partículas suspensas no ar. Algumas ocorrem naturalmente, provenientes de vulcões, tempestades de poeira, incêndios florestais e nas

pastagens. Atividades humanas como a queima de combustíveis fósseis, incêndios prescritos e a alteração da cobertura natural da terra (por exemplo, atividades de corte-e-queima), também geram aerossóis (LILLESAND et al., 2007).

Ambas as dispersões possuem dependência e podem ser modeladas com o objetivo de se estimar o nível de interferência da atmosfera, a partir das medidas radiométricas que estariam sendo feitas em campo, e as feitas pelo sensor que se pretende calibrar (PONZONI et al., 2007). A presença de aerossóis na atmosfera pode ser observada através da variável chamada espessura óptica de aerossóis, também chamada de profundidade óptica de aerossóis, uma medida adimensional de extinção da radiação a partir da sua interação com partículas de aerossóis na atmosfera, devido principalmente aos processos de espalhamento e absorção. A partir das análises da relação entre anomalias de precipitação e espessura óptica, nota-se a existência de uma clara e possível relação entre a emissão de aerossóis oriundo de queimadas e o déficit de chuvas (PRADO, 2012).

No processo de correção das interferências atmosféricas costuma-se utilizar parâmetros da imagem como data, horário da obtenção, irradiância, radiâncias mínimas e máximas, ângulo de visada do sensor e de elevação solar. Especificamente sobre a influência dos fatores atmosféricos nos vetores espectrais de uma imagem, para fins de classificação da cobertura das terras, Schowengerdt (2006) argumenta que, se estivéssemos interessados apenas na classificação de uma única cena, com base nas assinaturas espectrais coletadas dentro de seus limites, os fatores atmosféricos não seriam particularmente críticos, desde que fossem consistentes em toda a cena. Neste caso, a influência dos vetores espectrais se daria de forma igual nos pixels desconhecidos e nas áreas de treinamento, e não afetaria as suas posições relativas no espaço espectral.

Ainda segundo Schowengerdt (2006), se a atmosfera variar significativamente em toda a área de interesse, em função de neblina ou fumaça, uma correção espacialmente dependente seria necessária. Também, se áreas de treinamento de uma imagem forem usadas para classificar uma segunda imagem, ambas devem ter os efeitos atmosféricos corrigidos, ou a segunda deve ser *normalizada* em relação a primeira.

Lillesand et. al (2007) argumentam que para o caso do vapor de água, este pode variar dramaticamente em sua distribuição temporal e espacial dentro de um único local ou cena,

podendo ser bastante desigual e se transformar em uma escala de tempo de minutos, podendo resultar na alteração do comprimento do caminho atmosférico entre o sensor e o solo. Adicionalmente, no caso de utilizar-se cenas de sistemas de sensores com campos de visão mais amplos, é importante considerar cuidadosamente os efeitos da atmosfera, pois haverá uma variação sensível no comprimento do caminho atmosférico entre o nadir e as extremidades da cena (RICHARDS, 1993).

Vê-se, portanto, que alguns fatores implícitos, importantes nos procedimentos de correção, referem-se à escolha de um objeto de referência, radiômetros ou espectroradiômetros portáteis para caracterização espectral desse objeto, a correção atmosférica da grandeza radiométrica quantificada em campo, para torná-la comparável ao nível do satélite, e as características de pré-processamento da imagem a serem utilizadas como fonte de dados para a calibração do sensor (PONZONI et al., 2007).

Quando se deseja mapear qualquer superfície do globo terrestre, é necessário projetar essa área curvada para uma área plana. As feições registradas pelos sensores de satélite também apresentam alguns graus de distorção, e a posição de um ponto de interesse na imagem deve ser corrigida para representar corretamente o ponto de interesse na superfície terrestre.

Os modelos de correção geométrica relacionam um *pixel* da imagem bruta com um ponto da superfície representativa do planeta. No caso em que se desconhece a topografia do terreno, utiliza-se um elipsóide de revolução como modelo de representação da Terra, derivado de um elipsóide em um determinado *Datum*, acrescido de uma determinada altitude, que pode ser a altitude média da região representada na imagem (LIU, 2006)

Distorções aleatórias e distorções residuais sistemáticas desconhecidas são corrigidas através da análise de pontos de controle (*Ground control points* - GCPs) bem distribuídos na imagem, que representam a localização conhecida no terreno, normalmente adquirida a partir de um mapa ou Sistema de Posicionamento Global por Satélite (GPS), e podem ser precisamente localizados na imagem digital (LILLESAND et al., 2007).

Esse procedimento de “reassinar” os valores corretos de coordenadas dos objetos identificados nas imagens digitais é chamado de georreferenciamento. O georreferenciamento envolve a reamostragem polinomial dos valores radiométricos registrados nos *pixels* das imagens,

por meio da análise de regressão dos mínimos quadrados, que determina os coeficientes das duas equações de transformação de coordenadas, e são usadas para interrelacionar as coordenadas do mapa com as coordenadas da imagem distorcida (LILLESAND et al., 2007; LIU, 2006).

Eventualmente o novo valor radiométrico de um *pixel* na imagem corrigida pode ser determinado com base nos valores de *pixels* que o envolvem na imagem original, entretanto uma série de métodos de reamostragem podem ser utilizados para designar o valor mais adequado. Richards (1993) aponta que a reamostragem pelo método do “vizinho mais próximo” simplesmente escolhe o pixel que tem o seu centro mais próximo ao ponto localizado na imagem de referência.

A distância ao vizinho mais próximo é uma medida que caracteriza o padrão de localização de pontos através da média das distâncias entre cada ponto ao seu mais próximo, ou do segundo, terceiro, ou através da distância a vizinhos de ordem superior. A medição é normalmente rápida e o ponto correto mais próximo é frequentemente óbvio. Entretanto para um trabalho preciso, é mais seguro calcular as distâncias entre as coordenadas (UNWIN, 1981).

Este é o método adequado a ser utilizado quando se quer trabalhar com operações dos valores radiométricos da imagem, uma vez que esta consistirá no brilho original dos pixels, simplesmente rearranjados em posições equivalentes a uma geometria correta da imagem (RICHARDS, 1993)

Quanto à acurácia do georreferenciamento, esta deve ser menor que a resolução espacial de um pixel de determinado sensor de satélite. No caso do erro no georreferenciamento situar-se acima deste valor, devem ser acrescentados mais pontos de controles para a melhoria da acurácia (LIU, 2006).

Schowengerdt (2006) define o processo de ortorretificação como o processo de ajuste na imagem das deformações proporcionadas pelo relevo, pixel a pixel, fazendo com que a imagem seja representada em perspectiva ortogonal e fora de seu eixo. A ortorretificação é a ortogonalização do eixo nas feições irregulares e de declives acentuados, exigindo para isso a informação sobre o relevo da região que se pretende trabalhar. Esta pode ser obtida através de uma grade espacial ou irregular com valores de altimetria do local, a exemplo de um Modelo Numérico de Elevação do Terreno (MNET).

A qualidade final da imagem depende principalmente da qualidade do MNET e dos pontos de controle obtidos em campo. Em função disso, os operadores dos satélites passaram a fornecer coeficientes de polinômios racionais (RPC – *Rational Polynomial Coefficients*) (OpenGIS Consortium – OGC, 1999). Estes polinômios são calculados a partir de dados da câmera do sensor e da órbita do satélite, e relacionam um ponto da imagem ortorretificada por meio de suas coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude), com um ponto da imagem não ortorretificada, porém geometricamente corrigida, por meio de suas coordenadas de imagem (linha/x, coluna/y) (SILVA, 2007).

#### 4.3 Índices de Vegetação e Estimativa de parâmetros biofísicos

Dados multiespectrais coletados a bordo dos satélites de monitoramento terrestre podem ser processados para estimar a cobertura vegetal, utilizados, dentre outras possibilidades, para inferir e monitorar a quantidade de cobertura e o vigor da vegetação através dos índices de vegetação. Os índices de vegetação são expressos, em sua maioria, com base na transformação dos valores de refletância das imagens, calculados através da razão, diferença, razão das diferenças e somas, ou outra combinação linear entre as respostas espectrais das bandas dos sensores aerotransportados (BOLFE, 2010).

Operações de razões entre bandas são eficazes em revelar ou aprimorar informações latentes, quando há uma relação inversa entre duas respostas espectrais para o mesmo fenômeno biofísico. A razão entre os dois valores fornece, nesse caso, um valor único que expressa o contraste entre as duas refletâncias. Para a vegetação viva, a estratégia da razão entre bandas pode ser especialmente eficaz devido à relação inversa entre o brilho da vegetação na região do vermelho, absorvido através da clorofila, e a forte reflexão na região do infravermelho, através do tecido mesófilo, garantindo que os valores destas faixas espectrais serão bastante diferentes e que a razão entre as duas será elevada (CAMPBELL, 1996).

Dessa forma, a assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia mostra contraste evidente entre a região do visível, especificamente no vermelho, e a do infravermelho próximo. Em geral, pode-se considerar que quanto maior for o contraste entre as assinaturas

espectrais dessas regiões, maior será o vigor da cobertura vegetal da área imageada (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

Desde que foi lançado o primeiro satélite da série *Landsat (ERTS-1)*, em 1972, começaram a ser desenvolvidos vários índices de vegetação, a maioria restritos às refletâncias das faixas do visível e do infravermelho próximo. Posteriormente, vários outros índices foram baseados em dados de outros satélites, e gerados também com os dados das faixas do infravermelho termal e microondas. Ainda em 1972 foi desenvolvido o primeiro índice, denominado Índice de Vegetação pela Razão (*Simple Ratio Index – SRI*) (PEARSON e MILLER, 1972). O SRI pode ser um bom indicador do crescimento de uma cultura agrícola e da estimativa de biomassa. Superfícies não cobertas por vegetação – incluindo-se corpos d’água, construções humanas, solos expostos, vegetação morta ou estressada - não apresentarão estas respostas específicas, decrescendo, dessa forma, a magnitude da relação entre estas faixas espectrais (CAMPBELL, 1996). Este índice é especialmente sensível a variações em biomassa ou em IAF para a vegetação de grande biomassa, tal como florestas.

A Equação (4.1) expressa essa relação:

$$SRI = \frac{IVP}{VER} \quad (4.1)$$

Onde:

SRI = Índice de Vegetação pela Razão

IVP = refletância na faixa de infravermelho próximo

VER = refletância na faixa do vermelho

A resposta espectral de uma superfície coberta por vegetação envolve, em geral, uma mistura complexa de vegetação, brilho, cor e umidade do solo, e efeitos da variação espacial e temporal das condições atmosféricas (LIU, 2006). Alguns critérios são indicados para a aplicação dos índices de vegetação em sensoriamento remoto (PONZONI, 2001; RUNNING et al., 1994), sendo eles:

a) Maximizar sua sensibilidade a parâmetros biofísicos das plantas, preferencialmente de uma forma linear,

- b) Normalizar efeitos externos, tais como ângulos solar e de visada e atmosfera;
- c) Normalizar os efeitos da influência do solo, topografia e componentes não-fotossintéticos;

d) Conduzir à geração de parâmetros mensuráveis tais como biomassa, o IAF ou a APAR (*Absorption of Photosynthetically Active Radiation*), que permitam a validação e controle de qualidade nas diferentes condições de cobertura vegetal.

Entre os utilizados mais frequentemente, está o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index - NDVI*), proposto por Rouse et al. (1974). Ele é calculado pela relação entre a subtração e a soma entre as refletâncias das faixas do infravermelho próximo (IVP) e a do vermelho (VER), de acordo com a Equação (4.2).

$$NDVI = \frac{IVP - VER}{IVP + VER} \quad (4.2)$$

Onde:

NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

IVP = refletância da faixa do infravermelho próximo

VER = refletância na faixa do vermelho

Por ser resultado da combinação de duas bandas, o NDVI encobre parcialmente os efeitos atmosféricos, das perturbações radiométricas e geométricas. Por causa da normalização, os efeitos das variações nas condições de iluminação (ângulos solares e ângulo de visada), e nas inclinações do terreno costumam ser minimizados (LILLESAND et al., 2007).

O NDVI pode ser definido como um indicador sensível à quantidade, distribuição e condição da vegetação foliar verde (quantidade de clorofila), variando em um intervalo de valores de -1 a 1. Nessa escala, geralmente, os valores relativos a pixels com nuvens e água são negativos, e os valores positivos indicam alguma presença de vegetação. Em uma superfície com vegetação em pleno vigor de crescimento vegetativo, o grau de verde alcança o valor máximo. A refletância do IVP atinge o valor máximo de 0,55, e, o VER, o valor mínimo de 0,5. Aplicando esses dados na equação, o valor máximo possível do NDVI é de 0,833 (HOLBEN, 1986 *apud* LIU, 2006).

O NDVI está associado a características biofísicas da cobertura vegetal e a composição das folhas, sobreposição de camadas de folhas e a arquitetura do dossel. A construção de perfis temporais do NDVI tem sido utilizada como ferramenta para o monitoramento da vegetação, para a detecção da atividade sazonal e fenológica, duração do período de crescimento, pico de verde, mudanças fisiológicas das folhas e períodos de senescência (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

Este índice é sensível também em superfícies parcialmente cobertas por vegetação, mas não em áreas onde o dossel apresenta grande recobrimento das copas das árvores, saturando quando o Índice de Área Foliar (IAF) ultrapassa o valor de 0,7. Isto porque neste nível de recobrimento o sensor do satélite somente registra a refletância superficial, e não mais a refletância das folhas abaixo da copa (LIU, 2006).

O NDVI é um bom indicador de IAF e PAR (Radiação Fotossinteticamente Ativa - *Photosynthetic Active Radiation*), sendo um alto valor de IAF indicativo do alto crescimento vegetativo - resultando em alta quantidade de biomassa, e um alto valor de PAR indicativo de uma alta taxa de fotossíntese - resultando em alta produtividade de biomassa. Dessa forma, boas correlações entre IAF, PAR e NDVI são aproveitadas nas aplicações dos dados de sensoriamento remoto para a estimativa de biomassa e da produtividade agrícola. Por sua vez, estes atributos também são utilizados em modelos para estudar a fenômeno da fotossíntese, estoques de carbono, balanço hídrico e outros processos relacionados (LILLESAND et al., 2007; LIU, 2006).

Dentre os fatores limitantes à análise temporal do NDVI, em relação à estimativa da densidade de cobertura vegetal, estão os pontos de saturação dos valores de FRB, a interferência atmosférica e o posicionamento do centro e largura de cada banda, tanto no vermelho quanto no infravermelho próximo, que variam entre os sensores. Além disso, as sombras e a influência dos parâmetros biofísicos influenciam fortemente os valores de FRB, como visto.

No caso particular das florestas primárias e secundárias, é comum a total inversão da interpretação dos valores de NDVI, principalmente em razão da maior ocorrência de sombras no interior do dossel das florestas primárias. Portanto, a relação esperada entre o NDVI e a biomassa pode não ser identificada para alguns tipos de cobertura vegetal, ângulo de observação e de iluminação (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

Em substratos compostos por solos escuros, o brilho do solo tem mostrado um aumento no valor dos índices de vegetação como o SRI (razão simples) e o NDVI (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009). Segundo Liu (2006), os fatores que mais exercem influência no comportamento espectral dos solos são: teor de matéria orgânica, textura, capacidade de troca de cátions (CTC), composição mineralógica, rugosidade e umidade. O teor de matéria orgânica, de argila e CTC apresentam correlação negativa com os valores de refletância dos solos.

Na faixa do infravermelho próximo, a absorção da radiação está relacionada ao teor de óxido de ferro no solo. Na faixa do visível, o conteúdo de óxido de ferro do solo pode causar uma diminuição da refletância de até 40%. Liu (2006) ainda observa que a umidade do solo não acarreta mudanças na resposta espectral da curva de refletância do solo, embora os solos úmidos possuam menor refletância que os secos.

Com o objetivo de minimizar a interferência da refletância da superfície do solo abaixo da vegetação, enquanto a superfície do solo é parcialmente coberta com vegetação, Richardson e Wiegand (1977) propuseram um índice baseado na combinação entre as bandas 5 (vermelho) e 7 (infravermelho próximo) do sensor MSS do *Landsat*, conhecido como Índice de Vegetação Perpendicular (PVI), segundo a Equação (4.3).

$$PVI = \frac{R_{gg5} - R_{p5}}{R_{gg5} + R_{p5}} \cdot \frac{R_{gg7} - R_{p7}}{R_{gg7} + R_{p7}} \quad (4.3)$$

Onde:

PVI = Índice de Vegetação Perpendicular

R<sub>gg</sub> = Refletância da superfície do solo das bandas MSS5 e MSS7, correspondendo ao ponto da refletância da vegetação

R<sub>p</sub> = a refletância do ponto da vegetação nas faixas MSS5 e MSS7

O PVI deu origem aos demais índices de vegetação baseados em distância. Ele representa a distância perpendicular entre o ponto da vegetação e a linha da superfície do solo abaixo da vegetação (LIU, 2006), calculada pela coordenada de pixel, definida pelos eixos das refletâncias do infravermelho e do vermelho em um plano cartesiano. Para se calcular a distância perpendicular é necessário determinar a equação da linha do solo, interpolada pelos valores da refletância na faixa do vermelho e do infravermelho próximo.

Primeiramente é traçada a linha com valores de refletância de vegetação e a linha de refletância do solo nestas mesmas bandas, e, por fim, a linha atravessando o ponto de vegetação, perpendicular à linha do solo (LIU, 2006). O limite inferior no gráfico entre estas duas faixas corresponderia aos valores dos pixels contendo informações de superfícies com solo totalmente exposto, ou seja, IAF igual à zero (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

Huete (1985) *apud* Liu (2006) aponta ainda que este índice subestima o IAF nos solos úmidos, onde a refletância do solo é baixa. Jackson et al. (1983 *apud* LIU, 2006) observam que os efeitos atmosféricos podem induzir a um erro relativo de 10 a 12 %, especialmente em solos úmidos. Segundo Campbell (1996), dados experimentais apresentados por Baret et al. (1993) mostraram que a base teórica para a linha de brilho do solo é sólida, embora os efeitos de variações na umidade do solo e na rugosidade da superfície não tenham sido ainda bem compreendidos. Estes dados mostraram que não é possível se definir apenas uma linha universalmente aplicável; todavia, como as variações são menores nas regiões do vermelho e do infravermelho, a utilização de uma única linha de brilho do solo é uma aproximação razoável, em especial no contexto da análise de dados de satélite de baixa resolução (CAMPBELL, 1996).

Huete (1988), considerando diferentes graus de exposição e características da refletância do solo, que variam dependendo da densidade da vegetação que se deseja analisar, introduziu uma constante “L” à equação do NDVI, que tem a função de minimizar o efeito do solo. Segundo Baret et al. (1991 *apud* Bolfe, 2010), esta constante permitiu minimizar as influências do brilho do solo e gerar isolinhas de vegetação mais independentes das características do solo. Dessa forma, Huete propõe o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI*), segundo a Equação (4.4).

$$SAVI = \frac{IVP - VER}{IVP + VER + L} \times 1 + L \quad (4.4)$$

Onde:

SAVI = Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

IVP = refletância da faixa do infravermelho próximo

VER = refletância na faixa do vermelho

L = 1 (para densidades baixas de vegetação)

L = 0,5 (densidades médias)

L = 0,25 (densidades altas)

De forma geral, ao se elevar o IAF, o valor de L deve ser diminuído gradativamente, até o momento em que, havendo menor influência do solo (onde o SAVI se equivale ao NDVI), seja o valor de L igual à zero.

Um valor de L = 0,5 no espaço reflectância vermelho x infravermelho próximo minimiza as variações de brilho do solo, eliminando a necessidade de calibrações adicionais para diferentes solos. No caso de ter sido feita uma correção atmosférica total, ainda deve haver "ruídos de solos", e a melhor equação a ser usada seria a do SAVI, enquanto que o uso do NDVI apresentaria piores resultados (HUETE e LIU, 1994 *apud* JENSEN, 2011).

Estudos apontam que a aplicação deste índice para a determinação de parâmetros biofísicos da vegetação, em especial da biomassa, associado ao ajuste de L = 0,5, tem apresentado sucesso relativo na redução considerável da presença de ruído do solo em uma gama variada de densidades de dosséis, além de minimizar o efeito da saturação que ocorre com o NDVI (BOLFE, 2010).

O Índice de Vegetação Melhorado (*Enhanced Vegetation Index* – EVI) foi proposto por Justice et al. (1998). Este índice busca otimizar o sinal da vegetação em regiões com maiores densidades de biomassa, através da redução da influência da refletância do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel, segundo a Equação (4.5).

$$EVI = \frac{G \text{ IVP} - \text{VER}}{L + \text{IVP} + C1 \text{ VER} - C2 \text{ AZUL}} \quad (4.5)$$

Onde:

EVI = Índice de Vegetação Melhorado

IVP = refletância da faixa do infravermelho próximo

VER = refletância na faixa do vermelho

AZUL = refletância na faixa do azul

G = Fator de ganho

L = Fator de ajuste para o solo, que engloba a transferência radiante diferencial e não linear entre IVP e VER através de um dossel

C1 e C2 = Coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera, que usam a faixa do azul para corrigir influências de aerossóis na faixa do vermelho

Os valores dos coeficientes obtidos empiricamente adotados pelo algoritmo do EVI são: L=1, C1=6, C2=7,5 e G=2,5 (HUETE et al., 1997; JUSTICE et al., 1998)

Nunes (2008), em estudo realizado para se determinar a sensibilidade dos índices de vegetação em relação às características estruturais e fisionômicas da floresta tropical, para fins de monitoramento da cobertura vegetal amazônica, mostrou que o EVI apresenta maior sensibilidade quanto à detecção de mudanças sazonais entre as fisionomias. Por ser mais sensível a pequenas variações de biomassa em áreas de floresta, quando comparado ao NDVI este índice demonstrou maior correlação com os parâmetros biofísicos da vegetação, bem como melhor discriminação entre as formações a partir da análise das respectivas séries temporais.

Huete et al. (1999) e Huete et al. (2002) *apud* Bitencourt; Ginciene (2011), advertem que no NDVI a faixa do vermelho exerce maior influência na equação em relação ao EVI, tornando-o mais sensível à variação da quantidade de biomassa fotossinteticamente ativa mas resultando em menor sensibilidade deste índice em áreas com florestas densas e contínuas. O infravermelho próximo, por exercer maior peso na equação do EVI, é mais sensível às variações na estrutura do dossel, fisionomia da planta e forma das folhas.

#### 4.4 *Classificação da Floresta Ombrófila da APA Fernão Dias*

Classificações de áreas florestais podem proceder-se através de várias alternativas. A mais fundamental de todas é simplesmente separar regiões florestadas de não-florestadas, ou florestadas de terras abertas (CAMPBELL, 1996). Dependendo da escala de aplicação do estudo e da resolução espacial dos sensores utilizados, os estudos florestais em nível escalar médio (sub-regional), podem ser conduzidos, por exemplo, por meio do uso das cenas do satélite *Landsat*, caracterizando a estrutura e a biomassa florestais, detectando incêndios e desmatamentos e mapeando florestas em escala regional. Em grandes escalas (nível local), como nos estudos que utilizam as cenas de satélites de alta resolução, é possível se direcionar os estudos para a detecção dos dosséis, copas e identificação de espécies arbóreas (GOMES, 2009).

Embora muitas vezes seja possível identificar plantas específicas e atribuir designações taxonômicas a partir de imagens de alta resolução, estudos através de imagens de sensoriamento remoto são normalmente baseados na estrutura e fisionomia da vegetação. Por exemplo, geralmente queremos separar áreas de floresta das de pastagens, ou distinguir um determinado tipo de cobertura florestal entre as várias tipologias de floresta. Embora seja importante se identificar as espécies dominantes para cada classe, o foco geralmente está na separação entre comunidades vegetais, com base em sua forma global e estrutura, ao invés da análise apenas florística (CAMPBELL, 1996).

Ainda segundo Campbell (1996), a fisionomia ou estrutura são importantes sempre que a escala da imagem é menor e os detalhes são mais grosseiros, sendo que o analista centra-se mais claramente em escalas que exijam considerações sobre aspectos mais amplos de planejamento para política de recursos naturais, gerenciamento de vida selvagem ou inventário de recursos biológicos, por exemplo.

