



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE ALTOS ESTUDOS AMAZÔNICOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
DO TRÓPICO ÚMIDO**

IZAURA CRISTINA NUNES PEREIRA

**ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL EM
UNIDADES DE PAISAGEM NA AMAZÔNIA: uma análise a
partir da abordagem metodológica ecologia da paisagem**

**Belém
2013**

IZAURA CRISTINA NUNES PEREIRA

**ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL EM
UNIDADES DE PAISAGEM NA AMAZÔNIA: uma análise a
partir da abordagem metodológica ecologia da paisagem**

Tese apresentada ao Núcleo de Altos Estudos
Amazônicos da Universidade Federal do Pará
para obtenção do título de Doutor no Programa
de Pós-Graduação em Desenvolvimento
Sustentável do Trópico Úmido.

Orientador: Prof. Dr. Juarez Carlos Brito
Pezzuti.

Co-orientador: Prof. Dr. João Ricardo
Vasconcellos Gama.

**Belém
2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca do NAEA/UFPA

Pereira, Izaura Cristina Nunes

Estoque de biomassa e carbono florestal em unidades de paisagem na Amazônia: uma análise a partir da abordagem metodológica Ecologia da Paisagem / Izaura Cristina Nunes Pereira; Orientador, Juarez Carlos Brito Pezzuti. – 2013.

177 f.: il.; 29 cm

Inclui bibliografias

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Belém, 2013.

1. Paisagem. 2. Ecologia da Paisagem. 3. Sensoriamento Remoto. 4. Estoque de Biomassa. 5. Estoque de carbono. I. Pezzuti, Juarez Carlos Brito, orientador. II. Título.

CDD 22 ed. 338.900981

IZAURA CRISTINA NUNES PEREIRA

**ESTOQUE DE BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL EM
UNIDADES DE PAISAGEM NA AMAZÔNIA: uma análise a
partir da abordagem metodológica ecologia da paisagem**

Aprovado em: _____

Banca Examinadora:

**Prof. Dr. Juarez Carlos Brito Pezzuti – PDTU-NAEA/UFPA
Orientador**

**Prof. Dr. João Ricardo Vasconcellos Gama- IBEF/ UFOPA
Co-orientador**

**Prof. Dr. Cláudio Fabian Szlafsztein,- PDTU-NAEA/UFPA
Examinador interno**

**Prof^a. Dra. Márcia Aparecida da SilvaPimentel- PPGG-IFCH/UFPA
Examinadora externa**

**Prof^a. Dra. Nírvia Ravena de Souza- PDTU-NAEA/UFPA
Examinador interno**

**Prof. Dr. Gilberto de Miranda Rocha- NUMA/UFPA
Examinador externo**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho com todo carinho aos meus pais, Luiz Carlos e Maria Lucilene, ao meu irmão Sandro e ao grande amor da minha vida, minha filha Sofia (Esse amor é verdadeiro rs!).

AGRADECIMENTOS

Ao ter acesso a trabalhos de conclusão de curso, sejam eles monografias, dissertações ou teses, sempre começava pela página de agradecimentos. Não por acaso, mas para tentar compreender um pouco do esforço do autor para concluí-lo, pois uma coisa eu tinha certeza: por maior a autonomia que se tenha para se desenvolver a sua pesquisa, ninguém escreve uma dissertação o tese sozinho. Por mais que se queira, sempre vamos precisar de uma ajuda ou de outra. Por isso, nesta página faço questão de agradecer todos aqueles, que direta e indiretamente, contribuíram para a conclusão de mais essa etapa em minha vida.

Aí vai...

Primeiramente, à Deus.

À minha família (irmão, sobrinhos, agregados, cachorro, papagaio...rs), principalmente aos meus pais, Luiz Carlos e Maria Lucilene, pelo apoio e confiança sempre, cujo apoio moral e emocional foi determinante durante a realização deste doutorado.

À minha amiga-irmã-comadre Simy de Almeida Corrêa, um anjo que Deus colocou em meu caminho para me ajudar a trilhar o meu caminho e que me informou e convidou para participar do processo seletivo do NAEA, ou seja, se não fosse ela...

Ao Jorge França e Ayala Colares que durante a fase de seleção do NAEA me deram muita força.

Aos meus colegas de classe do doutorado (Turma 2009), cuja amizade e cumplicidade que adquirimos ao longo de um ano, transformaram os momentos fadigantes de aulas em uma experiência acolhedora e que até hoje rende bons frutos. Meus sinceros agradecimentos a: Wilker, Marina, Ivana, Alexandro, Nazareno, André Luis, Hisackana e Carlinha.

Ao Juarez Pezzuti (Juca) que aceitou ser meu orientador e um entusiasta dessa proposta.

Ao João Ricardo que mesmo na reta final desse trabalho aceitou de coração aberto ser meu co-orientador, e, diga-se de passagem, participação substancial para o alcance dos objetivos propostos nesta tese.

Um agradecimento muito especial a uma pessoa que eu conheci meio que por acaso, mas que hoje considero uma grande amiga e uma parceirona de trabalho: Jéssica Ariana de Jesus Corrêa.

Não poderia deixar de citar também o Lucas, o Diego e a Arianne, que me ajudaram, e muito, durante a realização do inventário florestal na Flona Tapajós. Ao Sr. Renato que abriu as portas da sua casa em Belterra para nos abrigar durante a realização do inventário.

Ao Alcicley da Silva Abreu, ex-marido e eterno amigo, que apesar de tudo, sempre me apoiou e acreditou em meu potencial.

À Marcos Afonso Soares de Oliveira (*in memoriam*), uma pessoa muito especial, uma das pessoas mais sábias que eu já conheci, e que em pouco tempo muito me ensinou. A ele faço esta homenagem.

Ao ICMbio, nas pessoas do Alberto e Dárlisson.

Ao Núcleo de Altos Amazônicos (NAEA) pela possibilidade de obtenção do título de doutora na Região Amazônica e com qualidade.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (CNPQ) pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa.

E por fim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram nessa empreitada, meu sincero obrigado.

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo central demonstrar a variabilidade existente na floresta no que tange aos estoques de biomassa e carbono florestal acima do solo, a partir da identificação e caracterização, com base em técnicas de sensoriamento remoto, de unidades de paisagem em uma área situada no município de Belterra, região oeste do Estado do Pará, a partir da matriz teórico-conceitual da abordagem Ecologia da Paisagem. Para o alcance de tal proposição, a metodologia empregada partiu da revisão da literatura sobre o tema, aquisição de dados cartográficos e orbitais, uso de técnicas de sensoriamento remoto, coleta de dados em campo, tratamento e análise estatística. O trabalho está dividido em quatro capítulos, seguidos pelas considerações gerais da obra. Partindo da matriz teórico-metodológica da Ecologia da Paisagem, analisa-se a dinâmica socioambiental do município de Belterra, que atualmente experimenta a expansão das atividades agrícolas, com destaque para a agricultura mecanizada da soja. A partir da análise multitemporal de imagens Landsat do município pôde-se avaliar a distribuição da cobertura florestal existente no mesmo, bem como o padrão espacial de distribuição das principais unidades de paisagem identificadas. Considerando esse recorte, realizou-se a coleta de dados em campo via inventário florestal em quatro tipologias florestais (floresta de alto platô, floresta de baixo platô, vegetação secundária e tensão ecológica) para obtenção de parâmetros morfométricos da vegetação e posterior quantificação dos estoques de biomassa e carbono contidos em cada unidade, bem como observar o comportamento estrutural da floresta nas mesmas. A adoção da paisagem como escala espacial de análise mostrou-se bastante satisfatória na quantificação dos estoques de biomassa e carbono florestal ao permitir considerar a influência da dinâmica socioeconômica na redução desses estoques. Além disso, possibilitou constatar que o reconhecimento da heterogeneidade da cobertura florestal é um elemento fundamental para a obtenção de estimativas de carbono de acordo com as características estruturais da vegetação, que varia de acordo com a topografia do terreno, com as espécies existentes e com as características geográficas, o que envolve a tipologia climática, as características geomorfológicas, pedológicas e geológicas da área.

Palavras-chave: Ecologia da Paisagem. Biomassa. Carbono. Amazônia. Unidade de paisagem.

ABSTRACT

The present work aims to demonstrate the central variability in forest in relation to stocks and forest carbon biomass above ground, from the identification and characterization based on remote sensing, landscape units in an area located in the municipality of Belterra, western Pará State, from the theoretical-conceptual approach of landscape ecology. For the scope of this proposition, the methodology used was based on the literature review on the topic, data acquisition and orbital mapping, use of remote sensing techniques, field data collection, processing and statistical analysis. The work is divided into four chapters, followed by general considerations of the work. Based on the theoretical-methodological of Landscape Ecology, analyzes the social and environmental dynamics of the municipality of Belterra, who currently experiences the expansion of agricultural activities, especially agriculture mechanized soy. From the analysis of multi-temporal Landsat images of the city we could assess the distribution of existing forest cover in the same as well as the spatial distribution of the main landscape units identified. Considering this clipping was held to collect field data via forest inventory in four forest types (forest high plateau, low plateau forest, secondary vegetation and ecological tension) to obtain morphometric parameters of vegetation and subsequent quantification of stocks biomass and carbon contained in each unit as well as observe the structural behavior of the same forest. The adoption of the landscape as the spatial scale of analysis proved to be quite satisfactory in the quantification of biomass and carbon stocks of forest to allow considering the influence of socioeconomic dynamics in reducing these stocks. Furthermore, analyzes showed that recognition of the heterogeneity of forest cover is an essential element for obtaining carbon estimates according to the structural characteristics of vegetation which varies with the topography of the terrain, with the species present and the geographical features, which involves the type climate, geomorphologic characteristics, soil and geological area.

Keywords: Landscape ecology. Biomass. Carbon. Amazon. Landscape unit

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Heterogeneidade espacial em escala vertical.....	30
Fluxograma 01 - Esboço de uma definição teórica de Geossistema proposto por Bertrand (1972).....	36
Figura 02 - Diagrama mostrando os três elementos principais da paisagem.....	38
Esquema 01 - Esquema para análise da paisagem a partir da classificação de Bertrand (1972).....	40
Figura 03 - Níveis de análise espaço-estrutural da paisagem.....	48
Figura 04 - Espectro Eletromagnético.....	50
Figura 05 - Interação da energia solar com a folha.....	55
Figura 06 - Comportamento espectral da vegetação verde e saudável.....	56
Figura 07 - Estrutura celular da folha.....	57
Figura 08 - Imagem NDVI gerada a partir de dados do satélite NOAA, do período entre 01 a 15 de março de 2012.....	63
Figura 09 - Imagem Landsat TM 5 em composição 3B4R5G, desmembrada em três componentes (solo, sombra e vegetação).....	65
Mapa 01 - Localização do município de Belterra, Estado do Pará.....	74
Gráfico 01 - Evolução da população rural e urbana do município de Belterra.....	80
Gráfico 02 - Evolução da população rural e urbana residente no Estado do Pará entre 1970 e 2007.....	80
Gráfico 03 - Evolução da área plantada das principais culturas temporárias no município de Belterra entre 2002 e 2010.....	85
Gráfico 04 - Dinâmica do desmatamento nos municípios de Belterra e Santarém (2000-2011).....	88
Gráfico 05 - Evolução da área plantada de soja no Estado do Pará.....	89
Mapa 02 - Dinâmica da paisagem no município de Belterra (PA) entre 1997 e 2010.....	91
Gráfico 06 - Análise estatística das imagens.....	92
Mapa 03 - Localização da área de estudo.....	102
Mapa 04 - Localização da APA-Aramanaí, Belterra (PA)	104
Mapa 05 - Fitoecológico da área de estudo.....	111
Mapa 06 - Altimetria da área de estudo.....	112

Mapa 07 – Mapa de Unidades de Paisagem da área de estudo.....	119
Gráfico 07 - Unidades espacialmente representativas na área de estudo em 2010 por ordem decrescente.....	123
Mapa 08 - Localização das unidades de paisagem com cobertura vegetal.....	131
Figura 10 - Configuração do Método Quadrante.....	133
Figura 11 - Situação geográfica da unidade Floresta secundária sem palmeira (Fssp).....	134
Gráfico 08 - Curva espécie-área das unidades de paisagem.....	137
Figura 11 - Validação dos modelos de regressão ($Biomassa_{Obs}$ x $Biomassa_{Est}$).....	146
Gráfico 09 - Distribuição da biomassa por classe diamétrica.....	152
Gráfico 10 - Distribuição da biomassa total por unidade de paisagem.....	153
Gráfico 11 - Percentual dos estoques de carbono individual e total por UP.....	155
Mapa 09 - Distribuição espacial de carbono florestal acima do solo presente na área de estudo.....	157

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 01 - Instalações da Prefeitura Municipal de Belterra.....	78
Fotografia 02 - Padrão residencial do município de Belterra.....	78
Fotografia 03 - Terminal Graneleiro da Cargill no município de Santarém-PA.....	83
Fotografia 04 - Área desmatada da floresta para o plantio de soja/ Santarém-PA.....	86
Fotografia 05 - Rodovia Estadual PA-443, Belterra (PA).....	87
Fotografia 06 - Campo de soja às proximidades das instalações de estocagem às margens da PA-443, Belterra (PA).....	90
Fotografia 07 - Campo de soja, Belterra (PA).....	103
Fotografia 08 - Igarapé do Encanto: 1) durante a estação chuvosa (Junho); 2) durante a estação seca (Outubro).....	105
Fotografia 09 - Floresta de Alto Platô, Flona Tapajós (PA)	106
Fotografia 10 - Floresta Tropical Baixo Platô, Comunidade São Domingos, Flona Tapajós (PA).....	106
Fotografia 11 - Zona de transição ecológica, Vila de Aramanaí, Belterra (PA).....	106
Fotografia 12 - Trecho de floresta secundária, Flona Tapajós (PA).....	107
Fotografia 13 - Uso urbano às proximidades da PA-433, Belterra (PA).....	107
Fotografia 14 - Pastagem identificada ao longo da PA-433, Belterra (PA).....	108
Fotografia 15 - Área desmatada- corte raso, Belterra (PA).....	108
Fotografia 16 - Área de cultivo agrícola, município de Belterra (PA).....	109
Fotografia 17 -Porção de solo exposto ao longo da PA-433, município de Belterra (PA)	109
Fotografia 18 - Quadrante usado durante o inventario.....	135
Fotografia 19 - Síntese esquemática das etapas do inventário.....	136
Fotografia 20 - Presença de babaçus em meio à floresta densa de Alto Platô.....	147
Fotografia 21 - Perspectiva zenital da estrutura da floresta de Alto Platô.....	148
Fotografia 22 - Visão oblíqua da estrutura vertical da Floresta de baixo Platô.....	149
Fotografia 23 - Características das espécies encontradas na área de tensão ecológica...	150
Fotografia 24 - Roçado abandonado em meio à floresta em regeneração.....	150

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Etapas do desenvolvimento da Ecologia da Paisagem.....	28
Quadro 02 – Sistema de classificação da paisagem proposto por Bertrand (1972).....	39
Quadro 03 – Variáveis biofísicas e híbridas.....	52
Quadro 04 – Evolução da população rural e urbana residente no Estado do Pará entre 1970 e 2007.....	81
Quadro 05 – Estoque de emprego segundo setor de atividade econômica (1999-2010).....	81
Quadro 06 – Quadro 06- Área ocupada pelas UPs identificadas na área de estudo (2010).....	122
Quadro 07 – Correlação entre o volume e as variáveis digitais.....	141
Quadro 08 – Modelos de regressão testados e ajustados para o cálculo de biomassa.....	143
Quadro 09 – Biomassa das árvores e palmeiras com $DAP \geq 10$ cm por unidade de paisagem.....	151
Quadro 10 – Biomassa total por unidade de paisagem.....	153
Quadro 11 – Estoques de carbono total por unidade de paisagem.....	154

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 - Radiância.....	51
Equação 02 - Fotossíntese.....	54
Equação 03 - NDVI.....	62
Equação 04 - Modelo Linear de Mistura Espectral.....	64
Equação 05 - Modelo para estimar biomassa em Floresta Primária.....	68
Equação 06 - Modelo para estimar biomassa em Floresta Secundária.....	68
Equação 07 - Cálculo da área de um polígono.....	121
Equação 08 - Modelo volumétrico.....	137
Equação 09 - Equação NDVI.....	139
Equação 10 - Razão entre bandas.....	139

LISTA DE SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
ARVI	<i>Atmospherically Resistant Vegetation Index</i>
AS-PRS	<i>American Society for Photogrammetry and Remote Sensing</i>
B	Biomassa
C	Carbono
CAP	Circunferência a altura do peito (1,30m)
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CPT	Comissão Pastoral da Terra
DAP	Diâmetro a altura do peito (1,30m)
DGI	Divisão de Geração de Imagens
DOS	<i>Dark Object Subtraction</i>
DSA	Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ERT	Estabelecimento Rural do Tapajós
ERTS	<i>Earth Resources Technology Satellite</i>
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
Fap	Floresta de alto platô
Fbp	Floresta de baixo platô
FNT	Floresta Nacional do Tapajós
Fssp	Floresta secundária sem palmeira
FTA	Floresta Tropical Aberta
FTD	Floresta Tropical Densa
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEMI	<i>Global Environmental Monitoring Index</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
Gt C	Gigatonelada de carbono
Ha	Hectares
Ht	Altura total
IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
ICMBIO	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IV	Índice de Vegetação
IVP	Infravermelho próximo
Km ²	Quilômetros quadrados
LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
m ²	metros quadrados
MCGA	Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
MDT	Modelo Digital do Terreno
MLME	Modelo Linear de Mistura Espectral
MODIS	<i>Moderate Resolution Spectroradiometer</i>
N ₂ O	Óxido Nitroso
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administratio</i>
ND	Número Digital
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation</i>
nm	Nanômetro (1×10^{-9})
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
ONR	Office of Research
PRMA	Planalto Rebaixado do Médio Amazonas
PRODES	Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite
PTX	Planalto Tapajós-Xingu
PVI	<i>Perpendicular Vegetation Index</i>
RADAM	Radar da Amazônia
RFAA	Radiação Fotossintética Ativa Absorvida
SAD-69	<i>South American Datum-1969</i>
SAVI	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>
SF ₆	Hexafluoreto de Enxofre
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TEc	Tensão Ecológica
THE	<i>Total Human Ecosystem</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UC	Unidade de Conservação
UMV	Uniformização das Médias e Variâncias
UP	Unidade de Paisagem
UTM	<i>Universal Transversa de Mercato</i>
VegSec	Vegetação Secundária
µm	Micrômetro (1×10^{-6} m)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	18
1.1 APRESENTAÇÃO.....	19
2 ASPECTOS TEÓRICOS METODOLÓGICOS DA ECOLOGIA DA PAISAGEM E SUA APLICABILIDADE NOS ESTUDOS DA VEGETAÇÃO	25
2.1 INTRODUÇÃO.....	26
2.2 ECOLOGIA DA PAISAGEM: ORIGEM E DESENVOLVIMENTO.....	26
2.2.1 O conceito de paisagem: do estático ao relacional	32
2.2.2 Enfoques e métodos de Análise da Paisagem	38
2.2.3 A unidade de paisagem	44
2.2.4 Métricas de quantificação da paisagem	46
2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E A ANÁLISE DA PAISAGEM.....	49
2.3.1 Características espectrais da vegetação	53
2.3.2 Principais índices de vegetação	58
2.3.3 Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME)	64
2.4 ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL À LUZ DA ECOLOGIA DA PAISAGEM.....	66
3 A DINÂMICA DA PAISAGEM NO MUNICÍPIO DE BELTERRA (PA) NO CONTEXTO DA AGRICULTURA MECANIZADA	70
RESUMO.....	71
ABSTRACT.....	72
3.1 INTRODUÇÃO.....	73
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	73
3.2.1 Área de estudo	73
3.2.2 Processamento das imagens de satélite	75
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
3.3.1 O município de Belterra: origem e formação	76
3.3.2 A relação entre a agricultura de grãos e mudança da paisagem no planalto	82

santareno.....	
3.3.3 A dinâmica da paisagem no município de Belterra no contexto de expansão da soja.....	86
3.4 CONCLUSÕES.....	93
4 USO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO NA DISCRIMINAÇÃO DE UNIDADES DE PAISAGEM COMO SUPORTE A ANÁLISE ESPACIAL.....	95
RESUMO.....	96
ABSTRACT.....	97
4.1 INTRODUÇÃO.....	98
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	99
4.2.1 O uso integrado de dados geo-espaciais na investigação da paisagem.....	99
4.2.2 Localização da área de estudo.....	101
4.2.3 Reconhecimento em campo das Unidades de Paisagem.....	105
4.2.4 Geração do Mapa de Unidades de Paisagem.....	110
4.2.4.1 Material Cartográfico.....	110
4.2.4.2 Processamento e padronização dos dados cartográficos.....	110
4.2.5 Processamento digital.....	113
4.2.5.1 Classificação digital.....	114
4.2.5.2 Aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME).....	116
4.2.5.3 Classificação a partir da segmentação da imagem fração sombra.....	116
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	117
4.3.1 O Mapa de Unidades de Paisagem: um suporte ao reconhecimento dos padrões espaciais.....	117
4.3.2 Análise métrica das Unidades de Paisagem.....	121
4.4 CONCLUSÕES.....	124
5 ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO NA AMAZÔNIA A PARTIR DA ESCALA DA PAISAGEM E DE TÉCNICAS INDIRETAS DE QUANTIFICAÇÃO.....	125
RESUMO.....	126
ABSTRACT.....	127
5.1 INTRODUÇÃO.....	128

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	130
5.2.1 Unidades de paisagem: características e localização.....	130
5.2.2 Estimativas de biomassa.....	132
5.2.2.1 Inventário Florestal.....	132
5.2.2.2 Modelagem Estatística.....	138
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	143
5.3.1 Estimativas de biomassa por métodos indiretos.....	143
5.3.2 Características fitofisionômicas das UPs: reconhecendo a heterogeneidade em campo.....	147
5.3.3 Biomassa quantificada nas UPs.....	151
5.3.4 Estoque de carbono nas UPs.....	154
5.3.4.1 Distribuição espacial dos estoques de carbono.....	156
5.4 CONCLUSÕES	158
6 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	160
REFERÊNCIAS.....	166

1 INTRODUÇÃO GERAL

1.1 APRESENTAÇÃO

A sociedade moderna tem como uma de suas principais características o desenvolvimento tecnológico e científico, alcançado a partir da exploração intensiva dos recursos naturais. Entre as principais consequências desse processo destaca-se, não por acaso, o aumento da temperatura média do planeta ocasionado pela duplicação da quantidade de Gases de Efeito Estufa (GEE) - como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O) e o hexafluoreto de enxofre (SF_6) (TAVARES, 2004).

Estudos revelam que a temperatura da superfície global tem aumentado aproximadamente $0,2^\circ\text{C}$ por década nos últimos 30 anos, o que é similar a taxa de aquecimento verificada na década de 80 no início das simulações por modelos computacionais, que incluíam mudanças transitórias de gases de efeito estufa (HANSEN et al., 2006).

Esse processo denominado Aquecimento Global tornou-se o principal problema ambiental no período atual, ameaçando a existência de vários ecossistemas terrestres, principalmente os ecossistemas tropicais¹. Segundo o quarto relatório do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC), no caso do dióxido de carbono, o aumento global desse gás ocorre principalmente pelo uso de combustíveis fósseis e pela mudança no uso do solo. Para a comunidade científica em geral, ainda há muitas incertezas quanto aos valores estimados, porém o fato é que desde a primeira Revolução Industrial, iniciada no século XVIII, a concentração de CO_2 foi crescente. Estima-se que durante o período de 1850 a 1986, 195 ± 20 GtC foram liberados pela queima de combustíveis fósseis e 117 ± 35 GtC pelo desflorestamento e mudanças no uso da terra, para um total de carbono transportado pelo ar de 312 ± 40 GtC (WATSON et al., 1990 apud HARTMANN, 2008).

Esse cenário despertou ainda mais a atenção para as florestas tropicais, em virtude do papel das mesmas na ciclagem de carbono, ao desempenharem uma dupla função: fonte e sumidouro de CO_2 . Nesse contexto, a Floresta Amazônica possui um papel de destaque por ser a maior floresta tropical do mundo, com uma área total de aproximadamente 7 milhões de

1 Para PUIG (2008), se as mudanças climáticas têm algum impacto sobre os sistemas tropicais, isso ocorre no funcionamento e estrutura dos mesmos, porém ainda faltam estudos precisos para compreender os mecanismos desses impactos, dada a complexidade do funcionamento dos ecossistemas tropicais úmidos.

km², representando 56% das florestas tropicais da Terra (MANZI, 2008). Além disso, a mesma se configura atualmente como a principal fonte de propagação de CO₂ em virtude da queima e desmatamento da cobertura florestal, pois estima-se que este bioma libere entre 1,7 a 2,2 Pg Carbono ano⁻¹, e em contrapartida atua ao mesmo tempo como um importante sumidouro desse elemento, conforme demonstraram uma série de estudos sobre o papel das florestas tropicais no ciclo do carbono, conforme afirma Nobre (2001). Para Manzi (2008), a floresta amazônica conta com um estoque de carbono de aproximadamente 100 bilhões de toneladas, equivalente a cerca de 14 vezes as emissões anuais globais pela utilização de combustíveis fósseis.