### *Classificação Supervisionada*

O processo de classificação pode ocorrer por pixel ou por regiões, utilizando a informação espectral de cada pixel isolado para achar regiões homogêneas e/ou utilizando-se a informação espacial que envolve a relação entre o pixel e seus vizinhos (MOREIRA, 2001)

Na etapa de classificação dos dados digitais, procura-se classificar cada pixel da imagem segundo a ocupação da terra. A categorização dos valores dos níveis de cinza é feita utilizando algoritmos estatísticos de reconhecimento de padrões espectrais. Dependendo do algoritmo utilizado, a classificação é dita supervisionada ou não-supervisionada, e, ambas possuem regras de decisão para que o classificador associe determinado pixel a uma classe ou regiões de similaridade de níveis de cinza (MOREIRA, 2001).

No método supervisionado de classificação de imagens, em grande medida a nossa capacidade de realizar uma classificação precisa de uma determinada imagem multiespectral é determinada pela extensão da sobreposição entre as assinaturas de classe.

Isolinhas (ou curvas de contorno) podem ser usadas para representar as frequências de distribuição de intensidade dentre duas bandas espectrais, ou a densidade de pixels do conjunto de treinamento (assinaturas espectrais) para cada região, em gráficos representativos de um espaço bidimensional. Os contornos representam, na verdade, um ajuste dos pixels das áreas de treinamento baseado em distribuições normais, sendo estes simétricos ao redor da média. Estes apresentam forma circular se os desvios-padrão nas duas bandas forem os mesmos, ou elíptica se os desvios-padrão forem diferentes. Para mais do que duas regiões do espectro, o que é comum em imagens de Sensoriamento Remoto, os contornos se tornam elipsóides em três ou mais dimensões (CRÓSTA, 1993).

Se as áreas de treinamento forem realmente representativas das superfícies que se deseja classificar, estes contornos podem ser vistos como a probabilidade de qualquer pixel desconhecido pertencer a uma determinada classe com uma determinada combinação de valores digitais.

Segundo Schowengerdt (2006), para a delimitação da área de treinamento supervisionado, é importante que a área seja uma amostra homogênea da classe de uso e ocupação da terra, e ao

mesmo tempo, inclua o máximo de variabilidade de respostas espectrais encontradas na superfície. Por isso, mais de uma área de treinamento por classe deve ser frequentemente utilizada. Se dentro da mesma classe há uma considerável variabilidade, a seleção de locais de formação pode ser trabalhosa, e é impossível estar totalmente certo de que um conjunto abrangente de amostras de treinamento para cada classe foi especificado.

O grande passo para a classificação supervisionada está na identificação prévia dos pixels de treinamento. Isto pode envolver a iniciativa de visitas em campo, ou requerer o uso de dados de referência, tais como mapas topográficos, fotografias aéreas ou imagens orbitais de alta resolução. As assinaturas derivadas dos dados de treinamento são geradas de formas diferentes, dependendo do tipo de classificador utilizado. Para a classificação baseada no método do *paralelepípedo*, as assinaturas de classe correspondem aos limites superior e inferior dos valores de brilho, em cada banda espectral. Para a classificação pelo método da *mínima distância*, as classes são delimitadas com base na média estatística entre os valores de cada banda espectral, atribuindo-se cada *pixel* desconhecido à classe cuja média seja mais próxima ao valor desse *pixel* em uma banda. Para a classificação pelo método da *máxima verossimilhança*, tanto a variância entre as médias estatísticas dos vetores espectrais das assinaturas da classe, quanto as matrizes de covariância entre as assinaturas de classe, constituem-se nos parâmetros utilizados ao atribuir cada *pixel* a uma das classes representadas no arquivo de assinatura. Dadas estas duas características para cada valor de classe, a probabilidade de cada *pixel* pertencer a uma determinada amostra de treinamento é calculada.

Se a seleção de dados de treinamento não é exaustiva ou representativa da classe, é prudente usar algum tipo de limiar ou limite, principalmente se a classificação é baseada na *mínima distância* ou na *máxima verossimilhança*. Isso garantirá que pixels menos caracterizados não sejam erroneamente classificados. Para a *máxima verossimilhança*, esse limite pode ser aplicado com o uso de um limiar sobre as funções discriminantes. Limitando a classificação, os pixels na imagem que não estão bem representados pelas áreas de treinamento não serão classificados (RICHARDS e JIA, 1999).

De acordo com Schowengerdt (2006), com o método da *máxima verossimilhança* podemos minimizar o erro total e obtermos uma ótima compreensão das assinaturas espectrais,

caso a nossa estimativa da distribuição de probabilidade subjacente estiver correta. Através desta probabilidade pode-se escolher, por exemplo, classificar apenas os pixels desconhecidos que são bastante semelhantes à média dos valores de uma classe, dentro da área geral definida pelo conjunto de treinamento. Isso é feito escolhendo-se o limite de decisão coincidindo com o contorno mais próximo da média, cuja distância como já exemplificado é normalmente fixada pelo desvio padrão a partir da média.

Entretanto, pode-se desejar que os *pixels* desconhecidos que se situam a qualquer distância da média sejam também classificados, utilizando-se como limite, por exemplo, o contorno que engloba 99% dos pixels da área de treinamento. O restante descartado pode representar a probabilidade de algum *pixel* da área de treinamento ter sido incluído por engano, representar ruídos ou conter um limite entre dois tipos de cobertura (CRÓSTA, 1993).

Segundo Liu (2006), o classificador de *máxima verossimilhança* é o método supervisionado mais utilizado no processo da identificação e delineamento das classes; nele, a assinatura da classe é caracterizada tanto pela média entre os valores espectrais de cada *pixel* em cada banda, quanto pela matriz de covariância entre as assinaturas de classes, com a suposição de que a distribuição de uma amostra de classe seja normal, sendo cada amostra de treinamento uma área de referência composta por níveis de cinza de uma determinada classe com reflectâncias distintas.

### *Melhorias Geométricas*

Detalhes geométricos em uma imagem pode ser modificados e melhorados. Em contraste com as operações de ponto utilizadas em calibrações radiométricas, técnicas para o aprimoramento geométrico são caracterizadas por operações sobre os pixels vizinhos.

Estes procedimentos também determinam a modificação dos valores de brilho para os pixels de uma imagem, no entanto o novo valor para um determinado pixel é derivado do brilho de um conjunto de pixels adjacentes. É esta interdependência espacial dos valores de pixel que leva a variações no detalhe da imagem, percebidas em sua geometria.

As melhorias na geometria de maior interesse em sensoriamento remoto geralmente se relacionam à suavização, com a detecção e reforço de bordas e com a detecção de linhas. A maioria destes métodos são ou podem ser expressos como modelos, nos quais uma caixa ou janela é definida e, em seguida, movida linha por linha e coluna por coluna sobre a imagem.

Janelas de qualquer tamanho podem ser definidas para algum tamanho de *pixel* definido, e os valores de brilho dos *pixels* reamostrados de acordo com a posição e localização da janela. Muitas vezes o conjunto de variáveis de entrada dos modelos são referidos como "kernel" da janela, e a técnica do modelo geralmente é chamada de convolução, em virtude da sua semelhança com a “convolução no domínio do tempo na teoria de sistemas lineares” (RICHARDS, 1993).

Segundo Pratt (1991) *apud* Jensen (1996), um filtro espacial linear é um filtro aplicado para cada valor de brilho ( $VB_{i,j}$ ) da imagem original, localizado em um determinado padrão espacial ao redor da localização de  $i, j$ , e esse processo de ponderar o valor de um *pixel* a partir dos valores dos pixels vizinhos é chamado de filtragem por convolução bidimensional (JENSEN, 1996).

A utilização de janelas maiores ou menores em uma imagem permite obter informações de seus componentes espaciais em diferentes escalas. Se tomarmos uma imagem e a processarmos, de tal forma que o valor de cada *pixel* de saída represente a média a partir de um pequeno número de *pixels* vizinhos de entrada (por exemplo de uma janela de 3x3), o resultado será uma versão turva da imagem original. Se subtraírmos este resultado a partir da imagem original, produziremos uma imagem que representa a diferença entre cada pixel original e a média entre seus vizinhos. Denomina-se a imagem turva de uma versão Passa-Baixa da imagem, e a diferença entre esta e a imagem original de uma versão Passa-Alta da imagem (SCHOWENGERDT, 2006).

O *kernel* “4” usará os pixels vizinhos ortogonais diretos ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  e  $270^\circ$ ) e o *kernel* “8” usará os oito pixels vizinhos diretos, criando assim uma matriz 3X3. No limiar de reclassificação utilizado, pode-se desejar que a maioria das células tenham o mesmo valor e sejam contíguas, ou seja, no caso de se ter se utilizado o kernel “4”, pelo menos três pixels devem ter o mesmo valor para classificarem o pixel central. Pode-se também reduzir esse limiar e optar

para que metade das células tenha o mesmo valor e sejam contíguas para classificarem o pixel central. O Filtro Majoritário é um filtro do tipo Passa-Baixa, que considera o padrão espacial da área através da vizinhança e da conectividade espacial entre as células, tendo como referencia a célula central do *Kernel*.

Moretti (2011) visando o mapeamento do uso e cobertura das terras na APA Fernão Dias por meio da avaliação do desempenho das classificações pelo método da *máxima verossimilhança* da imagem *Landsat-5* de 18 de abril de 2010, estabeleceu dez classes para o mapeamento temático, com um ajuste manual da classe temática referente à floresta ombrófila mista e reflorestamento de pinus, semelhantes no conjunto de propriedades espectrais, e aplicando à imagem classificada um filtro passa-baixa (mediana) com janela 3x3.

Para avaliar a exatidão da classificação foi realizada uma amostragem aleatória estratificada de acordo com a porcentagem de cada classe temática em relação à area total da APA, em uma área de influência (*buffer*) de dois quilômetros em torno do trajeto percorrido em campo. A quantidade de pontos a serem amostrados foi determinada conforme proposto por Fitzpatrick-Lins (1981), a partir da seguinte equação:

$$N = \frac{Z^2 p (q)}{E^2} \quad (4.6)$$

Onde:

N = número de amostras;

Z = 2 (para desvio padrão normal de 1,96 com 95% de intervalo de confiança);

p = percentual de exatidão esperado;

q = 100-p;

E = erro permissível.

Considerando um percentual de exatidão (p) de 85%, com erro permissível (E) de 8%, o número de amostras utilizado foi de 80. A porcentagem de cada uma das dez classes temáticas do mapa de uso e ocupação do solo foi calculada e os 80 pontos de controle foram amostrados aleatoriamente. Foi elaborada uma matriz de erro a partir da checagem dos 64 pontos que foram

visitados em campo. Com estes pontos de amostragem, o percentual de exatidão do mapa é de 85% com erro permissível de 9%.

Os dados da matriz de erro possibilitaram o cálculo do índice de exatidão global, que foi de 90,63%, e do índice Kappa ( $K$ ), que foi de 86,91%. O procedimento de classificação pelo método da *máxima verossimilhança* encontrou para a classe Floresta Ombrófila Densa uma área de 276,32 Km<sup>2</sup>, equivalente a 15,10% da área da APA, e uma área total de 331,97 Km<sup>2</sup> para a classe Floresta Estacional Semidecidual, equivalente a 18,14% da área da APA Fernão Dias (MORETTI, 2011), mostradas abaixo na Figura 4.1.

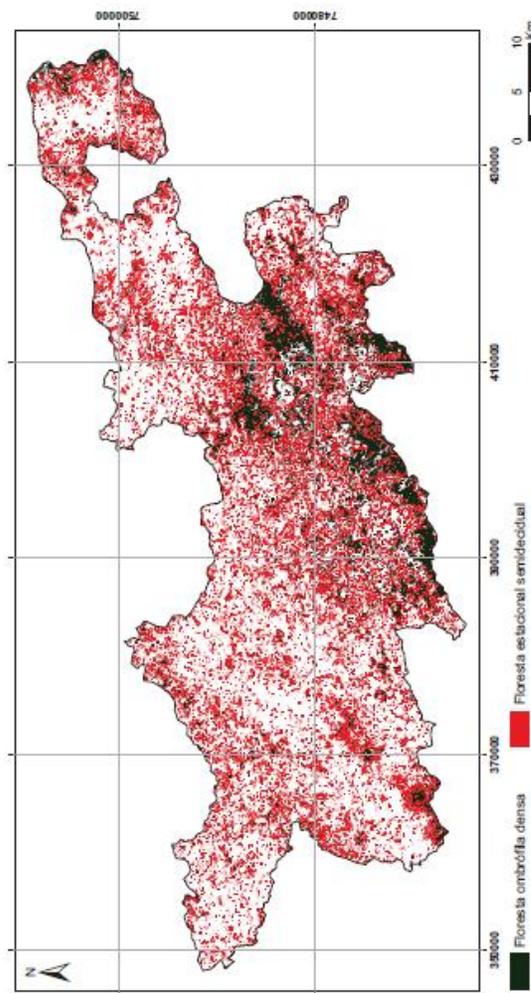


Figura 4.1. Classificação da Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semidecidual da APA Fernão Dias pelo método da Máxima Verossimilhança (MORETTI, 2011).



## 5. ANÁLISE ENTRE OS DADOS DE CAMPO E AS VARIÁVEIS ESPECTRAIS

### 5.1 Modelos para medição, monitoramento e estimativa dos parâmetros biofísicos em campo

Segundo Campbell (2006), a medição do volume de madeira em campo consiste em estimativas cúbicas basais dos volumes a serem obtidos para uma árvore específica ou, mais frequentemente, para um padrão específico de espécies. Mede-se o diâmetro da árvore à altura do peito (DAP) e à altura (H) da secção direita do tronco (fuste)<sup>7</sup>, como os dois componentes básicos para a estimativa do volume. Medições feitas para cada árvore são somados para dar estimativas de volume para um padrão específico.

O sensoriamento remoto pode ser utilizado para estimar a densidade de carbono, seja diretamente, com base nas relações quantificáveis entre a biomassa viva existente acima do solo e sua resposta espectral, ou indiretamente, com base nas técnicas de classificação desenvolvidas através de pesquisas de equivalência por medições de campo com medições através de sensores (THE TERRESTRIAL CARBON GROUP PROJECT, 2009b).

Exigências básicas de informação para estimativas de carbono são sempre em função da extensão da área e da densidade de carbono de cada classe de uso da terra, e do monitoramento de alterações no uso da terra dentro e entre estas várias classes. Isso requer uma combinação de medições diretas no campo. Entretanto, o sensoriamento remoto tem sido utilizado para registrar a cobertura da terra e a dinâmica do uso da terra por diversas décadas, e pode ser empregado de modo eficiente para este fim.

Os acordos do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (UNFCCC) de Marrakesh (COP 7, 2001) descrevem uma floresta como uma área de terra de no mínimo 0,05 a 1,0 hectare, com cobertura de copa de mais de 10 a 30 por cento, com árvores com potencial de alcançar altura mínima de 2 a 5 metros na maturidade, *in situ*, podendo constituir-se tanto de formações florestais fechadas como abertas. Exemplaes naturais jovens e todas as plantações que ainda têm que alcançar uma densidade de copa de 10 a 30 por cento, ou altura das árvores de 2 a

---

<sup>7</sup> DAP (diâmetro medido à 1,30 m de altura) e H (altura total da árvore).

5 metros, estão incluídos sob o termo floresta, como também as áreas que são normalmente parte da área da floresta e estão temporariamente desbastadas, como resultado de intervenção humana ou causas naturais, mas que espera-se irão reverter-se em florestas (THE TERRESTRIAL CARBON GROUP PROJECT, 2009a; LEMOS et. al., 2010).

Existem basicamente dois métodos para a mensuração do teor de carbono nas florestas. Com base em amostragem em uma dada região, o método da *determinação* define o volume/massa de madeira contida num hectare, por meio da derrubada e da pesagem da madeira. Por isso este método é também denominado de *destrutivo*.

Utilizando o método de coleta destrutivo, Higuchi e Carvalho Jr. (1994) estimaram a média aritmética do teor de carbono na biomassa total acima do solo de espécies amostradas em um fragmento de floresta tropical úmida densa de terra firme na Amazônia. Foi escolhida aleatoriamente uma área de um hectare onde foi executado o corte raso, pesando todos os indivíduos com DAP maior ou igual a 5 cm de uma área equivalente a 2.000 m<sup>2</sup>. A estimativa total da biomassa pelo peso seco total da área estudada foi de 436 t/ha, chegando a um valor do teor de carbono em torno de 48% da massa total da biomassa seca (HIGUCHI; CARVALHO JR, 1994).

O segundo método denominado *indireto* ou *estimativo*, consiste em estimar a biomassa da floresta com base em equações matemáticas (alométricas) que relacionam o diâmetro do tronco a outras partes da árvore. As estimativas podem ser feitas por meio de razões ou regressões de dados provenientes de inventários florestais (diâmetro à altura do peito – DAP, altura e volume) e dados de sensoriamento remoto. Esse método é mais apropriado para florestas homogêneas, nas quais a variabilidade entre plantas é pequena, permitindo o uso de parâmetros da espécie (LEMOS et al., 2010) nas médias aritméticas do teor de carbono.

O principal objetivo dos modelos de regressão é modelar o relacionamento entre diversas variáveis preditoras e uma variável resposta. Este relacionamento pode ser por uma equação linear ou uma função não-linear.

A regressão linear representada por um polinômio de primeiro grau considera uma amostra de  $n$  pares de duas variáveis e, admitindo-se a existência de uma relação funcional linear entre elas, o modelo descrito pela Equação (5.1) pode representar a relação.

$$Y_i = a + bX_i + e_i \quad i = 1,2,3, \dots, \text{ onde } e_i \text{ é o erro.} \quad (5.1)$$

As estimativas dos parâmetros  $a$  (intercepto do eixo das ordenadas (Y)) e  $b$  (coeficiente angular que determina a declividade da reta), são dadas pela Equação (5.2).

$$b = \frac{xy - \frac{(x \ y)}{n}}{x^2 - \frac{(x)^2}{n}} \quad (5.2)$$

Calculado o valor de  $b$  pode-se obter o valor de  $a$  mediante a Equação (5.3).

$$a = Y - bX \quad (5.3)$$

Assim, a estimativa do modelo será  $Y = a + bX$ , onde  $X$  é a variável independente (valores dos índices de vegetação) e  $Y$  a variável dependente (valores de carbono).

A qualidade do ajuste pode ser avaliado pelo coeficiente de determinação  $r^2$ .

O valor de  $r^2$  é dado pela Equação (5.4).

$$r^2 = \frac{b^2(x^2 - \frac{(x)^2}{n})}{y^2 - \frac{(y)^2}{n}}, \text{ onde } 0 < r^2 < 1 \quad (5.4)$$

O coeficiente de determinação representa a parcela de variabilidade da variável dependente explicada por todas as variáveis independentes e a significância da regressão expressa por meio do “t” estatístico, que verifica a significância partindo do zero (nenhum efeito). Quanto mais próximo de 1 estiver o valor de  $r^2$ , melhor a qualidade do ajuste. Se o poder explicativo for, por exemplo 0,98 isto significa que 98% das variações são explicadas por  $X$ , através da função escolhida, e 2% são atribuídas a causas aleatórias.

## 5.2 *Materiais e Métodos*

O presente trabalho se apóia na estimativa realizada a partir de dados de campo feita para quantidade de carbono acima do solo presente no fragmento denominado 97, coberto por Floresta Ombrófila Madura e, dessa forma, através da cobertura vegetal detectada pelos sensores do satélite *Landsat*, estimar o carbono nas coberturas florestais da APA Fernão Dias.

O Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais (2006) teve como alguns de seus objetivos específicos desenvolver e aplicar uma metodologia que fosse menos sensível às limitações apresentadas para realizar o monitoramento via sensoriamento remoto de todo o estado de Minas. Para isso buscou-se a determinação de suficiência amostral para a vegetação nativa do cerrado e para as Florestas Estacional Decidual, Semidecidual e Ombrófila, e a geração de dados de produção em volume, peso de matéria seca e estoque de carbono para as diferentes fitofisionomias da flora nativa e reflorestamentos do estado, lançando mão de estudos de florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendência de crescimento, taxas de desmatamento e áreas aptas para o manejo florestal (SCOLFORO e CARVALHO, 2006).

Especificamente para a formação florestal Ombrófila, foram amostrados oito fragmentos, com um total de 170 parcelas, contemplando fragmentos em bom ou ótimo estado de conservação, fragmentos sujeitos a forte ação antrópica no passado recente, fragmentos em estágio médio de regeneração e fragmentos em estágio avançado de regeneração.

O fragmento florestal 97 localiza-se no distrito de Monte Verde, em Camanducaia, e é um dentre os oito fragmentos amostrados para a fisionomia Floresta Ombrófila do estado de Minas Gerais, localizada, em sua maioria, na porção sul do Estado. O fragmento é constituído de vinte parcelas amostrais, localizados na divisa do Estado de Minas Gerais e São Paulo, entre os municípios de Camanducaia, pertencente à APA Fernão Dias, e Joanópolis no Estado de São Paulo, pertencente à APA Sistema Cantareira.

As parcelas foram delimitadas por barbantes de algodão a fim de definir os indivíduos nelas contidos. Foram também obtidas as coordenadas dos dois vértices do mesmo lado de cada parcela com Sistema de Posicionamento Global por Satélite (GPS) de navegação. Cada parcela conta com 10 subparcelas de 10 x 10 m, denominadas de seção de controle ou subunidades. Na primeira subunidade de cada parcela foram medidas todas as plantas com CAP<sup>8</sup> maior ou igual a 9,4 cm ou DAP maior ou igual a 3 cm (SCOLFORO e CARVALHO, 2006).

---

<sup>8</sup> Circunferência à Altura do Peito (1,30 m)

De acordo com o Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais (2006), foram classificados os seguintes atributos para o fragmento 97, localizado no Distrito de Monte Verde:

Bacia Hidrogáfica: Rio Piracicaba/Jaguari

Longitude (graus decimais): -46,0583243

Latitude (graus decimais): -22,8870667

Grupo Fisionômico: V (Fragmentos 7, 18, 97, 127, 153, 154, 155) – Matas da Serra da Mantiqueira

Fisionomia: Floresta Ombrófila

Estágio de Regeneração: Ombrófila madura

Altitude média: 1890 m

Índice de umidade: A - Superumido

Temperatura média: 14,4 °C

Precipitação anual média: 1.808,44 mm

Solo Predominante: Latossolo

Área do Fragmento: 181,827 ha.

Nº de Espécies: 139

Nº de Indivíduos por hectare: 1.425

Mortalidade por hectare: 58 (4,07%)

Área basal do fragmento por hectare: 34,3 m<sup>2</sup>

Diâmetro médio quadrático: 17,5 cm

Altura média: 9,5 m

Volume médio por hectare: 370,23 m<sup>3</sup>

Peso médio de matéria seca: 184,5 t/ha

Estoque de carbono: 81,9 t/ha

Estoque de CO<sub>2</sub>: 300,3 t/ha

Índice de Simpson (S): 0,023

Índice de Diversidade de Shannon (H'): 4,215

Índice de Equabilidade de Pielou (J'): 0,829

Área de amostragem: 2,00 ha.

Nº de parcelas amostradas: 20

Tamanho da parcela: 1.000 m<sup>2</sup>

**Fonte:** Scolforo e Carvalho (2006).

Estoque de carbono para as parcelas: 86,48 t/ha (Estimado de Carvalho (2011)<sup>9</sup>).

Foram realizadas algumas avaliações com o objetivo de chegar a uma correlação adequada para os valores de carbono medido em campo (CARVALHO, 2011), nos meses de junho, julho e agosto de 2006, em relação aos índices de vegetação obtidos nas cenas do satélite *Landsat 5*, órbita/ponto 219/076, de 14/09/2006 e de 12/07/2006.

O cálculo dos índices de vegetação pela razão simples (SRI), pela diferença normalizada (NDVI), perpendiculares (PVI), ajustados ao solo (SAVI) e melhorados (EVI), foram realizados segundo as equações 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5, respectivamente, apresentadas no item *c* do capítulo 4, para cada índice descrito.

Anteriormente a esta etapa, foi realizado o pré-processamento das imagens utilizadas nas avaliações, apresentado no Quadro (5.1).

O fluxograma com o procedimento metodológico utilizado é apresentado na Figura (5.1).