Em função desses aspectos, compreender a dinâmica do carbono nesse rico e complexo bioma torna-se cada vez mais necessário, principalmente por causa da velocidade do processo de conversão da floresta em madeira, via desmatamento, e em áreas para agricultura e pastagem, que produzem emissões significativas de gases de efeito estufa e também porque:

[...] O valor potencial desse impacto quando evitado é muito maior que o valor que pode ser ganho através dos usos da terra tradicionais, que são baseados na destruição da floresta, tais como a pecuária bovina e a venda da madeira (FEARNSIDE, 2008, p.41).

De acordo com Fisch (2001), vários Modelos Numéricos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA), voltados ao estudo da interação floresta-clima, considerando os efeitos do desmatamento na região, sugerem que ocorrerá um aumento da temperatura do ar próximo à superfície, variando de 0,6°C a 2,0°C, que levará a redução nos totais de precipitação e evaporação e uma estação seca mais prolongada. Tais resultados se confirmados acarretarão implicações ecológicas importantes na região, que tem na dinâmica das águas um importante regulador dos processos ecológicos (FISCH, 2001).

No caso dos ecossistemas de florestas tropicais como um todo, é importante assinalar que perturbações provocadas pela queima e desmatamento da floresta, acarretam consequências em curto prazo na circulação atmosférica local, com a redução da precipitação e prolongamento dos períodos secos, favorecendo, assim, a progressão de incêndios naturais e

antrópicos. No caso de áreas com ausência de antropismo, em longo prazo, a floresta pode transformar-se em savana (cerrado) (PUIG, 2008).

Entretanto, os modelos projetados para analisar as possíveis consequências das mudanças climáticas sobre a floresta amazônica, ainda apresentam muitas incertezas, sobretudo no que tange aos efeitos do aumento de CO₂ nas plantas. Além disso, desconsideram a heterogeneidade ecossistêmica da vegetação, cuja fisiologia e morfologia provêm importantes informações sobre as características climáticas, edáficas, geológicas e fisiográficas de uma área (JACKSON; JENSEN, 2005 apud JENSEN, 2009).

Dessa forma, o desenvolvimento, bem como o aprimoramento de técnicas e metodologias de quantificação de carbono para uma área tão extensa e heterogênea como a Amazônia se tornam necessárias, sobretudo para o entendimento da função desse domínio no ciclo global do carbono, bem como dos reais impactos da derrubada da floresta no ciclo desse elemento, a partir da redução da cobertura florestal. Para Puig (2008), é fundamental conhecer as concentrações de dióxido de carbono na floresta, tanto de maneira global quanto em nível do dossel e do sub-bosque, já que este fator interage seja no clima global, seja no nível do microclima florestal. Ainda conforme o autor, para a floresta o papel do CO₂ é essencial, pois os fluxos de carbono podem ser utilizados para estimar a produtividade primária desses ambientes.

No que tange a escala do microclima, o entendimento dos processos em discussão implica a seleção de recortes espaciais em escala local, ou seja, uma redução da área investigada para uma melhor compreensão dos processos intrínsecos com maior riqueza de detalhes. Na literatura, ainda é recente esforços no sentido de utilizar outros níveis escalares de análise na quantificação dos estoques de biomassa e carbono florestal. Assim, destaca-se a abordagem metodológica da Ecologia da Paisagem como uma possibilidade quali-quantitativa para análise do estoque de carbono na Amazônia, a partir da escala da paisagem.

A Ecologia da Paisagem segundo Rodriguez et al. (2007), pode ser compreendida como uma abordagem que oferece subsídios metodológicos e procedimentos técnicos de investigação, ampliando a análise do meio natural. Por estar fundamentada na avaliação do potencial dos recursos naturais, permite a formulação de estratégias e de táticas de otimização do uso e manejo adequado da função e operação da paisagem no tempo e no espaço.

Por conter um escopo metodológico de base quantitativa, a Ecologia da Paisagem, através de seus conceitos e métricas, pode ser usada como referencial teórico para a compreensão de processos biogeoquímicos. No caso dos estudos que envolvem a cobertura da vegetação, a mesma pode ser incorporada aos métodos não-destrutivos de análise desse elemento, no que tange a produção de biomassa e estoque de carbono. Isso porque o emprego desses métodos a partir de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento exige a identificação, delimitação e cálculo de áreas referentes aos tipos e classes de uso e cobertura da terra. Procedimentos trabalhados nessa abordagem a partir do conceito de estrutura da paisagem, conceito este que está explicitamente apoiado na observação espacial e no processamento de informações geográficas.

A compreensão dessa diversidade de fatores é fundamental às discussões sobre a importância da floresta tropical amazônica como reserva de carbono terrestre num cenário de alteração climática. Pode-se observar, de um modo geral, que no conjunto dessas discussões a Amazônia é apresentada como um domínio homogêneo e não fragmentado, o que leva a distorções na mensuração do estoque de carbono contido na floresta, já que esta abriga ecossistemas bastante diferenciados entre si, embora inter-relacionados, o que não é considerado na maioria dos trabalhos que investigam o ciclo de CO₂ na região. Além disso, pouco se considera os ecossistemas modificados, isto é, aqueles onde a ação antrópica alterou a dinâmica natural dos elementos biótico e abióticos, e que compõem a paisagem regional e, por isso precisam ser levados em consideração, já que a região apresenta muitas áreas em estado de degradação em diferentes níveis de regeneração.

No bojo desse debate, o presente trabalho partiu das seguintes questões:

- Por que considerar a diversidade existente no ambiente florestal na quantificação dos estoques de biomassa e carbono?
- De que forma a abordagem Ecologia da Paisagem pode ser eficaz, enquanto referencial teórico-metodológico, nas discussões a cerca dos estoques dos parâmetros em questão?
- Como a adoção de novas escalas de quantificação de carbono pode contribuir na mitigação das mudanças climáticas e no entendimento das possíveis consequências desse fenômeno na região amazônica?

Pensar a Amazônia nesse contexto, e projetar cenários como um mecanismo para subsidiar a tomada de decisão, implica buscar novas metodologias e técnicas de pesquisas que possam auxiliar a análise integrada de fatores ambientais e antrópicos, tanto de forma qualitativa quanto quantitativa e em outras escalas. Estas precisam, quando possível, considerar as áreas de floresta já alterados na região, de forma a subsidiar o planejamento e o uso desses espaços. De acordo com Pereira e Vieira (2001), grande parte das áreas intituladas degradadas, corresponde a florestas em recuperação, portanto, de alto valor social, econômico e ecológico.

Assim, diante da importância da temática hoje e da necessidade constante de produzir conhecimento sobre a imensa floresta, já que o desmatamento parece ser inevitável, responder essas e outras questões torna-se essencial para a diminuição das incertezas quanto às consequências das modificações do clima nos ecossistemas florestais da Amazônia e para o conhecimento dos processos ecológicos neste domínio.

Desse modo, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar e compreender a variabilidade existente na floresta no que tange aos estoques de biomassa e carbono florestal acima do solo, a partir da identificação e caracterização, com base em técnicas de sensoriamento remoto, de unidades de paisagem em uma área situada no município de Belterra, região oeste do Estado do Pará, a partir da matriz teórico-conceitual da abordagem da Ecologia de Paisagem. E como objetivos específicos:

- Analisar e discutir o emprego do referencial teórico-metodológico da Ecologia da Paisagem na produção de dados e informações de parâmetros biofísicos da vegetação;
- Identificar e caracterizar diferentes unidades de paisagem na área de estudo;
- Observar a distribuição espacial dos estoques de biomassa e carbono por unidade de paisagem;
- Discutir a importância da adoção de outros níveis escalares ou hierárquicos na obtenção de estimativas de carbono na região amazônica como forma de

observar a heterogeneidade interna da floresta e com isso a obtenção de modelos quali-quantitativos.

Para tanto, emprega-se um conjunto de técnicas e métodos de pesquisa composto por levantamento de dados em campo, o que inclui a realização de inventário florestal amostral, processamento de dados orbitais, desenvolvimento de modelos estatísticos, geração de produtos temáticos e aplicação de métricas de análise da paisagem, principalmente.

O trabalho foi dividido em quatro capítulos, seguidos por uma consideração geral. No segundo capítulo, *Aspectos teórico-metodológicos da Ecologia da Paisagem e sua aplicabilidade nos estudos da vegetação*, que constitui a fundamentação teórica do mesmo, realiza-se uma análise da abordagem Ecologia da Paisagem, da sua gênese ao desenvolvimento, e dos conceitos e enfoques pertinentes a esse ramo do saber. Nesse momento analisa-se também a relação entre o sensoriamento remoto e a análise da paisagem, com ênfase nas técnicas de transformação radiométrica, denominadas índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral.

No capítulo seguinte, *A dinâmica da paisagem no município de Belterra (PA) no contexto da agricultura mecanizada*, faz-se uma análise das transformações imprimidas na paisagem nesse município, localizado na região oeste do estado do Pará, ao longo dos anos de 1997, 2005 e 2010, período este em que houve a expansão da atividade sojifera na região, que entre os principais impactos vem ocasionando a fragmentação da floresta.

O quarto capítulo, *Uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na discriminação de unidades de paisagem como suporte a análise espacial*, traz uma discussão acerca da aplicação dos métodos e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na delimitação de unidades de paisagem, considerando os diferentes tipos de uso e cobertura da terra, existentes na área investigada.

Por fim, no quinto capítulo, *Estimativas de biomassa e carbono na Amazônia a partir da escala da paisagem e técnicas indiretas de quantificação*, partindo da escala das unidades de paisagem e de métodos indiretos na quantificação de biomassa florestal, quantifica-se o estoque de carbono em cada unidade, correlacionando os valores obtidos com as características estruturais da floresta.

**2 ASPECTOS TEÓRICO-
METODOLÓGICOS DA ECOLOGIA
DA PAISAGEM E SUA
APLICABILIDADE NOS ESTUDOS
DA VEGETAÇÃO**

2.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta a revisão da literatura dos principais tópicos de interesse para esta tese. Primeiramente, apresenta-se a abordagem ecologia da paisagem, seus principais pressupostos e categorias de análise. Em sequência, discuti-se também a contribuição do sensoriamento remoto nos estudos da paisagem com destaque para as técnicas aplicadas a análise da vegetação: Índice de Vegetação e Modelo Linear de Mistura Espectral. Além disso, realiza-se uma breve revisão dos métodos de quantificação de biomassa e carbono no bojo da perspectiva teórico-metodológica da ecologia da paisagem.

2.2 ECOLOGIA DA PAISAGEM: ORIGEM E DESENVOLVIMENTO

A racionalidade econômica da cultura ocidental pautada no uso intensivo dos recursos naturais culminou na degradação do meio natural e, conseqüentemente, na insustentabilidade do nosso planeta. O contexto socioambiental formado a partir dessa relação exigiu, e vem exigindo, uma visão integrada dos problemas ambientais no âmbito das suas múltiplas relações ecológicas com fatores políticos, sociais e econômicos. Pautada no estudo dessas relações surge um novo ramo do saber, denominada Ecologia da Paisagem.

Diferentemente da Ecologia tradicional (ou Ecologia Evolutiva) que tem no estudo das inter-relações verticais entre os ecossistemas o seu foco central de análise, a Ecologia da Paisagem centra-se no estudo das inter-relações horizontais entre as diversas unidades espaciais e nas relações verticais intrínsecas a essas unidades (RAVAN; ROY, 1995 apud SOARES FILHO, 1998).

A Ecologia da Paisagem constitui uma nova área do conhecimento dentro da Ecologia, marcada pela existência de duas abordagens: uma geográfica e outra ecológica. A primeira privilegia o estudo da influência do homem sobre a paisagem e a gestão do território, e a segunda enfatiza o papel do contexto espacial sobre os processos ecológicos e sua importância em termos de conservação biológica (METZGER, 2001).

Numa perspectiva contemporânea, a Ecologia da Paisagem pode ser definida, assim, como uma abordagem holística que envolve o estudo dos padrões da paisagem, das interações entre os elementos que compõem este padrão, e como as múltiplas interações

modificam-se ao longo do tempo. Ela surge no final dos anos 1930, quando o geógrafo Carl Troll observou que todos os métodos de ciência natural estavam aprisionados no âmbito da ciência da paisagem (ODUM; BARRETT, 2008). Inicialmente, pela forte influência da Geografia Humana e da Biogeografia, o enfoque desse ramo do saber concentrou-se na percepção, uso e ordenamento do espaço de vida do homem (PIVELLO; METZGER, 2007).

Foi somente a partir da década de 1960 que essa nova área do conhecimento se tornou amplamente reconhecida na Europa Central, através da definição apresentada por Troll, que também cunhou o termo Geoecologia (CHRISTOFOLETTI, 1999), durante a reunião da Associação Internacional da Ciência da Vegetação realizada em 1963. Neste momento Troll apresentou a ecologia da paisagem, de acordo com o conceito de ecossistema de Tansley, como o “estudo do complexo inteiro da rede de causa-efeito entre as comunidades vivas e suas condições ambientais que predominam em um setor da paisagem” (TROLL, 1968 apud ODUM; BARRETT, 2008, p. 375). Em outras palavras, Troll considerava que as paisagens geográficas eram resultado de uma inter-relação ecológica (PORTO; MENEGAT, 2004). Essa perspectiva considerava também as paisagens culturais e os aspectos sócio-econômicos (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Na década de 1980, a ecologia da paisagem foi introduzida na América do Norte através de Gary W. Barrett que, na época, Diretor do Programa de Ecologia da Fundação Nacional da Ciência, recomendou fundos para um seminário realizado em Illinois em abril de 1983. A partir deste encontro, que serviu como catalisador, iniciam-se as reuniões anuais da Associação Internacional da Ecologia da Paisagem (IALE) dos Estados Unidos (ODUM; BARRETT, 2008, p. 376). Inaugurando-se, assim, a Escola Norte-americana de Ecologia da Paisagem que diferente da escola europeia, exclui o homem das análises da paisagem, a ênfase é dada aos aspectos naturais como solo, relevo, clima e hidrografia, por exemplo. (FORMAN, 1995). Segundo Metzger (2001), essa nova perspectiva foi inicialmente influenciada pela ecologia de ecossistemas, modelagem e análise espacial. Um clássico desse período foi à obra de Richard T. T. Forman e Michael Godron, publicada em 1986, intitulada *Landscape Ecology*.

No caso da escola europeia, que tem como um dos seus principais representantes Neef (1967), Haase (1990), Richling (1994) e Naveh & Lieberman (1994), o ser humano é o centro das questões. Nessa perspectiva a Ecologia da Paisagem é entendida como um

instrumento de planejamento, conservação e manejo da paisagem. Assim, o foco é na interação entre a sociedade humana e seu espaço de vida, natural e construído (NAVEH; LIEBERMAN, 1994).

Observa-se, porém, que apesar da distinção clara entre as duas escolas de pensamento, os estudos atuais tendem a trabalhar de forma integrada com as duas abordagens mesmo que de forma sutil, embora haja certa predominância de trabalhos com a perspectiva norte-americana. Em nossa concepção, mesmo que o enfoque do estudo seja nos processos naturais, não há como desconsiderar as influências antrópicas nesses processos, já que a compreensão dos mesmos torna-se relevante, à medida que permitem compreender a sua importância e o seu grau de fragilidade frente às atividades humanas.

De acordo com Rodriguez et al. (2007), a Ecologia da Paisagem percorreu pelo menos seis etapas durante o seu desenvolvimento, as quais podem ser visualizadas no quadro 1, abaixo:

Quadro 1- Etapas do desenvolvimento da Ecologia da Paisagem

ETAPAS	PERÍODO	CONTEXTO
Gênese	1850-1920	Surgimento das primeiras ideias físico-geográficas sobre a interação dos fenômenos naturais e as primeiras formulações da paisagem como noção
Desenvolvimento Biogeomorfológico	1920-1930	A partir da influência de outras ciências, desenvolve-se a noção de interação entre os componentes da paisagem.
Estabelecimento da concepção físico-geográfica	1930-1955	Refere-se ao desenvolvimento dos conceitos de diferenciação em pequena escala da paisagem.
Análise estrutural-morfológica	1955-1970	Nesse período a atenção volta-se para a análise dos problemas de nível regional e local (Taxonomia, Classificação e Cartografia).
Análise funcional	1970- até os dias atuais	Introduz-se os métodos sistêmicos e quantitativos e desenvolvida a Ecologia da Paisagem
Integração geocológica	1980-até os dias atuais	A partir desse momento o foco é na inter-relação dos aspectos estrutural-espacial e dinâmico-funcional das paisagens e a integração e uma mesma direção científica das concepções biológicas e geográficas sobre as paisagens.

Fonte: Adaptado de Rodriguez et al.(2007).

A última etapa, denominada Integração Geoecológica que se inicia a partir da década de 1980, também incorpora a etapa anterior, Análise Funcional. Desde esse período foi crescente a percepção de que o reconhecimento da hierarquia dos níveis de organização, visando a melhor compreensão da estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, não deve ater-se somente aos níveis abaixo do mesmo, mas também e progressivamente, nos níveis acima dos ecossistemas, como a paisagem, a ecorregião ou o bioma (ODUM; BARRETT, 2008).

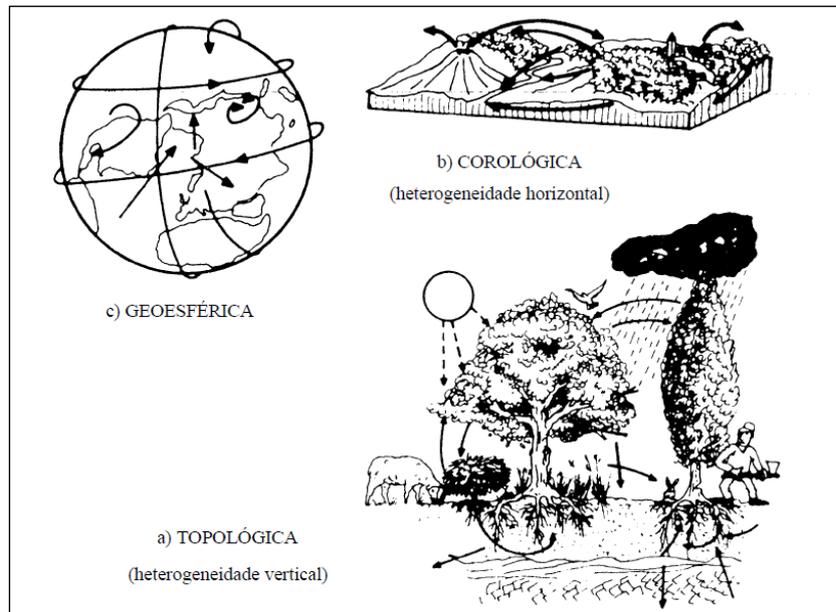
Na concepção de Porto e Menegat (2004, p. 363), “o escopo fundamental dessa nova área do conhecimento é formar um elo entre os sistemas natural e humano, incluindo as atividades agrícolas e urbanas que mudam continuamente a paisagem”. Ainda conforme os autores, um dos principais conceitos da Ecologia da Paisagem e que a torna uma disciplina de alto poder integrativo é o de Ecossistema Humano Total = *Total Human Ecosystem* (THE). Este conceito permite o mais alto nível de integração ecológica entre a ecosfera e a inserção humana no espaço-tempo da paisagem global. Pressupõe o homem como parte integrante da hierarquia dos níveis de organização na natureza, posicionado acima dos ecossistemas de acordo com escala vertical ecológica, e assim o mesmo deixa de ser algo externo a ela, passando a fazer parte da hierarquia ecológica global (NAVEH, 2000). O autor em questão vai para além e compreende que o conceito de Ecossistema Humano Total permite pensar numa coevolução positiva entre sociedade e natureza, a partir de uma perspectiva holística e transdisciplinar, que exige acima de tudo uma mudança de percepção por parte da sociedade. Incluir a sociedade e todos os processos intrínsecos à mesma como um nível ecológico significa muito mais que uma mudança de postura do homem em relação à natureza, mas também o resgate de uma institucionalidade perdida, sobretudo a partir da primeira revolução industrial, onde esses dois entes interagiam proporcionalmente. Segundo Naveh (2000), a partir desse momento, começam surgir novas paisagens em nível global, denominadas tecnoesferas.

Assim, a Ecologia da paisagem abrange a complexa interação entre pessoas e natureza e seus efeitos recíprocos sobre a paisagem. Essa abordagem considera ainda o desenvolvimento e a dinâmica da heterogeneidade espacial, tendo em vista que a superfície terrestre não é homogênea, a mesma apresenta uma diversidade de formações (paisagens),

geradas por processos naturais e moldadas em consequência dos processos sociais, econômicos, políticos e culturais.

Para Zonneveld (1989), a heterogeneidade pode ser observada pelo menos em três níveis, considerando a dimensão ecológica: topológica, corológica e geoesférica (Figura 01). Esses níveis são compatíveis com as escalas local, regional e planetária, respectivamente, no que tange à dimensão espacial.

Figura 01- Heterogeneidade espacial em escala vertical.



Fonte: Zonneveld (1989).

A superfície geográfica do Planeta Terra corresponde ao nível planetário. O nível regional refere-se às paisagens de grande extensão territorial que se distingue pela manifestação direta de suas características morfológicas, edáficas e funcionais, tais como os domínios, cerrado e Amazônia, por exemplo. O nível local (ou topológico) constitui a menor área, que além dos fatores planetários e regionais da diferenciação espacial, leva em conta os resultados do autodesenvolvimento interno próprio dos geossistemas (RODRIGUEZ et al., 2007).

Segundo Wiens (2005 apud PIVELLO; METZGER, 2007), a Ecologia da Paisagem enfatiza a importância da heterogeneidade espacial e da escala de observação no entendimento dos processos ecológicos, em particular naqueles que determinam o padrão de ocorrência e abundância dos organismos. Desta forma esta área do conhecimento traz uma nova perspectiva aos estudos ecológicos, principalmente, por ressaltar a importância de estudos integradores, que considera a inter-relação múltipla dos elementos que compõem um todo sistêmico existentes num determinado recorte espacial.

Embora, a ecologia da paisagem tenha suas origens no século XX, foi apenas a partir das últimas décadas que seus princípios, conceitos e mecanismos emergiram com sólida base teórica para o entendimento de padrões, processos e interações ao nível da paisagem (ODUM; BARRETT, 2008). Sabe-se que o método ainda possui algumas lacunas, porém a perspectiva holística que compõem a essência desse campo do saber, possibilita o estudo integrado dos elementos do meio, incluindo a ação do homem. Em virtude desses princípios, a ecologia da paisagem não se limita a uma análise apenas quantitativa, ao investigar problemas relacionados à fragmentação de comunidades, distribuição da biodiversidade, importância da dinâmica dos sistemas fonte-sumidouro, taxas de trocas bióticas entre os ecossistemas e desenvolvimento socioambiental, por exemplo, torna-se também uma ciência aplicada com forte capacidade preditiva, portanto, qualitativa.

Para Pivello e Metzger (2007) em virtude do seu caráter integrador e origem recente, a Ecologia da Paisagem ainda encontra-se num momento de organização e solidificação de conceitos. Apesar dos grandes avanços, ela chega ao século XXI ainda com a necessidade de definir seus principais caminhos e prioridades e de testar e refinar sua base conceitual (WU; HOBBS, 2002; TURNER et al., 2004).

Entretanto, Metzger (2001) afirma que, no âmbito de uma perspectiva aplicada, a Ecologia da Paisagem pode contribuir de forma objetiva na mitigação dos problemas ambientais oriundos do uso inadequado do ambiente natural pela ação antrópica, tais como fragmentação de habitat, poluição das águas e solo, desmatamento e mudanças climáticas. Para o autor, desconsiderar o homem, é desconsiderar a origem dos problemas ambientais, desse modo, qualquer ação para ser eficaz de fato, no que tange à compatibilização do uso da terra com a sustentabilidade ambiental, precisa considerar essa variável e o seu contexto sócio-espacial de uso e modificação da paisagem. Como exemplo de estudos aplicados nessa

direção, citam-se os trabalhos de: Refosco (1996), Hiura (2005) e Makhnev e Makhneva (2010).

Contudo, a compreensão do potencial da abordagem em questão nos estudos relativos à interação homem-natureza perpassa pelo entendimento do conceito de paisagem, cuja complexidade em torno de sua própria definição e desenvolvimento enquanto categoria científica merece uma análise mais detalhada.