---

<sup>9</sup> Considerando que a quantidade de carbono em Carvalho (2011) refere-se à estimativa a partir do peso médio total (t) de matéria seca presente em cada parcela amostrada, dividiu-se a soma entre o carbono das parcelas por 2. Sendo a área total amostrada de 2 hectares, estima-se o valor do estoque de carbono para as parcelas do fragmento 97 em t/ha.

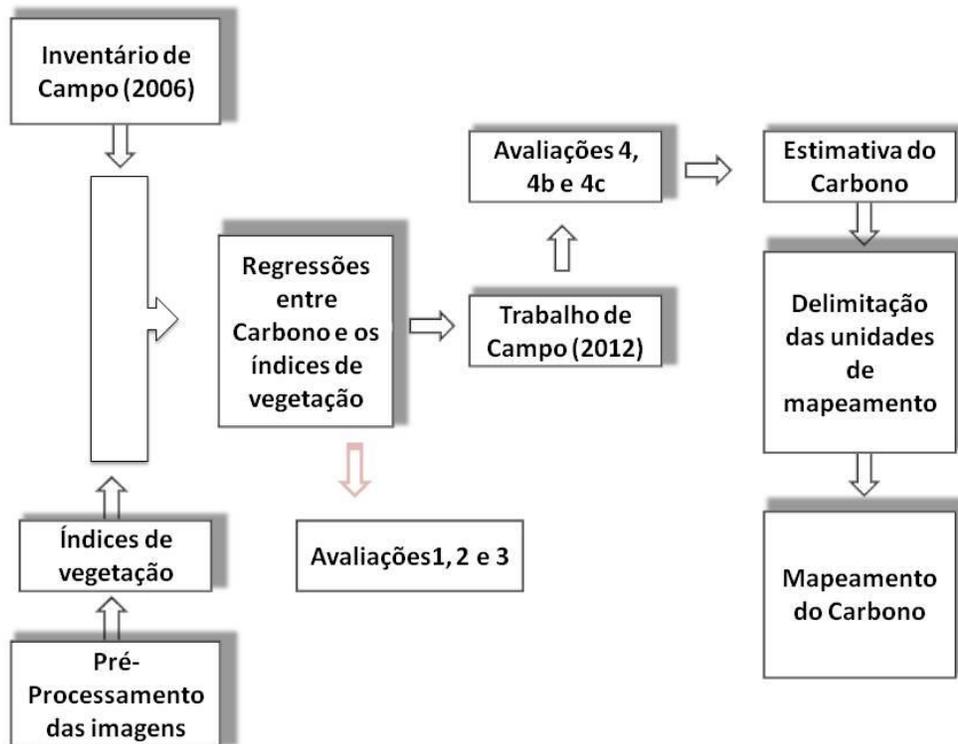


Figura 5-1. Fluxograma da metodologia utilizada

A primeira visita de campo foi realizada em 20 de dezembro de 2011, com objetivo de reconhecer a área onde se localizam as parcelas amostradas no distrito de Monte Verde, município de Camanducaia. A área visitada localiza-se a mais de 1 quilômetro da área amostrada, e pertence à área de subamostragem, na qual o 1º estágio consiste em unidades com tamanhos maiores, e o 2º estágio em grupos de parcelas lançados em cada um desses locais, visando principalmente economia na realização do inventário durante o caminhar entre as parcelas (SCOLFORO e CARVALHO, 2006).

Em 13, 14 e 15 de junho de 2012, foi realizada uma visita com o objetivo de aumentar a precisão das coordenadas geográficas originais dos vértices das parcelas amostradas, disponibilizadas pela UFLA - Universidade Federal de Lavras (CARVALHO, 2011).

Com o apoio da equipe da Fundação de Desenvolvimento Científico e Cultural (FUNDECC), contratada pela UFLA para medição do carbono do solo, e da empresa

Melhoramentos Florestal S.A. (proprietária da área), foram coletadas com Sistema de Posicionamento Global por Satélite (*Garmin 60CS* e *60CSx*) as coordenadas dos quatro vértices de 17 parcelas.

Com as novas coordenadas fornecidas pela equipe da FUNDECC foi possível se chegar às parcelas através da direção, orientação e localização dos transectos, e também às parcelas subsequentes. Também foi possível coletar *in situ* cerca de 2/3 das coordenadas com um GPS mais preciso, apresentando em média erros menores em comparação com os do GPS de versão anterior (*60CS*) também utilizado. Foi verificado que algumas coordenadas obtidas em campo continham erros de localização de até 60 metros (*in situ*) em relação às coordenadas fornecidas pela FUNDECC, e em média de 350 metros (em ambiente SIG) em relação às fornecidas em Carvalho (2011).

Foram percorridas, do dia 13 até o dia 15, a área de 6 parcelas dos transectos 1 e 4, e na semana seguinte, foram percorridas pela equipe mais 11 parcelas, cujas coordenadas foram agregadas à avaliação 4. A figura 5.2 mostra a localização das parcelas percorridas em campo sob a cena *Landsat* utilizada na avaliação 4, e a Figura 5.3 apresenta fotos tiradas durante o campo.

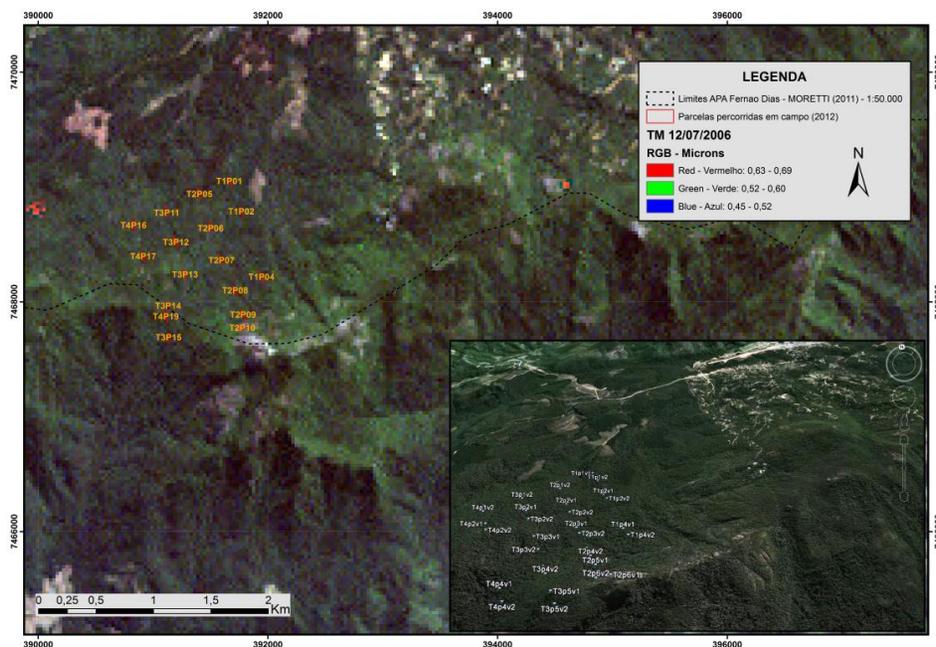


Figura 5.2. Localização das parcelas vetorizadas a partir das coordenadas obtidas em campo. No detalhe imagem de alta resolução de 07/05/2012 em perspectiva 3D retirada do programa Google Earth com pontos obtidos em campo e a Vila de Monte Verde à Nordeste. Escala Indefinida



Figura 5.3. Parcelas do transecto 1 (esquerda), percorridas em 13 e 14 de junho de 2012, e parcelas do transecto 4 (direita), percorridas em 15/06/2012. Fotos: Daniel Dias de Andrade e Rafael Feltran Barbieri.

### 5.3 Resultados

Para cada parcela utilizada nas avaliações, foi calculada a média ponderada (MP) do valor do índice de vegetação de cada *pixel* nela inserido, segundo a Equação (5.5) e a Figura (5.4).

A média ponderada do valor de cada índice de vegetação nas parcelas amostradas foi então utilizada para o cálculo do coeficiente de determinação em relação ao carbono medido em campo, através de regressão linear simples

$$MP = \frac{\sum_{i=1}^N \text{ÁREA}_{\text{polígono}} * \text{ÍndiceVeg}_{\text{polígono}}}{\text{ÁREA}_{\text{parcela}}} \quad (5.5)$$

sendo,

$$1 \leq N \leq 20$$

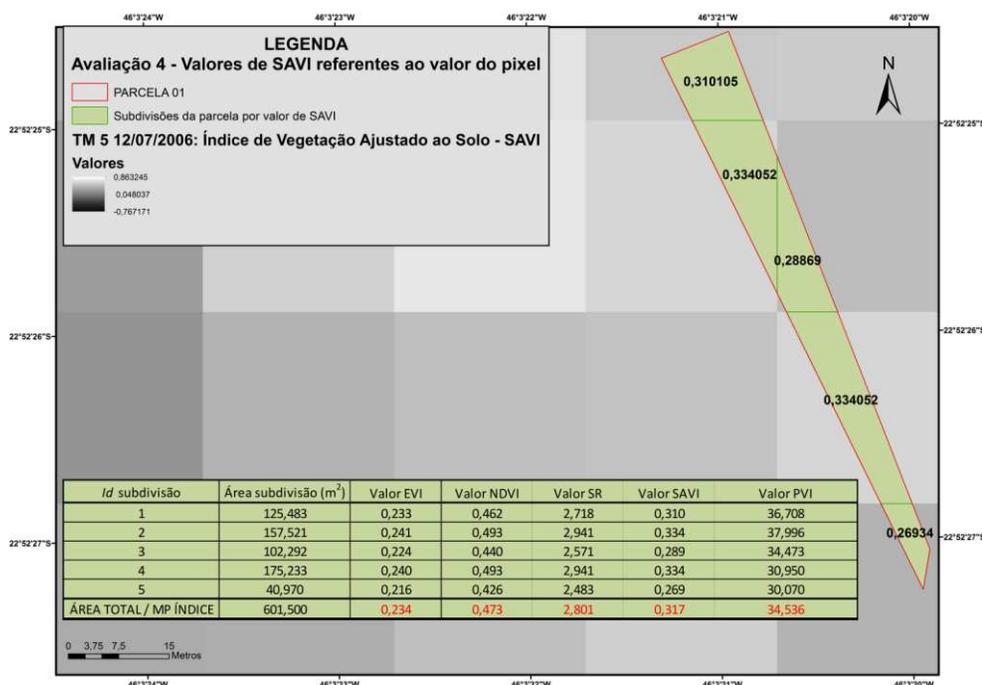


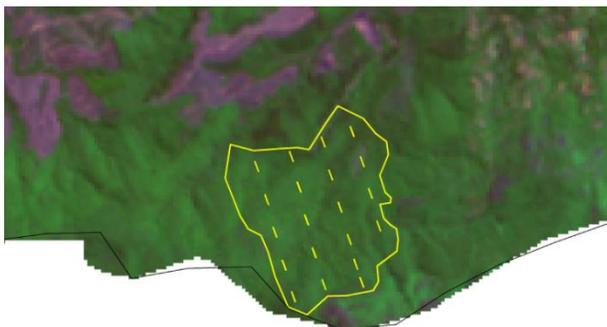
Figura 5.4. Área dos polígonos referentes à parte do pixel inserido na parcela e valores da média ponderada (MP) do SAVI para a parcela 01 utilizada na avaliação 4.

Quadro 5.1. Pré-Processamento das Imagens utilizadas nos testes realizados

	Avaliação 1	Avaliação 2	Avaliação 3	Avaliação 4	Avaliação 4b	Avaliação 4c
<b>Imagem</b>	<i>Landsat 5: TM 14/09/2006</i>	<i>Landsat 5: TM 12/07/2006</i>	<i>Landsat 5: TM 12/07/2006</i>	<i>Landsat 5: TM 12/07/2006</i>	<i>Landsat 5: TM 12/07/2006</i>	<i>Landsat 5: TM 12/07/2006</i>
Fonte	INPE	INPE	INPE	USGS	USGS	USGS
Resolução Espacial (m)	30	30	30	28,5	28,5	28,5
Projeção original	UTM 23 S. Datum WGS 84	UTM 23 S. Datum WGS 84	UTM 23 S. Datum WGS 84	UTM 23 S. Datum WGS 84	UTM 23 S. Datum WGS 84	UTM 23 S. Datum WGS 84
Nível de correção	1G (PONZONI et al. 2007)	1G (PONZONI et al. 2007)	1G (PONZONI et al. 2007)	1T ( <i>Landsat Product Information</i> )	1T ( <i>Landsat Product Information</i> )	1T ( <i>Landsat Product Information</i> )
<b>Georreferenciamento</b>	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
Referência	<i>Geocover TM 17/06/2000</i>	<i>Geocover TM 17/06/2000</i>	<i>Geocover TM 17/06/2000</i>	<i>Geocover TM 17/06/2000</i>	<i>Geocover TM 17/06/2000</i>	<i>Geocover TM 17/06/2000</i>
Fonte	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Resolução Espacial (m)	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
Nível de correção	1T ( <i>Landsat Product Information</i> )	1T ( <i>Landsat Product Information</i> )	1T ( <i>Landsat Product Information</i> )	1T ( <i>Landsat Product Information</i> )	1T ( <i>Landsat Product Information</i> )	1T ( <i>Landsat Product Information</i> )
Total pontos de Controle	13	13	34	2.933	2.933	2.933
Projeção final	UTM 23 S. Datum WGS 84	UTM 23 S. Datum WGS 84	UTM 23 S. Datum SAD 69	UTM 23 S. Datum WGS 84	UTM 23 S. Datum WGS 84	UTM 23 S. Datum WGS 84
RMS total (1ª ordem)	1,66	1,48	0,59	0,22	0,22	0,22
<b>Calibração Radiométrica</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Ângulo de Elevação Solar	50,3051°	34,7782°	34,7782°	34,3191°	34,3191°	34,3191°
<b>Interferência Atmosférica</b>	DOS (CHAVEZ, 1989)	DOS (CHAVEZ, 1989)	Não	DOS (CHAVEZ, 1989)	DOS (CHAVEZ, 1989)	DOS (CHAVEZ, 1989) exceto para PVI
<b>Nome do vetor / Projeção/ parcelas utilizadas</b>	PARCELAS_WGS84_rpj / UTM 23 S Datum WGS 84/ 20 parcelas segundo Carvalho (2011)	PARCELAS_WGS84_rpj2 / UTM 23 S Datum WGS 84/ 20 parcelas segundo Carvalho (2011)	PARCELAS_SAD69 / UTM 23 S Datum SAD 69 / 20 parcelas segundo Carvalho (2011)	PARCELAS_CAMPO / UTM 23 S Datum WGS 84 / 17 parcelas obtidas em campo. Parcelas 1,2,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,19	PARCELAS_CAMPO / UTM 23 S Datum WGS 84 / 9 parcelas obtidas em campo. Parcelas 1, 2, 4, 5, 6, 7, 10, 12 e 16	PARCELAS_CAMPO / UTM 23 S Datum WGS 84 / 13 parcelas obtidas em campo. Parcelas 1, 2, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 15, 16 e 19

Para as regressões entre o carbono medido em campo e as imagens índices de vegetação, foram utilizadas duas cenas do satélite *Landsat 5*: uma de julho e outra de setembro de 2006. A interferência atmosférica foi calculada para todas as imagens exceto para a imagem utilizada na avaliação 3, para fins comparativos, e para a imagem da *United States Geological Survey* (USGS) utilizada na avaliação 4, somente para o cálculo do índice PVI, feito no software IDRISI Kilimanjaro (versão 14.01). Este software apresenta limitações para o processamento de dados numéricos *Real/Float* ou *Integer*, formato de saída das imagens corrigidas em sua radiometria e na interferência atmosférica do software ENVI (versão 4.5), onde foram calculados os demais índices. Com base nos parâmetros de calibração para o sensor, utilizou-se o método proposto por Chavez (1989), denominado de método de subtração dos pixels escuros (*Dark Object Subtraction – DOS*).

Com o objetivo de adequar o *Datum* do Sistema de Coordenadas ao original obtido no Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais (2006), utilizou-se nas avaliações 1 e 2, para as imagens de setembro e julho, respectivamente, a Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 23 Sul, e o *Datum* WGS 84, com a diferença que as parcelas foram realocadas diferentemente sobre as imagens de maneira que se adequassem visualmente ao desenho (georreferenciado a partir das imagens *TM*) dos limites do fragmento 97, abaixo.



**Figura 5-5. Localização do Fragmento 97. Escala indefinida. Fonte: Scolforo e Carvalho (2006).**

Este procedimento foi feito em virtude das coordenadas originais dos vértices das parcelas (CARVALHO, 2011) não coincidirem (em relação à localização do fragmento na figura) sobre as imagens georreferenciadas, o que provavelmente tenha sido causado não tanto pelo erro médio quadrático maior que o pixel, obtido nas avaliações 1 e 2 - bem menores que a distância com relação à localização real das parcelas, mas, principalmente, devido à influência do relevo da área.

Na avaliação 3, reduziu-se o RMS para pouco mais que meio pixel (0,59), e optou-se por extrair-se os valores dos índices de vegetação para os limites das parcelas vetorizadas a partir das coordenadas originais das parcelas (CARVALHO, 2011), sem realocá-las, realizando-se apenas sua reprojeção juntamente com a imagem para o *South American Datum* (SAD-69).

As três primeiras avaliações (Tabela 5.3) apresentaram baixa correlação e grande probabilidade de erro e/ou nenhuma significância. Foi então realizada uma tentativa de *ortorretificação* da cena *Landsat* utilizada na avaliação 4, a partir da criação do coeficiente *RPC* para o recorte da imagem *TM-5* original de 12 de julho de 2006, através da área de *zoom* dos pontos obtidos no segundo trabalho de campo (Tabela 5.1).

Iniciou-se a construção do coeficiente *RPC* através da montagem de um arquivo de texto contendo as coordenadas UTM (E,N) das parcelas representadas pelos 68 pontos obtidos em campo (4 vértices de 17 parcelas), juntamente com a altitude (m) e outras duas colunas com as coordenadas correspondentes obtidas na imagem da *USGS*, com auxílio da ferramenta *Imagens Históricas* (2006) do programa de visualização de dados espaciais *Google Earth*.

O processamento final chegou a um erro quadrático médio (RMS) de 0,479, utilizando-se a distância focal do sensor de 2.438 milímetros (Telescópio) e tamanho de *pixel* de 0,00028 milímetros. Entretanto, o programa não aceitou os modelos numéricos de elevação inseridos (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*, *Global Digital Elevation Model - ASTER GDEM* e *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM*), indicando o erro de matriz, em qualquer tamanho de cena utilizado.

Chegou-se a uma significativa melhora dos resultados mesmo sem a utilização de uma imagem ortorretificada, através da realização do segundo trabalho de campo e da obtenção das coordenadas em campo dos vértices das parcelas utilizadas na avaliação 4, identificadas e localizadas espacialmente por meio de *GPS*.

Adicionalmente, a cena *TM-5* de 12/07/2006 utilizada na avaliação 4 foi disponibilizada pela *United States Geological Survey* (USGS), que de acordo com as informações do produto<sup>10</sup>, possui um nível de correção (“*Data Type Level 1 – LIT*”) que incorpora pontos de controle (GLS2005) enquanto emprega um Modelo Digital de Elevação (DEM) (SRTM, NED, CDED, DTED e GTOPO30), o que dispensou a necessidade de georreferenciamento das cenas, feito nos testes anteriores.

A localização das parcelas utilizadas nas 4 avaliações sobre as respectivas imagens é mostrada na figura 5.6.

---

<sup>10</sup> *Landsat Product Information* <[http://landsat.usgs.gov/Landsat\\_Processing\\_Details.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat_Processing_Details.php)>. Acesso em 05/09/2013.

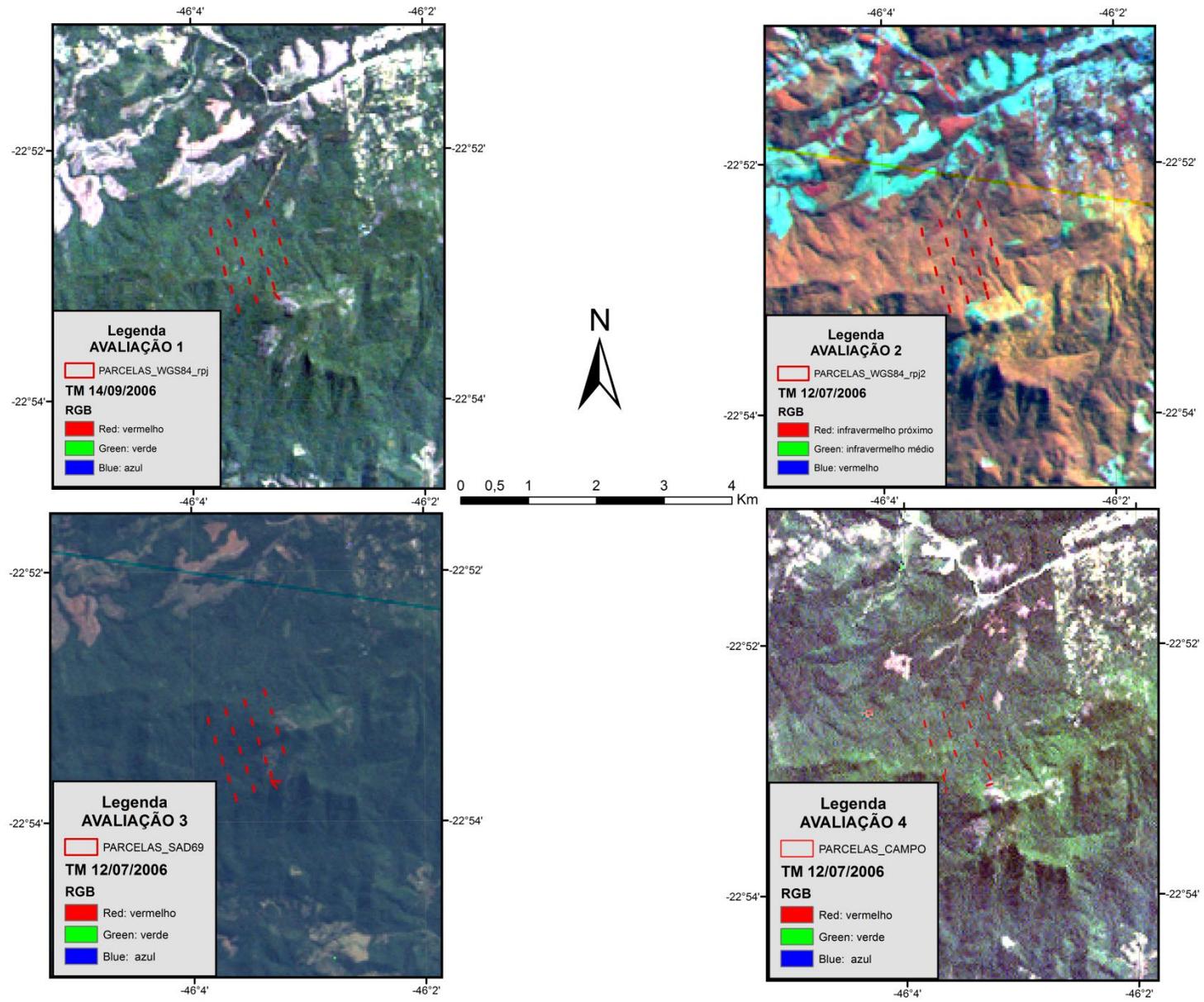


Figura 5.6. Localização das parcelas sobre respectivas imagens utilizadas nas avaliações 1, 2, 3 e 4.