2.2.1 O conceito de paisagem: do estático ao relacional

A paisagem tem sido muito discutida ao longo dos últimos anos por uma gama diversificada de autores, que no geral relacionam a origem do termo a períodos mais clássicos de sua interpretação evoluindo para concepções mais modernas até o conceito atual baseado em uma perspectiva integrada (GUERRA; MARÇAL, 2009). Atualmente, a paisagem tem se tornado para várias ciências (Geografia, Biologia, Agronomia e Ecologia, por exemplo), um recurso para o estudo da complexa relação entre homem e natureza, possibilitando tanto um entendimento global da natureza, quanto servindo de suporte a gestão e ao planejamento ambiental.

Durante o processo de construção e afirmação, o conceito de paisagem variou de uma abordagem estético-descritiva para abordagens mais científicas. A primeira abordagem teve como principais representantes os naturalistas que trabalhavam a natureza do ponto de vista de sua fisionomia e funcionalidade, e essa perspectiva perdurou até o início do século XX. A segunda refere-se a o desenvolvimento teórico conceitual, com a influência de outras ciências, até a sua definição enquanto objeto de estudo, perdurando até os dias atuais. Com base nas diferentes orientações teórico-metodológicas das escolas de Geografia Física, o desenvolvimento e a aplicação do conceito de paisagem foram construídos de forma diferenciada, sendo sua análise apoiada em diferentes horizontes epistemológicos (GUERRA; MARÇAL, 2009).

O uso do termo paisagem está relacionado com a palavra italiana *paesaggio*, empregada para designar as pinturas que retratavam a natureza, durante a Renascença, significando “o que se vê no espaço” (CHRISTOFOLETTI, 1999). Nessa perspectiva, a paisagem era apenas aparência, envolvendo assim a dimensão da percepção. Perceber a

paisagem implicava atribuir à mesma um valor, que poderia ser estético, cultural e simbólico, ou seja, envolvia uma dimensão subjetiva e ao mesmo tempo seletiva, pois se tratava de um “arranjo de objetos visíveis pelo sujeito por meio de seus próprios filtros, humores e fins” (BRUNET; FERRAZ; THERY, 1992 apud CHRISTOFOLETTI, 1999).

Assim, antes de ser tornar um conceito científico, a paisagem era entendida apenas como algo a ser contemplado, possuía um caráter mais pictórico e estático, e não se apresentava como um conteúdo científico, que justifica-se a sua investigação. Dessa forma, inicialmente o conceito de paisagem desenvolveu-se relacionado com o paisagismo e com a arte dos jardins.

De acordo com Christofolletti (1999), foi sob a perspectiva científica dos naturalistas alemães, iniciado no século XIX, que a paisagem tornou-se um conceito científico. Destaca-se, nesse momento, a contribuição de Alexandre Von Humboldt, que em sua expedição realizada entre 1799 a 1804, intitulada “Viagem às regiões equinociais”, observou a diferenciação espacial a partir dos aspectos da vegetação, ressaltando a fisionomia da paisagem. Com isso atribui-se a Humboldt o primeiro uso geográfico do conceito.

Nesse momento, a paisagem passa a ser considerada, principalmente sob a perspectiva territorial, como expressão espacial das estruturas realizadas na natureza e pelo jogo de leis cientificamente analisáveis. Nos primórdios do século XX, a obra de Siegfried Passarge intitulada *Fondements de Landschaftskunde*, publicada em 1904 marca a etapa inicial desse momento. Passarge apresenta novos conceitos através de uma análise mais global das formas de relevo, integrando-as em uma visão geográfica da paisagem a partir de um novo método baseado na cartografia geomorfológica (GUERRA; MARÇAL, 2009; CHRISTOFOLETTI, 1999).

Em virtude das raízes naturalistas na definição do conceito de paisagem, no âmbito da Ciência Geográfica, ocorre uma valorização das paisagens naturais, surgindo *a posteriori* adjetivações para estabelecer distinções entre paisagem natural e paisagem cultural. A fim de evitar análises dicotomizadas da paisagem, surgem proposições para reafirmá-la como um fenômeno global, dentre elas a de C. Sauer que em 1925 através da sua obra intitulada *The Morphology of Landscape*, definiu a paisagem como um organismo complexo, gerado pela associação específica de formas (físicas e culturais), apreendida pela análise morfológica, sendo o seu conteúdo formado pela combinação de elementos materiais e de

recursos naturais com as obras humanas, disponíveis em um determinado lugar. A paisagem foi utilizada por Sauer como um meio para estabelecer um conceito unitário para a Geografia, já que o objetivo era encontrar para essa ciência o seu lugar no campo do conhecimento. Deste modo, para Sauer (1998), a paisagem resultava das ações humanas sobre o espaço geográfico, sendo a cultura o agente, a área a condição material e a paisagem o produto. Assim, o homem vai imprimindo à paisagem a sua marca, moldando-a e a remoldando, segundo o seu momento histórico, pois a paisagem é criada por acréscimos e substituições, podendo ser entendida como um conjunto de objetos com diferentes idades (SANTOS, 1997).

Com o advento da Teoria Sistêmica, surge outro olhar sobre o conceito de paisagem, estabelecendo, assim, um novo horizonte epistemológico de análise, onde a paisagem passa a ser compreendida como um sistema dinâmico e integrativo dos componentes ambientais e sociais, formando a base fundamental dos princípios metodológicos da Ecologia da Paisagem, o que justifica o fato de que nessa abordagem a paisagem, em sua essência, sempre foi compreendida como produto da relação entre pessoas e natureza (CALOW, 1999 apud ODUM; BARRET, 2008). Para Turner et al. (2004) a Ecologia da Paisagem surge como uma ciência transdisciplinar, a partir de uma visão holística, espacial e funcional dos sistemas natural e cultural.

Desse modo, sob a influência da abordagem sistêmica, o conceito de paisagem deixa de lado o aspecto fisionômico, passando a incorporar as trocas de matéria e energia dentro do sistema (complexo físico-químico e biótico) (GUERRA; MARÇAL, 2009), adquirindo, assim, um caráter mais dinâmico e relacional. Para Tricart (1977), o conceito de sistema é o melhor instrumento lógico para o estudo dos problemas ambientais, pois ele possibilita a adoção de uma atitude dialética entre a necessidade de análise e a necessidade, contrária, de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma ação eficaz sobre o meio ambiente.

Assim, o enfoque direcionou-se ao sistema ambiental com base na perspectiva integrativa entre os elementos que o compõem, contrapondo-se a estético-descritiva. Dessa forma, a Teoria Sistêmica contribuiu para a ampliação do processo de reflexão sobre o conceito de paisagem, “levando à compreensão dos sistemas naturais, a partir da sua estrutura e funcionamento” (GUERRA; MARÇAL, 2009, p.109). Nesse contexto, o conceito de ecossistema exerceu forte influência sobre o termo em questão, bem como à sua compreensão. Esse conceito foi proposto por Tansley em 1935, referindo-se a área relativamente homogênea

de organismos interagindo com o seu ambiente. De acordo com Christofolletti (1999), essa concepção salientou com maior relevância a interação entre os componentes, reforçando a heterogeneidade, já que os ecossistemas integram unidades espaciais discerníveis na superfície terrestre, passíveis de identificação visual e circunscrita por suas fronteiras.

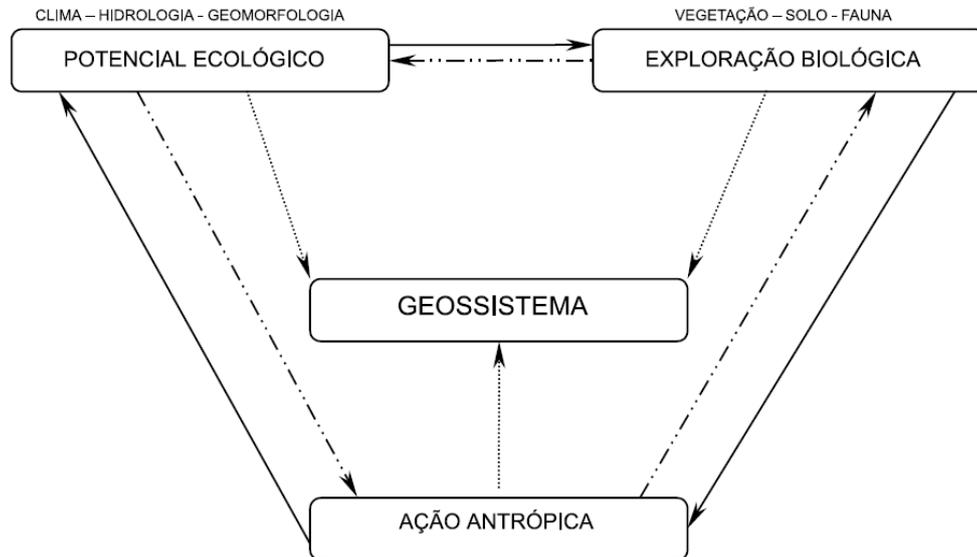
Na escola francesa destacam-se as contribuições metodológicas de Bertrand (1971) e Tricart (1977). Este último em sua obra *Ecodinâmica* (1977), propõe uma metodologia de análise da paisagem a partir da dinâmica dos ecótopos, que ele denomina de ecodinâmica. Segundo Tricart (1997, p. 32):

O conceito de unidades ecodinâmicas é integrado no conceito de ecossistema. Baseia-se no instrumento lógico de sistema, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia/matéria no meio ambiente. [...].

Tricart enfatiza o dinamismo entre as unidades ecossistêmicas, já que todos os aspectos do meio ambiente estão estritamente relacionados entre si e por entender que a compreensão desses processos tornou-se importante para a conservação e desenvolvimento dos recursos ecológicos (TRICART, 1977).

Georges Bertrand também na década 1970 propôs um sistema taxonômico de hierarquização da paisagem em seis níveis têmporo-espaciais decrescente, visando superar problemas relacionados à delimitação geográfica das unidades que formam a paisagem em sua totalidade. Para Bertrand (2004), a paisagem não é uma simples adição de elementos geográficos isolados, ela corresponde ao “resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos, que reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução” (BERTRAND, 2004, p. 141). Em sua definição Bertrand (2004) salientou que não se trata apenas da paisagem natural, mas também da paisagem total que integra inclusive as ações antrópicas, constituindo o *Geossistema*. Este que pode ser entendido como resultado da combinação entre um dado potencial ecológico (Clima, Hidrologia e Geomorfologia), uma exploração biológica (Vegetação, Solo e Fauna) e a ação antrópica (Fluxograma 01).

Fluxograma 01- Esboço de uma definição teórica de Geossistema proposto por Bertrand



Fonte: Bertrand (2004).

Observa-se dessa maneira que tanto Bertrand quanto Tricart destacam a conexão entre os elementos, reforçando a perspectiva dinâmica da paisagem e a sua particularidade enquanto entidade espacial, evidenciado a partir do uso do termo Geossistema, introduzido primeiramente por Sotchava em 1962. Para este autor, o geossistema corresponde a uma classe peculiar de sistemas dinâmicos, abertos e hierarquicamente organizados. Nesse sentido, a dinâmica está na mutabilidade dos geossistemas, fortemente influenciado pela ação do homem, o que pressupõe também uma diferenciação funcional. Segundo Sotchava (1977), a concepção central do geossistema é a conexão da natureza com a sociedade, pois mesmo sendo um fenômeno natural, todos os fatores econômicos e sociais devem ser considerados em sua análise.

Nessa mesma linha de pensamento destaca-se ainda a definição de Monteiro (1978), que definiu o geossistema como um “sistema singular, complexo, onde interagem os elementos humanos, físicos, químicos e biológicos, e onde os elementos sócio-econômicos não constituem um sistema antagônico e oponente, mas sim estão incluídos no funcionamento do sistema” (MONTEIRO, 1978, p. 210).

O conjunto interativo da paisagem (geossistema) é composto por ecossistemas ou por classes de cobertura ou uso do solo (unidades), originando, unidades homogêneas, porém diferentes em relação ao entorno. Essa tendência tem como finalidade principal o conhecimento da estrutura e funcionamento da superfície terrestre considerada globalmente, como um todo (BÓLOS, 1983).

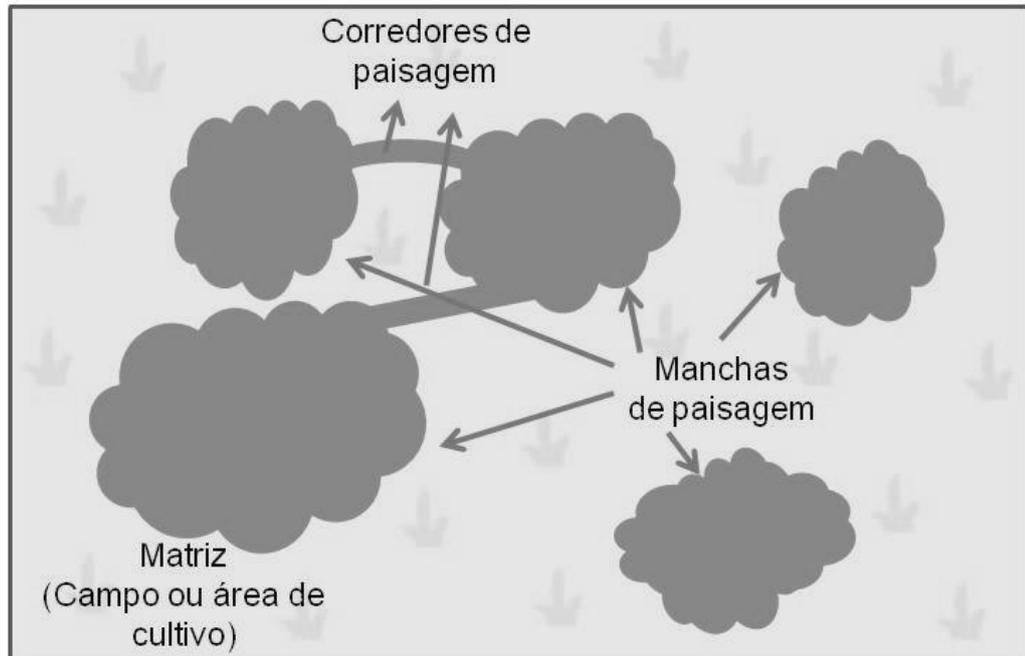
Apesar da forte correlação, a paisagem não pode ser confundida com o ecossistema, que é um conceito biológico (SOTCHAVA, 1977). Embora possa ser aplicado às diversas escalas de grandeza espacial, a sua ênfase é sobre a interação vertical entre os componentes:

Nos ecossistemas, os fluxos dominantes são os da interação vertical, pois abrangem as cadeias alimentares pelas quais fluem a energia, conjuntamente com os ciclos biológicos necessários para a ciclagem dos nutrientes essenciais [...] (CHRISTOFOLETTI, 1999, p.36).

A paisagem é integrada por vários ecossistemas (complexos biológicos), caracterizando-se como unidades, que juntas compõem um mosaico de forma e conteúdo, natural e cultural e em perpétua evolução. Diferente da paisagem, o ecossistema não possui escala e nem limite espacial bem definido. Portanto, não é um conceito geográfico, mas entre os componentes da paisagem existem relações horizontais ou ecológicas, que não podem ser desconsideradas, já que influenciam diretamente na dinâmica, estrutura e organização da paisagem.

Na perspectiva de Odum e Barrett (2008), os principais componentes da paisagem e que compõem o mosaico da paisagem são: (i) a *matriz de paisagem*; (ii) a *mancha de paisagem*; e (iv) o *corredor de paisagem*. A primeira corresponde a uma imensa área com tipos de ecossistemas ou vegetação similares, na qual estão inseridas as manchas e os corredores da paisagem. A mancha da paisagem por sua vez é uma área relativamente homogênea que difere da matriz que a cerca, também denominada de fragmento. Ao longo de uma paisagem existem inúmeras manchas, tanto naturais quanto socialmente construídas. Já o corredor da paisagem é uma faixa que difere da matriz em ambos os lados e que geralmente liga duas ou mais manchas de paisagem de habitat similar (Figura 02).

Figura 02- Diagrama mostrando os três elementos principais da paisagem



Fonte: Adaptado de Odum e Barrett (2008).

Na atualidade, é crescente a percepção de que o reconhecimento da hierarquia dos níveis de organização, visando a melhor compreensão da estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, não deve ater-se somente a níveis abaixo do mesmo, mas também e progressivamente, nos níveis acima dos ecossistemas, como a paisagem, a ecorregião ou biomas (ODUM; BARRETT, 2008).

2.2.2 Enfoques e métodos de Análise da Paisagem

A paisagem quanto a sua análise pressupõe o conjunto de métodos e procedimentos que possibilitem interpretar a sua dinâmica e todos os processos de forma integrativa e hierárquica. De um modo geral, esses métodos podem ser qualitativos (descrição, classificação e delimitação) e/ou quantitativos (quantificação).

Para Bertrand (2004), a análise da paisagem se apresenta primeiramente como um problema de método. Nesse sentido, implica técnicas de análise e classificação específicas, entre elas a noção de escala, tendo em vista que esta é inseparável do estudo da paisagem. Quanto a sua classificação, varia de acordo com o aspecto da paisagem a ser analisado ou da

particularidade de cada disciplina (Geografia ou Ecologia), porém parte-se sempre de um sistema esquematicamente delimitado, formado por unidades homogêneas e hierarquizadas, que se encaixam umas nas outras. Nesse sentido, o autor propõe um sistema de classificação hierárquico, pautado em seis níveis temporo-espaciais, visando facilitar a análise da paisagem, conforme Quadro 02. Tal sistema pode ser usado como ponto de partida para a classificação da paisagem de interesse, ao permitir vislumbrar a hierarquia, bem como a ordem existente entre os elementos que a compõem. A zona, o domínio e a região natural correspondem às unidades superiores; e, o geossistema, o geofácies e o geótopo situam-se enquanto unidades inferiores.

Quadro 02- Sistema de classificação da paisagem proposto por Bertrand (1972).

UNIDADES DA PAISAGEM	ESCALA TEMPORO-ESPACIAL (A. CAILEUX J. TRICART)	EXEMPLO TOMADO NUMA MESMA SÉRIE DE PAISAGEM	UNIDADES ELEMENTARES				
			RELEVO (1)	CLIMA (2)	BOTÂNICA	BIOGEOGRAFIA	UNIDADE TRABALHADA PELO HOMEM (3)
ZONA	G I grandeza G. I	Temperada		Zonal		Bioma	Zona
DOMÍNIO	G. II	Cantábrico	Domínio estrutural	Regional			Domínio Região
REGIÃO NATURAL	G. III-IV	Picos da Europa	Região estrutural		Andar Série		Quarteirão rural ou urbano
GEOSSISTEMA	G. IV-V	Atlântico Montanhês (calcário sombreado com faia higrófila a <i>Asperula odorata</i> em “terra fusca”)	Unidade estrutural	local		Zona equipotencial	
GEOFÁCIAS	G. VI	Prado de ceifa com <i>Molinio-Arrhenatheretea</i> em solo lixiviado hidromórfico formado em depósito morânico			Estádio Agrupamento		Exploração ou quarteirão parcelado (pequena ilha ou cidade)
GEÓTOPO	G. VII	“Lapiés” de dissolução com <i>Aspidium lonchitis</i> em microsolo úmido carbonatado em bolsas		Microclima		Biótopo Biocenose	Parcela (casa em cidade)

NOTA: As correspondências entre as unidades são muito aproximadas e dadas somente a título de exemplo.

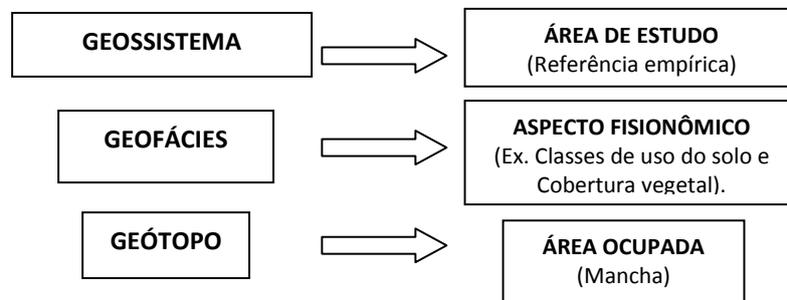
1 - conforme A. Cailleux, J. Tricart e G. Viers; 2 - conforme M. Sorre; 3 - conforme R. Brunet.

Fonte: Bertrand (2004).

De acordo com Bertrand (2004), o geossistema corresponde ao complexo geográfico, onde se situam a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos da paisagem e que evoluem as combinações dialéticas (relação natureza e sociedade); o geofácies refere-se ao aspecto fisionômico, mais precisamente ao mosaico de forma e

conteúdo que se sucedem no tempo e no espaço no interior do geossistema; e, o geótopo a unidade elementar ou a última escala espacial diretamente interligada ao geofácies. De forma prática, pode-se fazer a seguinte associação: o geossistema corresponde à área de estudo de interesse, o geofácies o critério fisionômico (forma, conteúdo, estrutura), que pode ser os tipos de uso e cobertura do solo, por exemplo, e, por fim, o geótopo como os limites ocupados por cada tipologia (Esquema 01).

Esquema 01- Esquema para análise da paisagem a partir da classificação de Bertrand (1972)



Fonte: Autora (2013).

No que tange a distinção da paisagem, Carl Troll, em 1939, fez amplo uso de fotografias aéreas para interpretar a interação entre os elementos da superfície terrestre como a água, o solo, a vegetação e o uso da terra (JENSEN, 2009). Na atualidade, entre as técnicas usadas destacam-se o uso do Geoprocessamento e do Sensoriamento Remoto na análise da estrutura, padrão, distribuição e monitoramento das paisagens. De acordo com Jensen (2009), os princípios de ecologia da paisagem desenvolveram-se bastante com o auxílio dessas técnicas, em particular a partir de dados obtidos via sensoriamento remoto, com vista a avaliar a saúde e a diversidade da vegetação, bem como outras variáveis dos ecossistemas.

Segundo Porto e Menegat (2004), apesar da grande disponibilidade de softwares voltados a manipulação de informações geográficas, o método básico de análise em ecologia da paisagem reside na compreensão das características fisionômicas e estruturais dentro de diversas escalas de análise, que vai da escala local à regional. Porém, o enfoque estrutural corresponde a apenas um dos enfoques possíveis na análise da paisagem. Além deste, destacam-se o funcional, o evolutivo-dinâmico, o antropogênico e o integrativo da estabilidade e sustentabilidade da paisagem (RODRIGUEZ et al., 2007).

Esses enfoques, apesar de operacionalizáveis isoladamente, não são excludentes. Pelo contrário, eles se complementam, já que a paisagem como escala de análise em Ecologia da Paisagem pressupõe um estudo integrativo dos processos naturais e sociais, conforme já ressaltado. Como todos os enfoques anteriormente citados tratam da análise da paisagem a partir da perspectiva do desenvolvimento territorial em bases sustentáveis, tais enfoques podem ser trabalhados mutuamente.

No caso do enfoque estrutural, este se caracteriza por privilegiar o padrão e a organização espacial da paisagem, além das relações entre os componentes que a formam. Nas palavras de Rodriguez et al. (2007, p. 111):

[...]. Determinar e investigar a estrutura da paisagem significa conhecer a sua essência. Neste sentido, a análise estrutural consiste em explicar como se combinam os seus componentes para dar lugar às formações integrais e como é a organização estrutural do sistema paisagístico.

De tal maneira, o princípio estrutural no estudo das paisagens sustenta que a paisagem possui os índices e as propriedades dos objetos materiais estruturais. A sua organização se relaciona com o nível estrutural, sendo que a estrutura da paisagem reflete a organização sistêmica de seus elementos funcionais e as regulações que determinam sua essência, sua morfologia e sua integridade. Assim, a estrutura é um elemento relativamente estável e inerente à sua organização como sistema. Mediante a análise paisagística, descobre-se a hierarquia das paisagens no espaço geográfico. [...].

Desse modo, as características estruturais são aquelas passíveis de observação, descrição e quantificação, assim possuem um conteúdo que auxilia a compreensão do desenvolvimento e dos processos que levam à formação e transformação de uma determinada paisagem. O estudo dessas características tem no período atual um significado cada vez maior (RODRIGUEZ et al., 2007), por ser útil à avaliação quantitativa do grau de complexidade existente na paisagem investigada.

Na literatura observa-se uma gama variada de trabalhos que realizam a análise da estrutura da paisagem a partir dos métodos de quantificação, visando compreender processos que levam a modificação da paisagem, tais como o trabalho de Watrin e Venturieri (2005), por exemplo, que aplicaram as técnicas de mensuração da paisagem com o objetivo de caracterizar a cobertura vegetal e o uso da terra em projetos de assentamentos na região sudeste do Estado do Pará.

Pode-se conceber, assim, que a estrutura espacial constitui a forma de ordenamento espacial e que o espaço conceitua-se como produto da conjugação fisionômica das formas, determinando, desse modo, a importância teórico-conceitual da análise estrutural dos objetos geográficos. Além disso, a mesma define-se como o conteúdo gerado no âmbito de um sistema de relações, tanto naturais quanto socialmente construídos. Dessa forma, a melhor compreensão da paisagem implica o conhecimento inicial de sua organização, que se dá através da análise estrutural da mesma (RODRIGUEZ et al., 2007).

Outro enfoque, porém, complementar e de fundamental importância na análise paisagística, é o funcional. Este enfoque tem por finalidade esclarecer quais as relações funcionais existentes entre os elementos da paisagem. Segundo Rodriguez et al. (2007), o enfoque funcional tem por fundamento que todos os elementos cumprem funções específicas e, por isso, participam de forma peculiar no processo de gênese da paisagem. O funcionamento da paisagem pode ser compreendido como um processo de intercâmbio de matéria e energia, que se dá durante a interação interna e externa dos componentes do sistema paisagístico. Corresponde a uma das principais propriedades do complexo geográfico, que ocorre em tempos específicos, sendo determinado e influenciado por fatores físico-químicos, geográficos, biológicos e antropogênicos. Assim, cada paisagem caracteriza-se por ser resultado do seu funcionamento específico.

Já o enfoque evolutivo-dinâmico trata da compreensão das leis e regularidades que condicionam o desenvolvimento do território. Qualquer território, independente, da forma de ocorrência, como consequência de causas internas e externas, experimenta um processo contínuo de desenvolvimento que acompanha as transformações de suas partes estruturais (RODRIGUEZ et al., 2007). Compreende-se que a evolução-dinâmica da paisagem, não ocorre de modo apenas quantitativo, ela se dá também de forma qualitativa com a transformação estrutural e funcional da paisagem, considerando aqui a interferência da sociedade.

Assim, o enfoque histórico-antropogênico, pode ser considerado como um item complementar ao enfoque anterior, pois a interferência da sociedade sobre a superfície terrestre possui um caráter evolutivo e dinâmico. Considerar esse aspecto na formação das paisagens torna-se fundamental, pois:

[...], os resultados da utilização econômica superpõem-se e inscrevem-se na memória dos geossistemas, determinando em grande parte propriedades relevantes para o homem, como o caráter estável dos processos antroponaturais, os problemas ecológicos que surgem na assimilação, ocupação e apropriação dos geossistemas e as vias de sua solução (RODRIGUEZ et al., 2007, p. 154).

A análise do sistema paisagístico a partir dessa perspectiva implica na compreensão da interação entre sociedade e natureza, a qual encontra-se contextualizada em tempo e espaço específicos. Segundo Santos (1997), em cada momento histórico os modos de fazer são diferentes, e o trabalho humano vai tornando-se cada vez mais complexo com o aumento da técnica, tudo isso se dá a partir de uma base material, o espaço geográfico, no interior do mesmo encontram-se as paisagens, que no âmbito desse processo está sempre em constante transformação. Dessa forma, a paisagem pode ser entendida como “um resultado de adições e subtrações sucessivas. [...] uma espécie de marca da história do trabalho, das técnicas [...]” (SANTOS, 1997, p. 68).

O último enfoque denominado “Integrativo da estabilidade e sustentabilidade da paisagem”, porém não menos importante e a nosso ver mais que um enfoque constitui o próprio fundamento que justifica a análise e o planejamento da paisagem, prioriza a investigação da estabilidade e solidez do sistema paisagístico, como requisito imprescindível à sua manutenção para que a paisagem possa desempenhar suas funções. De acordo com Rodriguez et al. (1997, p. 182):

Os conceitos de estabilidade e solidez constituem atributos sintéticos das paisagens que representam o grau de funcionamento do sistema, de tal forma que garante a possibilidade de reprodução de recursos e de outras funções vitais.

Um dos principais objetivos da investigação da paisagem, a partir da abordagem Ecologia da Paisagem, diz respeito ao planejamento de uso da mesma, além disso, mensurar o grau de interatividade entre sociedade e natureza e as implicações dessa relação no processo de mudança estrutural da paisagem. Esses objetivos têm como meta resguardar a estabilidade dos ecossistemas que compõem a paisagem, para que os mesmos continuem desempenhando suas funções, o que está diretamente relacionado com a noção de sustentabilidade da paisagem, que por sua vez abarca todos os enfoques anteriormente citados.

Assim, todas as perspectivas apresentadas relacionam-se diretamente, mesmo que haja um interesse maior em apenas um enfoque. O fato é que a análise da paisagem parte, primeiramente, da compreensão do seu padrão e das formas que a compõem, ou seja, da sua estrutura, que por sua vez influencia e é influenciada por suas funcionalidades intrínsecas, que do ponto de vista natural, em conjunto com outros fatores, pode determinar a evolução-dinâmica da paisagem, que do ponto de vista qualitativo é ocasionada também por fatores histórico-antropogênicos. Tais relações evidenciam, portanto, que a paisagem constitui um sistema complexo e bastante dinâmico, cuja análise implica enfoques múltiplos, porém integrados.

De acordo com Otte et al. (2007), o interesse pela paisagem e suas funções por parte dos cientistas, gestores e pelo público em geral, cresceu enormemente nas últimas décadas. Isso pelo fato de que as paisagens fornecem um grande número de funções e de serviços substanciais a manutenção da vida em nosso planeta.

2.2.3 A unidade de paisagem

A unidade de paisagem corresponde a uma unidade que pode ser individualizada em relação a um determinado atributo, porém sendo homogênea em si mesma (ZONNEVELD, 1989), e que compõe o mosaico da paisagem. O termo homogêneo significa que os gradientes internos possuem um padrão distinto em relação à vizinhança (SOARES FILHO, 1998).

No interior dessas unidades, está o geótopo, considerado a menor parte homogênea e mapeável da paisagem, que por si só é também um sistema de interações internas (horizontais e verticais), cujo padrão apresenta certa uniformidade em relação ao entorno (PORTO; MENEGAT, 2004). Tal unidade é visivelmente observável, já que a superfície geográfica é formada por diferentes complexos espaciais, que se moldam ao longo do tempo, tanto por influência de processos naturais quanto antropogênicos.

O estudo das unidades de paisagem em nível local aborda as propriedades de diferenciação paisagística e do sistema taxionômico, considerados imprescindíveis na diferenciação topológica e morfológica da paisagem. Dentre os métodos de investigação a

representação cartográfica da paisagem permite a análise da mesma em distintos níveis escalares (MARTINELLI; PEDROTTI, 2001; METZGER, 2001).

Considerando que a paisagem é formada por um mosaico de unidades, a caracterização e identificação das mesmas consistem na análise, no mapeamento cartográfico e na quantificação da área ocupada em relação ao todo adjacente, além da compreensão da estrutura, da composição e dos processos intrínsecos a unidade em estudo (RODRIGUEZ et al., 2007).

Segundo Rodriguez et al. (2007, p. 68), também denominadas de “complexos físico-geográficos individuais” as unidades de paisagem, “caracterizam-se pela irrepetibilidade no espaço e tempo, na unidade genética relativa e na integridade territorial”. Reconhecê-las enquanto recorte espacial de análise, no que tange ao planejamento ambiental, significa a obtenção de estimativas sobre processos naturais mais próximas à realidade, bem como o desenvolvimento de técnicas de manejo florestal de fato eficazes, pois admitir a heterogeneidade de uma floresta, como a Amazônica, por exemplo, possibilita maior compreensão de sua dinâmica e dos processos que a afetam, tanto positiva quanto negativamente. Isso por que:

Cada uma das unidades das paisagens caracteriza-se por uma determinada interação entre os componentes naturais, no qual origina-se o processo de desenvolvimento. Isso determina a homogeneidade relativa de suas propriedades naturais e a estabilidade das inter-relações estruturais. A propriedade mais importante do complexo individual é a unicidade relativa da sua estrutura, tanto morfológica quanto funcional [...] (RODRIGUEZ et al., 2007, p. 68).

Os limites das unidades interativas da paisagem podem de um modo geral ser definidos por três fatores, que condicionam a presença de determinada unidade, os quais são:

- Ambiente biótico;
- Perturbações naturais;
- Fator antrópico.

Esses fatores se inter-relacionam criando padrões diferenciados no espaço geográfico. Entretanto, isoladamente eles definem unidades interativas mesmo onde há uma aparente homogeneidade, como num fragmento de floresta, por exemplo, que num primeiro olhar sua textura aparenta uniformidade, porém uma análise em outra escala pode revelar diversos estágios sucessionais da vegetação, decorrente de queimada, por exemplo, ou simplesmente ocasionados por processos naturais.

Nessa perspectiva estamos considerando, portanto, a unidade de paisagem conforme definida por Zonneveld (1989), como sendo conjunto tangível de relacionamentos internos e externos, que fornece as bases para os estudos das inter-relações entre os elementos. Assim, trata-se das características observáveis e mapeáveis dos atributos da Terra, tais como solo, relevo e vegetação, incluindo as interferências antrópicas nesses três atributos (SOARES FILHO, 1998).

Nessa linha de raciocínio Zonneveld (1989), lembra que a unidade da paisagem muito mais que um polígono no mapa, é um conceito usado para expressar um sistema de fatores que interage de modo natural, mas que pode sofrer influências do homem. Assim, a unidade da paisagem não se restringe a uma escala de observação específica. Em outras palavras, a delimitação de tais unidades, corresponde, na verdade, a um exercício de síntese, visando à discriminação da paisagem em suas diversas manifestações (BERTRAND, 2004).

2.2.4 Métricas de quantificação da paisagem

Do ponto de vista quantitativo, a paisagem pode ser avaliada a partir de quantificação da sua estrutura pelo uso de métricas ou índices (LANG; BLASCHKE, 2009). De acordo com Jensen (2009), várias agências governamentais, como por exemplo, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency, EPA*), utilizam as métricas em grande parte da sua modelagem ambiental e caracterização da paisagem.

Nas últimas décadas, os avanços na área de geotecnologia e a disponibilidade de imagens orbitais e softwares de processamento digital de imagens de forma gratuita, vem tornando o uso das métricas na análise da estrutura da paisagem cada vez mais frequente. Associado a isso, o uso das mesmas, considerando uma determinada escala de tempo,

possibilita o monitoramento da paisagem e observação de tendências de uso e transformação das mesmas de forma clara e objetiva, tornando-as um instrumento imprescindível à gestão e ao planejamento ambiental.

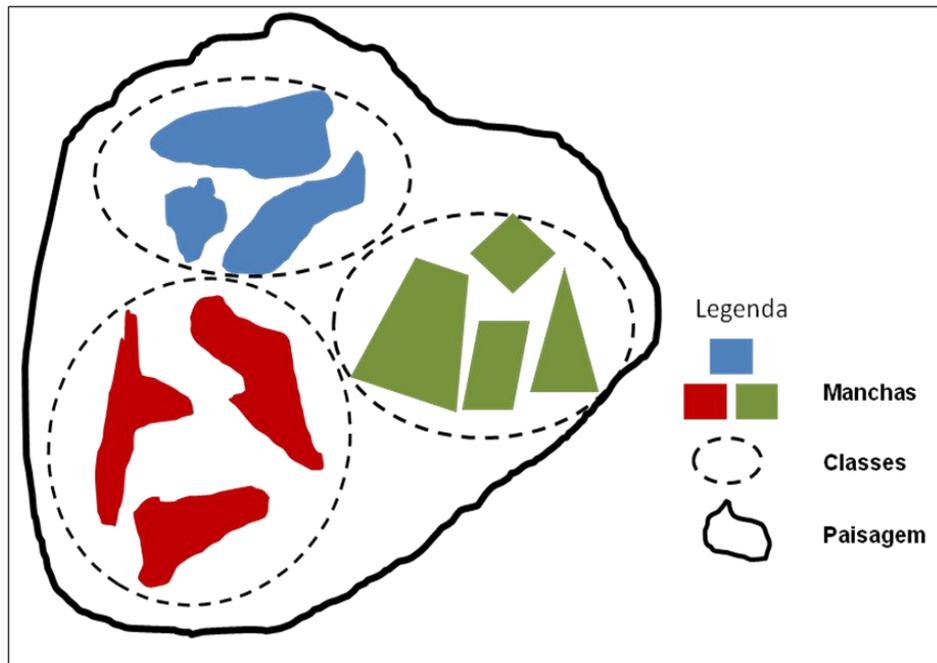
Segundo Lang e Blaschke (2009), muitas das métricas existentes avaliam aspectos semelhantes e produzem resultados matematicamente similares, o que as tornam correlacionadas. Entretanto, “para cada métrica individual há uma justificativa, porque sempre poderá haver um caso especial no qual faz sentido usá-la” (LANG; BLASCHKE, 2009, p. 239).

Há pelo menos duas perspectivas distintas que influenciam o desenvolvimento das métricas da paisagem, que tem implicações importantes na escolha e na interpretação dos resultados. São elas: o Modelo de Biogeografia de Ilhas e o Modelo do Mosaico da Paisagem (MACGARIGAL, 2002).

No âmbito dos objetivos deste trabalho, a perspectiva do mosaico da paisagem é a mais adequada. Nesta as paisagens são entendidas como a reunião espacial complexa de unidades heterogêneas, que não podem ser categorizados como elementos discretos. A vantagem principal desse modelo é a sua representação mais realística dos processos e interações no cerne da paisagem (MACGARIGAL, 2002).

No geral, a aplicação das métricas ocorre em três planos: da mancha; da classe e de toda a paisagem. No nível das manchas, as métricas descrevem as características geométricas das manchas individuais, além da sua distribuição espacial. As métricas relativas às classes incorporam todas as manchas de uma determinada classe, estudando a configuração desse grupo. No nível da paisagem referem-se à paisagem total, constituída por manchas e suas respectivas classes (Figura 03). Tal perspectiva pode ser comparada a ordem hierárquica de Bertrand (1972), anteriormente discutida.

Figura 03- Níveis de análise espaço-estrutural da paisagem



Fonte: Autora (2013).

Observa-se, assim, que há uma hierarquia entre os níveis acima descritos, e desse modo uma análise mais completa da dinâmica da paisagem envolve a aplicação das métricas nesses três níveis (LANG; BLASCHKE, 2009), mesmo considerando que a maior parte das métricas existentes tenham sido desenvolvidas para o nível das manchas (MACGARIGAL, 2002).

De um modo geral, as métricas podem ser organizadas em dois grandes grupos: de *composição*, que descreve a qualidade e a quantidade das manchas na paisagem; e o de *configuração* que descreve a distribuição física das manchas no cerne da paisagem. Entretanto, nem todas as métricas existentes podem ser facilmente classificáveis como representando a composição ou a configuração da paisagem, pois a dimensão média da mancha e sua densidade, por exemplo, refletem tanto a quantidade de um tipo de mancha (composição), como a sua distribuição espacial (configuração).

A aplicação desses indicadores auxilia no entendimento da variabilidade natural dos padrões e dos processos da paisagem em relação ao tempo e ao espaço. Tornam-se, portanto, essenciais para determinar se as atuais condições da paisagem são sustentáveis em

longo prazo, considerando os padrões e processos históricos que marcam o desenvolvimento do espaço geográfico o qual pertence. De acordo com Jensen (2009, p. 399), “[...]. Além disso, as estimativas são extremamente úteis tanto para uma avaliação rápida do risco aos recursos, como também para avaliações mais detalhadas”.

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E A ANÁLISE DA PAISAGEM

Cientistas observam a natureza, fazem medições, e depois tentam aceitar ou rejeitar hipóteses referentes a esses fenômenos. A coleta de dados pode ocorrer diretamente no campo (chamada coleta de dados in situ ou in loco), ou a alguma distância remota do objeto em apreço (referida como sensoriamento remoto do ambiente) (JENSEN, 2009, p. 01).

A citação acima traz uma das várias definições que podem ser atribuídas ao termo Sensoriamento Remoto (SR), cuja definição formal foi apresentada na década de 1980 pela *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (AS-PRS), que apresentou o SR como:

A medição ou aquisição de informação de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico ou íntimo com o objeto ou fenômeno em estudo (COLWELL, 1983 apud JENSEN, 2009, p. 03).

Porém, o termo Sensoriamento Remoto tem na década de 1960 sua gênese ao aparecer num artigo não-publicado feito pelo grupo do *Office of Research (ONR) Geography Branch* assinado por Evelyn L. Pruit e Walter H. Bailey, este como colaborador e membro do grupo (JENSEN, 2009). O seu uso surge em decorrência dos avanços obtidos nas técnicas de observação da superfície terrestre, que não mais se limitavam à baixa troposfera e avançavam na faixa do espectro eletromagnético, sobretudo na frequência do não-vísivel.

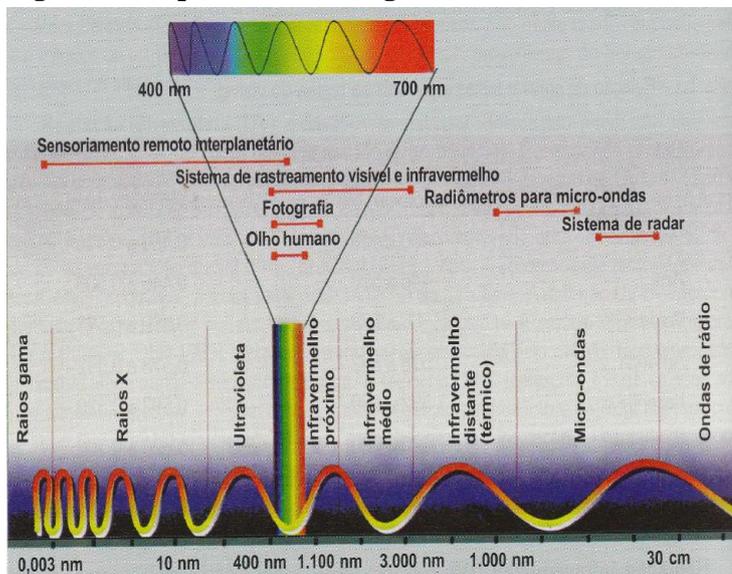
O Sensoriamento Remoto, de um modo geral, pressupõe um processo, que pode ser sinteticamente definido pelas seguintes etapas: Problematização, Coleta de dados, Extração da informação e Apresentação (Figura 06). Segundo Jensen (2009), o SR é empregado tanto na abordagem científica (indutiva e dedutiva) quanto na tecnológica para obtenção do conhecimento. Ainda conforme o autor, em ambas a coleta de dados em campo e

em laboratório deve ser realizada através de procedimentos rigorosamente adequados e se possível no mesmo momento de obtenção dos dados pelo sensor, visando a obtenção de medidas precisas.

A obtenção de dados em SR está diretamente ligada à radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos da superfície terrestre (MOREIRA, 2011). A principal fonte de radiação é o sol. Toda energia emitida pelo sol é denominada energia radiante e se propaga por meio de onda eletromagnética. Cada comprimento de onda possui uma dada energia e frequência. O conjunto dessas diferentes energias forma o espectro eletromagnético, que divide-se em módulo, de acordo com o tipo de propriedade da energia (Figura 04).

A maioria dos sistemas sensores opera em comprimento de onda na região do visível e do infravermelho próximo. Assim, não há interferência da radiação emitida pela Terra nos dados coletados por meio do sensoriamento remoto (MOREIRA, 2011).

Figura 04- Espectro Eletromagnético.



Fonte: Moreira (2011, p. 28).

A energia que chega à superfície terrestre interage com todos os alvos. Os distintos alvos, segundo suas propriedades físico-químicas, emitem ou absorvem energia de forma diferenciada, o que permite discriminá-los no espaço geográfico através das respostas obtidas pelos sensores. Essa resposta é resultante da interação eletromagnética, cuja

magnitude da radiância (Equação 1) registrada por um sensor ótico (JENSEN, 2009), é uma função de:

$$L = f(\lambda, s_{x,y,z}, t, \theta, P, \Omega) \quad (1)$$

Onde,

λ = comprimento de onda

$s_{x,y,z}$ = localização x, y, z do pixel e seu tamanho (x,y)

t = informação temporal

θ = conjunto de ângulos que descrevem as relações geométricas entre a fonte de radiação e o objeto imageado.

P = polarização da energia retroespalhada registrada pelo sensor, e

Ω = resolução radiométrica (precisão) com que os dados foram registrados pelo sistema

O fluxo de energia incidente sobre um determinado alvo interage com este por meio de três processos: reflexão, transmissão e absorção. As características físico-químicas do objeto ou da superfície é que definirão as intensidades de energia que serão refletidas, transmitidas e absorvidas. Desse modo, é possível obter informações sobre variáveis biofísicas e híbridas (JENSEN, 2009). A primeira refere-se às propriedades biológicas e/ou físicas dos objetos como, por exemplo, temperatura e umidade do solo, vapor d'água, índice de área foliar e radiação fotossintética.

As variáveis híbridas são aquelas que surgem pela análise sistemática de duas ou mais variáveis biofísicas. Como exemplo cita-se a obtenção da radiação fotossintética ativa e do índice de área foliar para o cálculo de biomassa vegetal e estoque de carbono na vegetação. Embora a diversidade dessas variáveis seja grande, de acordo com Jensen (2009), há poucas tentativas para identificá-las. Isto precisa ser revisto, principalmente quando a análise for relacionada ao uso e cobertura da terra que, segundo o autor, constituem variáveis híbridas.

Abaixo a relação de algumas variáveis biofísicas e híbridas, listadas por Jensen (2009) (Quadro 03):

Quadro 03- Variáveis Biofísicas e Híbridas.

Variáveis Biofísicas	Detalhamento
Localização de coordenadas	X,Y, Z
Topografia/Batimetria	Modelo Numérico do Terreno e Digital de Elevação Modelo Batimétrico Digital
Vegetação	Pigmentação Morfologia da vegetação Biomassa Índice de área foliar Evapotranspiração Radiação Fotossinteticamente Ativa
Temperatura Superficial	Terra Água Atmosfera
Solos e Rochas	
Rugosidade Superficial	Camada rochosa Camada hídrica Cobertura vegetacional
Água	Cor Turbidez Clorofila/material orgânico em suspensão Material orgânico dissolvido
Variáveis Híbridas	Detalhamento
Uso da terra	Comercial, residencial, industrial, etc. Cadastral Mapeamento temático Zoneamento
Vegetação	Estresse Hídrico Fitofisionomias Unidades de paisagem Estoque de carbono

Fonte: Modificado a partir de Jensen (2009).

A partir dessa síntese, pode-se observar que o sensoriamento remoto apresenta um alto potencial para a análise da paisagem, apesar de ter limitações também, pois além das variáveis envolvidas permite interpretar a estrutura ecológica da mesma, sua função, mudança e resiliência em múltiplas escalas de investigação, tanto horizontais quanto verticais.

O estudo da interação entre os padrões da paisagem e os processos ecológicos e suas influências recíprocas vem sendo utilizado como uma estratégia de manutenção da resiliência e produtividade dos sistemas ecológicos. Isto exige, porém, a integração de uma gama diversificada de informações e em diferentes escalas (JENSEN, 2009), o que pode ser facilmente executado com o uso de sensores remotos, conforme vários estudos vêm demonstrando entre eles o de: Sánchez-Azofeifa et. al. (2009), que realizaram uma análise das possibilidades e limitações do sensoriamento remoto na quantificação dos estoques de carbono nos trópicos; Salovaara et. al. (2005), que através de imagens LandSat ETM+ realizaram a classificação da vegetação na Amazônia Peruana para o estudo do habitat de animais selvagens; e Turner et. al. (2004), que a partir da integração de técnicas de sensoriamento desenvolveram modelos para analisar o fluxo do carbono e os processos subjacentes a este em escala regional.

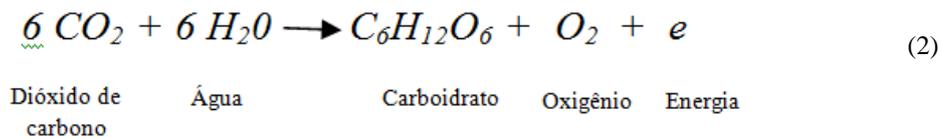
O estudo da vegetação via sensoriamento remoto exige a definição da escala de análise, que pode ser tanto a folha quanto o dossel vegetal, o que vai depender da disponibilidade de dados, dos equipamentos existentes e do tempo e recursos financeiros disponíveis para a coleta de informações. Segundo Moreira (2011), para o sensoriamento remoto não tem sentido falar da interação da radiação solar com uma única folha, a não ser quando se pretende estudar como se dá esta interação para determinadas espécies vegetais. No geral, pretende-se mesmo caracterizar o tipo de uso e ocupação do solo em determinada região. Entretanto, os avanços nos métodos de extração de informações a partir de imagens de satélites abriram novas frentes de investigação, tais como cálculo de biomassa vegetal e a dispersão de poluentes, somente para citar alguns. Em todo caso, o uso dessa técnica vem demonstrando enorme potencialidade nos estudos florestais por sua característica não-destrutiva e baixo custo de implementação.