Tabela 5.1.Coordenadas e altitudes obtidas dos vértices das parcelas percorridas em campo

TRANSECTO (T), PARCELA (P) e VÉRTICE (V)	E (m)	N (m)	Altitude (m)	TRANSECTO (T), PARCELA (P) e VÉRTICE (V)	E (m)	N (m)	Altitude (m)
T1P01V1	391644	7469081	1598	T3P11V1	391101	7468846	1637
T1P01V2	391683	7469002	1561	T3P11V2	391118	7468756	1674
T1P01V3	391684	7469008	1559	T3P11V3	391129	7468757	1676
T1P01V4	391654	7469085	1596	T3P11V4	391096	7468842	1639
T1P02V1	391753	7468821	1514	T3P12V1	391176	7468566	1708
T1P02v2	391787	7468726	1604	T3P12V2	391209	7468473	1695
T1P02V3	391785	7468735	1605	T3P12V3	391219	7468482	1691
T1P02V4	391759	7468821	1538	T3P12V4	391184	7468569	1704
T1P04v1	391928	7468271	1690	T3P13V1	391255	7468275	1727
T1P04v2	391959	7468161	1710	T3P13V2	391291	7468184	1697
T1P04v3	391964	7468172	1714	T3P13V3	391298	7468191	1691
T1P04v4	391922	7468263	1690	T3P13V4	391274	7468280	1736
T2P05V1	391382	7468986	1648	T3P14V1	391129	7468001	1691
T2P05V2	391410	7468892	1633	T3P14V2	391130	7467910	1710
T2P05V3	391422	7468905	1638	T3P14V3	391131	7467913	1709
T2P05V4	391390	7468989	1648	T3P14V4	391132	7468008	1679
T2P06V1	391483	7468703	1642	T3P15V1	391133	7467728	1793
T2P06V2	391499	7468613	1598	T3P15V2	391134	7467639	1787
T2P06V3	391516	7468618	1618	T3P15V3	391135	7467639	1783
T2P06V4	391478	7468708	1614	T3P15V4	391136	7467728	1797
T2P07V1	391575	7468422	1631	T4P16V1	390813	7468711	1666
T2P07V2	391600	7468332	1652	T4P16V2	390838	7468619	1680
T2P07V3	391608	7468339	1646	T4P16V3	390848	7468623	1665
T2P07V4	391578	7468412	1617	T4P16V4	390821	7468718	1657
T2P08V1	391693	7468136	1682	T4P17V1	390895	7468435	1712
T2P08V2	391734	7468053	1721	T4P17V2	390926	7468346	1763
T2P08V3	391743	7468040	1684	T4P17V3	390932	7468348	1766
T2P08V4	391700	7468140	1681	T4P17V4	390906	7468439	1719
T2P09V1	391761	7467933	1732	T4P19V1	391093	7467917	1712
T2P09V2	391793	7467846	1758	T4P19V2	391122	7467818	1679
T2P09V3	391801	7467853	1759	T4P19V3	391127	7467832	1681
T2P09V4	391769	7467931	1735	T4P19V4	391100	7467923	1701
T2P10V1	391739	7467751	1800				
T2P10V2	391828	7467783	1821				
T2P10V3	391825	7467794	1816				
T2P10V4	391732	7467770	1812				

A Tabela 5.2 apresenta os valores da média ponderada dos índices de vegetação, calculados para a avaliação 4, que inclui as 17 parcelas para as quais as coordenadas dos quatro vértices limítrofes foram obtidas em campo.

Tabela 5.2. Valores da média ponderada por parcela para o índice de vegetação melhorado (EVI), índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), índice de vegetação pela diferença normalizada (NDVI) e índice de vegetação pela razão simples (SRI), calculados para a avaliação 4, e para o índice de vegetação perpendicular, calculado para a avaliação 4c.

Parcelas do Fragmento 97	Quantidade de Carbono (t/ha)	Média Ponderada EVI	Média Ponderada SAVI	Média Ponderada NDVI	Média Ponderada SRI	Média Ponderada PVI
1	74,04	0,23	0,32	0,47	2,80	34,54
2	74,55	0,22	0,30	0,47	2,76	36,98
4	84,93	0,25	0,36	0,51	3,13	41,22
5	100,63	0,23	0,32	0,49	2,96	36,84
6	159,60	0,25	0,37	0,52	3,17	42,46
7	163,34	0,26	0,38	0,55	3,44	37,60
8	98,63	0,20	0,24	0,39	2,32	
9	70,75	0,26	0,37	0,52	3,16	
10	44,34	0,20	0,23	0,32	2,00	31,48
11	93,55	0,23	0,31	0,47	2,79	33,46
12	88,70	0,24	0,32	0,47	2,80	41,40
13	56,74	0,29	0,45	0,58	3,79	
14	149,98	0,26	0,37	0,52	3,15	46,95
15	32,02	0,20	0,24	0,39	2,38	27,08
16	122,89	0,26	0,37	0,52	3,19	45,77
17	40,96	0,23	0,32	0,50	3,03	
19	101,02	0,21	0,28	0,46	2,70	38,05

O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e o valor- $p$  foram calculados para cada avaliação realizada (Tabela 5.3). Os anexos nº 02 em diante mostram a regressão linear simples, enquanto que os anexos nº 08 em diante, a qualidade do ajuste para cada índice avaliado.

Tabela 5.3. Coeficiente de determinação ( $r^2$ )\* e valor- $p$  para cada avaliação realizada, utilizando como variável independente a média ponderada (MP) de cada índice. Na avaliação 1 calculou-se também valores para o Quartil inferior (Q0), primeiro Quartil (Q1), média (Q2), terceiro Quartil (Q3) e Quartil superior (Q4), não apresentando variações significativas.

<b>AVALIAÇÃO 1 - TM 14/09/2006</b>									
MP EVI		MP SAVI		MP NDVI		MP SRI			
$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$
<b>0,002</b>	<b>0,839</b>	<b>0,010</b>	<b>0,673</b>	<b>0,018</b>	<b>0,577</b>	<b>0,002</b>	<b>0,863</b>		
Q0 EVI		Q0 SAVI		Q0 NDVI		Q0 SRI			
$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$
<b>0,151</b>	<b>0,091</b>	<b>0,144</b>	<b>0,099</b>	<b>0,126</b>	<b>0,124</b>	<b>0,125</b>	<b>0,126</b>		
Q1 EVI		Q1 SAVI		Q1 NDVI		Q1 SRI			
$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$
<b>0,107</b>	<b>0,159</b>	<b>0,103</b>	<b>0,167</b>	<b>0,110</b>	<b>0,152</b>	<b>0,107</b>	<b>0,160</b>		
Q2 EVI		Q2 SAVI		Q2 NDVI		Q2 SRI			
$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$
<b>0,095</b>	<b>0,186</b>	<b>0,079</b>	<b>0,229</b>	<b>0,110</b>	<b>0,154</b>	<b>0,071</b>	<b>0,256</b>		
Q3 EVI		Q3 SAVI		Q3 NDVI		Q3 SRI			
$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$
<b>0,083</b>	<b>0,217</b>	<b>0,085</b>	<b>0,213</b>	<b>0,070</b>	<b>0,260</b>	<b>0,055</b>	<b>0,320</b>		
Q4 EVI		Q4 SAVI		Q4 NDVI		Q4 SRI			
$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$
<b>0,026</b>	<b>0,496</b>	<b>0,041</b>	<b>0,389</b>	<b>0,002</b>	<b>0,850</b>	<b>0,001</b>	<b>0,906</b>		
<b>AVALIAÇÃO 2 - TM 12/07/2006</b>									
MP EVI		MP SAVI		MP NDVI		MP SRI			
$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$
<b>0,150</b>	<b>0,092</b>	<b>0,105</b>	<b>0,163</b>	<b>0,110</b>	<b>0,154</b>	<b>0,128</b>	<b>0,121</b>		
<b>AVALIAÇÃO 3 - TM 12/07/2006</b>									
MP EVI		MP SAVI		MP NDVI		MP SRI			
$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$
<b>0,164</b>	<b>0,076</b>	<b>0,069</b>	<b>0,264</b>	<b>0,137</b>	<b>0,108</b>	<b>0,061</b>	<b>0,293</b>		
<b>AVALIAÇÃO 4 - TM 12/07/2006</b>									
MP EVI		MP SAVI		MP NDVI		MP SRI			
$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$
<b>0,140</b>	<b>0,138</b>	<b>0,155</b>	<b>0,117</b>	<b>0,200</b>	<b>0,071</b>	<b>0,159</b>	<b>0,113</b>		
<b>AVALIAÇÃO 4b - TM 12/07/2006</b>									
MP EVI		MP SAVI		MP NDVI		MP SRI			
$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$
<b>0,713</b>	<b>0,004</b>	<b>0,713</b>	<b>0,004</b>	<b>0,607</b>	<b>0,013</b>	<b>0,700</b>	<b>0,005</b>		
<b>AVALIAÇÃO 4c - TM 12/07/2006</b>									
MP EVI		MP SAVI		MP NDVI		MP SRI		MP PVI	
$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$	$r^2$	valor- $p$
<b>0,721</b>	<b>0,000</b>	<b>0,738</b>	<b>0,000</b>	<b>0,670</b>	<b>0,001</b>	<b>0,728</b>	<b>0,000</b>	<b>0,542</b>	<b>0,004</b>

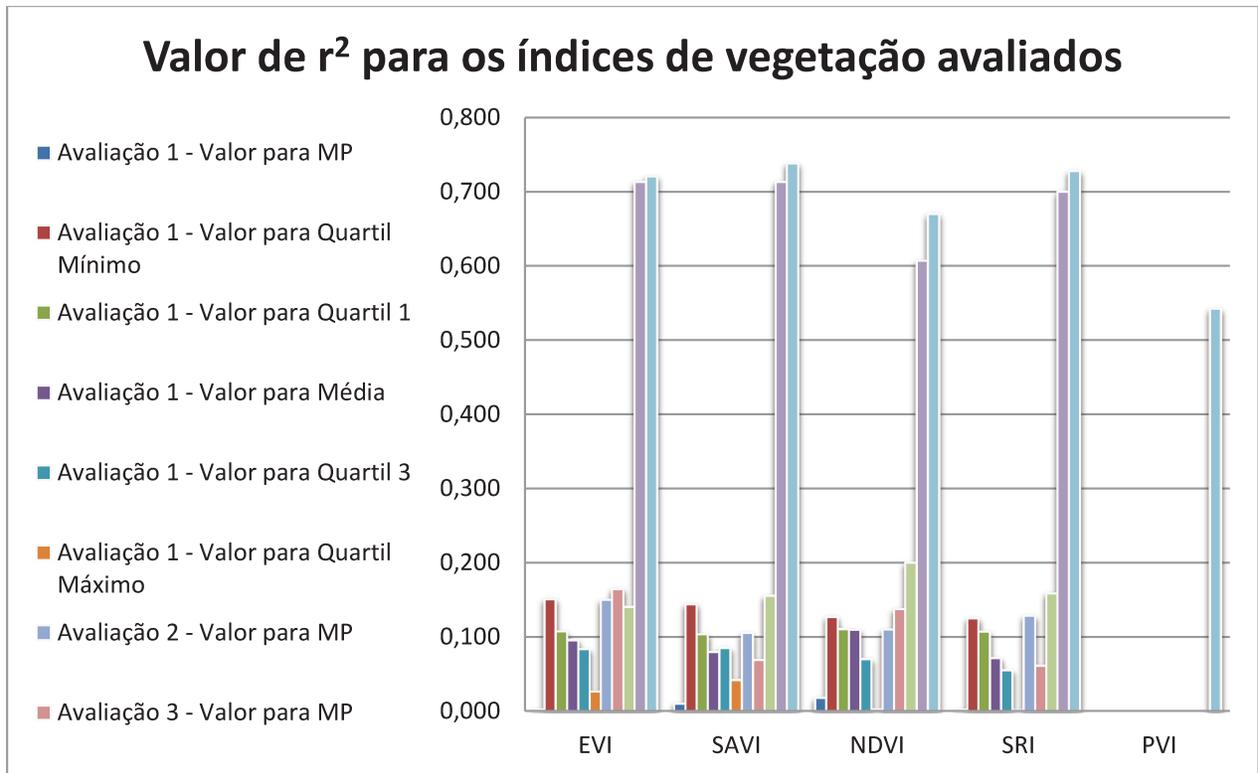


Figura 5-7. Comparação gráfica entre o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) para as avaliações realizadas.

Considerando que a posição das 20 parcelas originais utilizadas (CARVALHO, 2011) nas avaliações 1, 2 e 3 não tiveram sua posição geográfica confirmada em campo, optou-se por eliminá-las da análise. Dessa forma, utilizou-se as coordenadas de 17 parcelas para a avaliação 4, nas quais foram obtidos os 4 vértices limítrofes durante o segundo trabalho de campo (Tabela 5.1).

Obtendo-se um melhor ajuste para a avaliação 4c, com a retirada de 4 parcelas que poderiam conter inconsistências nos dados primários de carbono e/ou em sua posição geográfica, e com o melhor coeficiente de determinação apresentado pelo Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), com  $L = 0,5$ , segundo Tabela (5.3), calculou-se o carbono estocado para cada *pixel* da área recortada pelos limites da APA Fernão Dias, segundo o modelo apresentado pela Equação (5.6).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * I \quad (5.6)$$

Onde:

$Y$  = Carbono estocado na biomassa epígea presente na APA

$\beta_0$  = Intercepto

$\beta_1$  = Coeficiente angular

$I$  = Média entre os valores do índice de vegetação (M IV) por parcela

A estimativa de carbono ( $C$ ) pela média (M IV) entre as 13 parcelas utilizadas na avaliação 4c do valor de SAVI (MP SAVI), é apresentada na Equação (5.7):

$$C = - 129,093679411059 + 715,7307359 * 0,32 \quad (5.7)$$

$(41,46362)^{*11} \quad (128,5997)^*$

$C = 99,2$  t/ha nas parcelas amostradas

---

<sup>11</sup> Erro padrão da amostra: \* significativo a 1%, \*\* significativo a 5%, \*\*\* significativo a 10%.

## 6. MAPEAMENTO DO CARBONO

As imagens índice de vegetação derivadas da imagem *TM* de 12/07/2013 utilizada na avaliação 4c, foram recalculadas para valores de carbono gerados para cada *pixel*, e subdivididas em cinco classes temáticas de fatiamento desses valores, excluindo-se posteriormente valores negativos e valores maiores de 400 t/ha de carbono, inexistentes nos valores de *pixel* calculados para os limites da APA Fernão Dias (MORETTI, 2011) para todos os índices avaliados. Para o recorte das imagens, os limites da APA foram reajustados sobre a imagem *TM*, com 20 pontos de controle e  $RMS = 0,0016$ .

As classes temáticas para os valores de quantidade de carbono acima do solo para o índice SAVI, estimado a partir da biomassa epígea do fragmento 97 ( $r^2 = 0,738$ , valor  $p = 0,0001$ ), apresentaram uma média de 69,31 t/ha para a área de recorte pelos limites da APA. As cinco classes de valores para o SRI ( $r^2 = 0,728$ , valor  $p = 0,0002$ ) apresentaram uma média de 42,62 t/ha para toda a área de cobertura vegetal da APA, e as cinco classes de carbono para o NDVI ( $r^2 = 0,670$ , valor  $p = 0,0006$ ), uma média de 67,78 t/ha para toda a cobertura vegetal da APA. Para o PVI, ( $r^2 = 0,542$ , valor  $p = 0,004$ ) os valores apresentaram uma média de 68,73 t/ha, e finalmente para as cinco classes de valores de EVI ( $r^2 = 0,721$ , valor  $p = 0,0002$ ), uma média de 56,94 t/ha. Os mapas do estoque de carbono estimado a partir da biomassa florestal acima do solo do fragmento 97 para os limites da APA Fernão Dias, para cada índice apresentado acima, são apresentados nas Figuras 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5.

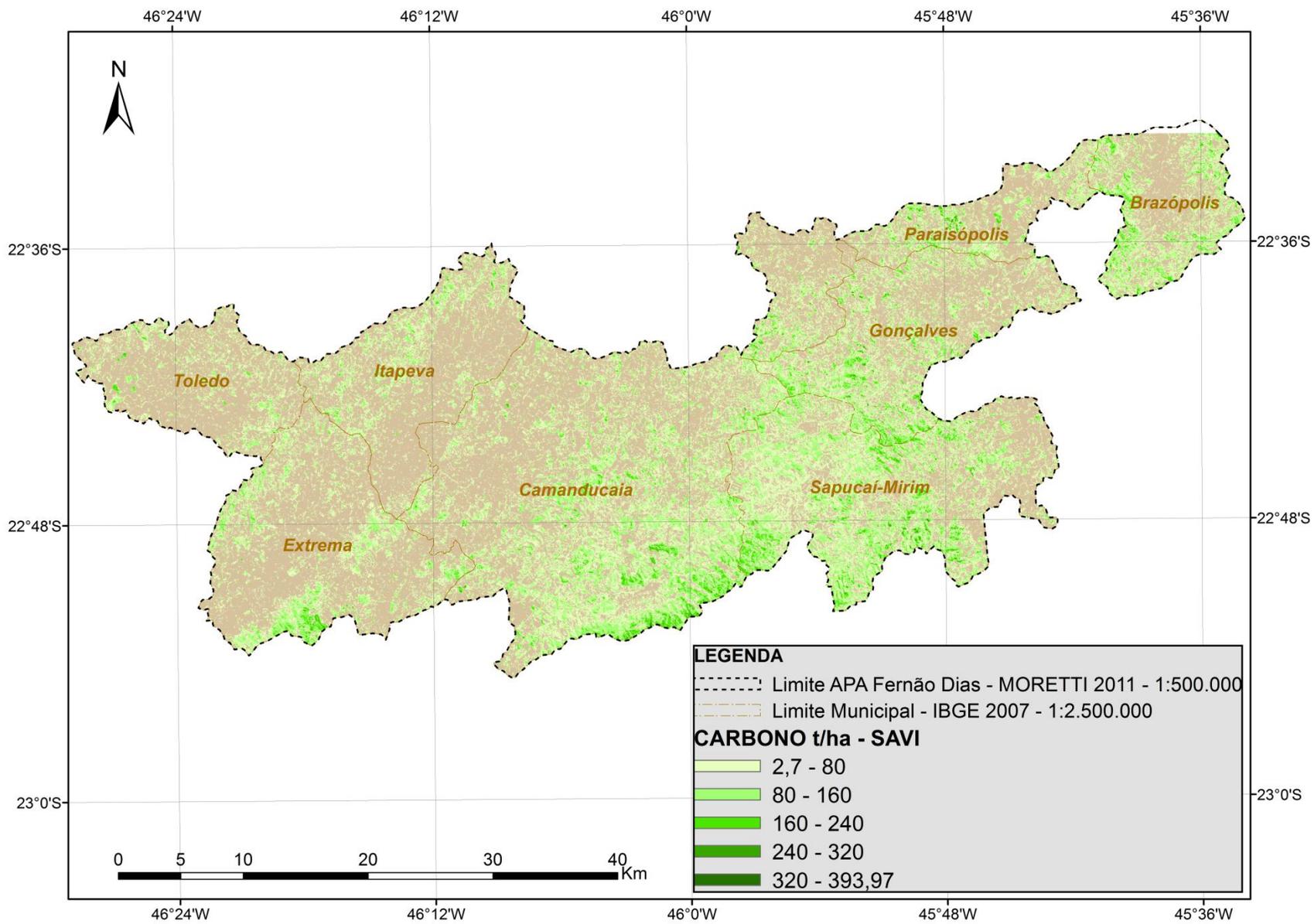


Figura 6.1. Estoque de carbono para a APA Fernão Dias estimado a partir do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI).

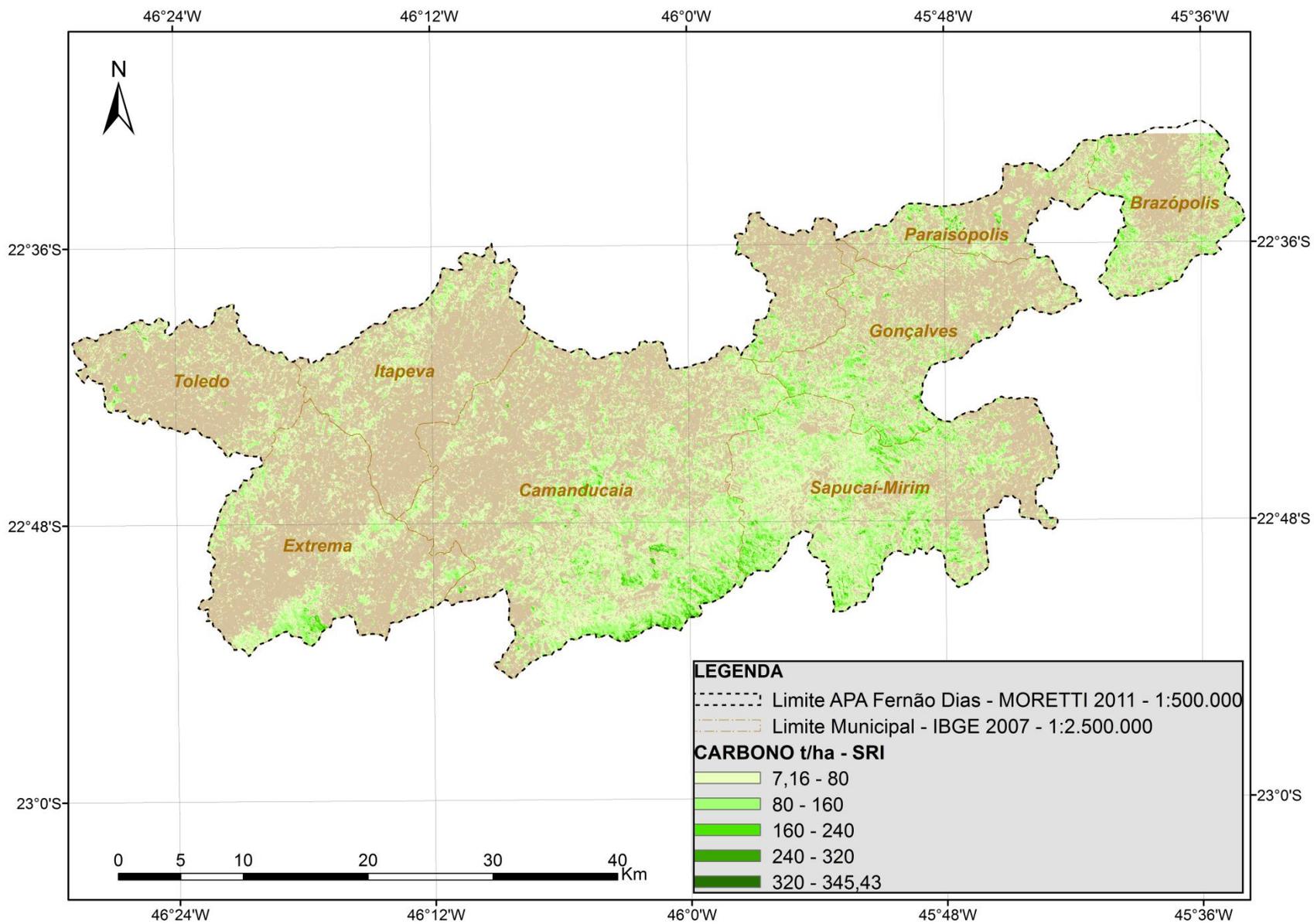


Figura 6.2. Estoque de carbono para a APA Fernão Dias estimado a partir do Índice de Vegetação pela Razão (SRI)