2.3.1 Características espectrais da vegetação

No caso das paisagens vegetadas, a obtenção dos dados pressupõe o conhecimento das características espectrais da vegetação, para melhor entender a resposta da mesma ao interagir com a energia solar, já que isso está diretamente relacionado com a produção primária líquida, ou seja, com a fotossíntese. A partir desses conhecimentos, as identificações

das diversas fitofisionomias da vegetação tornam-se mais claras, pois a maioria das espécies vegetais possuem ciclos fenológicos de crescimento específicos que podem ser influenciadas por variações na temperatura.

Conforme Gomes e Varriale (2004) sabe-se que a vida na Terra depende criticamente da energia emitida pelo Sol. As plantas e algumas cianobactérias absorvem essa energia por meio de um processo em que o CO_2 é fixado, para a posterior produção de carboidratos CH_2O . Esse processo é denominado fotossíntese, e começa “quando a luz solar atinge os cloroplastos, pequenos corpos existentes nas folhas, os quais contêm uma substância verde chamada clorofila” (JENSEN, 2009, p. 358). Estima-se que a fotossíntese fixa anualmente 10^{11} toneladas de carbono (JENSEN, 2009) e pode simplificarmente, ser expressa pela seguinte equação (MOREIRA, 2011) (2):



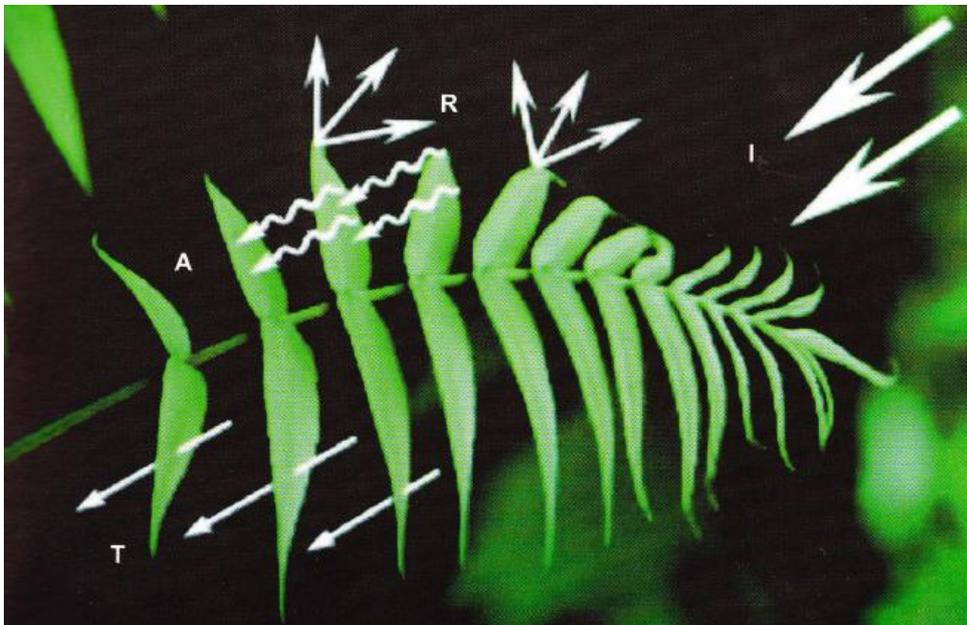
Das três principais funções da folha, a fotossíntese (Equação 2) é o único processo diretamente envolvido com a radiação solar. Os outros dois processos, respiração e transpiração, utilizam a energia resultante de reações químicas que ocorrem na própria planta para obter energia necessária.

A absorção da radiação eletromagnética pelas plantas ocorre especificamente na região do visível na faixa entre 0,40 a 0,72 μ m (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Para a fotossíntese, a energia utilizada pelas plantas corresponde à luz azul (400-530 nm) e à vermelha (radiação eletromagnética compreendida entre os comprimentos de onda de 600 e 730 nm).

A interação da energia eletromagnética com os objetos depende das características físico-químicas dos mesmos e com as folhas não é diferente e, dependendo de suas propriedades físico-químicas e estruturais, um feixe de radiação pode ser tanto refletido imediatamente quanto penetrar na primeira camada epidérmica, ou então atravessar completamente a folha (Figura 05). De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2007), a análise conjunta desses fenômenos compõe o estudo do Comportamento Espectral da Vegetação, que

envolve, sobretudo, o estudo dos fatores influentes na reflexão da radiação por folhas isoladas e por conjuntos de plantas de mesma fisionomia distribuídas sobre a superfície terrestre. Importa ressaltar que as quantidades de energia absorvida, transmitida ou refletida pelas plantas podem diferir de uma espécie para outra ou até mesmo dentro da própria espécie (MOREIRA, 2011).

Figura 05-Interação da energia solar com a folha.

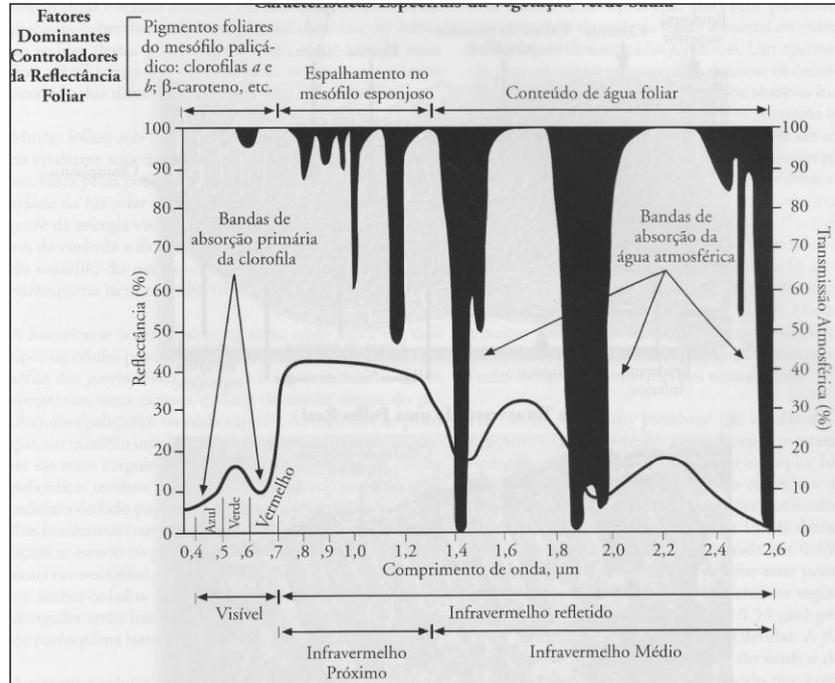


Nota: I= radiação incidente; R= energia refletida; A= energia absorvida e T= energia transmitida.

Fonte: Moreira (2011, p.73).

Na figura 06 é possível observar o comportamento espectral da vegetação verde e saudável que vai variar de acordo com a quantidade de pigmentos e umidade no interior das plantas, o que será mais explorado adiante. De antemão, importa citar que cerca de 50% do total de energia que chega até a planta é absorvida pelos pigmentos contidos na folha, e ao incidir, essa energia participa da síntese de compostos ricos em energia, altera estruturas moleculares, acelera reações ou ainda destrói estruturas de uma molécula (MOREIRA, 2011).

Figura 06- Comportamento espectral da vegetação verde e saudável.



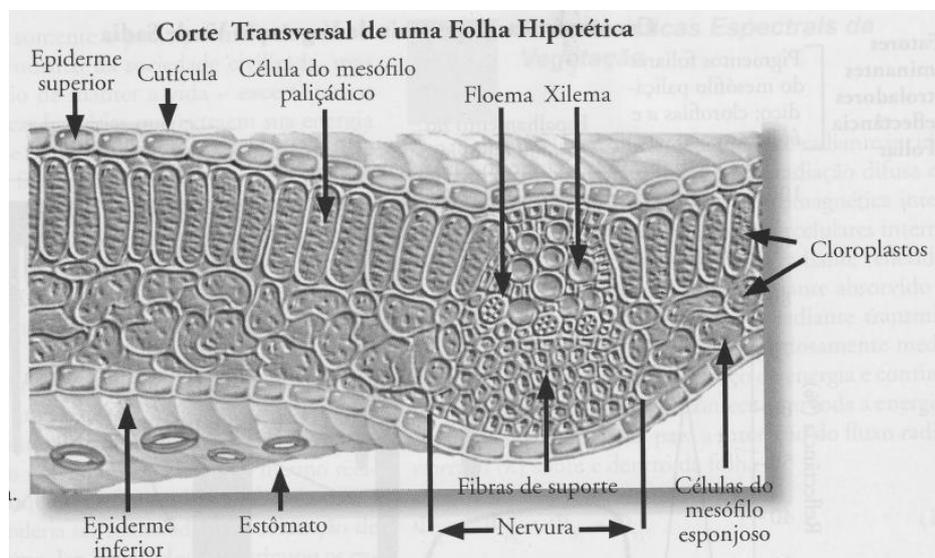
Fonte: Jensen (2009).

Uma folha verde sadia intercepta o fluxo radiante incidente proveniente do Sol ou da radiação difusa espalhada sobre a folha, que em seguida interage com os pigmentos, a água e os espaços intercelulares internos à folha vegetal (JENSEN, 2009). Pode-se observar que quanto maior a quantidade de água existente, menor é a resposta espectral, que por sua vez varia ainda segundo o comprimento de onda.

Assim, o órgão fotossintetizante por excelência da vegetação é a folha, e sua estrutura celular varia bastante, dependendo da espécie e das condições ambientais durante o seu crescimento (JENSEN, 2009). Elas são constituídas por diferentes tecidos. A face ventral, ou *epiderme superior*, é aquela voltada para cima e possui uma superfície *cuticular*, recebendo assim maior quantidade de energia emitida pelo sol. A superfície cuticular desempenha importante função na absorção da luz, agindo em alguns casos como um filtro de proteção contra perdas excessivas de umidade. Logo abaixo se encontra a epiderme composta geralmente por células alongadas e por outras diferenciações, como os *estômatos*. Abaixo da epiderme estão o *mesófilo paliçádico* ou *parênquima paliçádico*, organizados por células ricas em cloroplastos onde se encontram os pigmentos fotossintetizantes, principalmente as

clorofilas. Na face dorsal da folha, na *epiderme inferior*, encontra-se o *mesófilo esponjoso* ou *parênquima esponjoso*, que se caracteriza por apresentar uma organização de células menos compacta do que o mesófilo paliçádico, conferindo a este maior quantidade de lacunas entre as células (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). A estrutura celular da folha é grande em relação aos comprimentos de onda da luz que interage com ela (JENSEN, 2009) (Figura 07).

Figura 07- Estrutura celular da folha.



Fonte: JENSEN, 2009.

Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2007), existem variações marcantes de estruturas de folhas entre espécies diferentes e até mesmo entre folhas de uma mesma espécie, resultante das múltiplas interações entre os componentes do ambiente natural no qual a mesma vem se desenvolvendo ou desenvolve-se. Porém, torna-se relevante compreender que a folha em si pode ser considerada um meio pelo qual a radiação eletromagnética circula e, dependendo do comprimento de onda e de fatores relacionados à fisiologia da planta, vão influenciar no processo de interação eletromagnética, assim como em qualquer objeto que incida a radiação.

O principal fotorreceptor na fotossíntese é a clorofila vermelha que é obtida biossinteticamente a partir da protoporfirina (GOMES; VARRIALE, 2004). Segundo Victório, Kuster e Lage (2007), as clorofilas e os carotenóides correspondem aos pigmentos

existentes nos vegetais responsáveis pelas reações fotoquímicas da fotossíntese. Conforme o pigmento, diferente é a faixa espectral absorvida para desencadear o processo fotossintético. A clorofila *a*, pigmento primário, tem absorção máxima na faixa do azul e vermelho, onde está o espectro de ação para a fotossíntese. Os pigmentos acessórios, como os carotenos, absorvem na faixa do azul e do ultravioleta.

Desse modo, os diferentes pigmentos fotossintéticos se diferenciam claramente em função dos comprimentos de onda da luz que eles absorvem preferencialmente. Assim, tais pigmentos possuem espectros de absorção diferentes e característicos (GOMES; VARRIALE, 2004). A compreensão do papel dos pigmentos foliares, além das propriedades internas de espalhamento e de umidades na vegetação, é fundamental, pois afetam as propriedades de reflectância e de transmissão das folhas, e com isso a forma como as mesmas aparecem em imagens de sensoriamento remoto. Além disso, permite compreender como ocorre a produção primária líquida nos ecossistemas, indicando que para cada fisionomia vegetal, elemento marcante na paisagem, há processos fotossintetizantes diferenciados, refletindo dessa forma no balanço local de carbono.

A partir desses conhecimentos vem sendo desenvolvidos desde a década de 1960 vários índices para monitorar a vegetação a partir de dados de sensoriamento remoto.

2.3.2 Principais índices de vegetação

Os Índices de Vegetação (IV) foram propostos com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do visível (vermelho) e do infravermelho próximo. A fundamentação desses índices reside no comportamento antagônico da reflectância da vegetação nas duas regiões espectrais mencionadas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Podem ser definidos como medidas radiométricas adimensionais, as quais indicam a abundância e a atividade de vegetação verde, incluindo o índice de área foliar (IAF), a porcentagem de cobertura verde, o teor de clorofila, a biomassa verde, e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFAA, ou APAR em inglês) (JENSEN, 2009, p. 384).

As bandas do vermelho e do infravermelho próximo são as mais utilizadas nesse processo por conter mais de 90% da resposta espectral da vegetação. Assim, OS IVs são

amplamente utilizados nos estudos relacionados com a cobertura vegetal em geral (EPIPHANIO et al., 1996).

De acordo com Jensen (2009), baseado em Running et al.(1994) e Huete e Justice (1999), teoricamente um índice de vegetação ideal deve:

Maximizar a sensibilidade a parâmetros biofísicos das plantas, preferencialmente de uma forma linear, para que esta seja fidedigna para uma grande amplitude de condições da vegetação e para facilitar a validação e a calibração do índice;

Normalizar ou modelar efeitos externos tais como o ângulo solar, o ângulo de visada e as interferências atmosféricas, de modo a permitir comparações espaciais e temporais;

Normalizar efeitos internos, como por exemplo, variações no substrato abaixo do dossel, incluindo topografia, solo e diferenças quanto aos componentes não-fotossintéticos;

Ser acoplável a algum parâmetro biofísico mensurável, tais como a biomassa e o IAF para fins de validação e de controle de qualidade (JENSEN, 2009, p. 384).

Há diversos índices de vegetação, muitos deles funcionalmente equivalentes em termos de conteúdos e outros que provêm informações singulares sobre os aspectos biofísicos da vegetação (JENSEN, 2009). Os principais índices de vegetação disponíveis na literatura são os seguintes:

Razão simples (*Simple Ratio*)

De acordo com Jensen (2009), Cohen (1991) sugere que este foi o primeiro índice de vegetação verdadeiro. Ele consiste na razão entre o fluxo radiante refletido no infravermelho próximo e o fluxo radiante refletido na região do vermelho. Este índice fornece importantes informações sobre biomassa da vegetação, porém é especialmente sensível em áreas densamente florestadas (JENSEN, 2009).

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index- NDVI*)

O NDVI é funcionalmente equivalente ao anterior, e suas características serão mais bem exploradas adiante. Porém, cumpre destacar que o NDVI foi amplamente adotado e aplicado para dados MSS do Landsat (*Multispectral*

Scanner Landsat) e continua até os dias atuais como um dos índices mais aplicados no estudo da vegetação.

Índice de Vegetação Perpendicular (*Perpendicular Vegetation Index- PVI*)

Foi proposto por Richardson e Wiegand (1977) a partir da informação das bandas 4 (vermelho) e 7 (infravermelho próximo) do sensor MSS. Utiliza a distância perpendicular até a chamada “linha do solo” como um indicador do desenvolvimento das plantas (JENSEN, 2009). A linha do solo é um limite abaixo do qual a reflectância refere-se ao solo desnudo (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index- SAVI*);

Este índice introduz uma variável constante (L) que tem a função de minimizar o efeito do solo no resultado final. A constante foi estimada a partir de considerações feitas por Huete (1988) e introduzidas nas medições experimentais da reflectância, calculada para as bandas do infravermelho próximo e do vermelho em duas culturas agrícolas, algodão e pastagem (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

De forma geral o fator L oferece um índice espectral superior ao NDVI e o PVI para um amplo intervalo de condições de vegetação, mas sua limitação é que ele precisa ser analisado para diferentes biomas e situações agrícolas (HUETE et al., 1998 apud PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Índice de Vegetação Resistente a Atmosfera (*Atmospherically Resistant Vegetation Index- ARVI*)

Foi concebido para ser aplicado no sensoriamento remoto da vegetação pelo sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), de forma que fosse menos sensível aos efeitos atmosféricos devido à normalização da radiação no azul, no vermelho e no infravermelho. Neste índice, no lugar da radiação normalizada na região do vermelho é usada a radiação normalizada

vermelho-azul, que é mais resistente aos efeitos atmosféricos (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007; JENSEN, 2009).

O ARVI é em média quatro vezes menos sensível aos efeitos atmosféricos que o NDVI, assim, é mais favorável para superfícies totalmente cobertas pela vegetação, para as quais a influência do efeito atmosférico é maior do que para os solos (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Índice Global de Monitoramento Ambiental (*Global Environment Monitoring Index- GEMI*)

O GEMI foi criado para minimizar a influência dos efeitos atmosféricos nas imagens captadas pelo sensor AVHRR. Este novo índice, mais complexo que o NDVI, foi desenvolvido para atender os seguintes requisitos: ser mais resistente possível em relação aos diferentes valores do índice, às variações da espessura óptica da atmosfera e ser empiricamente representativo da cobertura vegetal. Os valores desse índice variam entre 0 e +1 sobre as áreas continentais

Índice de Vegetação Melhorado (*Enhanced Vegetation Index- EVI*).

Este índice é um NDVI modificado, contendo um fator de ajuste para os solos (L) e dois coeficientes (C_1 e C_2), que descrevem o uso da banda azul para correção da banda vermelha quanto ao espalhamento atmosférico por aerossóis. Os coeficientes são empiricamente determinados, assumindo valores de 6,0; 7,7; e 1,0, respectivamente (JENSEN, 2009). O EVI foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade de sua detecção em regiões com maiores densidades de biomassa, e para reduzir a influência do sinal do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007)

Todos os índices existentes apresentam algumas limitações, e dessa forma o uso de qualquer técnica deve ser determinado a partir dos objetivos pretendidos e das características do sensor utilizado. Porém, de um modo geral, os índices de vegetação aumentam o brilho das áreas vegetadas, melhorando a aparência da distribuição espacial das informações nas imagens, tornando-as de fácil interpretação visual e computacional.

Entre os índices citados, nos interessa tratar com mais detalhe o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). O NDVI (Equação 3) é utilizado para construir os perfis sazonal e temporal das atividades da vegetação, permitindo comparações interanuais desses perfis. Baseia-se no princípio de que a assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia mostra um evidente contraste entre e a região do visível (vermelho) e a do infravermelho próximo, quanto maior for esse contraste, maior o vigor da vegetação na área imageada (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007; MOREIRA, 2011). Essa relação pode ser expressa através da seguinte Equação:

$$NDVI = \frac{(IVP - Ver)}{(IVP + Ver)} \quad (3)$$

Onde,

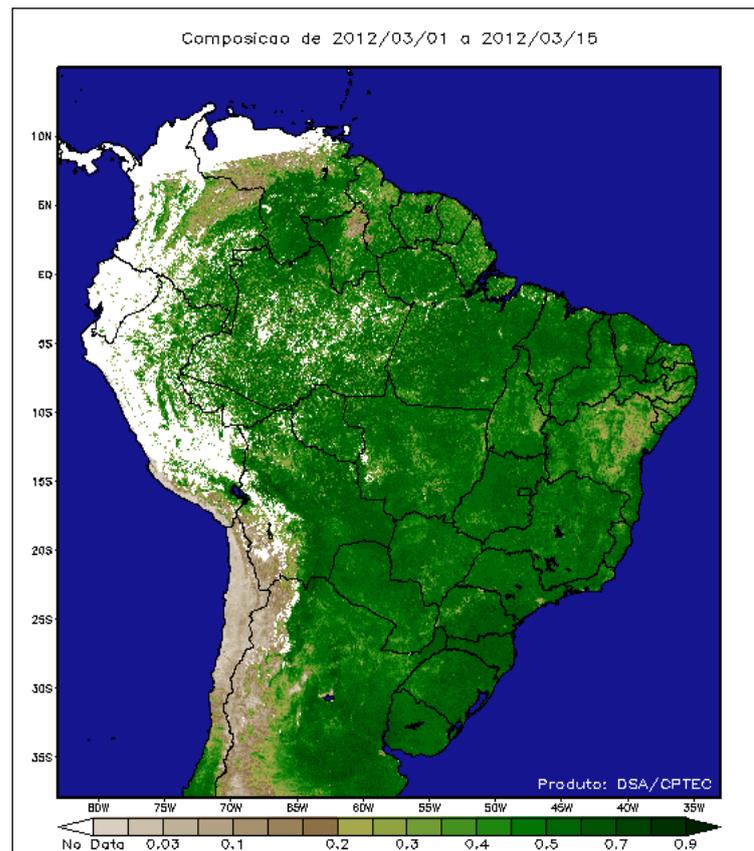
IVP= Infravermelho próximo

Ver- região do vermelho

Rouse et al. (1973 apud PONZONI; SHIMABUKURO, 2007) normalizaram a razão simples entre as bandas descritas para o intervalo de -1 a +1, dando origem ao índice, as imagens geradas a partir dessa normalização relaciona cada nível de cinza aos valores citados. Assim, os tons de cinza mais claro relacionam-se aos valores mais elevados de NDVI, enquanto que os mais escuros aos valores mais baixos. Em termos práticos, os valores mais elevados são relacionados às áreas com maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa, e os mais escuros, representam as áreas com menor quantidade de vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). A figura 08 contém uma imagem NDVI (colorida) para o Brasil e algumas regiões da América Latina, geradas a partir do conjunto de satélites da agência para o oceano e a atmosfera NOAA ([*National Oceanic and Atmospheric*](#)

[Administration](#))², disponibilizada gratuitamente pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Figura 08- Imagem NDVI gerada a partir de dados do satélite NOAA, do período entre 01 a 15 de março de 2012.



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2012).

O perfil temporal do NDVI tem sido utilizado para detectar atividades sazonais e fenológicas, além da duração do período de crescimento, pico de verde, mudanças fisiológicas das folhas e períodos de senescência (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Trata-se de um índice bastante utilizado e em diferentes abordagens, porém Ponzoni e Shimabukuro (2007)

² A agência americana para o oceano e atmosfera NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), em conjunto com a agência espacial NASA, administra o sistema civil de espaçonaves em órbitas polares. A NASA cabe a condução de avaliações técnicas após o lançamento com sucesso de um satélite e a NOAA o controle operacional das missões (KAMPEL, 2004).

alertam para o fato de que na interpretação desse índice é preciso levar em consideração vários fatores limitantes, como: pontos de saturação, interferência atmosférica, posicionamento do centro e largura de cada banda que varia entre os sensores. Além desses, os autores ressaltam que o usuário deve considerar ainda a resolução espacial do sensor com o qual está sendo trabalhado, já que esta variável afeta a pureza ou composição do pixel.

2.3.3 Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME)

Além da geração dos índices descritos anteriormente, outra técnica que vem sendo bastante utilizada na análise da vegetação, no que tange a sua discriminação em relação aos outros elementos da superfície terrestre, é o Modelo Linear de Mistura Espectral. Teoricamente, as imagens geradas por essa técnica são menos sujeitas as variações de fatores, como condições de iluminação da cena e de variações atmosféricas (SHIMABUKURO et al., 1998). Essa técnica decompõe a imagem original em três componentes (solo, vegetação e sombra), gerando assim três novas imagens, segundo o uso do solo em cada pixel através da seguinte equação geral (MOREIRA, 2011):

$$r_i = a * veg_i + b * solo_i + c * sombra_i + e_i \quad (4)$$

Onde:

r_i = resposta espectral do pixel na banda i ;

a, b, c = proporções de vegetação, solo e sombra;

$veg_i, solo_i, sombra_i$ = resposta espectral dos componentes;

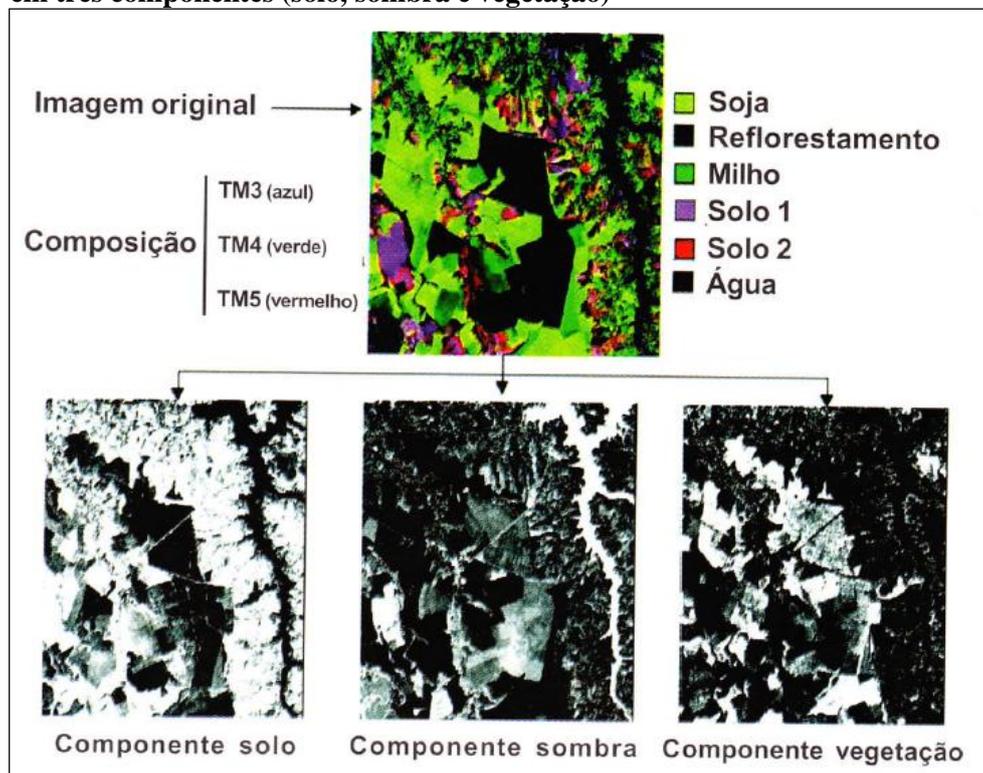
e_i = erro na banda i .

Os produtos gerados pelo MLME (Equação 4) são denominados imagens fração, que podem ser consideradas como uma forma de redução da dimensionalidade dos dados e também como uma forma de realçar as informações, já que transforma a informação espectral em informação física. Assim, na imagem fração vegetação são realçadas as áreas de cobertura vegetal; a imagem fração sombra/água realça as áreas com corpos d'água, com queimadas e

áreas alagadas; e a imagem fração solo destaca as áreas com solo exposto (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

As imagens fração são em tons de cinza (monocromática), sendo que cada número digital está diretamente associado às proporções de cada componente da cena selecionados para o modelo de mistura espectral (Figura 09). Assim, quanto maior o valor do número digital em uma imagem fração do componente analisado, maior será a proporção desse componente no pixel correspondente (idem).

Figura 09- Imagem Landsat TM 5 em composição 3B4R5G, desmembrada em três componentes (solo, sombra e vegetação)



Fonte: Moreira (2011, p. 233).

A geração das imagens fração se dá a partir das respostas espectrais das componentes, consideradas conhecidas, ou seja, podem ser obtidas diretamente das imagens ou de bibliotecas espectrais disponíveis.

Essa técnica vem sendo amplamente utilizada em diferentes áreas, devido a consistência dos resultados obtidos. Na literatura destacam-se os trabalhos desenvolvidos por

Yosio Shimabukuro e colaboradores, que vem desde a década de 1980 aprimorando o MLME na análise de áreas florestadas, além de outras aplicações, tais como a identificação de cicatrizes de queimadas (ANDERSON et al., 2005), monitoramento de uso e cobertura do solo (SHIMABUKURO, 1998) e avaliação de eventos de inundação (MENDONÇA et al., 2012), por exemplo.

2.4 ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E CARBONO FLORESTAL À LUZ DA ECOLOGIA DA PAISAGEM

Considerando a discussão mais ampla acerca das mudanças climáticas e o papel das florestas tropicais nesse contexto, compreende-se que a abordagem teórico-metodológica da Ecologia da Paisagem pode ampliar os estudos voltados a quantificação de biomassa e carbono vegetal, por agregar a estes uma perspectiva espacial de base quali-quantitativa e dinâmica. O que possibilita reconhecer diferentes estruturas fitofisionômicas e com isso a capacidade de estoque de biomassa e o teor de carbono contido em cada uma.

De acordo com Silveira et al. (2008), as florestas estocam carbono tanto na biomassa acima como abaixo do solo, representando mais carbono do que atualmente existe na atmosfera. Assim, a perda da cobertura florestal implica o aumento da quantidade de CO₂ na atmosfera e, conseqüentemente, no agravamento dos problemas climáticos.

No âmbito dessas questões, estimativas de estoque de carbono tornam-se cada vez mais essenciais à tomada de decisão, no que tange ao gerenciamento de áreas florestadas. A obtenção de tais estimativas pode ser realizada através de dois métodos, a saber: o *método direto* (determinação) e o *método indireto* (estimativas). O primeiro, também denominado de método *destrutivo* implica o corte e a pesagem das árvores para a determinação da biomassa (HIGUCHI et al., 1998), e pode ser enquadrado em duas categorias: da árvore individual e da parcela. O método da árvore individual é realizado mediante a seleção de uma árvore média, selecionada após um inventário piloto, onde se realiza o cálculo do diâmetro ou da área seccional ou transversal dessa árvore. Em seguida, procede-se a derrubada e a determinação de biomassa de um número de indivíduos, que se constituem na amostra (SILVEIRA et al., 2008; SANQUETTA, 2002).

Por outro lado, o método da parcela consiste no corte total e pesagem de toda a biomassa de uma área pré-definida. Para Brown et al. (1989 apud SILVEIRA et al., 2008), as estimativas geradas por essas parcelas não são confiáveis, pois baseiam-se em poucas parcelas, pequenas e tendenciosamente escolhidas, geralmente em torno de 0,2 a 1,0 ha.

Já o método indireto consiste em não destruir o material vegetal para obtenção de biomassa. Para tanto, utiliza-se dados de inventários florestais, equações alométricas (lineares e não-lineares) e mais recentemente, imagens orbitais através de técnicas de sensoriamento remoto. Segundo Higuchi et al. (2004), nesse método a biomassa é estimada a partir do volume da madeira, usando-se a densidade média da mesma e um fator de correção para árvores com Diâmetro a Altura do Peito (DAP) < 25 cm.

Nos últimos anos é crescente o uso do método indireto, principalmente, por ser de baixo custo, fácil obtenção das variáveis necessárias como o DAP, por exemplo, entre outras vantagens. Além disso, como é impossível determinar com maior precisão a quantidade de biomassa em uma floresta como a Amazônia, já que isto implicaria o corte total das árvores, torna-se cada vez mais necessário o aprimoramento do método indireto para a obtenção dessas estimativas.

Cumprir destacar que, no âmbito do método indireto para estimar biomassa florestal, o uso de modelos matemáticos vem sendo bastante empregados, sobretudo de modelos que consideram variáveis biométricas da vegetação como as equações alométricas. Para o desenvolvimento desses modelos, determina-se um fator de conversão para se estimar o estoque de carbono vegetal obtido pela proporção entre biomassa e o volume da floresta, o que varia com o tipo florestal, região e estágio de desenvolvimento das árvores e com a atividade humana, sendo necessário conhecer a densidade básica da madeira, o conteúdo de carbono e a proporção do volume para a biomassa total (SILVEIRA et al., 2008). Geralmente, as variáveis mais empregadas são o diâmetro à altura do peito (DAP a 1,30m) e a altura total (h), podendo estas variáveis serem combinadas gerando a variável (dap²h) (SILVEIRA et al., 2008). Além dessas variáveis torna-se importante conhecer ainda a distribuição espacial das diferentes fitofisionomias ou manchas da vegetação, produto tanto das interações entre os fatores físico-naturais (clima, solo, relevo, etc.), quanto da posição geográfica e o do uso do solo, o que nos remete as unidades da paisagem, anteriormente discutidas. Assim, para cada

tipo de estrutura (floresta primária, vegetação secundária, área agrícola) torna-se necessário o uso de equações específicas (HIGUCHI et al., 2004).

De acordo com Silveira et al. (2008), uma diversidade de modelos de regressão tem sido utilizada na estimativa de biomassa total ou por componente de uma árvore. Esses modelos podem ser do tipo linear ou não-linear. “A escolha de uma dessas formas é função da experiência em sua utilização, da relação entre as variáveis ou pela recomendação da literatura” (SILVEIRA, 2008, p. 194). Ainda com base nos autores, as equações alométricas mais utilizadas para a obtenção de estimativas de biomassa em floresta tropical primária (Equação 5) é a proposta por Brown, Gillespie e Lugo (1989), e para floresta tropical secundária (Equação 6) a de Uhl et al. (1988), em ambas, as variáveis independentes são o dap e a altura total do indivíduo:

$$Y = 0,44 * (dap^2 * h)^{0,9719} \quad (5)$$

$$\ln y = - 2,17 + 1,02 \ln (dap)^2 + 0,39 \ln h \quad (6)$$

Onde,

y= biomassa área (kg/árvore);

dap= diâmetro do caule a 1,3 m de altura do solo (cm);

h= altura total do individuo (m).

O uso conjugado de dados radiométricos, extraídos a partir de imagens orbitais com equações alométricas (modelos de regressão) e trabalho de campo, vem sendo bastante empregados na obtenção de dados e informações de biomassa e carbono vegetal, como um acréscimo à metodologia padrão baseada apenas em dados de inventário florestal. Como exemplo, podemos citar os trabalhos de Matos e Kirchner (2008), que realizaram o cálculo de estimativas de biomassa acima do solo de floresta primária na Amazônia, correlacionando dados de campo e orbitais do satélite Ikonos II; e de Bolfe et al. (2011), que através de imagens NDVI e equações alométricas estimaram estoque de carbono em sistemas agroflorestais.

Essas técnicas também integram o leque metodológico da Ecologia da Paisagem, permitindo avançar analiticamente na questão relativa à redução da cobertura vegetal e suas implicações, pois aliados ao ferramental teórico-metodológico específico desse ramo do saber, pode fornecer dados quali-quantitativos para auxiliar no monitoramento e planejamento ambiental de áreas críticas em longo prazo e, ainda na maior compreensão do papel das florestas no seqüestro e estoque de carbono. O diferencial nessa abordagem, é que a mesma considera além da heterogeneidade da paisagem, os processos que levam a sua transformação, permitindo, assim, a realização de análises dinâmicas e espacialmente situadas, tanto no que concerne a localização geográfica dos elementos quanto ao contexto antrópico que o cercam.

**3 A DINÂMICA DA PAISAGEM NO
MUNICÍPIO DE BELTERRA (PA) NO
CONTEXTO DA AGRICULTURA
MECANIZADA**

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo realizar uma análise do município de Belterra no que tange aos processos sócio-espaciais que marcam o desenvolvimento do território municipal, a partir da década de 1990, e suas implicações na dinâmica da paisagem, com destaque para as atividades ligadas a agricultura mecanizada. Para tanto, além do levantamento bibliográfico, documental e estatístico, realizou-se trabalho de campo para a coleta de material visual e outros dados de importância significativa para a análise e o processamento digital de imagens do sensor Landsat TM 5 de três períodos, 1997, 2005 e 2010. A partir da análise e sistematização dos resultados, pode-se afirmar que Belterra vivencia um novo ciclo econômico pautado na expansão e consolidação da atividade sojifeira. Os mapas de uso e cobertura da terra, gerados com três classes temáticas (água, floresta e não floresta), permitem observar a dinâmica da paisagem ao longo de 14 anos. Ao contrário do que mostra as evidências empíricas, no período considerado, houve um aumento das áreas florestadas no município e a redução das áreas não florestadas, que no caso do presente estudo inclui solo exposto, área urbana e agrícola. No âmbito da análise da paisagem, o uso de produtos de sensoriamento remoto constitui importante ferramenta na compreensão das dinâmicas espaciais e com isso um aporte necessário à tomada de decisão, no que tange as políticas de desenvolvimento, porém apresentam algumas limitações que precisam ser consideradas.

Palavras-chave: Belterra, Paisagem, Landsat, Dinâmica espaço-temporal

ABSTRACT

The present work aims to conduct an analysis of the municipality of Belterra in relation to socio-spatial processes that mark the development of the municipal territory, from the 1990s, and its implications on the dynamics of the landscape, highlighting the activities connected mechanized agriculture. Therefore, in addition to literature, documentary and statistical held fieldwork to collect visual material and other data of importance for the analysis and processing of digital images of Landsat TM 5 three times, in 1997, 2005 and 2010. From the analysis and systematization of the results, it can be stated that Belterra experiencing a new economic cycle guided the expansion and consolidation of activity sojifera. Use maps and land cover, generated with three thematic classes (water, forest and non-forest), allow us to observe the dynamics of the landscape over 14 years. Unlike the empirical evidence shows that, in the period considered, there was an increase of forested areas in the county and the reduction of non-forested areas, which in the case of this study includes bare soil, urban and agricultural. In the context of landscape analysis, the use of remote sensing products is an important tool in understanding the spatial dynamics and hence a contribution needed for decision making, regarding development policies, but have some limitations that need to be considered.

Keywords: Belterra, Landscape, Landsat, Spatio-temporal dynamics.

3.1 INTRODUÇÃO

O avanço das frentes de exploração na Amazônia, tais como as madeiras e os pastos, e mais recentemente da fronteira agrícola, notadamente com a expansão das culturas de soja, são consideradas as principais causas do desflorestamento na região (NEPSTAD et al., 2001; MERTENS et al., 2002; KAIMOWITZ et al., 2004; ALENCAR et al., 2004 apud SOARES FILHO et al., 2005).

Nos últimos anos, observa-se a intensificação das atividades ligadas a agricultura mecanizada, sobretudo na paisagem da Amazônia, com destaque para a microrregião de Santarém, mais precisamente nos municípios de Santarém e Belterra, que vem desde o final da década de 1990 experimentando um novo ciclo econômico, impulsionado pela plantação da soja, que vem provocando uma mudança na paisagem regional (FEARNSIDE, 2006; PEREIRA, 2012).

Como as decisões de uso da cobertura da terra variam no tempo e no espaço segundo os arranjos institucionais do lugar, tão importante quanto o reconhecimento da heterogeneidade espacial é o reconhecimento da heterogeneidade de contextos, nesse caso políticos, econômicos, culturais e sociais (MORAN, 2009). Para o município de Belterra, tal assertiva nunca foi tão verdadeira, já que este tem uma origem muito peculiar, resultante das ações da Companhia Ford na Amazônia iniciadas na década de 1930, e que vem desde a década de 90, experimentando um novo processo de ocupação (VENTURIERI et al., 2007).

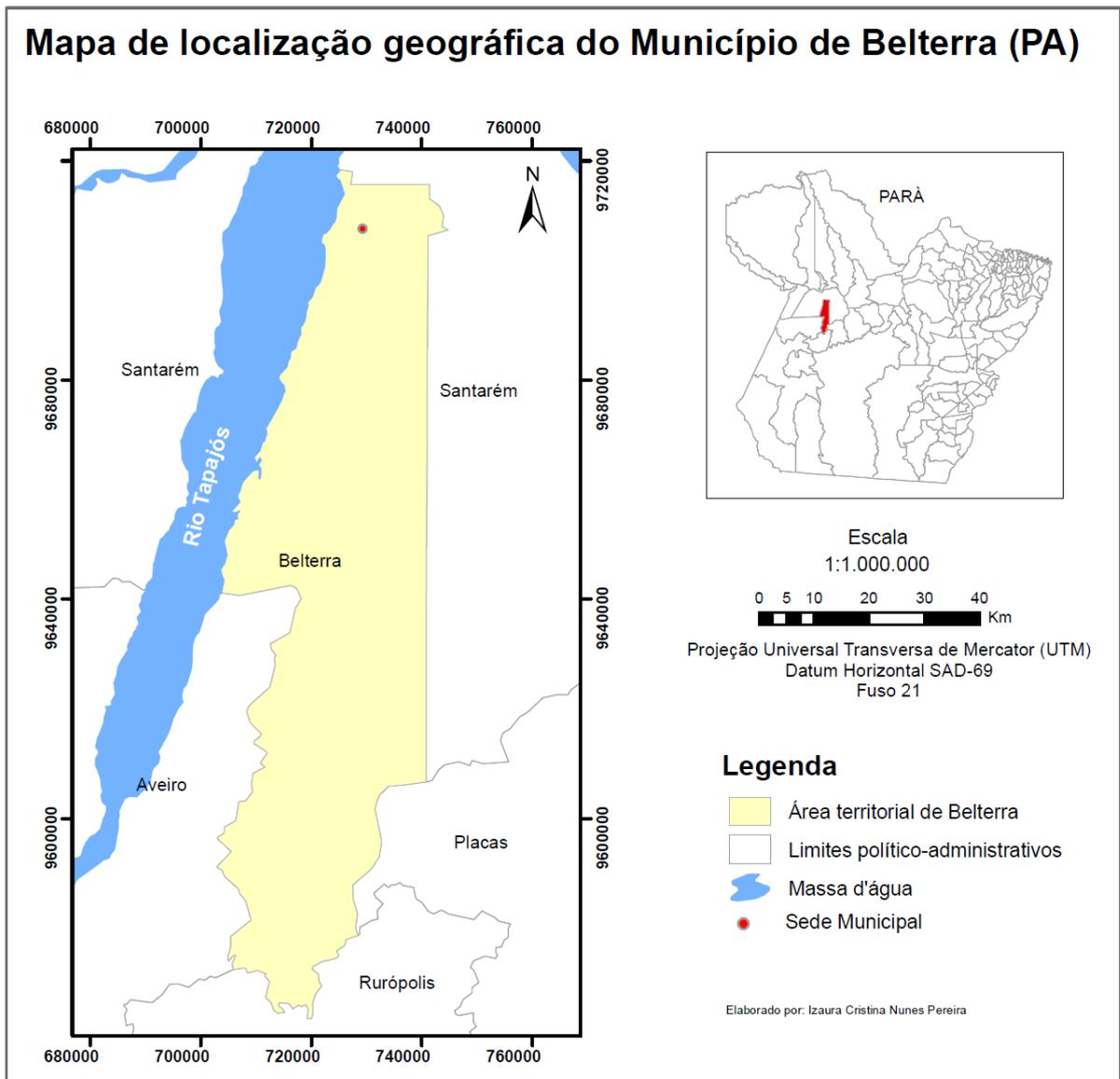
Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo realizar uma análise do município de Belterra no que tange aos processos sócio-espaciais que marcam o desenvolvimento do território municipal, a partir da década de 1990, e suas implicações na dinâmica da paisagem, com destaque para as atividades ligadas a agricultura mecanizada, visando observar se esta vem provocando o aumento do desmatamento e com a isso a redução da cobertura florestal no município em questão.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Área de estudo

O município de Belterra com uma área territorial de 4.398,407Km², localiza-se na região oeste do Pará, pertence à microrregião de Santarém e a mesorregião do Baixo Amazonas, situa-se entre as seguintes coordenadas geográficas 02° 38' 11" de latitude sul 54° 56' 14" de longitude oeste (Mapa 01).

Mapa 01- Localização do município de Belterra, Estado do Pará.



Fonte: Autora (2012).

Segundo a Prefeitura Municipal de Belterra (PARÁ, 2012), a área urbana, considerando o perímetro urbano e a zona de expansão urbana juntas, detém 1% do território municipal. A área rural detém 86%, além da área de massa d'água que corresponde a 13%. A porcentagem rural está dividida da seguinte forma: 59% é Floresta Nacional do Tapajós (FNT), 3% é Área de Proteção Ambiental Aramanaí (APA) e 24% correspondem às áreas situadas no eixo da BR-163 e a área situada imediatamente no entorno da área urbana e de expansão.

3.2.2 Processamento das imagens de satélite

Para a presente análise utilizou-se três cenas do sensor Landsat TM-5, gratuitamente distribuídas pelo Instituto Nacional Pesquisas Espaciais (INPE), através de sua Divisão de Geração de Imagens (DGI) (INSTITUTO NACIONAL PESQUISAS ESPACIAIS, 2012b). As cenas correspondem às órbitas/ponto 227/62 e 227/63, que abrangem a totalidade do município de Belterra, correspondentes às datas de passagem do satélite dos dias 27 de julho 1997, 01 de julho 2005 e 29 de junho 2010, nas bandas 3, 4 e 5.

As cenas foram escolhidas de acordo com a temporalidade que deveria cobrir o período anterior a 1999 onde não havia a intensificação da agricultura mecanizada, o momento em que essa agricultura se intensifica que corresponde ao ano de 2005, e por ultimo, uma que registrasse o atual estado da paisagem em Belterra, 2010. Além do mais o percentual de cobertura de nuvens na cena, considerando a dificuldade de se obter imagens com essa característica em região tropical, também foi um critério de escolha das mesmas (CORREA et al., 2011).

Na fase de pré-processamento as três cenas foram registradas no SPRING versão 5.2.1, aplicando-se a equação polinomial de primeiro grau para ajustar os pontos de controle adquiridos em campo pelo sistema de posicionamento global (GPS). Após o registro foi realizada a correção radiométrica correspondentes à conversão dos números digitais (ND) para valores de reflectância aparente e de superfície. Tal conversão tem como objetivo permitir a elaboração de cálculos que incluem dados de imagens de diferentes bandas espectrais. Os valores de reflectância foram realizados no LEGAL do SPRING, usando os parâmetros de calibração obtidas no cabeçalho das imagens Landsat.

Devido às imagens serem de datas diferentes, procedeu-se à normalização radiométrica objetivando compatibilizar as amplitudes dos níveis de cinza dos elementos de imagem em cada banda espectral para cada ano. Para tanto, foi utilizado o método da Uniformização das Médias e Variâncias (UMV), que segundo Leonardi, Souza e Fonseca (2003) geram resultados próximos aos obtidos por métodos mais criteriosos como o de Hall. Em seguida procedeu-se à segmentação das mesmas através do método “crescimento de regiões” também disponível no software em questão, usando como valor de similaridade 16 e de área 5.

Para a análise da mudança da paisagem no recorte temporal citado, aplicou-se a técnica de classificação digital não supervisionada a partir das imagens segmentadas. A classificação é uma técnica que permite a identificação de padrões e objetos homogêneos na superfície terrestre, bem como a quantificação desses padrões e, conseqüentemente, das transformações ocorridas na paisagem. O produto da classificação permitiu a confecção do dinâmico do município.

Para facilitar o contraste visual da resposta espectral dos alvos no produto gerado foram consideradas apenas três classes temáticas (água, Floresta e Não-floresta), desconsiderando-se neste momento as áreas de vegetação secundária, que juntamente com a vegetação primária formaram apenas uma classe: Floresta. No caso das áreas Não-florestadas, estas corresponderam as áreas agrícolas, solo exposto e manchas urbanas.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 O município de Belterra: origem e formação

O município de Belterra tem sua origem diretamente relacionada ao ciclo da borracha na Amazônia, iniciado na região por volta do século XIX. Por causa da grande procura pelas seringueiras quase toda a região foi explorada. Mais precisamente em 1927 quando o Congresso paraense aprova uma lei cedendo um milhão de hectares à Companhia Ford para o plantio de 1200 hectares de seringueiras, aprovando, ainda, uma série de benefícios fiscais à empresa norte-americana. Um ano depois, é criada a vila Fordlândia às margens do Rio Tapajós, entre os municípios de Itaituba e Aveiro. Em 1930, a mesma passa a

contar com toda a infraestrutura de uma cidade moderna ao estilo norte-americano, com calçadas, iluminação pública, hidrantes vermelhos, hospital, quadras de tênis e golfe, piscina e clubes de jardinagens (GRANDIN, 2010).

Porém, em 1934, os seringais de Fordlândia foram atacados por doenças, o que obrigou os dirigentes da recém-formada vila a trocar uma área de aproximadamente 202 mil hectares inalterada, por outra área plana localizada à 115 km rio abaixo, em relação a posição de Fordlândia, em Belterra, um platô de 50 metros de altitude (GRANDIN, 2010), com densa cobertura florestal, solos mais ricos e com melhor drenagem.

A instalação da nova vila em Belterra foi finalizada em 1936. Nas palavras de Grandin (2010, p. 319):

Os trabalhadores haviam construído um centro de cidadania e residência e limpo e plantado milhares de hectares com seringueiras. Assim, foi tomada a decisão de transferir o grosso das operações para o novo local, com a Fordlândia convertida em centro de pesquisa, escola de enxertos e viveiros para clones híbridos a serem plantados no novo local [...].
[...] O terreno de Belterra era plano, o que era bom não apenas para o plantio de seringueiras, mas para projetar ruas planas e simétricas [...] (GRANDIN, 2010, p. 321).