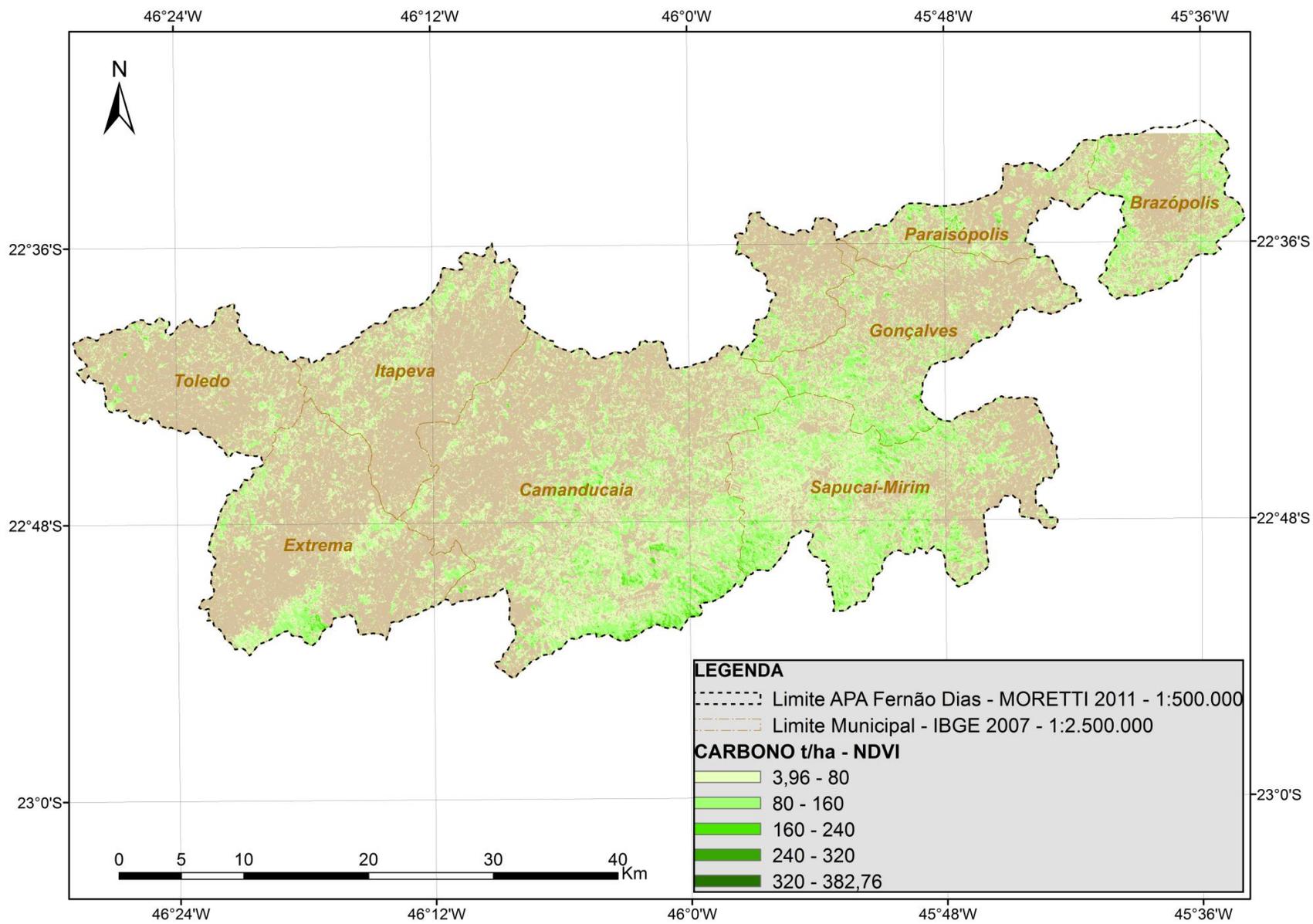


Figura 6.3. Estoque de carbono para a APA Fernão Dias estimado a partir do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

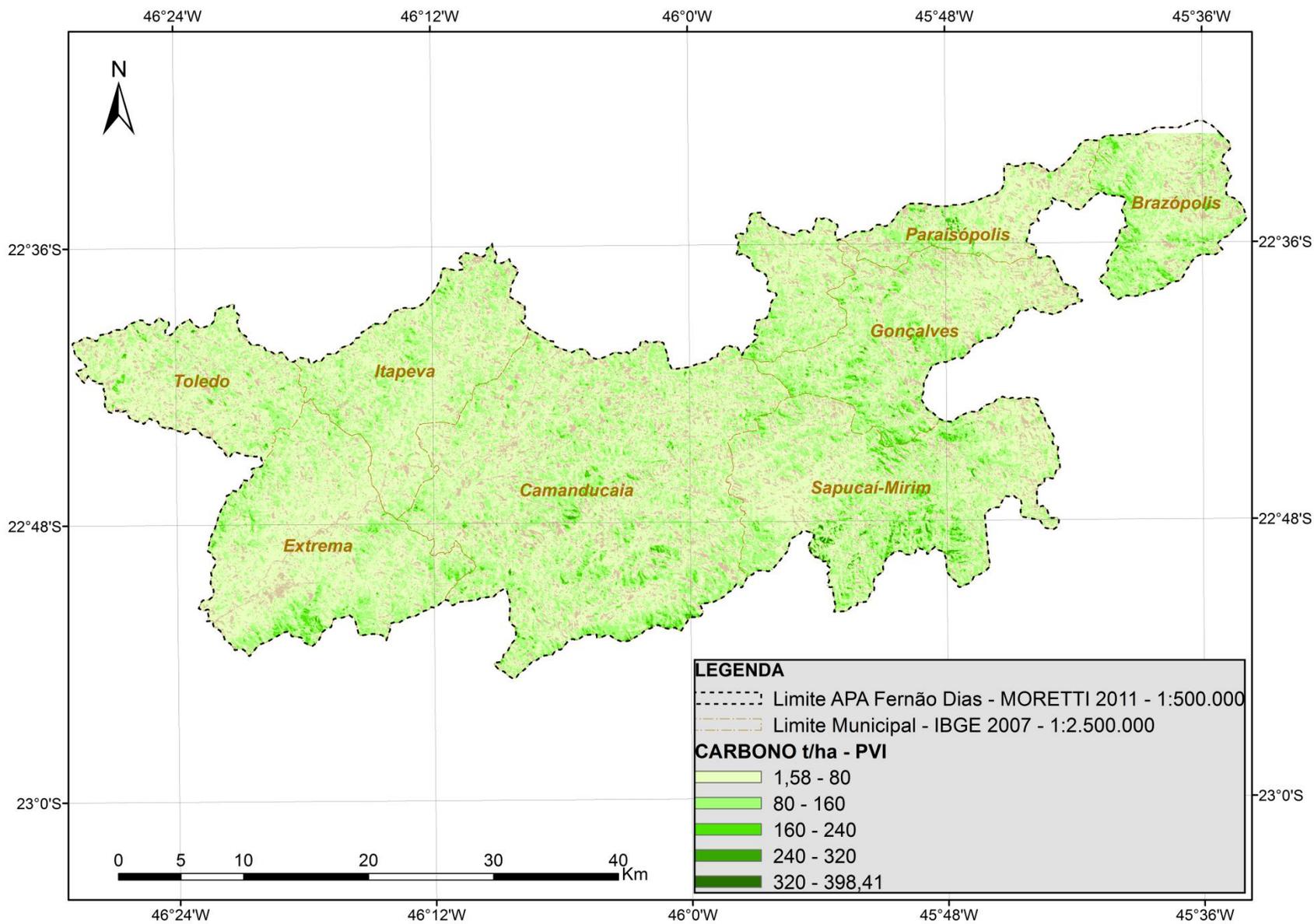


Figura 6.4. Estoque de carbono para a APA Fernão Dias estimado a partir do Índice de Vegetação Perpendicular (PVI)

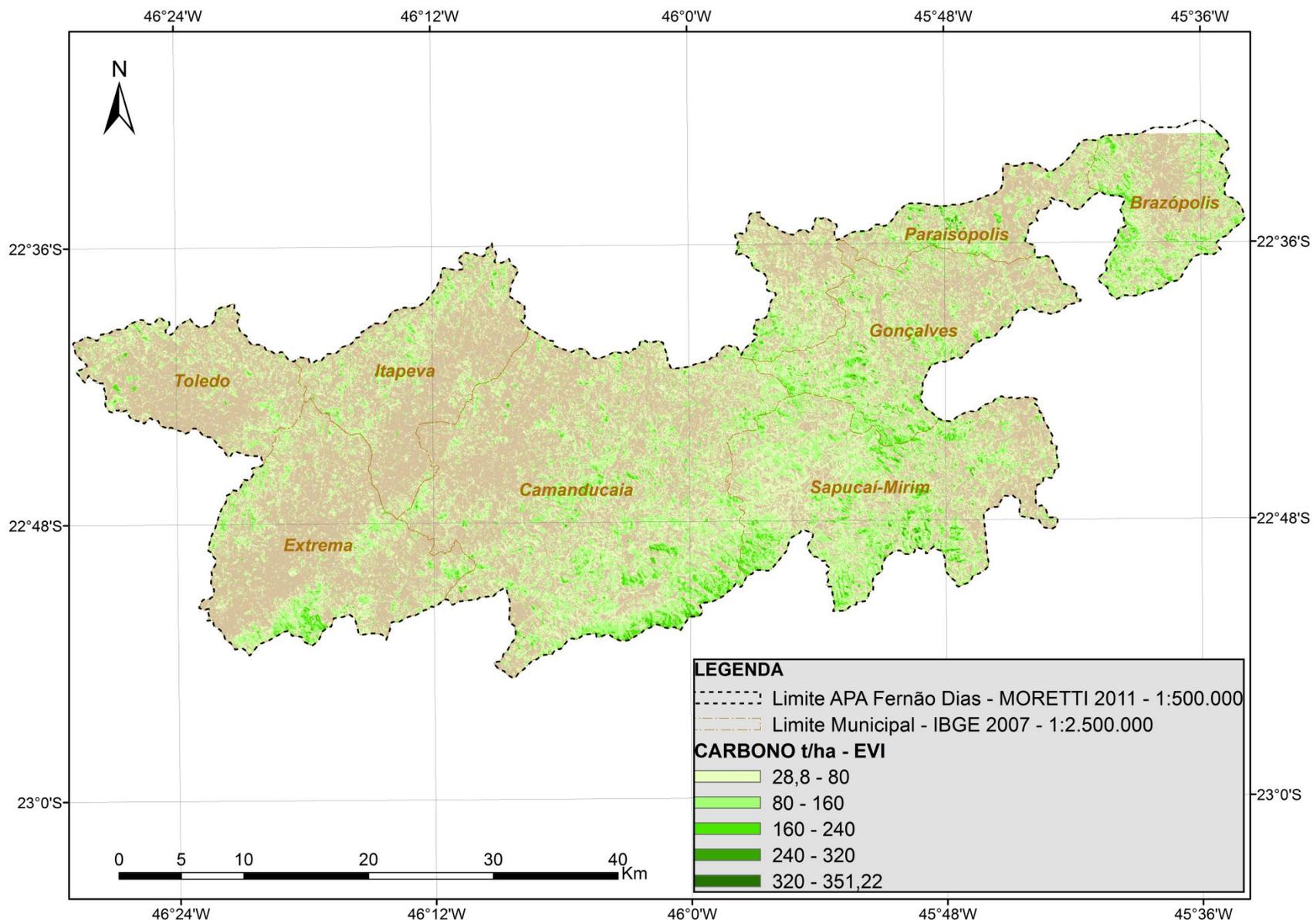


Figura 6.5. Estoque de carbono para a APA Fernão Dias estimado a partir do Índice de Vegetação Melhorado (EVI)

De acordo com o monitoramento contínuo para o ano de 2007 (IEF-MG, 2012), para os dados do Mapeamento e Inventário da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais (2006), o estoque de carbono por hectare (t/ha) estimado a partir do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) derivado de uma imagem *TM 5* de 1/09/2007, para a classe temática fisionomia "Floresta Ombrófila" apresentou uma média de 53,64 t/ha<sup>12</sup>. A fins comparativos, a estimativa de carbono (t/ha) feita a partir do NDVI calculado para a imagem de *TM 5* 12/07/2006, utilizada para a avaliação 4c deste trabalho, para o limite das classes temáticas "Floresta Ombrófila Montana e Alto-Montana" (IEF-MG, 2012) esta média foi de 75,85 t/ha. O mapa do estoque de carbono acima do solo para os limites da classe "Floresta Ombrófila Montana e Alto/Montana" inseridas dentro da APA Fernão Dias é apresentado na Figura 6.6.

De acordo com a classificação do uso e cobertura das terras realizada por Moretti (2011), descrita no capítulo 4 deste trabalho, para os limites da classe "Floresta Ombrófila Densa", reajustados sobre os limites da APA Fernão Dias (MORETTI, 2011), com 10 pontos de controle e  $RMS = 0$  (zero), o valor médio de carbono (t/ha) estimado a partir do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) foi de 81,70 t/ha. O mapa do estoque de carbono florestal acima do solo para os limites da classe "Floresta Ombrófila Densa" presente na APA Fernão Dias é apresentado na Figura 6.7.

Utilizando o limite municipal (IBGE, 2007) dos municípios pertencentes à APA, reajustados em relação ao limite da APA Fernão Dias (MORETTI, 2011) com 15 pontos de controle e  $RMS = 0,0015$ , foi estimado o carbono (t/ha) para o município de Camanducaia (MG), a partir do SAVI. O mapa do estoque de carbono acima do solo estimado a partir do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) para o limite acima é apresentado na Figura 6.8, com uma média de 70,33 t/ha.

Garófalo et al. (2012) delimitou as Bacias Hidrográficas de 4ª e 5ª ordem (STRAHLER, 1952) que constituem a rede de drenagem da APA Fernão Dias. A delimitação foi feita a partir das curvas de nível extraídas do Modelo Digital de Elevação do satélite ASTER (ASTER

---

<sup>12</sup> A Classificação produzida para o Mapeamento e Inventário da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais (2006) foi feita a partir de correções temáticas no mapa produzido em 2003 e em 2005 a partir de imagens *TM Landsat 5*, com exatidão global de 87,29%. Fonte: <<http://www.inventarioflorestal.mg.gov.br>>. Acesso em 21/04/2013.

GDEM), usando para este fim as linhas das cristas das elevações circundantes da seção dos cursos d'água de 4ª e 5ª ordem, resultando em nove bacias inseridas na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari e sete bacias inseridas na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí-Mirim. Estes limites foram ajustados em relação aos limites da APA (MORETTI, 2011) com 7 pontos de controle e RMS = 0,0019.

Para os limites traçados a partir dos divisores das Bacias Hidrográficas pertencentes à APA Fernão Dias, foi estimado o carbono (t/ha) para a biomassa epígea presente nos limites da Bacia Hidrográfica do Córrego do Abel e para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Poncianos, a partir do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI). As classes de fatiamento para os valores de carbono (t/ha) são apresentadas no mapas de estoque de carbono na Figura 6.9, apresentando uma média de 84,09 t/ha de carbono para a área de cobertura vegetal abrangida pelas duas bacias.

Para o limite do Setor Censitário Rural, código 311050910000006, que denomina a situação de aglomerado rural isolado (IBGE, 2010), foram reajustados os limites em relação ao limite da APA Fernão Dias com quatro pontos de controle e RMS = 0,0486. O setor circunda os seis Setores Censitários Urbanos correspondentes à Vila de Monte Verde, distrito de Camanducaia, e representa, em comparação aos outros limites supracitados, a região cujo ponto central está mais próximo do Fragmento 97, amostrado pelo Mapeamento e Inventário da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais (2006).

Calculada a média do valor de carbono, chegou-se a um valor de 86,78 t/ha, valor próximo ao estoque de carbono medido em campo e estimado para o Fragmento 97 no Mapeamento e Inventário da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais (2006), de 81,9 t/ha, e praticamente equivalente ao estimado para Carvalho (2011), de 86,48 t/ha. O mapa do estoque de carbono acima do solo (t/ha) estimado a partir do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) para o limite do Setor Censitário 311050910000006 é apresentado na Figura 6.10.

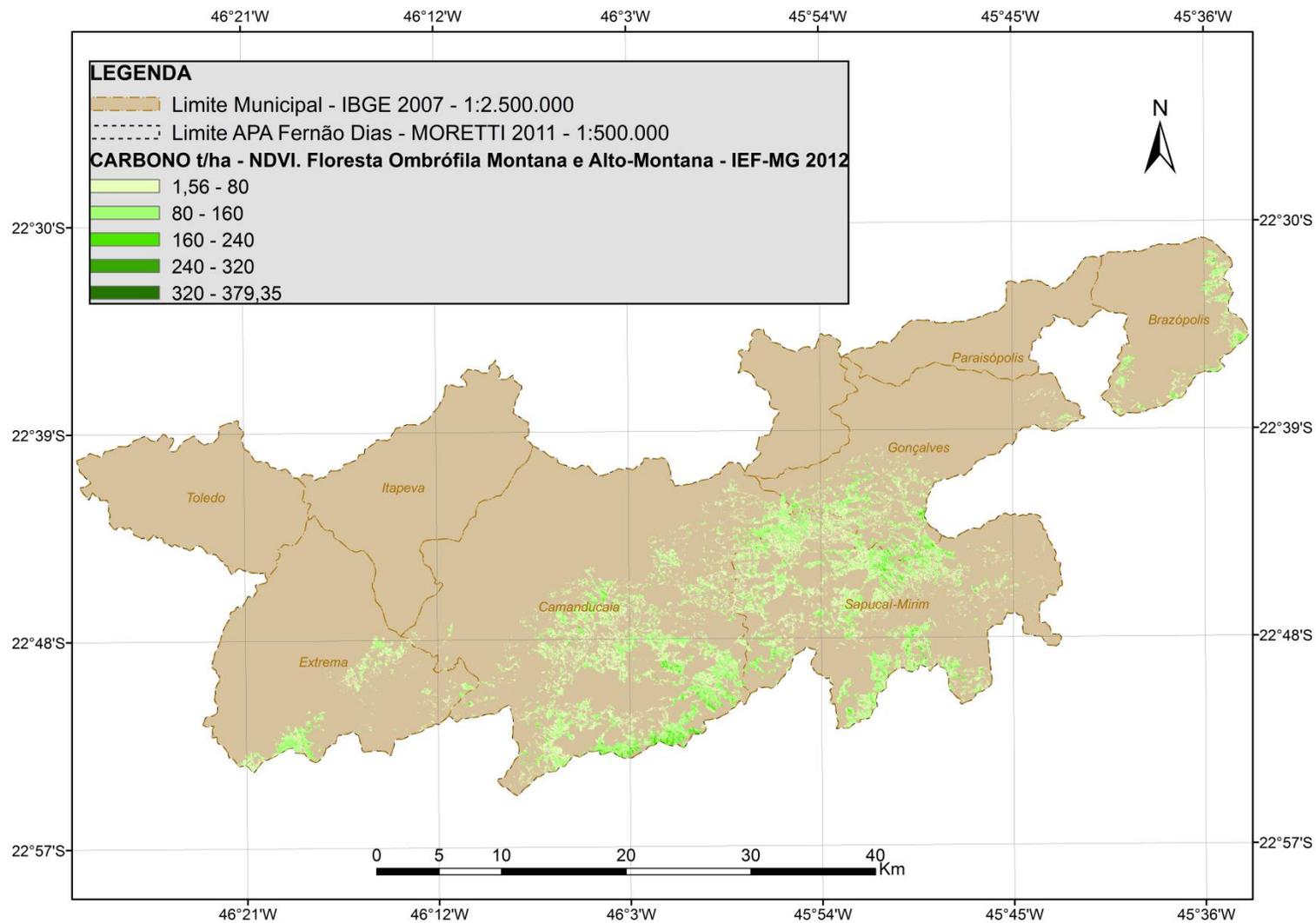


Figura 6.6 Estoque de carbono estimado a partir do NDVI para os limites da classe “Floresta Ombrófila Montana e Alto/Montana” (IEF-MG, 2012) presente na APA Fernão Dias

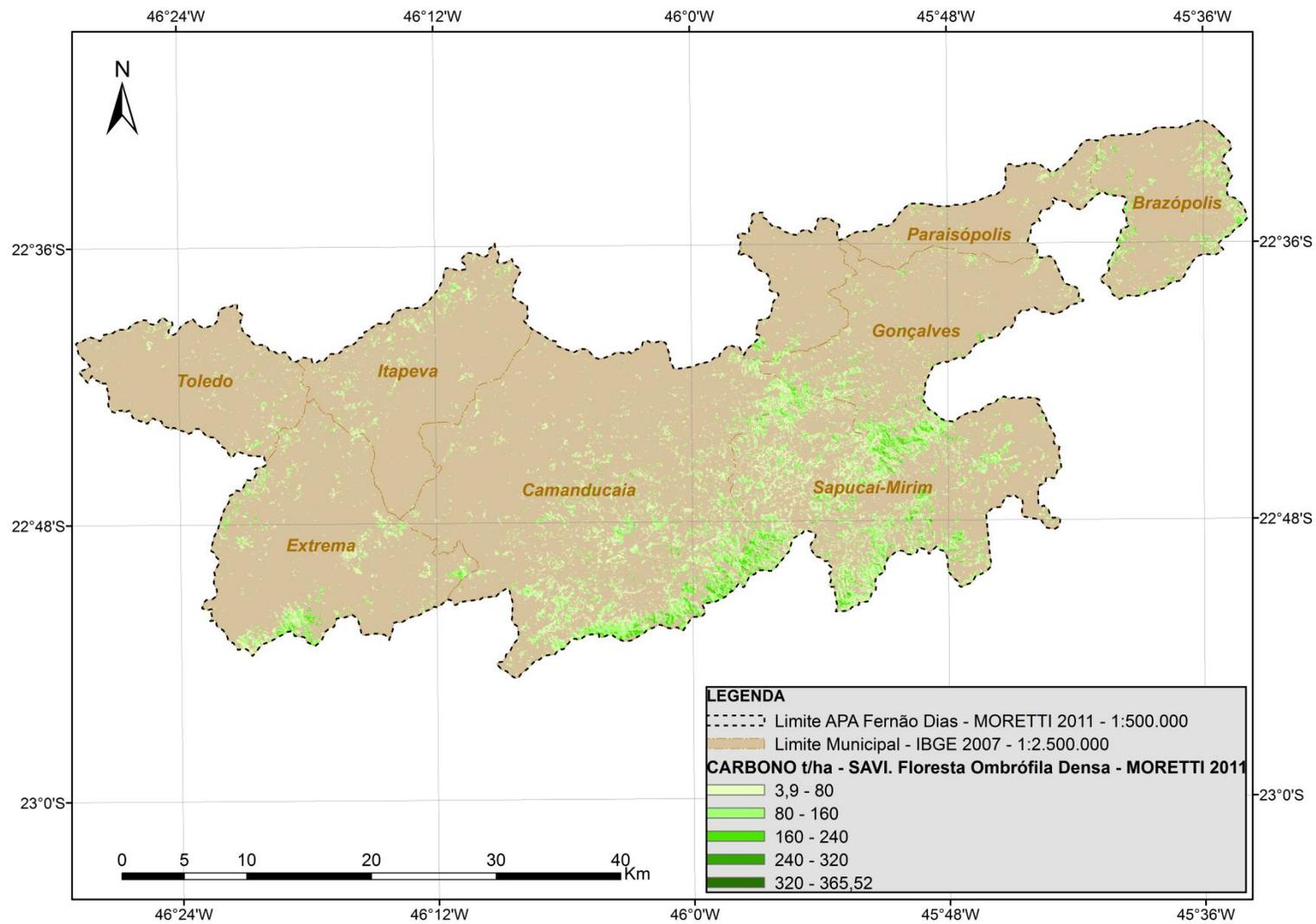


Figura 6.7. Estoque de carbono estimado a partir do SAVI para os limites da classe “Floresta Ombrófila Densa” (MORETTI, 2011) presente na APA Fernão Dias