Assim, Belterra foi dotada de moderna infraestrutura com praça, igreja, salão de recreação, cinema ao ar livre, campo de golfe, caixa d'água, consultório dentário, piscinas, geradores de eletricidade, além de escola e de um moderno hospital, com equipamentos de raios X e transfusão de sangue, apelidado de “Clínica Mayo da Amazônia”, que prestava atendimento à força de trabalho da Companhia Ford da região e aos habitantes locais (GRANDIN, 2010). Todo esse aparato deu a Belterra o rótulo de “a cidade americana no coração da Amazônia” (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS, 2012). Dessa forma:

[...] Belterra parecia uma cidade do Meio-Oeste com uma praça. Modelos T e A rodavam em suas ruas retas, ladeadas por hidrantes anti-incêndios, calçadas, postes de iluminação pública e bangalôs verdes e brancos de trabalhadores, com quintais e jardins bem cuidados (GRANDIN, 2010, p. 321).

Até hoje, o município mantém sua herança do passado, facilmente observado no padrão arquitetônico das casas e de alguns órgãos municipais, como o “Palácio das Seringueiras”, sede da Prefeitura Municipal de Belterra (Fotografia 01). Construídas bem ao estilo norte-americano, com detalhes em verde, modelo *Cap Cod*, com telhados muito inclinados e cumeeiras (Fotografia 02). No mesmo estilo implantado por Ford em Alberta, uma vila de sua jurisdição, situada na Península Superior de Michigan, Estados Unidos.

Fotografia 01- Instalações da Prefeitura Municipal de



Fonte: Autora (2010)

Fotografia 02- Padrão residencial do município de Belterra



Fonte: Autora (2010).

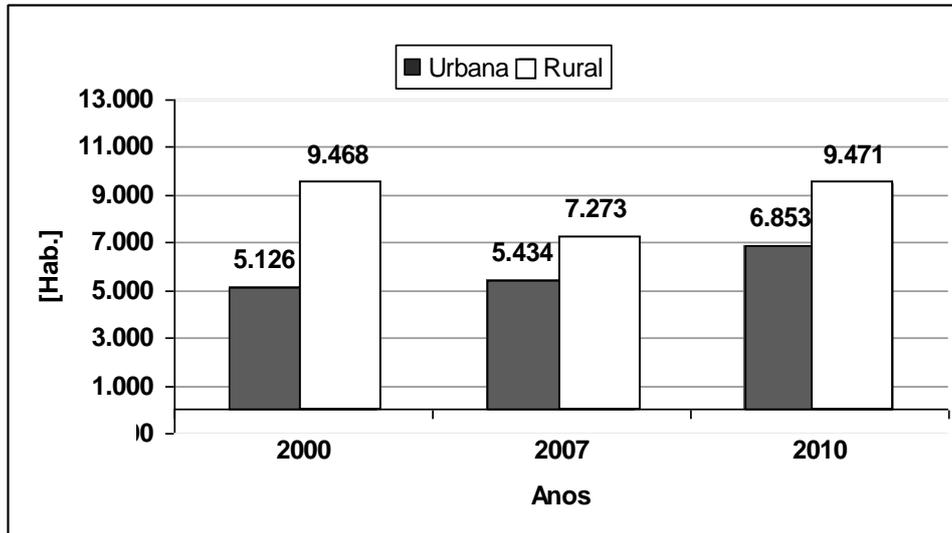
De 1938 a 1940, Belterra viveu o seu período áureo e foi considerado o maior produtor individual de seringa do mundo. Estima-se que nesta época oito mil hectares de floresta tenham sido derrubados no município para a formação de seringais, utilizando-se unicamente de machados e foices (COHENCA, 2005). No entanto, o final da 2ª Guerra Mundial, a morte do filho de Henry Ford, a grande incidência de doenças nos seringais e, principalmente, o início da produção de borracha plantada na Ásia foram fulminantes para a decadência do projeto. Em 1945, tendo o mesmo fracassado, apesar dos inúmeros esforços em tentar implantar o cultivo racional de seringueiras na Amazônia, a Companhia Ford entregou a área de volta ao governo brasileiro (GRANDIN, 2010).

Durante 39 anos, Belterra ficou no esquecimento e a "cidade americana" foi transformada, entre outras denominações, em Estabelecimento Rural do Tapajós (ERT), ficando sob a jurisdição do Ministério da Agricultura, situação essa que perdurou até a década de 90 do século XX, quando foi elevado a categoria de município em 28 de dezembro de 1995, através da lei estadual nº 5.928, desmembrado do município de Santarém, sendo instalado apenas em 01 de janeiro 1997, com a posse do prefeito Oti Silva Santos, do vice-prefeito e vereadores eleitos no pleito municipal de 3 de outubro de 1996.

Segundo o último Censo de 2010 a população total atual de Belterra corresponde a 16.324 habitantes, dos quais 6.853 (41,98%) residem na área urbana e 9.471 (58,01%) na área rural, caracterizando-o como um município, predominantemente, rural.

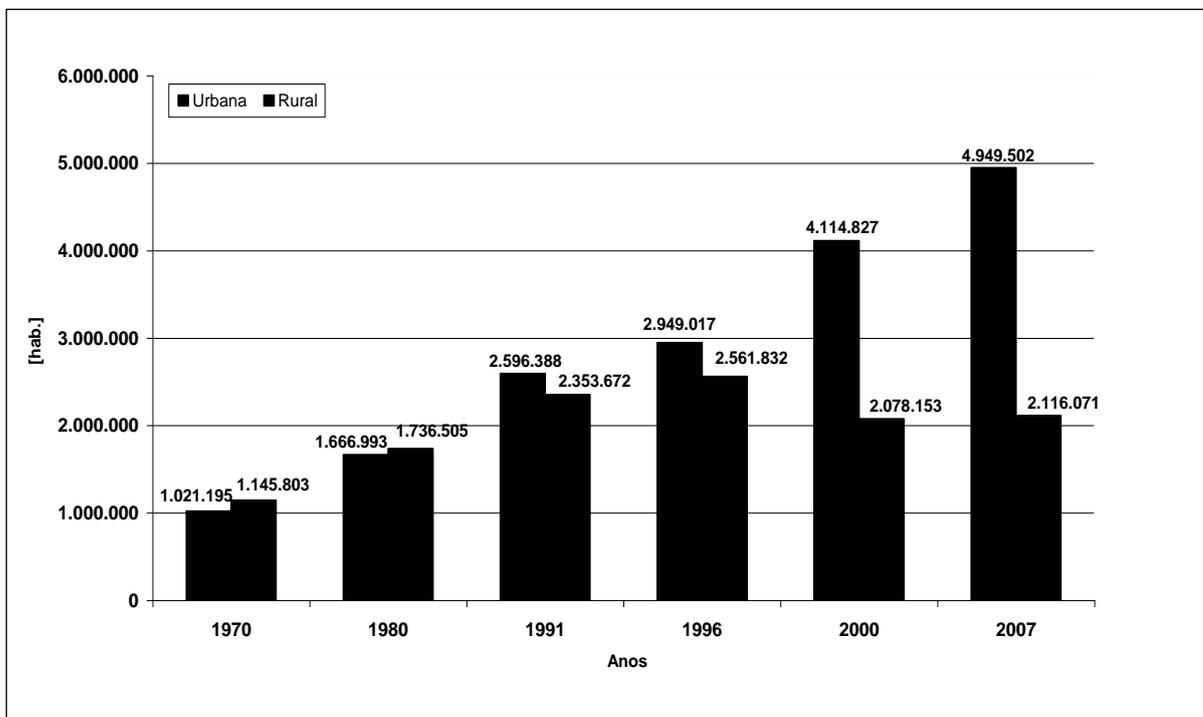
No gráfico abaixo pode-se observar a dinâmica populacional neste município entre os anos de 2000, 2007 e 2010 (Gráfico 01). O mesmo sugere que Belterra segue uma tendência inversa a do estado, que desde a década de 1970 vem mostrando um crescimento expressivo da população nas áreas urbanas (Gráfico 02).

Gráfico 01- Evolução da população rural e urbana do município de Belterra



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (2007).

Gráfico 02- Evolução da população rural e urbana residente no Estado do Pará entre 1970 e 2007.



Entretanto, os dados demonstram que para o período entre 2000 e 2010 o crescimento populacional do município em questão foi positivo como um todo, em particular na área urbana, cuja taxa de crescimento foi de 3,70%, já que na área rural a mesma foi nula (Quadro 04). O que significa dizer que o crescimento da população urbana ocorreu através da migração de pessoas advindas de outros municípios e não por exodo rural, já que população rural manteve-se, praticamente, inalterada.

Quadro 04- Evolução da população rural e urbana residente no Estado do Pará entre 1970 e 2007.

MUNICÍPIO	ZONA	Período		Taxa %
		2000	2010	2000/ 2010
Belterra	Urbana	5.126	6.853	3,70
	Rural	9.468	9.471	0,00
	Total	14.594	16.324	1,41

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (2007).

Quanto ao setor econômico, o mesmo é impulsionado pela Agropecuária e pela Administração Pública local, que detém os maiores postos de trabalho no município, que é pouco dinâmico no setor de comércio e serviços, já que essas relações são mantidas de forma intensa com o município de Santarém, principal pólo de serviços da região. No Quadro 05 pode-se visualizar a distribuição do estoque de emprego por setor de atividade no município entre 1999 e 2010 e o crescimento dos postos de trabalho ao longo desses anos no setor agropecuário.

Quadro 05-Estoque de emprego segundo setor de atividade econômica (1999-2010).

Setor de atividade	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Extrativa Mineral	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Indústria de Transformação	10	16	24	20	28	24	45	30	38	53	14	16
Serv. Indust. Utilidade Pública	1	1	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-
Construção Civil	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	3	3
Comércio	-	-	7	6	4	14	19	19	21	23	26	35
Serviços	4	1	2	1	10	15	15	8	8	9	6	7
Administração Pública	301	306	375	299	472	466	690	623	657	816	778	740
Agropecuária	1	3	35	41	86	145	117	92	79	159	106	140
Outros/ignorados	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	317	327	443	36	600	664	889	772	807	1064	933	941

Fonte: Adaptado de Pará (2011).

3.3.2 A relação entre a agricultura de grãos e mudança da paisagem no planalto santareno

A região Oeste do Pará insere-se na área de influência da BR-163. Essa região vem se destacando no cenário econômico estadual e nacional pelo crescimento da produção de soja. Outros grãos, tais como o feijão, por exemplo, são produzidos de forma artesanal através da agricultura familiar ou em menor proporção, com pouca representatividade econômica e espacial.

Em escala regional a chegada da atividade agrícola mecanizada no oeste paraense vem configurando o novo ciclo econômico da região, por enquanto geográfica e produtivamente concentrada no planalto da Amazônia Oriental, que abrange os municípios de Santarém, Mojuí dos Campos e Belterra (planalto santareno), além dos municípios da calha sul e norte do rio Amazonas.

Esse contexto, para a região, cria um cenário preocupante já que a mesma abriga imensas áreas de florestas densas protegidas por lei. A expansão da atividade agrícola mecanizada implica, mesmo que indiretamente, na redução da mancha florestada, pois essa prática correlaciona-se diretamente com outras atividades produtivas, que tem a derrubada da floresta através da exploração ilegal da madeira a fase inicial do processo:

[...]. Não raramente o ciclo de atividades produtivas que culmina com a implementação da agricultura mecanizada inicia-se por um processo de apropriação ilegal de áreas para a extração madeireira. Com a exaustão destes recursos, as florestas dão lugar aos pastos para a pecuária de corte ou, caso o relevo permita, diretamente ao plantio de milho e arroz. Só após algumas safras dessas duas culturas, é que a soja torna-se viável economicamente (PUTY, 2006, p.237).

Desse modo, a relação entre a expansão da agricultura mecanizada e o desmatamento não ocorre de forma direta, já que a mecanização exige áreas totalmente antropizadas, pois o contrário tornaria a atividade economicamente inviável (ARAÚJO et al., 2008).

No planalto santareno a agricultura mecanizada teve início a partir dos anos 90, subsidiado por ações conjugadas entre o Estado e o grande capital, tais como a realização de

estudos de viabilidade econômica, projetos pilotos, asfaltamento de rodovias e concessão de terras- visando a implementação e dinamização dessa atividade, representada pela soja, nos municípios de Santarém e Belterra. De acordo com Pereira (2012), a inserção da soja na região pode ser assim compreendida como uma ação planejada e seletiva que teve apoio político em diversos níveis: financiamento público, flexibilização da legislação ambiental, afrouxamento da fiscalização dos órgãos responsáveis e estudos científicos que subsidiaram a melhor localização do empreendimento.

A disponibilidade de extensas áreas de florestas antropizadas foi usada como argumento pelos primeiros produtores, e legitimada pelo poder público local, para a expansão da atividade, sobretudo no município de Santarém que teve um considerado crescimento de área colhida a partir de 2002. Porém, nessa região o crescimento acelerado da produção de grãos, segundo Araújo et al. (2008), impactou, sem dúvida, os níveis de desmatamento, que se aceleraram a partir do *boom* da soja no final do século passado.

Até o final da década de 1990, a agricultura mecanizada nessa região era praticada apenas por pequenos e médios produtores, que vieram atraídos pelo baixo valor da terra. Situação modificada somente em 2000 com a implantação do Terminal Graneleiro da Cargill (Empresa Exportadora de Grãos) no município de Santarém situado às margens do Rio Tapajós (Fotografia 03). Este empreendimento serviu como catalisador de grandes empresas produtoras de grãos advindas, principalmente, do norte do estado do Mato Grosso, com experiência técnica e capital para investir. Com esse terminal abriu-se, assim, uma importante via de escoamento fluvial de grãos denominada “saída norte”, estrutura logística fundamental para o aumento da área plantada de soja nos municípios do planalto santareno a partir desse período.

Fotografia 03- Terminal Graneleiro da Cargill no município de Santarém-PA.



Foto: Autora (2012).

A estrutura logística envolvida à chegada da soja no porto da Cargill compreende o seu transporte rodoviário até Porto Velho e depois hidroviário por balsa, passando por Itacoatiara no Amazonas, até chegar em Santarém, o que representa uma redução em até 1000 km em relação a Paranaguá, porto no qual grande parte da soja oriunda do cerrado ainda é escoada (ARAÚJO et al., 2008).

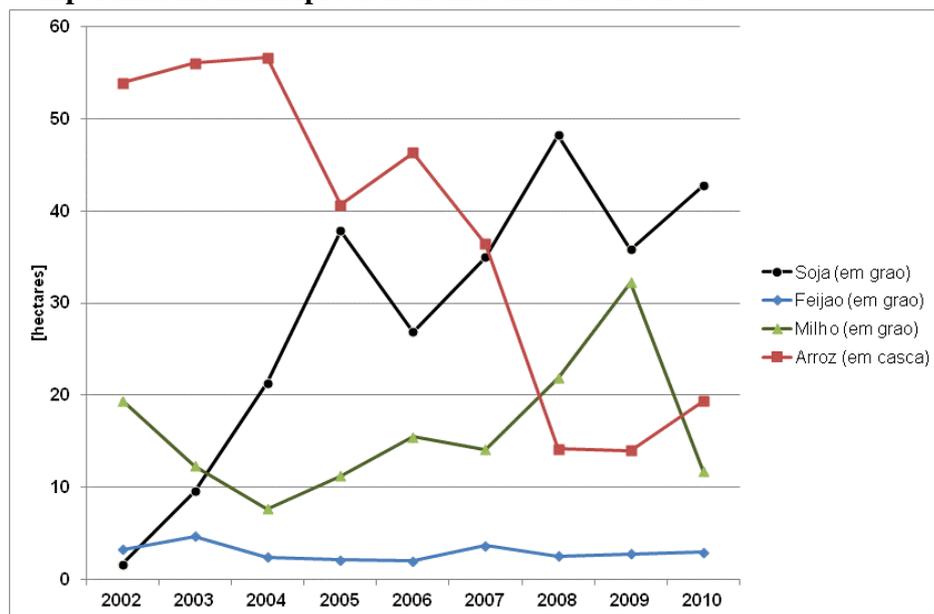
No bojo dessa empreitada, a disputa por novos hectares de terra para plantação de grãos imprimiu a região uma nova configuração, marcada pela chegada de novos atores sociais (negociantes de terra, intermediários, comerciantes de insumos agrícolas e assistência técnica), pela especulação fundiária, êxodo rural, intensificação dos conflitos por terra, sobretudo a partir de 2003 com o que se convencionou chamar de “segunda onda de invasão da soja”. Essa “nova onda”, segundo a Comissão Pastoral da Terra (CPT), Diocese Santarém, vem levando a extinção de comunidades locais inteiras, por meio de ações violentas, grilagens de terras e supressão da cobertura florestal (COMISSÃO PASTORAL DA TERRA, 2005). Além dos impactos sociais, ressaltam-se os impactos ambientais diretos e indiretos como a erosão do solo e a contaminação ambiental por uso de herbicidas, inseticidas e fungicidas químicos de efeitos colaterais sobre as florestas adjacentes, ao sistema hídrico e biológico e a população local (FEARNSIDE, 2001).

No município de Belterra, o cultivo da soja ainda é realizado de forma convencional. Essa forma de plantio, em estágio inicial, implica primeiramente a derrubada e a queima da vegetação e em seguida o revolvimento do solo, geralmente com grade aradora pesada para a retirada e queima das raízes e, por fim, a calagem do solo, para neutralizar parte da acidez. Neste predomina ainda uma tendência ao uso de antigas áreas de pastagens para o cultivo dos grãos, o que vem levando à redução da atividade pecuária nesse município, que apresenta também outros fatores naturais limitantes ao seu desenvolvimento dessa atividade, tal como a ausência de água na estação seca (Julho a Dezembro). Além disso, a região é considerada de alto risco de febre aftosa, o que limita a comercialização do gado e da carne bovina no mercado local (ESCADA et al., 2009), tornando esta atividade menos atrativa, quando comparada a produção agrícola.

Em Belterra o crescimento da área plantada de soja ocorreu de forma representativa a partir de 2004, passando de 9,57 hectares para 37,85 hectares de área plantada

em 2005, atingindo em 2010 uma área total de 42,76 ha de soja em grão, em detrimento de outras culturas, como o arroz, por exemplo, no mesmo período (Gráfico 03).

Gráfico 03- Evolução da área plantada das principais culturas temporárias no município de Belterra entre 2002 e 2010.



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (2010).

Embora a atividade agrícola mecanizada e o desmatamento não ocorram, aparentemente, de forma direta (VENTURIERI et al., 2007), esses dados alertam para a necessidade de mecanismos mais eficazes de proteção das áreas de florestas na Amazônia, que apesar do amparo legal (limites definidos e códigos de uso), vem sofrendo redução em sua cobertura florestal e que devem ser estendidos às florestas secundárias ou antropizadas também, principalmente por causa da nova frente de exploração econômica que vem se desenvolvendo na região nas últimas décadas.

Mesmo num contexto já de discussão da importância da manutenção das florestas, sejam elas antropizadas ou primárias, para a regularização do clima global, ao que tudo indica não houve qualquer esforço para implantação de atividades que explorassem de forma sustentável essas áreas, no planalto santareno, particularmente. Destaca-se a importância de se inventariar os hectares de terras já degradados e em estágio de regeneração na região como um

todo, em virtude do potencial ecológico e econômico das mesmas e para, além disso, como instrumento de contenção das atividades agrícolas, ao mesmo tempo em que se configuram e áreas propícias ao desenvolvimento das mesmas.

3.3.3 A dinâmica da paisagem no município de Belterra no contexto de expansão da soja

A dinâmica sócio-econômica da soja vem desde a sua chegada fragmentando a paisagem da Amazônia Oriental, principalmente em porções da bacia do rio Tapajós (VENTURIERI et al., 2007), com a formação de novos padrões espaciais, criando, assim, um mosaico cada vez mais complexo e geometricamente elaborado (Fotografia 04). Surgem novas paisagens, antropizadas, em detrimento das paisagens naturais, gerando graves prejuízos ecológicos, cujos custos precisam ser bem avaliados, já que os mesmos incluem as oportunidades de serviços ambientais perdidos (FEARNSIDE, 2006).

Fotografia 04- Área desmatada da floresta para o plantio de soja/ Santarém-PA.



Fonte: FREITAS (2006).

Importa frisar que os impactos gerados não se limitam apenas a redução da vegetação nativa, mas também a implantação de toda a rede de infraestrutura para subsidiar o desenvolvimento da produção da soja. Segundo Fearnside (2006), outras formas de uso da

terra não tem tanta força política para atrair investimentos públicos como este grão. Tal situação produz o que os planejadores brasileiros denominam de *efeito de arraste*, entendido como o estímulo a investimentos privados como resultado de uma ação pública em um projeto, que por sua vez estimula o desenvolvimento de outras atividades com forte impacto sobre o meio ambiente.

Considerando esse contexto, no município de Belterra destaca-se a pavimentação de rodovias pelo governo do Estado, como exemplo de implantação de infraestrutura para subsidiar o escoamento da soja, no caso a obra de pavimentação asfáltica da PA-443 realizada em 2010, com 12,9 km de extensão, no trecho entre a rodovia federal Cuiabá-Santarém (BR-163) e o setor urbano do município em questão (Fotografia 05).

Fotografia 05- Rodovia Estadual PA-443, Belterra (PA).



Nota: (a) Placa do Governo do Estado do Pará informando a realização da obra; (b) Trecho da rodovia sendo preparada para receber o asfalto, no canto inferior direito, extenso campo de soja.

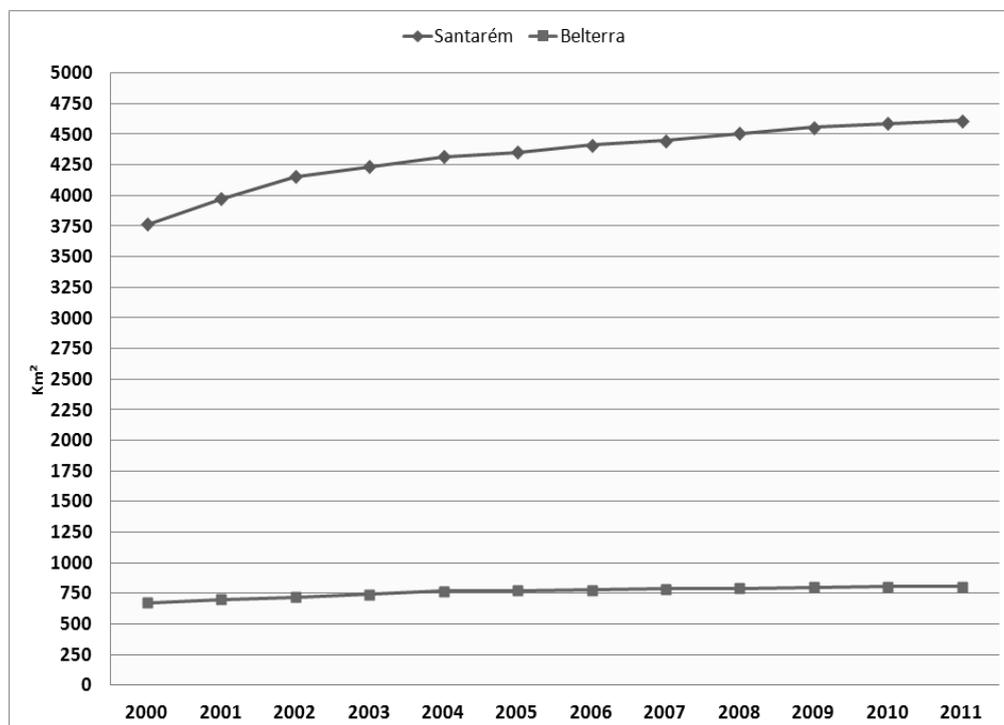
Fonte: Autora (2010).

A implantação da condição necessária para o pleno desenvolvimento da produção sojifeira, no caso da Amazônia, deve ser considerada. Tendo em vista que a mesma influencia no incremento do desmatamento de modo direto e indireto. Segundo o trabalho desenvolvido por Venturieri et al. (2007), com base em análise de imagens orbitais da área produtiva de soja em Santarém e Belterra, entre os anos de 1975 e 2005 houve uma redução da cobertura florestal de 85% para 59%, respectivamente, com taxa de desflorestamento de 15% para 41%

no mesmo período, o que coincide com o período inicial de desenvolvimento da agricultura mecanizada nos municípios citados. Os autores vão além e analisam como se deu a dinâmica de uso e cobertura da terra nesses locais no mesmo período, apresentando ainda a origem das áreas usadas para agricultura mecanizada. Os dados analisados pelos autores revelam que essa atividade vem utilizando áreas de pastagem, capoeira e agropecuária. Porém, houve no mesmo período uma perda de 8% de floresta primária na região, que pode estar associada à expansão da fronteira agrícola.