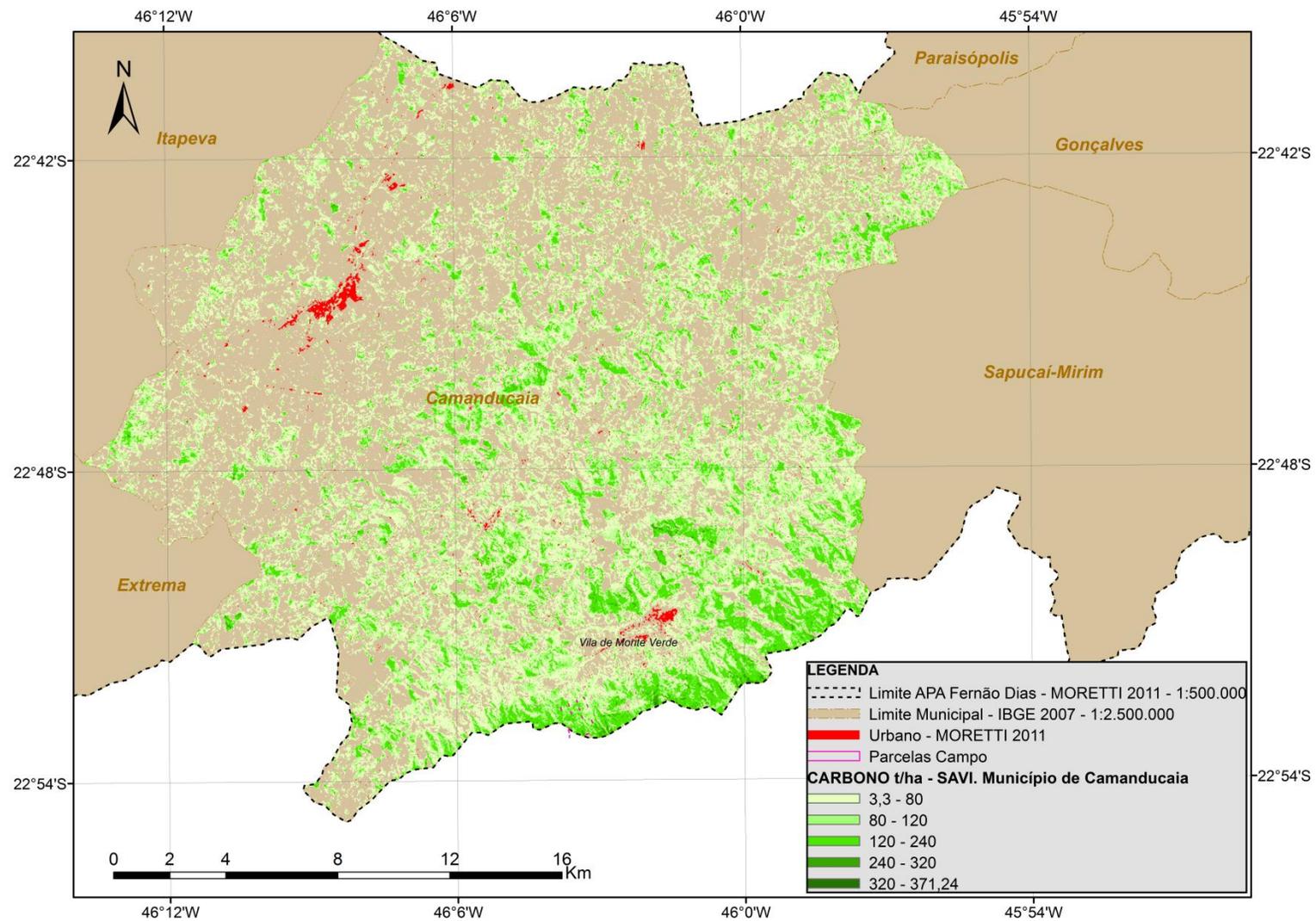


Figura 6.8. Estoque de carbono estimado a partir do SAVI para o município de Camanducaia - MG (IBGE, 2007)

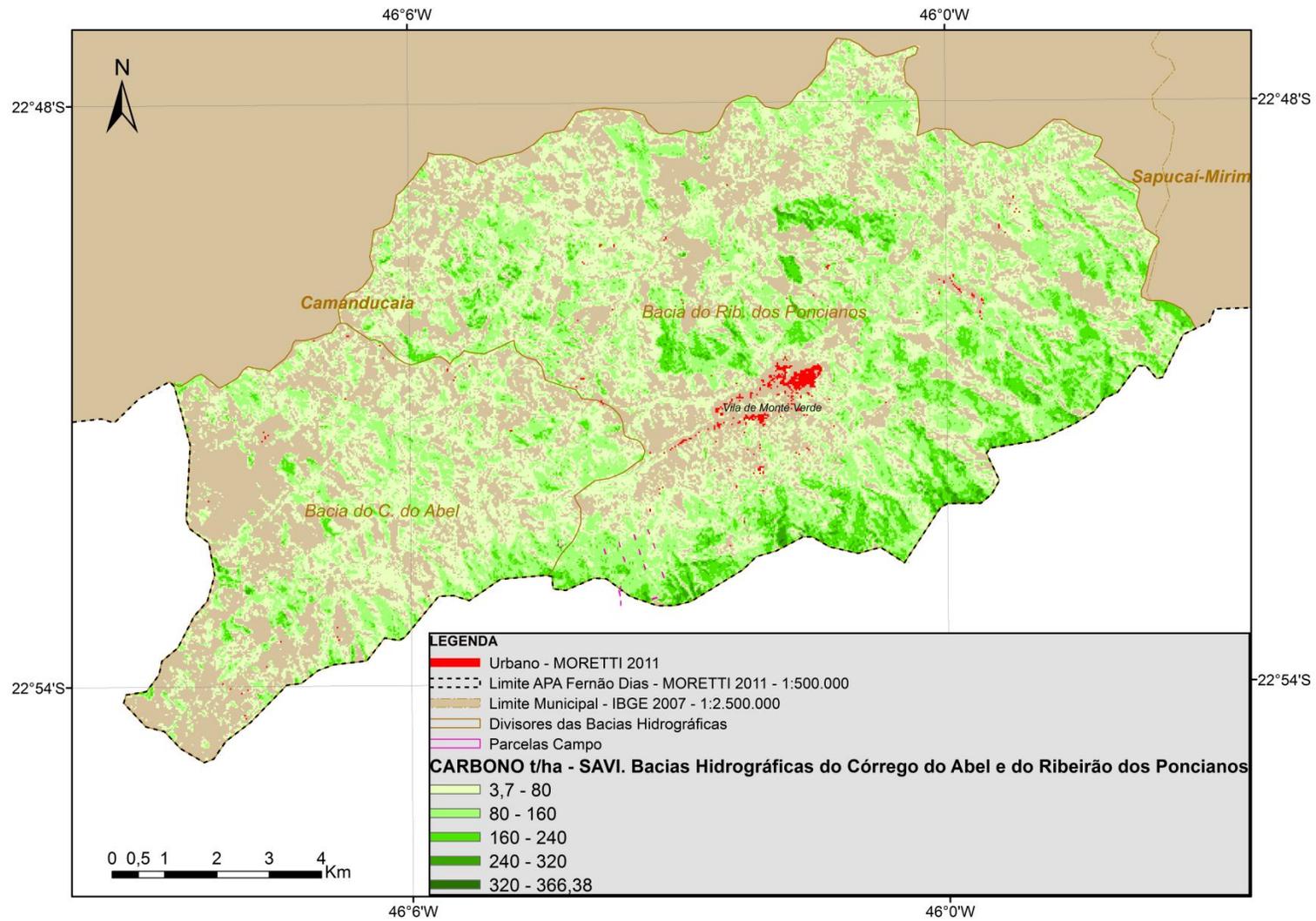


Figura 6.9. Estoque de carbono para as Bacias Hidrográficas do Córrego do Abel e do Ribeirão dos Poncianos (GARÓFALO et al., 2012), estimado a partir do SAVI

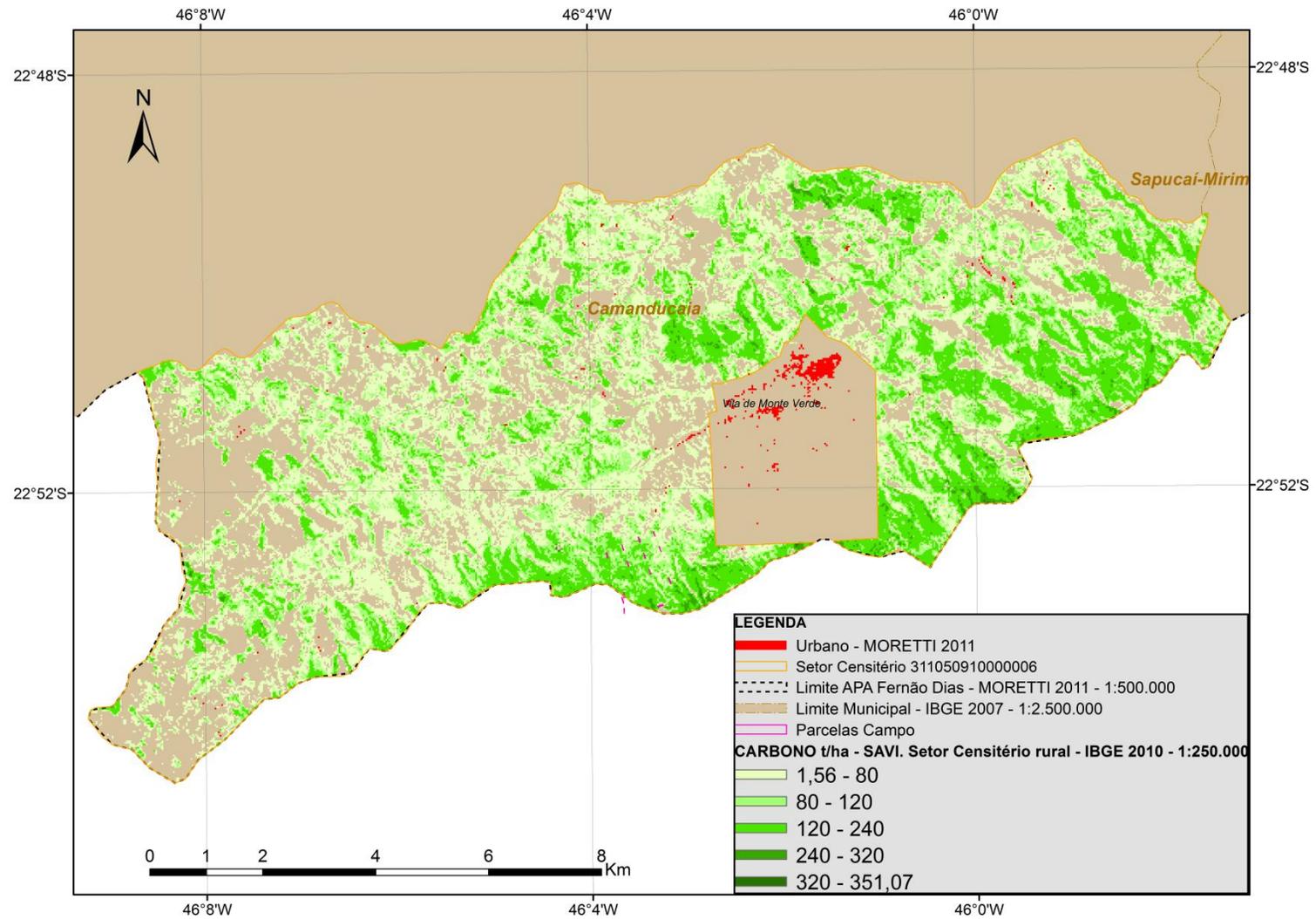


Figura 6.10. Estoque de carbono estimado a partir do SAVI para o limite do Setor Censitário 311050910000006 (IBGE, 2010)

## 6.1 Considerações

Florestas tropicais são grandes reservatórios de carbono, sendo a pesquisa sobre a estrutura e função destes biomas relevante para o ciclo global do carbono. No Brasil as florestas tropicais densas incluem e predominam em áreas de florestas litorâneas inundadas (restingas), em planícies e florestas submontanas e montanas (VIEIRA et al., 2008).

Accioly et al. (2002) utilizaram levantamento florístico e dendométrico de fragmentos florestais da Chapada do Araripe (CE), baseado na amostragem de 49 parcelas com dimensões de 10 x 50 m, nas quais foram obtidas medidas apenas para as plantas com DAP superior a 5 cm. Foi utilizada a análise de misturas espectrais (AME) e, a partir destas, gerados os índices de vegetação da diferença normalizada (NDVI), ajustado ao solo (SAVI), da razão simples (SRI), o índice estrutural da vegetação (SI), perpendicular (PVI) e o índice de verdor (GVI), em imagens *Landsat TM*. As relações entre variáveis estruturais e espectrais foram, no geral, baixas, com valores para o coeficiente de correlação ( $r$ ) variando de 0,33 a 0,60. O índice da razão simples e o índice estrutural da vegetação foram os que melhor se relacionaram com as variáveis estruturais, explicando mais de 30% da variabilidade dos dados estruturais (ACCIOLY et al., 2002).

Bolfe (2010), em estudo realizado em Floresta Ombrófila, Densa dos Baixos Platôs a Densa de Platôs e secundárias da Amazônia, em sistemas agroflorestais (SAFs) do distrito de Quatro Bocas, em Tomé-Açu, Pará, realizou a estimativa da biomassa epígea através de amostragem em 57 parcelas de 10 x 10 m. O autor contabilizou o DAP e a altura total (H) medidas para os indivíduos que apresentaram DAP superior a 2,5 cm, e, posteriormente, utilizou estes dados em modelos alométricos desenvolvidos para a região amazônica. O Carbono estimado da biomassa e os diversos índices de vegetação extraídos das bandas espectrais do *Landsat TM* de 2005 e 2008, entre eles o da Razão Simples, NDVI, TSAVI2 (*Transformed Soil Adjusted Vegetation Index 2*) e do PVI 3, foram utilizados no modelo de regressão linear simples, chegando-se a correlações em sua grande maioria significativas aos níveis de 1, 5 e 10% de erro.

Para o ano de 2005, o maior percentual de correlações significativas a 1% de probabilidade de erro foram obtidas para os índices complexos (ortogonais ou perpendiculares), com 70,83% das análises. Considerando todas as correlações significativas, os índices normalizados foram os que obtiveram maior percentual (93,75%), e os índices de razão simples foram os que apresentaram menor número de correlações significativas (88,50%). Já para o ano

de 2008, o agrupamento com maior número de correlações significativas a 1% de probabilidade foram os índices normalizados, com 43,75% das análises. Considerando todas as análises, os índices complexos foram os que obtiveram maior percentual (52,08%), e os índices de razão simples e normalizados apresentaram o maior número de correlações não-significativas (50%) (BOLFE, 2010).

Ponzoni e Rezende (2004) utilizaram dados dendométricos de 11 parcelas (DAP  $\geq$  2 cm), de 10 x 15 m, para caracterização espectral de vegetação secundária arbórea, de Florestas de terras firmes e com lianas, na região de Altamira (PA), a partir de correlações entre os parâmetros biofísicos e os dados radiométricos extraídos de imagens *Landsat TM*. Considerando todos os parâmetros (DAP, área basal média G, área basal total por parcela GT, altura total H e rugosidade do dossel Rug), foram estabelecidas equações de regressão linear, verificando valores mais elevados nas relações com a banda *TM 7*, sendo  $r^2 = 0,27$ ;  $r^2 = 0,09$ ;  $r^2 = 0,30$ ;  $r^2 = 0,54$ ;  $r^2 = 0,40$ , respectivamente.

Lu et al. (2012) em análise de regressão a partir dos dados orbitais das bandas do sensor *TM Landsat*, para os dados de 26 parcelas amostradas cobertas por floresta secundária, e 14 parcelas amostradas cobertas por floresta madura da bacia amazônica, em Machadinho d'Oeste (RO), utilizaram variáveis espectrais e imagens texturais derivadas de tamanhos diferentes de *Kernel* para a estimativa de biomassa acima do solo. As variáveis espectrais assim como as imagens texturais não puderam efetivamente estimar a biomassa em coberturas florestais maduras, apresentando um coeficiente de determinação  $r^2 = 0,16$  e  $r^2 = 0,39$ , respectivamente. A partir de uma combinação das assinaturas espectrais com as imagens texturais, obteve-se uma melhora considerável para a estimativa em florestas maduras, com  $r^2 = 0,50$ .

Para a Floresta Atlântica, Paula e Filho (2009) estimaram o Carbono na biomassa acima do solo de um fragmento de Floresta Madura, na Mata Atlântica nordestina, através do cruzamento de dados de campo com os índices de vegetação NDVI, EVI e SAVI derivados das bandas espectrais do *Landsat 5*. Estes autores utilizaram dados de biomassa obtidos de inventário florestal, calculados através de quatro equações alométricas compostas pelas variáveis DAP ( $\geq$  10 cm), altura e densidade da madeira, em 30 parcelas amostrais de 0,1 ha (10 x 100 m). Os coeficientes obtidos através de regressão linear simples, entre o Carbono estimado e os índices gerados, mostraram-se demasiadamente baixos:  $r^2 = 0,21$  para o NDVI; 0,20 para o SAVI e 0,28 para o EVI, ao nível de 5% de probabilidade de erro.

No presente trabalho, os índices de vegetação avaliados apresentaram correspondência com o tipo de cobertura, variedade de dossel e densidades de biomassa existentes. Em especial os valores de SAVI apresentam grande correspondência com as áreas de floresta ombrófila em encostas florestadas e Alto-Montanas, e em áreas de campos de altitude, que apresentam exposição basal e picos montanhosos. Sendo este índice geralmente menos sensível às mudanças na vegetação (quantidade e cobertura da vegetação verde) se comparado ao NDVI, o ajuste para a influência dos solos pode ter apresentado resultados melhores não tanto pela correspondência do índice em relação às características biofísicas da cobertura vegetal, e sim pela introdução da constante de ajuste à influência do brilho do solo e pela sua maior sensibilidade à influência atmosférica, também de forma equivalente ao ajuste apresentado pelo EVI. Também o EVI por ser mais sensível a pequenas variações de biomassa em áreas de floresta, quando comparado ao NDVI, apresentou maior correlação com os parâmetros biofísicos da vegetação local. O ajuste superior apresentado pelo SRI em relação ao NDVI também pode ser interpretado não tanto pelos efeitos da normalização proposta pelo NDVI e minimização dos efeitos das variações nas condições de iluminação e nas inclinações do terreno, mas em maior parte pela sensibilidade do SRI às variações da biomassa e dos Índices de Área Foliar (IAF) em áreas de floresta.

Sendo que os índices pela razão de bandas e ajustados apresentaram boas correlações com a cobertura vegetal, há de se considerar que futuras etapas no processamento das imagens, como uma ortorretificação e a utilização de um modelo de transferência atmosférica no processo de correção das interferências atmosféricas, serão diferenciadoras no processo de avaliação do índice mais adequado a ser utilizado nas estimativas da cobertura vegetal para a área estudada. Ainda a avaliação de outros índices de vegetação, especialmente os derivados do SAVI, deve ser considerada.

Mesmo os índices que apresentaram valores dos coeficientes de determinação abaixo do valor apresentado pelo SAVI encontram-se dentro da faixa observada em estudos similares, baseados na correlação entre as variáveis espectrais e a biomassa medida em campo, e são superiores aos obtidos por Paula e Filho (2009), Ponzoni e Rezende (2004), Accioly et al. (2002) e Lu et al. (2012).

Para a cobertura vegetal detectada dentro dos limites da APA Fernão Dias os maiores valores de carbono, a partir de 240 ton/ha, estimados a partir do SAVI, foram verificados à Noroeste, na Serra do Gamelão, em Toledo, e na Serra dos Campos dos Negros e ao Sul da Serra

do Vaz, em Itapeva. Na porção Sudoeste, na Serra da Forja, em Extrema, e na porção centro-leste desde o Pico do Selado, em Camanducaia, seguindo a nordeste, no Platô de Monte Verde, ao sul da Vila de Monte Verde, e continuando na mesma direção, nas coberturas florestais da Serra dos Poncianos, Santa Bárbara, e entre as Serras do Palmital, do Queixo D'anta e de São Benedito, em Sapucaí-Mirim. Em Gonçalves na Serra da Balança, divisa com São Paulo, entre as Serras do Cantagalo, São Domingos e Juncal e na Serra do Crioulo até a divisa com Paraisópolis. Em Paraisópolis entre a Serra do Machado e a Serra do Goulard, e em Brazópolis entre a Serra da Candelaria e Serra da Coimbra e ao Sul da Serra do Marques. As áreas que apresentaram altos valores nos índices e no carbono representam também áreas destinadas à silvicultura.

Considerando as regiões próximas e de características fisionômicas similares às do fragmento 97, a estimativa se aproximou dos valores amostrados para o carbono medido em campo, apresentando menor equivalência na medida em que se estende e se diversifica a área utilizada na estimativa. Contudo, os índices de vegetação avaliados e a metodologia empregada mostrou-se suficiente para a predição e a estimativa do estoque de carbono acima do solo nas áreas de cobertura florestal Ombrófila da APA Fernão Dias.

## 6.2 Conclusões

Até a realização da visita de campo às parcelas, os dados utilizados nas regressões realizadas para as avaliações 1, 2 e 3 apresentaram grande probabilidade de erro e/ou nenhuma significância. Isso pode ter sido ocasionado pela baixa precisão na coleta dos pontos originais durante a realização do inventário, ou também pelo modelo planimétrico utilizado na correção das imagens *Landsat*, aquém da precisão necessária em relação ao relevo da área amostrada. Adicionalmente, a resolução espacial do *TM Landsat* é baixa se comparada ao tamanho das parcelas amostradas, sendo a largura destas (10 m) equivalentes à 1/3 da largura do pixel da cena. A possibilidade de inconsistência de algumas informações primárias de quantidade de carbono amostradas também deve ser considerada, motivo que levou à decisão de retirada de quatro unidades amostrais para a estimativa final realizada.

A imagem Índice de Vegetação Perpendicular, gerada no software IDRISI, não permitiu que fosse feita a correção radiométrica e das interferências atmosféricas anteriores para a cena *TM Landsat* utilizada a partir do teste 4, como descrito na metodologia. Isso pode ter influenciado

os valores para este índice de forma a não considerar possíveis desequilíbrios da radiação entre bandas e interferências atmosféricas em uma região montanhosa, propícia à formação de nuvens e neblina, mesmo no período seco. De certa forma, isso inviabilizou a análise comparativa de um índice ortogonal ou baseado em linha do solo em relação aos demais.

Considerando os resultados obtidos, a análise do padrão de distribuição espacial dos valores de carbono, por meio de interpolação e da análise variográfica das estimativas a partir destes valores, representaria um ganho nas avaliações da distribuição e valoração dos recursos, podendo constituir em um produto a ser utilizado no diagnóstico ambiental da APA, nos processos de avaliação para redução de emissões e criação de reservas florestais, e em programas de pagamentos por serviços ambientais.

Dessa forma, dentro de uma perspectiva de valorização da capacidade de estimativa e quantificação das perdas e compensações na cobertura florestal, da biodiversidade de espécies, da preservação e da exploração sustentável dos recursos naturais, este estudo visou contribuir com as pesquisas envolvendo a estimativa e a quantificação da biomassa aérea e do carbono fixado acima do solo em áreas de coberturas florestais, por meio de técnicas de amostragem em campo, sensoriamento remoto e geoprocessamento, na esperança de contribuir para o conjunto multidisciplinar das metodologias utilizadas no subsídio ao desenvolvimento sustentável, na preservação das florestas e na recuperação de áreas alteradas a partir da alternativa de seu uso como repositórios de carbono, visando a mitigação dos efeitos nocivos ao ar, à saúde e ao meio ambiente causados pelas emissões de gases estufa .

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, L. J. de O. et al. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/LANDSAT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 6, n.3, 2002. p. 492-498. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v6n3/v6n3a19.pdf>> Acesso em 27/09/2012.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Divisão Hidrográfica Nacional**. Disponível em: <[www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)>. Acesso em 07/07/2008.

AZEVEDO, L.G. 1962. Tipos de vegetação do sul de Minas e campos da Mantiqueira (Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 34, p. 225-234.

BANCO MUNDIAL. Estudo de Baixo Carbono para o Brasil. **Uso da Terra, Mudanças no Uso da Terra e Florestas**. Gouvello, C.; Filho, B.S.S.; Nassar, A. (coord.) Relatório de Síntese Técnica. Washington, 2010. 288 p.

BOLFE, É. L. **Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa de biomassa e de carbono em sistemas agroflorestais por meio de imagens orbitais**. Tese apresentada ao Instituto de Geociências para obtenção do título de Doutor em Ciências. UNICAMP. Campinas, 2010. 232 p.

BITENCOURT, M. D.; GINCIENE, B. R.. Utilização do EVI (Enhanced Vegetation Index) para maior sensibilidade na detecção de mudanças temporais em fragmentos de floresta estacional semidecidual. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15. 2011, Curitiba-PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 1620-1627. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0984.pdf>> Acesso em: 27/09/2010.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. MCT (trad.) **Protocolo de Kyoto**. Brasília, 2005. 25 p.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial** [da República Federativa do Brasil]. Seção 1 de 19 de setembro de 2000. Página 1. Brasília, 2000.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to Remote Sensing**. 2ª Edição. Ed. Taylor e Francis. Londres, 1996. 622 p.

CARVALHO, L. M. T. de. **Solicitação\_Dados\_IFMG**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por Édson Luís Bolfe em 16 dez. 2011.

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

CHAVEZ, P. S. Radiometric calibration of Landsat thematic mapper multispectral images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 55, p. 1285-1294, 1989.

CNUC/MMA. Cadastro Nacional das Unidades de Conservação. Ministério do Meio Ambiente. **UCs estaduais de uso sustentável**. Disponível em < <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em 13/12/2011.

CRÓSTA, A. P.. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Instituto de Geociências. UNICAMP. Campinas, 1993. 154 p.

FLANNERY, T.; HUESTON, G.; BEALE, R.. The Climate Commission Secretariat. **The Critical Decade: Global Action on Climate Change**. Austrália, abril de 2013. 38 p. Disponível em <<http://climatecommission.gov.au/report/the-critical-decade>> Acesso em 30/04/2013.

GARÓFALO, D. F. T.; Ferreira, M. C.; FERREIRA, M. F. M.; MESSIAS, C. G.. **Mapeamento da densidade de processos erosivos e de movimentos de massa, a partir de imagens do Google Earth georreferenciadas, utilizando estimador kernel: uma aplicação na APA Fernão Dias (MG)**. In: IX Simpósio Nacional de Geomorfologia - "Geomorfologia e Eventos Catastróficos: passado, presente e futuro", Vol. 1, pp.1-5, 2012. Rio de Janeiro, 2012.

GOMES, P. B.. **Análise espacial de espécies arbóreas pertencentes à Floresta Estacional Semidecidual e ao Cerradão baseada em imagens de alta resolução espacial**. Tese apresentada ao Instituto de Geociências para obtenção do título de Doutor em Ciências, Análise Ambiental e Dinâmica Territorial. UNICAMP. Campinas, 2009. 141 p. Disponível em <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000440529>> Acesso em: 04/06/2012.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: Seminário Emissão x Sequestro de CO<sub>2</sub> – Uma Nova Oportunidade de Negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 125-145.

HOEFFEL, J. L. de M.; FADINI, A. A. B.; BARBOSA, J. E. do C.; FERMINO, E. da S.. **Área de Proteção Ambiental (APA) Fernão Dias/MG. Transformações socioambientais na bacia hidrográfica do rio Jaguary**. Climatologia e Estudos da Paisagem. Rio Claro, v. 3, n.1, p. 39-60, 2008. Disponível em <<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/climatologia/article/view/1303>> Acesso em 21/08/2012.

HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W.. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, 59: 440-451, 1997.

HUETE, A. R.. **A soil-adjusted vegetation index (SAVI)**. Remote Sensing of Environment. Nova York, v. 25, 1988. p. 295-309.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro. 2. Ed. IBGE, 2012. Disponível em [ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos\\_naturais/manuais\\_tecnicos/manual\\_tecnico\\_vegetacao\\_brasileira.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_vegetacao_brasileira.pdf) > Acesso em 25/04/2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal Digital 2007**. Disponível em [ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas\\_digitais/municipio\\_2007](ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/municipio_2007)>. Acesso em 2/08/2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base Vetorial Contínua 2009. **Unidade de Conservação de Uso Sustentável APA Fernão Dias**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/>>. Acesso em 16/08/2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha de Setor Censitário 2010**. IBGE, 2010. Disponível em [ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas\\_digitais/censo\\_2010/setores\\_censitarios](ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/censo_2010/setores_censitarios)>. Acesso em 9/07/2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro. IBGE, 1992. 92p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Carta Topográfica**. 1ª Ed. Brasil 1972. Escala 1:50.000.

IBITU CONSULTORIA AMBIENTAL. **APA Fernão Dias – Plano de Gestão Ambiental**. Minas Gerais: IBITU/DER-MG, 1998, 224p.

IEA. Agência Internacional de Energia. **Redrawing the energy-climate map**. World Energy outlook Spacial Report. International Energy Agency, 2013. Disponível em <http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2013/energyclimatemap/RedrawingEnergyClimateMap.pdf>>. Acesso em 21/06/2013.

IEA. Agência Internacional de Energia. **World Energy Outlook 2010**. International Energy Agency, 2010. Disponível em [http://www.unido.org/fileadmin/user\\_media/Services/Energy\\_and\\_Climate\\_Change/Renewable\\_Energy/Publications/weo2010\\_poverty.pdf](http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Energy_and_Climate_Change/Renewable_Energy/Publications/weo2010_poverty.pdf)>. Acesso em 15/06/2013.

IEF-MG. Instituto Estadual de Florestas. Inventário Florestal de Minas Gerais. **Mapeamento da Cobertura Vegetal 2007**. Disponível em <http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/inventarioFlorestal/#>>. Acesso em 26/10/2012.

IPCC. Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. **Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. Spacial Report of the Intergovernamental Panel on Climate Change. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque. 2011. 1075 p. Disponível em < <http://srren.ipcc-wg3.de/>>. Acesso em 24/09/2012.

IPCC. Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. **Climate Change. Summary for policymakers. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental panel on Climate Change**. 2007.

IPCC. Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. **Land Use, Land Use Change and Forestry**. Cambridge University Press, 2000.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Aquisição de imagens TM/Landsat 5. Disponível em <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 15 ago 2010.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano. **Utilização do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**. Série Eixos do Desenvolvimento Brasileiro, 80, 2011. 29 p.

JENSEN, J. R.. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Trad. Epiphânio, J.C.N. (Coord.). São José dos Campos, SP: Parênteses. 2011. 598 p.

JENSEN, J.R.. **Introductory Digital Image Processing**. Prentice Hall, 1996. 316 p.

JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E., TOWNSHEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, P. D.; HALL, D. K.; SALOMONSON, V.; PRIVETTE, J. L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R. B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S. W.; NEMANI, R. R.; WAN, Z.; HUETE, A. R.; LEEUWEN, W. V.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J. P.; LEWIS, P.; BARNESLEY, M.. The Moderate Resolution Spectroradiometer (MODIS). **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**. v.36, n.4, p.1228-1249, 1998.

LEITÃO FILHO, H. de F. 1982. Aspectos taxonômicos das florestas do Estado de São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, 16. p. 197-296.

LEMOS, A. L. F.; VITAL, M. H. F.; PINTO, M. A. C.. As florestas e o painel de mudanças climáticas da ONU. Florestas. **BNDES Setorial**. V. 32. Setembro de 2010. p. 153-192. Disponível em <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta\\_Expressa/Setor/Meio\\_Ambiente/201009\\_5.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Setor/Meio_Ambiente/201009_5.html)> Acesso em 11/06/2011.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN. Digital Image Processing. *In: Remote Sensing and Image interpretation*. 6ª Ed. John Wiley, 2007. cap. 7, p. 491-503.

LIU, W.T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande. Ed. UNIDERP, 2006. 908 p.

LTC\UFES. Laboratório de Topografia e Cartografia da Universidade Federal do Espírito Santo. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, 2001. Disponível em <<http://www.ltc.ufes.br/geomaticsee/Modulo%20Sensoriamento%20Remoto.pdf>> Acesso em: 20/06/2012.

LU, D.; CHEN, Q.; WANG, G.; MORAN, E.; BATISTELLA, M.; ZHANG, M.; LAURIN, G. V.; SAAH, D.. Aboveground Forest Biomass Estimation with Landsat and LiDAR Data and Uncertainty Analysis of the Estimates. **International Journal of Forestry Research**. Hindawi Publishing Corporation, v. 2012. 16 p. Disponível em <<http://www.hindawi.com/journals/ijfr/2012/436537/>> Acesso em 27/09/2012.

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento. Coordenação Geral de Mudanças Globais de Clima. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília: MCT, 2013. 81p.

MEIRELES, L. D.. **Florística das fisionomias vegetacionais e estrutura da Floresta alto-montana de Monte Verde, Serra da Mantiqueira, MG**. Tese apresentada ao Instituto de Biologia para obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal. UNICAMP. Campinas, 2003. 94 p. Disponível em <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000317979>> Acesso em: 04/06/2012.

MEIRELES, L. D.; SHEPHERD, G. J.; KINOSHITA, L. S.. Variações na composição florística e na estrutura fitossociológica de uma floresta ombrófila densa alto-montana na Serra da Mantiqueira, Monte Verde, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 31. n.4, p. 559-574, out-dez 2008. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-84042008000400003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-84042008000400003&script=sci_arttext)> Acesso em 12/05/2012.

MELO, L. C. N.; SALINO, A.. **Pteridófitas em fragmentos florestais da APA Fernão Dias, Minas Gerais, Brasil**. Rodriguesia, n. 58, p. 207-220, 2007. Disponível em <<http://www.icb.ufmg.br/pteridofitas/publicacoes.htm>> Acesso em 04/06/2012.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001. 250 p.

MORETTI, A. I. P.. **Delimitação de corredores ecológicos na APA Fernão Dias – MG a partir de técnicas de geoprocessamento e análise espacial**. Dissertação apresentada ao instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia. Campinas, 2011. 122 p.

MÜLLER, F. B.. Especialistas criticam UNFCCC e apresentam sugestões para as negociações climáticas. Instituto Carbono Brasil de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. **Portal Carbono Brasil**, Florianópolis, 11 mar. 2013. Disponível em <<http://www.institutocarbonobrasil.org.br>> Acesso em 11/03/2013.

NOVO, E. M. L. de M.. **Sensoriamento Remoto**. Princípios e aplicações. 3ª Ed. São Paulo: Editora Blucher, 2008. 263 p.

NUNES, G. M.. **Sensoriamento remoto aplicado na análise da cobertura vegetal das Reservas de Desenvolvimento Sustentável Amanã e Mamirauá**. Tese apresentada ao Instituto de Geociências para obtenção do título de Doutor em Ciências. UNICAMP. Campinas, 2008. 163 p.

PAULA, M. D.; FILHO, W. P.. Estimativa de Carbono em um fragmento de Floresta Madura na Mata Atlântica Nordeste com o uso de Índices Espectrais. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14. 2009, Natal-RN. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009, p. 2881-2888. Disponível em <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.20.55.47/doc/2881-2888.pdf>> Acesso em: 19/06/2011.

PEARSON, R. L.; L. D. MILLER. **Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie**. Pawnee National Grasslands, Colorado. *In*: Proceedings of the Eighth International Symposium on Remote Sensing of Environment, October 2-6. Ann Arbor, Michigan, USA. p. 1357-1381. 1972.

PONZONI, F. J.. Comportamento espectral da vegetação. *In*: MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. (Org). **Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. p. 157-199.

PONZONI, F. J.; REZENDE, A. C. P.. Caracterização espectral de estágios sucessionais de vegetação secundária arbórea em Altamira (PA), através de dados orbitais. **Revista Árvore**. v.28, n.4, 2004. p. 535-545. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v28n4/22602.pdf>> Acesso em 27/09/2012.

PONZONI, F. J.; ZULLO J. JR.; LAMPARELLI, R. A. C.. **Calibração absoluta de sensores orbitais: conceituação, principais procedimentos e aplicação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 65 p.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. São José dos Campos. Parêntese, 2009. 127 p.

PRADO, N. V.. **Estudo da relação entre queimadas, aerossóis atmosféricos e precipitação**. Relatório final de iniciação científica do programa PIBIC/INPE - CNPq. julho de 2012. Disponível em <<http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/09.26.18.35.17/doc/Nath%e1lia%20Velloso%20Prado.pdf>> Acesso em 21/02/2013.

RAMIREZ, G. M.. **Comparação entre imagens pancromáticas do satélite Ikonos-II e Landsat/ETM+ na identificação de plantios de café (*Coffea arabica*)**. Dissertação submetida à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola na área de concentração Planejamento e desenvolvimento rural sustentável. Campinas, novembro de 2002.

RIBEIRO, S. C.. **Quantificação do estoque de biomassa e análise econômica da implementação de projetos visando a geração de créditos de Carbono em pastagem, capoeira e floresta primária**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para obtenção do título de *Magister Scientiae*. Viçosa, 2007. 128 p. Disponível em <[http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/doc\\_quantificacao\\_e\\_19673.pdf](http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/doc_quantificacao_e_19673.pdf)> Acesso em 11/06/2011.

RICHARDS, J. A.. Error Correction and Registration of Image Data. *In: Remote Sensing Digital Image Analysis*. 2ª Ed. Springer-Verlag, 1993. cap. 2, 340 p.

RICHARDS, J. A.; JIA, X.. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. 3ª Ed. Springer-Verlag, 1999. 363 p.

RICHARDSON, A. J.; WIEGAND, C. L.. Distinguishing vegetation from soil background information. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.1, n.43, p.1541-1552, 1977.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C.. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. NASA/GSFC. Final Report, Greenbelt, MD: NASA. p. 309-317, 1973.

RUNNING, S. W.; JUSTICE, C. O.; SOLOMONSON, V.; HALL, D.; BAKER, J.; KAUFMANN, Y. J.; STRAHLER, A. H.; HUETE, A. R.; MULLER, J. P.; VANDERBILT, V.; WAN, Z. M.; TEILLET, P.; CARNEGGIE, 1994. Terrestrial Remote Sensing Science and Algorithms Planned for EOS/MODIS. **Intl. Journal of Remote Sensing**, 15 (17):3587-3620.

SANTOS, H. G. dos. [et al.]. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. **Documentos** / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; 130. Rio de Janeiro : Embrapa Solos, Dezembro de 2011. 67 p.

SCHOWENGERDT, R. A.. **Remote Sensing Models and Methods for Image Processing**. 3ª Ed. Academic Press, 2006. 560 p.

SCOGNAMIGLIO, T.. **Plano de Gestão da APA Fernão Dias**. Abril de 2012. Disponível em:  
< <https://sites.google.com/site/apafernaodias/plano-de-gestao> > Acesso em: 07/09/2012.

SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T.. Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 2006. 288 p. Disponível em <<http://www.inventarioflorestal.mg.gov.br>> Acesso em 27 jun. 2011.

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR DE MINAS GERAIS. Diagnóstico do Conhecimento sobre a Biodiversidade no Estado de Minas Gerais – Subsídio ao Programa BIOTA MINAS. **Biota Minas**. Drummond, G. M.; Martins, C. S.; Greco, M. B.; Vieira, F. (Orgs.). Fundação Biodiversitas. Belo Horizonte, 2009. Disponível em  
<<http://www.biodiversitas.org.br/biotaminas/publicacao/biotaminas.pdf>> Acesso em 06/09/2012.

SILVA, A. J. F. M.. O uso de polinômios racionais na ortorretificação de imagens de satélite. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13. 2007, Florianópolis-SC. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007, p. 1289-1295. Disponível em <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.18.02.48/doc/1289-1295.pdf>> Acesso em: 07/09/2012.

SOARES FILHO, et al. **Projeto Dinâmica EGO**. Disponível em <<http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>> Acesso em 13/05/2009.

SOUZA FILHO, C. R.. Sensoriamento Remoto Hiperespectral. **Revista Infogeo** – Coluna Sensor. Edição 33, agosto de 2004. p. 31-35. Disponível em < <http://mundogeo.com/blog/2004/08/30/sensor/>>. Acesso em 29/08/2012.

STRAHLER, A. N.. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology. **Geological Society of America Bulletin**, v.63, n.10. 1952. p. 1117-1142.

THE CLIMATE GROUP. Doha: Post-COP18 Briefing. **Briefing Note**. Dezembro de 2012. Disponível em <<http://thecleanrevolution.org/publications/post-cop18-briefing>>. Acesso em 13/12/2012.

THE TERRESTRIAL CARBON GROUP PROJECT. Distribuição de Carbono Terrestre nos Países em Desenvolvimento. Florestas e Não-Florestas; Vegetação e Solo. In: **Policy Briefs**, v. 1, Minuta de Discussão. Outubro de 2009a. 18 p.

THE TERRESTRIAL CARBON GROUP PROJECT. Medição e Monitoramento do Carbono Terrestre como parte dos Sistemas “REDD+” e MRV. O Estado da Ciência e as Implicações para os Formuladores de Políticas. In: **Policy Briefs, v. 5, Minuta de Discussão**. Outubro de 2009b. 17 p.

UNFCCC. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima. Conselho Executivo do MDL. Anexo 2: **Summary compilation of stakeholder inputs regarding possible changes to the CDM modalities and procedures**. Disponível em <<http://cdm.unfccc.int/EB/index.html>> V. 01.1, março de 2013a. Acesso em 13/03/2013.

UNFCCC. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima. Conselho Executivo do MDL. **Guidance relating to the clean development mechanism. Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its eighth session, held in Doha from 26 November to 8 December 2012**. Disponível em <[http://unfccc.int/meetings/doha\\_nov\\_2012/meeting/6815/php/view/decisions.php](http://unfccc.int/meetings/doha_nov_2012/meeting/6815/php/view/decisions.php)> . Fevereiro de 2013b. Acesso em 11/04/2013.

UNWIN, D.. Point on maps. *In*: D. Unwin – **Introductory spatial analysis**. London, Methuen, 1981. p. 29-65.

USGS. **Serviço Geológico dos Estados Unidos**. Disponível em <[www.usgs.gov](http://www.usgs.gov)>. Acesso em 01/07/2011.

VALOR NATURAL. **Plano de ação do corredor ecológico da Mantiqueira**. Belo Horizonte: Valor Natural, 2006. Disponível em: <<http://www.valornatural.org.br/corredor.html>> Acesso em 06/09/2012.

VIEIRA, Simone Aparecida et al. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotrop.**, Campinas, v.8, n.2, jun. 2008. Disponível em <<http://www.biotaneotropica.org.br/v8n2/pt/fullpaper?bn00108022008+en>>. Acesso em 01/07/2013.

ZULLO JR., J.. **Correção Atmosférica de Imagens de Satélite e Aplicações**. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica. Faculdade de Engenharia Elétrica, UNICAMP. Campinas, 1994. 190 p.



## 8. ANEXOS

**Anexo 01. Tabela original de Carvalho (2011) com os dados para o fragmento 97 utilizados no Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais (2006)**

Fragmento	Município	Estado	Fazenda	Projeto	Tipo de inventário	Medição número	Data da medição
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	22/06/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	23/06/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	06/07/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	06/07/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	23/06/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	28/06/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	03/07/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	30/06/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	30/06/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	28/06/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	03/07/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	04/07/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	07/07/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	05/07/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	11/07/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	11/07/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	12/07/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	13/07/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	17/07/2006
SERRA DA MANTIQUEIRA	CAMANDUCAIA	MG	LEVANTINA	INVENTÁRIO MG	SISTEMÁTICO	1	03/08/2006

Parcela número	Coordenadas 1	Coordenadas 2	Área da parcela	Largura	Comprimento	Peso de Matéria Seca (t/ha)	Quantidade de Carbono (t/ha)
1	391642;7469095	391684;7469009	1.000m <sup>2</sup>	10	100	15,99654858	7,404375999
2	391740;7468809	391773;7468735	1.000m <sup>2</sup>	10	100	16,04650325	7,455235967
3	391829;7468541	391859;7468449	1.000m <sup>2</sup>	10	100	25,40496585	11,7552473
4	391915;7468252	391951;7468160	1.000m <sup>2</sup>	10	100	18,23099703	8,493463905
5	391351;7468953	391385;7468857	1.000m <sup>2</sup>	10	100	21,25222885	10,06318809
7	391554;7468387	391587;7468292	1.000m <sup>2</sup>	10	100	34,53941885	16,33431198
8	391655;7468103	391691;7468011	1.000m <sup>2</sup>	10	100	20,99719591	9,862973646
9	391734;7467889	391768;7467796	1.000m <sup>2</sup>	10	100	15,10747054	7,075158702
10	391750;7467743	391840;747749	1.000m <sup>2</sup>	10	100	9,456500654	4,433598716
11	391073;7468816	391107;748723	1.000m <sup>2</sup>	10	100	20,04964351	9,355114244
12	391174;7468537	391208;7468440	1.000m <sup>2</sup>	10	100	18,83497437	8,869851172
13	391275;7468252	391309;7468157	1.000m <sup>2</sup>	10	100	11,89446404	5,674171523
14	391377;7467970	391410;7467874	1.000m <sup>2</sup>	10	100	31,98394133	14,99794447
15	391478;7467688	391511;7467593	1.000m <sup>2</sup>	10	100	6,902246273	3,201884827
16	390813;7468689	390838;7468591	1.000m <sup>2</sup>	10	100	26,19201387	12,28898196
17	390914;7468400	390945;748308	1.000m <sup>2</sup>	10	100	8,788425774	4,095585722
18	391012;748118	391049;7468002	1.000m <sup>2</sup>	10	100	4,564110883	2,122425176
19	391113;7467835	391144;7467743	1.000m <sup>2</sup>	10	100	21,45646528	10,10163088
20	391211;7467554	391245;7467458	1.000m <sup>2</sup>	10	100	7,340189805	3,426086611
6	391452;7468668	391486;7468573	1.000m <sup>2</sup>	10	100	34,10384543	15,96017274

## Anexo 02. Regressões lineares simples para cada índice avaliado na avaliação 1

### RESUMO DOS RESULTADOS

### EVI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,048561036
R-Quadrado	<b>0,002358174</b>
R-quadrado ajustado	-0,053066372
Erro padrão	4,304014839
Observações	20

### ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	0,788172462	0,788172462	0,042547	0,838894869
Resíduo	18	333,4417872	18,52454373		
Total	19	334,2299596			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	7,391343402	6,170556951	1,197840561	24,65%	-5,572515677	20,35520248	-5,572515677	20,35520248
Média Ponderada EVI	4,392035758	21,29261487	0,20627038	<b>83,89%</b>	-40,34208804	49,12615955	-40,34208804	49,12615955

### RESUMO DOS RESULTADOS

### SAVI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,100702421
R-Quadrado	<b>0,010140978</b>
R-quadrado ajustado	-0,04485119
Erro padrão	4,287193728
Observações	20

### ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	3,389418513	3,389418513	0,184408	0,672708617
Resíduo	18	330,8405411	18,38003006		
Total	19	334,2299596			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	6,618163625	4,82437952	1,371816541	0,186978	-3,517481623	16,75380887	-3,517481623	16,75380887
Média Ponderada SAVI	9,132619547	21,26698261	0,429427141	<b>0,672709</b>	-35,54765288	53,81289197	-35,54765288	53,81289197

### RESUMO DOS RESULTADOS

### NDVI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,132554768
R-Quadrado	<b>0,017570767</b>
R-quadrado ajustado	-0,037008635
Erro padrão	4,271073785
Observações	20

### ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	5,872676593	5,872676593	0,32193	0,577458532
Resíduo	18	328,357283	18,24207128		
Total	19	334,2299596			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	14,25249913	9,922762304	1,436343902	0,168058	-6,594450866	35,09944912	-6,594450866	35,09944912
Média Ponderada NDVI	-9,015296434	15,88909066	-0,567389074	<b>0,577459</b>	-42,39703715	24,36644429	-42,39703715	24,36644429

### RESUMO DOS RESULTADOS

### SRI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,041233309
R-Quadrado	<b>0,001700186</b>
R-quadrado ajustado	-0,053760915
Erro padrão	4,305433948
Observações	20

### ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	0,568253014	0,568253014	0,030655	0,862965704
Resíduo	18	333,6617066	18,53676148		
Total	19	334,2299596			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	10,01869707	7,884402815	1,270698276	0,220014	-6,545818553	26,58321269	-6,545818553	26,58321269
Média Ponderada SRI	-0,317290433	1,812187101	-0,175087017	<b>0,862966</b>	-4,124554248	3,489973382	-4,124554248	3,489973382

### Anexo 03. Regressões lineares simples para cada índice avaliado na avaliação 2

#### RESUMO DOS RESULTADOS

#### EVI

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,386769004
R-Quadrado	0,149590262
R-quadrado ajustado	0,102345277
Erro padrão	3,973750065
Observações	20

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	49,99754725	49,99754725	3,166267503	0,09206478
Resíduo	18	284,2324124	15,79068958		
Total	19	334,2299596			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	21,10621569	7,057195408	2,990737038	0,007841743	6,279598339	35,93283304	6,279598339	35,93283304
Média Ponderada EVI	-55,13293023	30,98398497	-1,779400883	0,09206478	-120,227867	9,962006595	-120,227867	9,962006595

#### RESUMO DOS RESULTADOS

#### SAVI

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,324335556
R-Quadrado	0,105193553
R-quadrado ajustado	0,055482084
Erro padrão	4,076157795
Observações	20

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	35,15883694	35,15883694	2,116082152	0,162976015
Resíduo	18	299,0711227	16,61506237		
Total	19	334,2299596			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	15,33087425	4,683222666	3,273573636	0,004220331	5,491788549	25,16995996	5,491788549	25,16995996
Média Ponderada SAVI	-21,72222618	14,93269069	-1,454675961	0,162976015	-53,09464512	9,650192755	-53,09464512	9,650192755

#### RESUMO DOS RESULTADOS

#### NDVI

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,331201794
R-Quadrado	0,109694628
R-quadrado ajustado	0,060233219
Erro padrão	4,065892881
Observações	20

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	36,66323112	36,66323112	2,217782087	0,153741668
Resíduo	18	297,5667285	16,53148492		
Total	19	334,2299596			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	20,22192906	7,824412626	2,584466084	0,018699703	3,78344815	36,66040997	3,78344815	36,66040997
Média Ponderada NDVI	-19,00329818	12,76055452	-1,489221974	0,153741668	-45,81222837	7,805632004	-45,81222837	7,805632004

#### RESUMO DOS RESULTADOS

#### SRI

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,358040469
R-Quadrado	0,128192977
R-quadrado ajustado	0,079759254
Erro padrão	4,023431551
Observações	20

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	42,84593356	42,84593356	2,646771048	0,121138696
Resíduo	18	291,3840261	16,18800145		
Total	19	334,2299596			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	16,80937954	5,09624232	3,298387023	0,003995507	6,102571741	27,51618733	6,102571741	27,51618733
Média Ponderada SRI	-1,935844923	1,189905237	-1,626889993	0,121138696	-4,435743058	0,564053212	-4,435743058	0,564053212

**Anexo 04. Regressões lineares simples para cada índice avaliado na avaliação 3**

**RESUMO DOS RESULTADOS EVI**

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,405449443
R-Quadrado	<b>0,164389251</b>
R-quadrado ajustado	0,117966431
Erro padrão	3,939022348
Observações	20

**ANOVA**

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>= de significação</i>
Regressão	1	54,94381259	54,9438126	3,541130261	0,076137218
Resíduo	18	279,286147	15,5158971		
Total	19	334,2299596			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	23,86701329	8,135043152	2,93385208	0,008871614	6,775921863	40,95810472	6,775921863	40,95810472
MP EVI	-61,4555137	32,65802383	-1,8817891	<b>0,076137218</b>	-130,0674756	7,156448292	-130,0674756	7,156448292

**RESUMO DOS RESULTADOS SAVI**

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,262212339
R-Quadrado	<b>0,068755311</b>
R-quadrado ajustado	0,017019495
Erro padrão	4,158324147
Observações	20

**ANOVA**

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>= de significação</i>
Regressão	1	22,98008476	22,9800848	1,328969292	0,264068759
Resíduo	18	311,2498749	17,2916597		
Total	19	334,2299596			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	11,90047076	2,970146483	4,0066949	0,0008274	5,660424561	18,14051696	5,660424561	18,14051696
MP SAVI	-12,923535	11,21047072	-1,1528093	<b>26,41%</b>	-36,47585993	10,62879003	-36,47585993	10,62879003

**RESUMO DOS RESULTADOS NDVI**

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,370418425
R-Quadrado	<b>0,137209809</b>
R-quadrado ajustado	0,089277021
Erro padrão	4,002570914
Observações	20

**ANOVA**

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>= de significação</i>
Regressão	1	45,85962906	45,8596291	2,862545954	0,10790267
Resíduo	18	288,3703306	16,0205739		
Total	19	334,2299596			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	19,59180009	6,529618192	3,0004511	0,007677877	5,873581342	33,31001885	5,873581342	33,31001885
MP NDVI	-16,4706079	9,734942601	-1,691906	<b>10,79%</b>	-36,92296335	3,981747523	-36,92296335	3,981747523

**RESUMO DOS RESULTADOS SRI**

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,247208132
R-Quadrado	<b>0,061111861</b>
R-quadrado ajustado	0,008951408
Erro padrão	4,175354575
Observações	20

**ANOVA**

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>= de significação</i>
Regressão	1	20,42541471	20,4254147	1,171612938	0,293357949
Resíduo	18	313,8045449	17,4335858		
Total	19	334,2299596			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	13,24791299	4,350527704	3,04512783	0,006966076	4,107793469	22,38803252	4,107793469	22,38803252
MP SRI	-0,88387732	0,816582202	-1,0824107	<b>29,34%</b>	-2,599452861	0,831698225	-2,599452861	0,831698225

## Anexo 05. Regressões lineares simples para cada índice avaliado na avaliação 4

### RESUMO DOS RESULTADOS

### EVI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,374389639
R-Quadrado	0,140167602
R-quadrado ajustado	0,082845442
Erro padrão	37,87995564
Observações	17

### ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	te significação
Regressão	1	3508,682089	3508,682089	2,445260297	0,138729
Resíduo	15	21523,36559	1434,89104		
Total	16	25032,04768			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	5% inferior	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-50,67471646	91,42710797	-0,554263583	0,587567519	-245,547	144,1975504	-245,5469833	144,1975504
MP EVI	600,8429797	384,2363455	1,563732809	0,138728715	-218,137	1419,82336	-218,1374005	1419,82336

### RESUMO DOS RESULTADOS

### SAVI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,39424446
R-Quadrado	0,155428694
R-quadrado ajustado	0,099123941
Erro padrão	37,54228655
Observações	17

### ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	te significação
Regressão	1	3890,698491	3890,698491	2,760489732	0,11737
Resíduo	15	21141,34919	1409,42328		
Total	16	25032,04768			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	5% inferior	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	4,473375113	53,20578533	0,084076855	0,934107166	-108,932	117,8788216	-108,9320713	117,8788216
MP SAVI	268,2574232	161,4576699	1,661472158	0,117370257	-75,8815	612,3962986	-75,88145229	612,3962986

### RESUMO DOS RESULTADOS

### NDVI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,447113154
R-Quadrado	0,199910172
R-quadrado ajustado	0,14657085
Erro padrão	36,54028528
Observações	17

### ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	te significação
Regressão	1	5004,160964	5004,160964	3,747894898	0,071951
Resíduo	15	20027,88672	1335,192448		
Total	16	25032,04768			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	5% inferior	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-42,56051235	69,84824156	-0,609328329	0,551425177	-191,439	106,3174897	-191,4385144	106,3174897
MP NDVI	280,233512	144,7525982	1,935948062	0,071951196	-28,2993	588,7663703	-28,29934631	588,7663703

### RESUMO DOS RESULTADOS

### SRI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,398123053
R-Quadrado	0,158501965
R-quadrado ajustado	0,102402096
Erro padrão	37,47391887
Observações	17

### ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	te significação
Regressão	1	3967,628749	3967,628749	2,82535357	0,113485
Resíduo	15	21064,41893	1404,294596		
Total	16	25032,04768			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	5% inferior	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-15,36513849	64,26406543	-0,239093783	0,814268884	-152,341	121,6104739	-152,3407509	121,6104739
MP SRI	36,67926561	21,82148137	1,680878809	0,113484826	-9,83212	83,19065194	-9,83212072	83,19065194

## Anexo 06. Regressões lineares simples para cada índice avaliado na avaliação 4b

### RESUMO DOS RESULTADOS

### EVI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,844482178
R-Quadrado	0,713150149
R-quadrado ajustado	0,672171599
Erro padrão	22,94244868
Observações	9

### ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	9160,1783	9160,178	17,403	0,004180318
Resíduo	7	3684,4917	526,356		
Total	8	12844,67			

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-364,435509	111,93889	-3,25566	0,01395	-629,1289307	-99,74208693	-629,1289307	-99,74208693
MP EVI	1950,261727	467,49902	4,171692	0,00418	844,8022089	3055,721244	844,8022089	3055,721244

### RESUMO DOS RESULTADOS

### SAVI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,844592316
R-Quadrado	0,71333618
R-quadrado ajustado	0,672384205
Erro padrão	22,93500804
Observações	9

### ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	9162,5678	9162,568	17,4188	0,004170438
Resíduo	7	3682,1022	526,0146		
Total	8	12844,67			

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-140,866807	58,560258	-2,4055	0,04708	-279,3398131	-2,393801558	-279,3398131	-2,393801558
MP SAVI	737,544475	176,71707	4,173589	0,00417	319,6749977	1155,413952	319,6749977	1155,413952

### RESUMO DOS RESULTADOS

### NDVI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,779027659
R-Quadrado	0,606884093
R-quadrado ajustado	0,550724678
Erro padrão	26,85794394
Observações	9

### ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	7795,2259	7795,226	10,8065	0,013351775
Resíduo	7	5049,4441	721,3492		
Total	8	12844,67			

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-125,635535	69,656397	-1,80365	0,11427	-290,3467402	39,07567034	-290,3467402	39,07567034
MP NDVI	473,4139176	144,01225	3,287317	0,01335	132,8790613	813,948774	132,8790613	813,948774

### RESUMO DOS RESULTADOS

### SRI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,836709523
R-Quadrado	0,700082826
R-quadrado ajustado	0,657237516
Erro padrão	23,4591959
Observações	9

### ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	8992,3328	8992,333	16,3398	0,004918835
Resíduo	7	3852,3371	550,3339		
Total	8	12844,67			

	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-136,637218	59,416015	-2,29967	0,05502	-277,1337693	3,859332796	-277,1337693	3,859332796
MP SRI	81,63196635	20,19469	4,042249	0,00492	33,87911236	129,3848203	33,87911236	129,3848203

## Anexo 07. Regressões lineares simples para cada índice avaliado na avaliação 4c

RESUMO DOS RESULTADOS

EVI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,848881237
R-Quadrado	0,720599354
R-quadrado ajust:	0,695199296
Erro padrão	22,54858134
Observações	13

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	14424,395	14424,39	28,36999	0,000242422
Resíduo	11	5592,8237	508,4385		
Total	12	20017,218			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-302,6992382	75,713615	-3,99795	0,002094	-469,3437807	-136,0546957	-469,3437807	-136,0546957
MP EVI	1714,327776	321,85798	5,326348	0,000242	1005,923129	2422,732424	1005,923129	2422,732424

RESUMO DOS RESULTADOS

SAVI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,859036017
R-Quadrado	0,737942878
R-quadrado ajust:	0,714119504
Erro padrão	21,83752945
Observações	13

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	14771,564	14771,56	30,97558	0,000168776
Resíduo	11	5245,6546	476,8777		
Total	12	20017,218			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-129,0936794	41,463615	-3,11342	0,009865	-220,3544817	-37,83287714	-220,3544817	-37,83287714
MP SAVI	715,7307359	128,59969	5,565571	0,000169	432,6847178	998,776754	432,6847178	998,776754

RESUMO DOS RESULTADOS

NDVI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,818424609
R-Quadrado	0,669818841
R-quadrado ajust:	0,639802372
Erro padrão	24,51216459
Observações	13

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	13407,91	13407,91	22,31504	0,000625511
Resíduo	11	6609,3083	600,8462		
Total	12	20017,218			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-161,8378791	55,675797	-2,90679	0,014271	-284,3794726	-39,2962676	-284,3794726	-39,2962676
MP NDVI	551,5972588	116,76783	4,72388	0,000626	294,5929913	808,6015263	294,5929913	808,6015263

RESUMO DOS RESULTADOS

SRI

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,853092755
R-Quadrado	0,727767249
R-quadrado ajust:	0,703018817
Erro padrão	22,25746537
Observações	13

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	14567,876	14567,88	29,4066	0,000209291
Resíduo	11	5449,3424	495,3948		
Total	12	20017,218			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-163,932493	48,914552	-3,35141	0,006461	-271,5926969	-56,27228915	-271,5926969	-56,27228915
MP SRI	91,80632675	16,929737	5,422785	0,000209	54,54422779	129,0684257	54,54422779	129,0684257

RESUMO DOS RESULTADOS

PVI

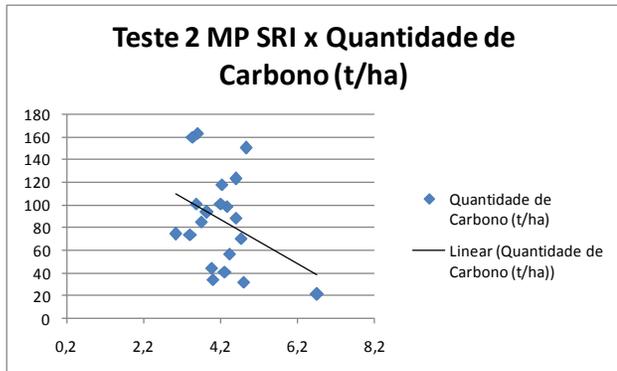
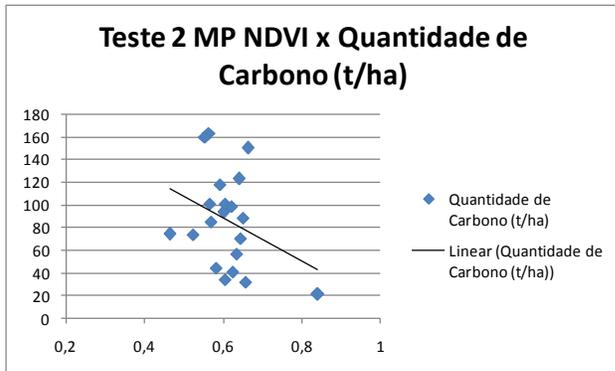
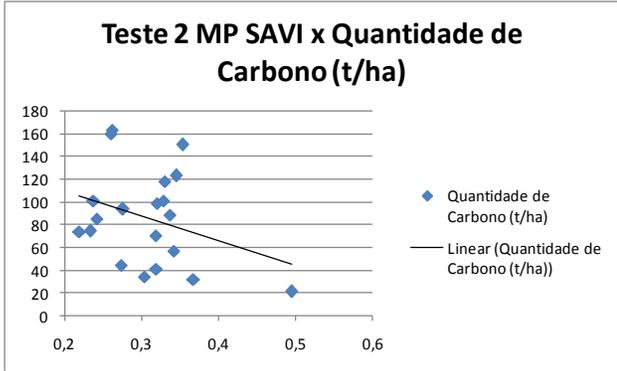
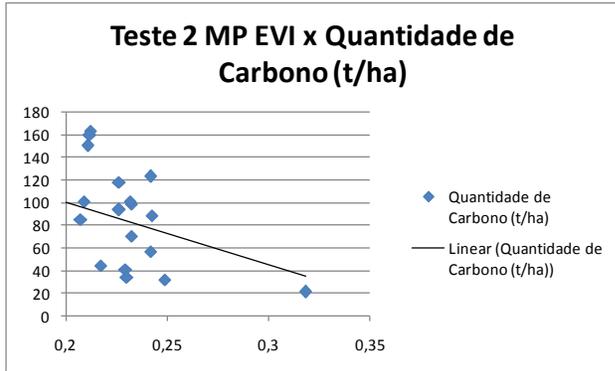
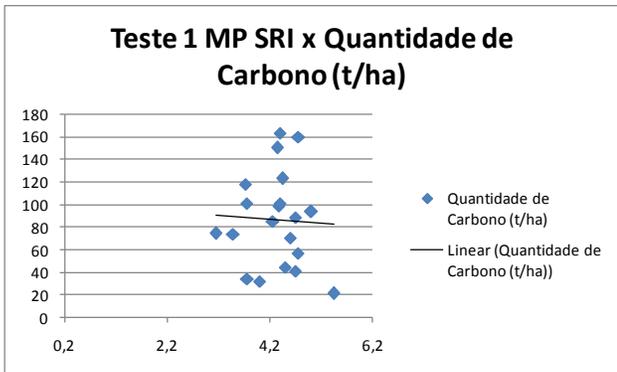
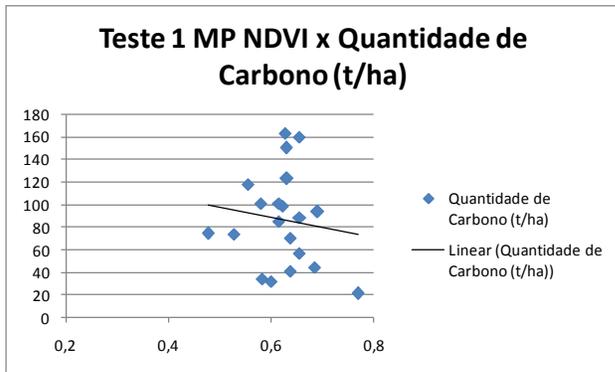
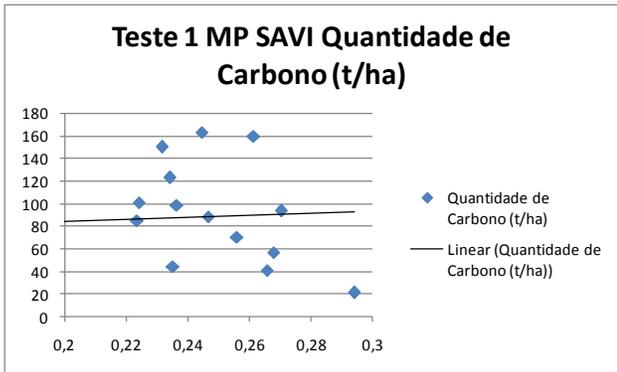
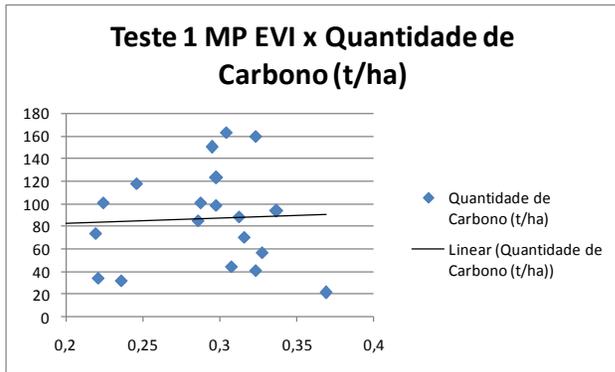
Estatística de regressão	
R múltiplo	0,736198
R-Quadrado	0,5419875
R-quadrado ajustado	0,50035
Erro padrão	28,869826
Observações	13

ANOVA

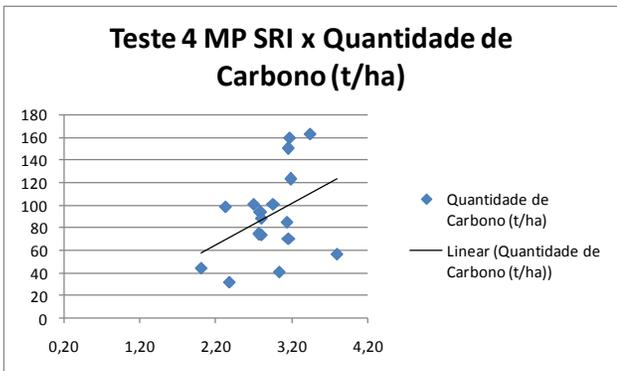
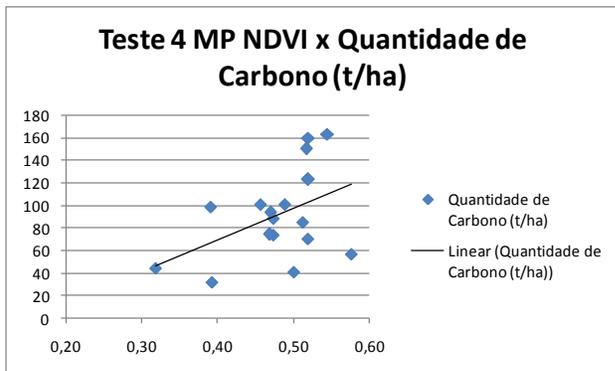
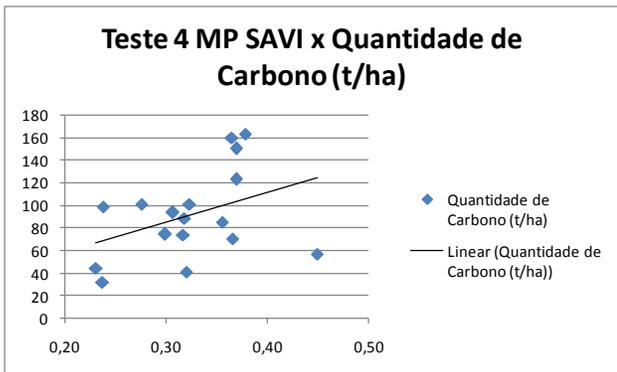
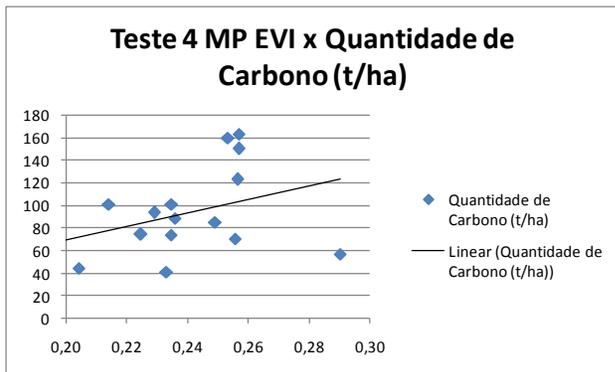
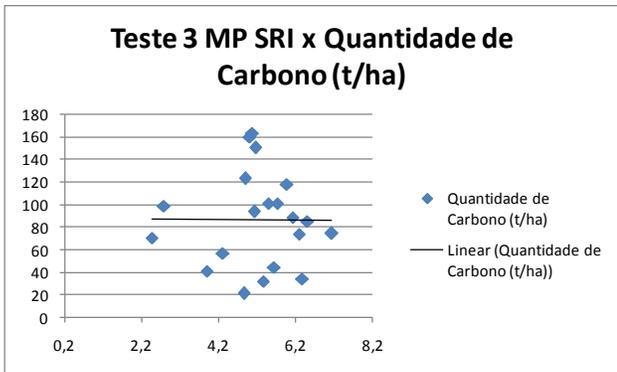
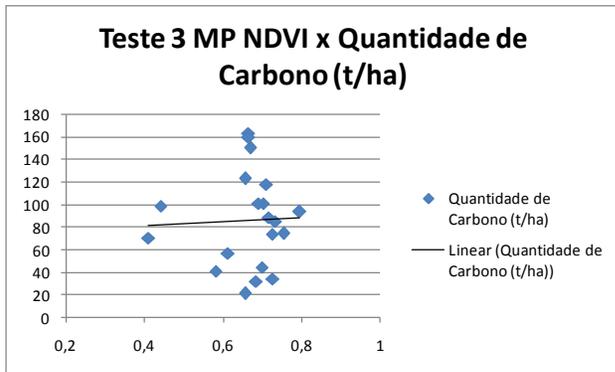
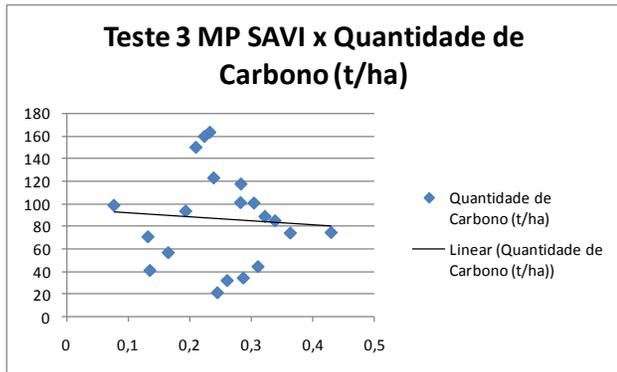
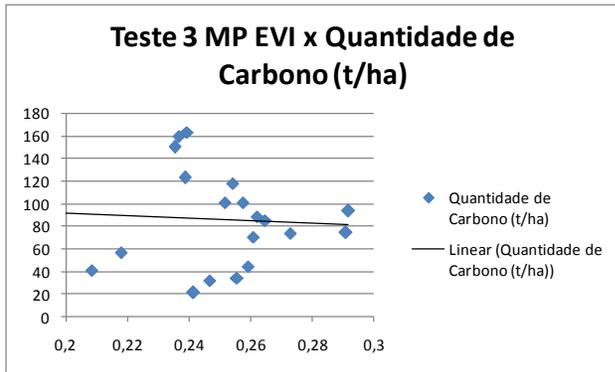
	gl	SQ	MQ	F	F de significação
Regressão	1	10849,083	10849,083	13,01681	0,00411277
Resíduo	11	9168,1356	833,46688		
Total	12	20017,218			

	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	-103,98036	56,882015	-1,828001	0,094773	-229,1768327	21,21610924	-229,1768327	21,21610924
MP PVI	5,3487472	1,4825172	3,6078821	0,004113	2,085748887	8,611745516	2,085748887	8,611745516

Anexo 08. Qualidade do ajuste para cada índice avaliado nas avaliações 1 e 2



Anexo 09. Qualidade do ajuste para cada índice testado nos testes 3 e 4



Anexo 10. Qualidade do ajuste para cada índice testado nos testes 4b e 4c