Os dados do Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite (PRODES) permitem avaliar as taxas anuais de desmatamento na região. A análise dos dados de 2000 a 2011 para os municípios de Santarém e Belterra (Gráfico 04) percebe-se o aumento, mesmo que sutil, do desmatamento nesses dois municípios.

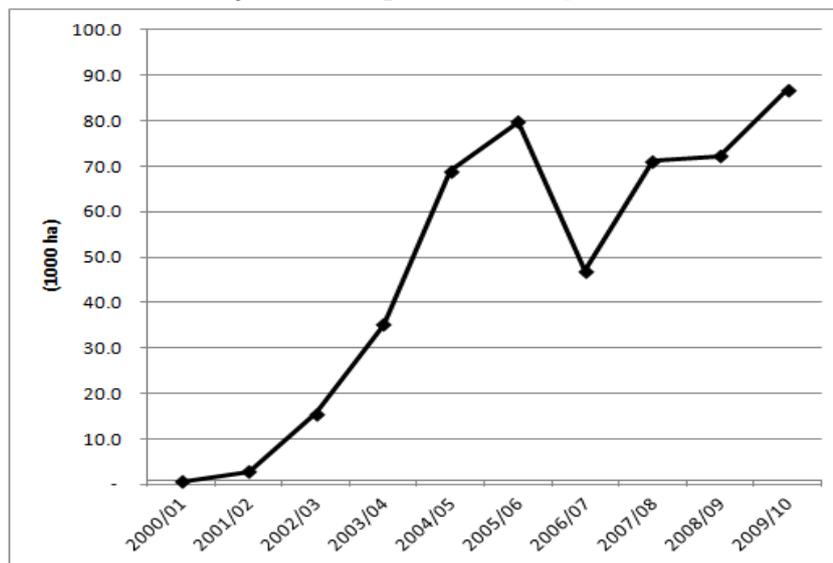
Gráfico 04- Dinâmica do desmatamento nos municípios de Belterra e Santarém (2000-2011).



Fonte: Elaborado a partir dos dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2012a).

Ao visualizar os dados sobre expansão da área plantada de soja no Estado do Pará (Gráfico 05), divulgados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), referente ao mesmo período de coleta do sistema PRODES, percebe-se que o pico de crescimento de área plantada no estado ocorre de forma significativa a partir de 2004, assim como o aumento do desmatamento nos dois municípios em questão.

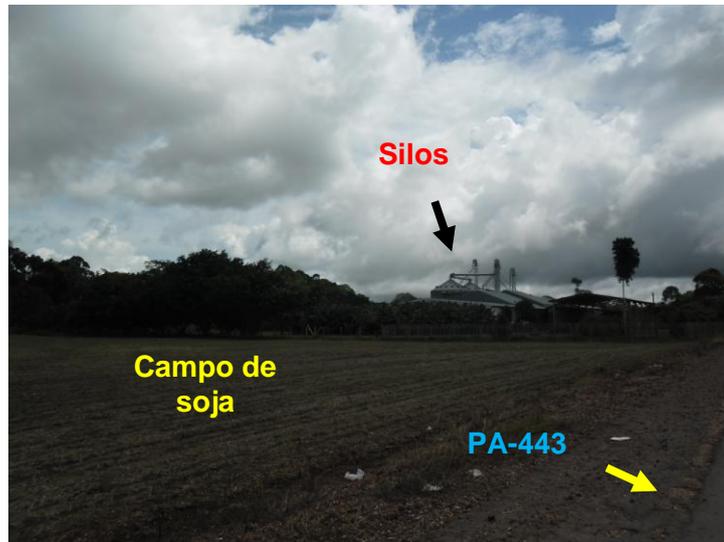
Gráfico 05- Evolução da área plantada de soja no Estado do Pará



Fonte: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB, 2012).

Ao longo da rodovia estadual PA-443, no trecho entre Belterra e a Rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163) situado entre os limites da Flona Tapajós e o núcleo urbano do município, pode-se observar, imensas áreas destinadas a plantação de soja e até mesmo silos para a estocagem dos grãos, uma espécie de micro complexo de soja formado pela tríade Campo-Via de circulação (PA-443)-Estocagem (Silos) (Fotografia 06).

Fotografia 06- Campo de soja às proximidades das instalações de estocagem às margens da PA-443, Belterra (PA).

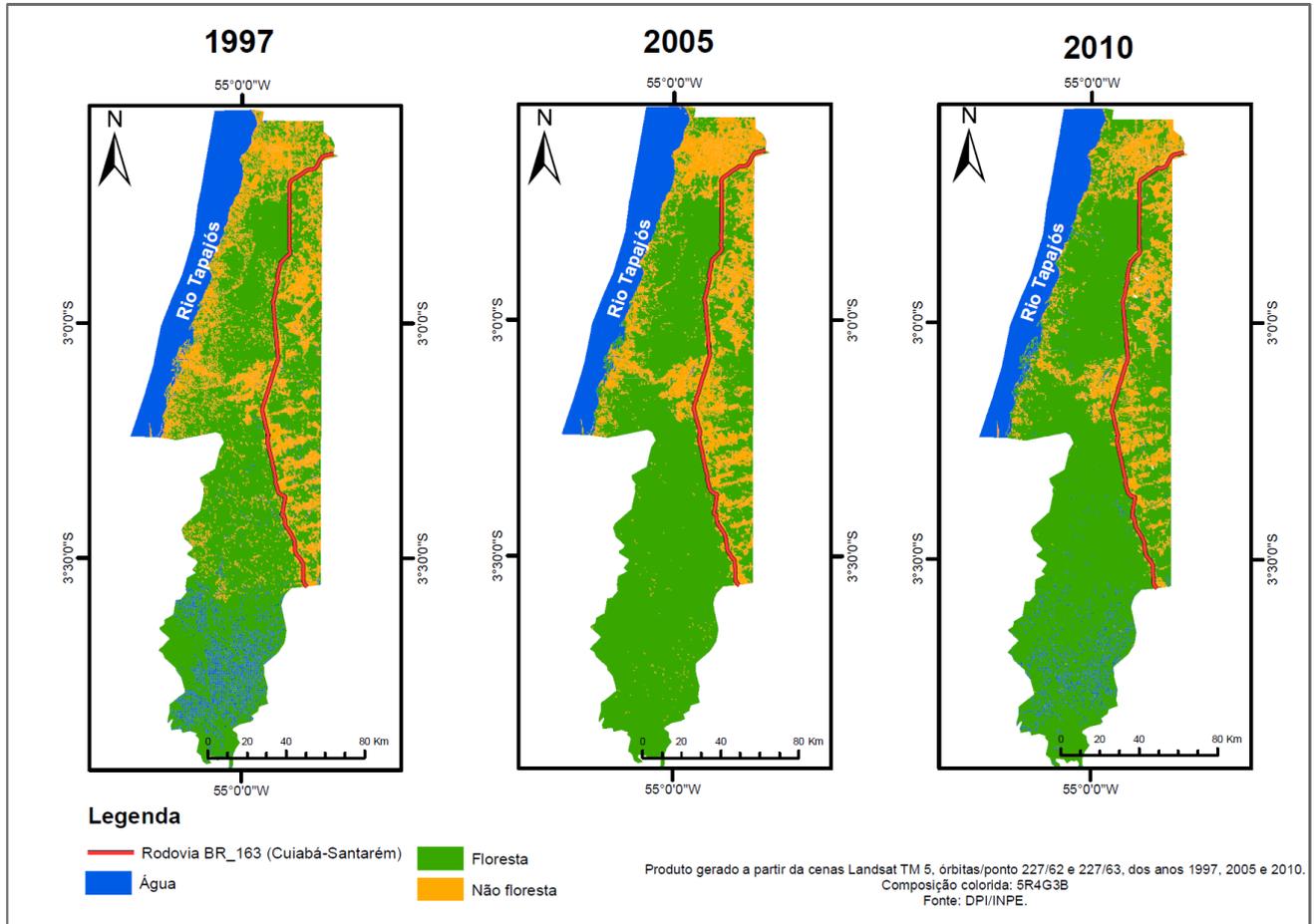


Fonte: Autora (2012).

A localização dos campos de soja às proximidades do perímetro urbano no município indica um padrão de localização totalmente atípico. Partindo do pressuposto que o urbano é muito mais que o conjunto de infraestrutura, pode-se afirmar que o lugar da soja em Belterra é no espaço urbano.

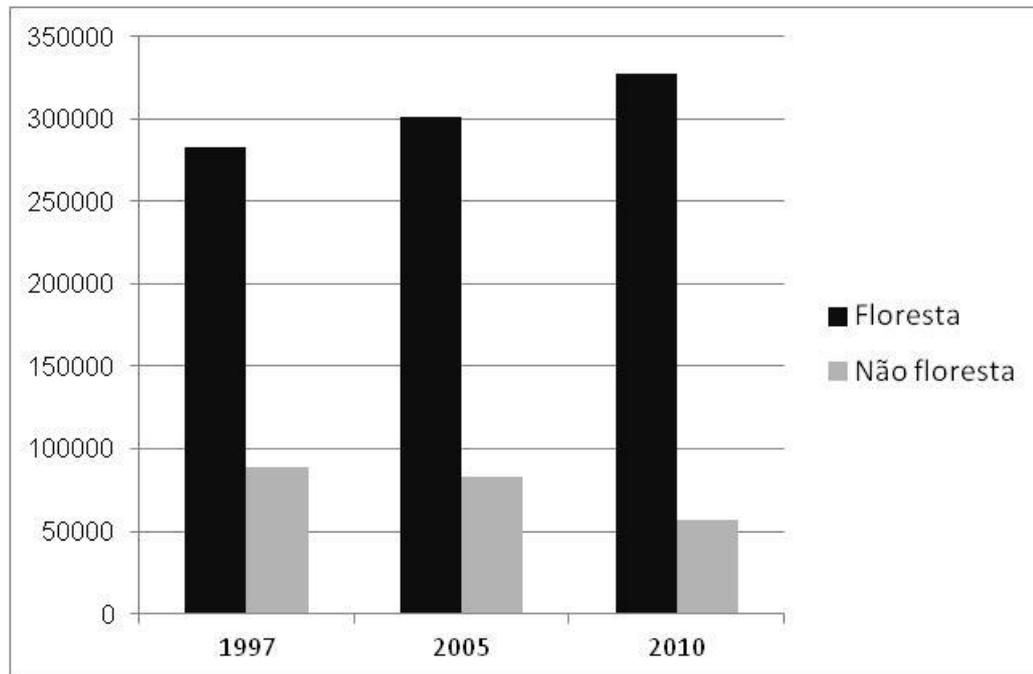
A análise de imagens de satélite dos anos de 1997, 2005 e 2010 permite visualizar a dinâmica da paisagem no município nesse intervalo (Mapa 02). No período entre 1997 a 2005 houve uma ampliação das áreas não florestadas, o que coincide com o período de evolução da área plantada de soja no planalto santareno. Entre 2005 e 2010 a imagem indica uma involução dessas áreas, com o aumento das áreas florestadas ou em fase de regeneração.

Mapa 02- Dinâmica da paisagem no município de Belterra (PA) entre 1997 e 2010.



Fonte: Autora (2012).

A análise estatística das cenas, a partir da área ocupada em hectares pelas classes Floresta e Não floresta, em termos absolutos confirma o aumento das áreas de florestas no intervalo citado, conforme se pode observar no Gráfico 06. Indicando a redução do desmatamento para a totalidade do município.

Gráfico 06- Análise estatística das imagens

Fonte: Autora (2012).

Entre 1997 e 2010 o aumento das áreas florestadas foi de aproximadamente 8,77%, enquanto que a redução das áreas de não florestas, no mesmo período, foi de 31,64%. Assim, apesar das evidências empíricas, os dados analisados não permitem afirmar que esteja ocorrendo à redução da cobertura florestal no município em estudo em decorrência da atividade sojifeira. Entretanto, não se pode negar que a dinâmica sócio-econômica da soja vem desde sua chegada fragmentando a paisagem amazônica com a formação de novos padrões espaciais, criando, assim, um mosaico complexo, marcado pelo predomínio de paisagens cada vez mais antropizadas.

Nesse contexto, é importante considerar as limitações técnicas dos sensores remotos quanto à obtenção das respostas espectrais dos alvos na superfície terrestre, pois o mínimo de vegetação retorna para o sensor a mesma assinatura digital de uma área com floresta, o que necessita ser aperfeiçoado. E, além disso, torna-se necessário uma mudança de escala para um maior detalhamento e reconhecimento dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra com mais precisão.

Contudo, é preciso considerar que a expansão da agricultura mecanizada compromete outras atividades agrícolas, tais como a produção frutífera, que dá aos municípios de Santarém e Belterra um importante papel como um dos principais polos agrícolas do estado, “tendo a frente à produção familiar diversificada e consolidada há décadas, representada por segmentos sociais também diversificados, que já tem uma tradição na região, [...]”, e que vem sendo ameaçada pelo avanço da monocultura da soja (CARVALHO; TURA, 2006).

3.4 CONCLUSÕES

A partir das imagens obtidas foi possível analisar as transformações ocorridas na paisagem do município de Belterra nos últimos 14 anos. Tais mudanças parecem estar relacionadas com a chegada da agricultura mecanizada, em particular com o cultivo de grãos, dentre eles a soja, mas não em termos de área, mas sim de padrão espacial.

Pode-se observar, entretanto que a mesma vem modificando a paisagem regional, além de ocasionar problemas de cunho social, como desapropriação e conflitos de terras, bem como o desaparecimento de outras culturas, trazendo à tona a questão sobre segurança alimentar na região.

De acordo com Araújo et al (2008), o conjunto dessas dinâmicas, com reflexo direto na paisagem e nas formas de uso do solo, desenrolam-se, paralelamente, a uma total irregularidade nos processos de apropriação das terras, intensificando a disputa por esse recurso na região do planalto santareno.

Nesse contexto, o estudo da dinâmica da paisagem fornece importantes elementos à compreensão da realidade sócio-espacial da área investigada, pois permite observar através das formas criadas ou modificadas a evolução temporal dos processos que conformam essa realidade e para, além disso, como tais processos, nesse caso antrópicos, interagem com o ambiente natural a partir de uma visão holística e integrada.

O uso de imagens de satélite é uma ferramenta importante para quantificação e compreensão deste processo, pois possibilita a identificação das formas espaciais e suas transformações ao longo do tempo e de modo satisfatório. Entretanto, cumpre ressaltar que a correta leitura e interpretação das mesmas, depende em larga escala do conhecimento prévio

da área investigada, não apenas em termos de visita *in loco*, mas também do levantamento de dados quantitativos e qualitativos que permitam conhecer a dinâmica do lugar.

Assim, a análise da evolução da paisagem a partir de produtos de sensoriamento remoto deve ser compreendida como uma ferramenta de planejamento no âmbito das políticas de desenvolvimento, por considerar além dos elementos naturais (florestas, rios, ecossistemas, etc.), aspectos relacionados ao histórico de uso e ocupação do solo. Desse modo, podem ser construídos cenários futuros como forma de pensar o planejamento da paisagem em longo prazo.

**4 USO DE TÉCNICAS DE
SENSORIAMENTO REMOTO E
GEOPROCESSAMENTO NA
DISCRIMINAÇÃO DE UNIDADES DE
PAISAGEM COMO SUPORTE A
ANÁLISE ESPACIAL**

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo aplicar técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na identificação de unidades de paisagem em uma área situada no município de Belterra, localizado na região oeste do estado do Pará, visando à geração de dados e informações que subsidiem a análise espacial a partir da distribuição das classes de uso e cobertura da terra. O desenvolvimento da pesquisa foi dividido em três etapas, sendo a primeira referente à coleta de dados da área de estudo (bibliográficos, documentais, quantitativos, orbitais e cartográficos, por exemplo); a segunda ao trabalho de campo para o reconhecimento das principais tipologias de uso e cobertura da terra presentes na área; e por fim, a etapa de laboratório destinada ao processamento dos dados e a geração de um mapa final de unidades de paisagem, cuja legenda foi organizada, considerando duas grandes categorias de paisagem: natural e antropizada. Este mapa foi obtido, principalmente, a partir do processamento digital de uma cena Landsat TM 5, das bandas 5,4 e 3, data de passagem referente ao dia 29/06/2010, órbita/ponto 227/62, realizado no software Spring versão 5.2., através da aplicação das seguintes técnicas: modelo linear de mistura espectral, segmentação e classificação digital. O produto gerado permitiu a discriminação das principais unidades de paisagem existentes na área investigada, as quais foram: floresta de alto platô, floresta de baixo platô, tensão ecológica e massa d'água, enquanto categorias de unidades naturais; e vegetação secundária, floresta secundária sem palmeira, solo exposto, uso urbano, uso agrícola e pasto, representativas da categoria unidade antropizada. Através da geração de arquivos vetoriais foi possível quantificar a área ocupada por cada unidade e com isso verificar a representação e a distribuição espacial de cada uma na totalidade territorial estudada. Assim, pelos resultados obtidos constatou-se que a unidade floresta de alto platô ocupa 27, 21% da área total, seguida pela unidade uso agrícola (24,26%). Entre todas as unidades, a menos representativa foi a tipologia solo exposto. Como suporte à análise espacial, o uso das técnicas aqui empregadas mostra-se de grande aplicabilidade, sobretudo no que concerne à delimitação e à caracterização de unidades de paisagem, consideradas atualmente importantes categorias de análise espacial no âmbito do planejamento e da gestão ambiental.

Palavras-chave: Unidade de paisagem, Sensoriamento remoto, Geoprocessamento, Imagem orbital, Análise espacial.

ABSTRACT

This study aims to apply techniques of remote sensing and GIS in the identification of landscape units in an area located in the municipality of Belterra, located in western Pará state, in order to generate data and information that support the spatial analysis from the distribution of the classes of land cover and use. The research was divided into three stages, the first one referring to the data collection of the study area (bibliographic, documentary, quantitative, and orbital mapping, for example), the second to work field for recognition of the main typologies of use and present in the coverage area of the earth, and finally the stage of laboratory for processing data and generating a final map of landscape units, whose label was arranged, considering two main categories landscape: natural and disturbed. This map was obtained primarily from the digital processing of a scene Landsat TM 5 bands of 5.4 and 3 changeover date corresponding to the day 06/29/2010, orbit / point 227/62, carried out Spring in software version 5.2., by applying the following techniques: linear spectral mixture model, digital segmentation and classification. The product generated allowed the discrimination of the major landscape units in the area investigated, which were: forest of high plateau, low plateau forest, ecological tension and water mass, while categories of natural units, and secondary forest, secondary forest without palm, bare soil, urban use, agricultural use and grazing, representative class units disturbed. Through the generation of vector files it was possible to quantify the area occupied by each unit and check the representation and spatial distribution of each the whole territory studied. The high plateau forest occupies 27 21% of the total area, and agricultural use comprises other 24.26%. Among all units unless the representative was exposed soil typology. To support spatial analysis, using the techniques employed here shows great applicability, especially as regards the delimitation and characterization of landscape units, currently considered important categories of spatial analysis in the context of spatial analysis in the context of planning and environmental management.

Keywords: Landscape unit, Remote sensing, GIS, Image orbital, Spatial analysis.

4.1 INTRODUÇÃO

Mudanças provocadas pela ação do homem ao meio ambiente têm ocasionado diferentes formas de impactos nos ecossistemas, influenciando o estado e as variações do clima, e as trocas energéticas e de massas entre o solo e a atmosfera. O reconhecimento dessas mudanças vem crescendo e muitos estudos têm sido feitos para detectar e quantificar o grau destas alterações em diferentes escalas (CORRÊA et al., 2011).

Neste contexto, o uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento vêm contribuindo significativamente para o monitoramento, mapeamento e fiscalização dessas mudanças na superfície terrestre. Atualmente, constituem o melhor instrumento aplicável ao planejamento e a gestão ambiental. Entre as diversas possibilidades de uso dessas técnicas destacam-se aqueles voltados à análise e interpretação da dinâmica da paisagem, conforme demonstram os trabalhos de Watrin et al. (1999), que realizaram a análise multitemporal da dinâmica da paisagem no nordeste paraense por meio do geoprocessamento; e, o trabalho de Lima e Rocha (2001), que através de técnicas de sensoriamento remoto e métricas da paisagem analisaram a fragmentação florestal no município de Juiz de Fora (MG).

O estudo da dinâmica da paisagem fornece importantes elementos à compreensão da realidade sócio-espacial da área investigada, pois permite observar através das formas criadas ou modificadas a evolução temporal dos processos que conformam essa realidade e, para, além disso, como tais processos, sobretudo antrópicos, interagem com o ambiente natural. Segundo Sauer citado por Christofolletti (1999), isso é possível porque o conteúdo da paisagem é constituído pela combinação de todos os elementos naturais, disponíveis em um lugar, com as obras humanas. O que ocorre de forma interdependente entre os diversos constituintes e não pela simples adição de um sobre o outro, evocando, assim o papel do tempo nesse contexto.

Enquanto categoria de análise espacial, a paisagem pode ser compreendida como um esforço para gerar dados e informações representativas e com maior riqueza de detalhes da área de interesse. De acordo com Aragão et al. (2003), em se tratando de Amazônia, a ausência desses dados é um fator limitante a compreensão de vários processos ecológicos que ocorrem na região.

Na contemporaneidade todo e qualquer processo ecossistêmico necessita ser investigado no âmbito do contexto sócio-espacial o qual está inserido, pois os processos sociais intrínsecos a esse contexto podem interferir consideravelmente nessa dinâmica de maneira negativa e irreversível. Considerando que todos os elementos da natureza estão interligados, formando um grande sistema, qualquer alteração em um desses elementos por menor que seja, vai causar algum tipo de perturbação, e, assim, os dados gerados precisam transcender aspectos estritamente ambientais e incorporar dimensões antrópicas de forma integrada e inter-relacionada. Utilizar, assim, a paisagem enquanto unidade de análise possibilita, dessa forma, o alcance de tal proposição, por admitir que a paisagem em escala macro é formada por um mosaico complexo, que integra unidades de paisagens naturais e paisagens antropizadas (METZGER, 2001).

No âmbito dessa discussão, o presente trabalho tem por objetivo identificar e caracterizar as unidades que configuram a paisagem em uma área situada em Belterra, município localizado na região oeste do estado do Pará, visando observar o padrão de distribuição espacial dessas unidades, bem como dimensionar a área ocupada por cada unidade de paisagem em sua totalidade a partir da agregação das mesmas em classes de uso e cobertura da terra. Para tanto, serão aplicadas técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, como suporte à geração de um mapa de Unidades de Paisagem (UPs). Para o reconhecimento e delimitação dessas unidades de forma satisfatória deve-se considerar alguns pressupostos relacionados à escala, à resolução das imagens usadas, à precisão e à agregação dos objetos observados na superfície terrestre (LANG; BLASCHKE, 2009). Estes elementos influenciam sobremaneira na representação das estruturas da paisagem, bem como no cálculo de suas medidas (WU, 2004).

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 O uso integrado de dados geo-espaciais na investigação da paisagem

As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento possuem uma gama variada de aplicabilidades. No que tange ao mapeamento dos tipos de uso e cobertura da terra,

não há dúvida da sua pertinência, pois, através das mesmas, vem sendo possível acompanhar as mudanças imprimidas no espaço geográfico ao longo do tempo, bem como monitorar possíveis danos ao meio ambiente, em alguns casos, quase que em tempo real.

No estudo da paisagem pode-se afirmar que o uso de geotecnologias tornou-se um instrumento necessário, já que a perspectiva informacional que as mesmas fornecem, ultrapassa a simples descrição e o reconhecimento dos alvos na superfície terrestre. Entretanto, o sucesso no uso das mesmas depende, a nosso ver, também do conhecimento da área investigada. O uso do sensoriamento remoto e do geoprocessamento não substitui o trabalho de campo, ao contrário, ambos se complementam. Porém, em situações em que a ida a campo não for possível, os produtos gerados, geralmente mapas temáticos, podem ser usados para um conhecimento prévio do lugar, bem como para a quantificação de tendências e padrões espaciais ao longo do tempo

No presente trabalho, as unidades de paisagem foram caracterizadas a partir da cobertura vegetal e dos diferentes tipos de uso do solo presentes na área de estudo, considerando a classificação proposta por Bertrand (1977), a partir do nível do geossistema. O que é viável em termos práticos, já que não há um critério universal para o estabelecimento de uma unidade espacial mínima, podendo esta assumir diferentes dimensões e funções. Assim, partindo desse pressuposto, o trabalho foi dividido em três etapas, conforme descrito a seguir.

Primeiramente, realizou-se a coleta de dados bibliográficos, documentais, cartográficos, orbitais e quantitativos, visando, com isso a obtenção de uma grande quantidade de dados e informações da área de interesse. Além disso, fez-se uma revisão da literatura a cerca do uso e aplicação das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na discriminação das diversas tipologias de uso e cobertura da terra, sobretudo na Amazônia.

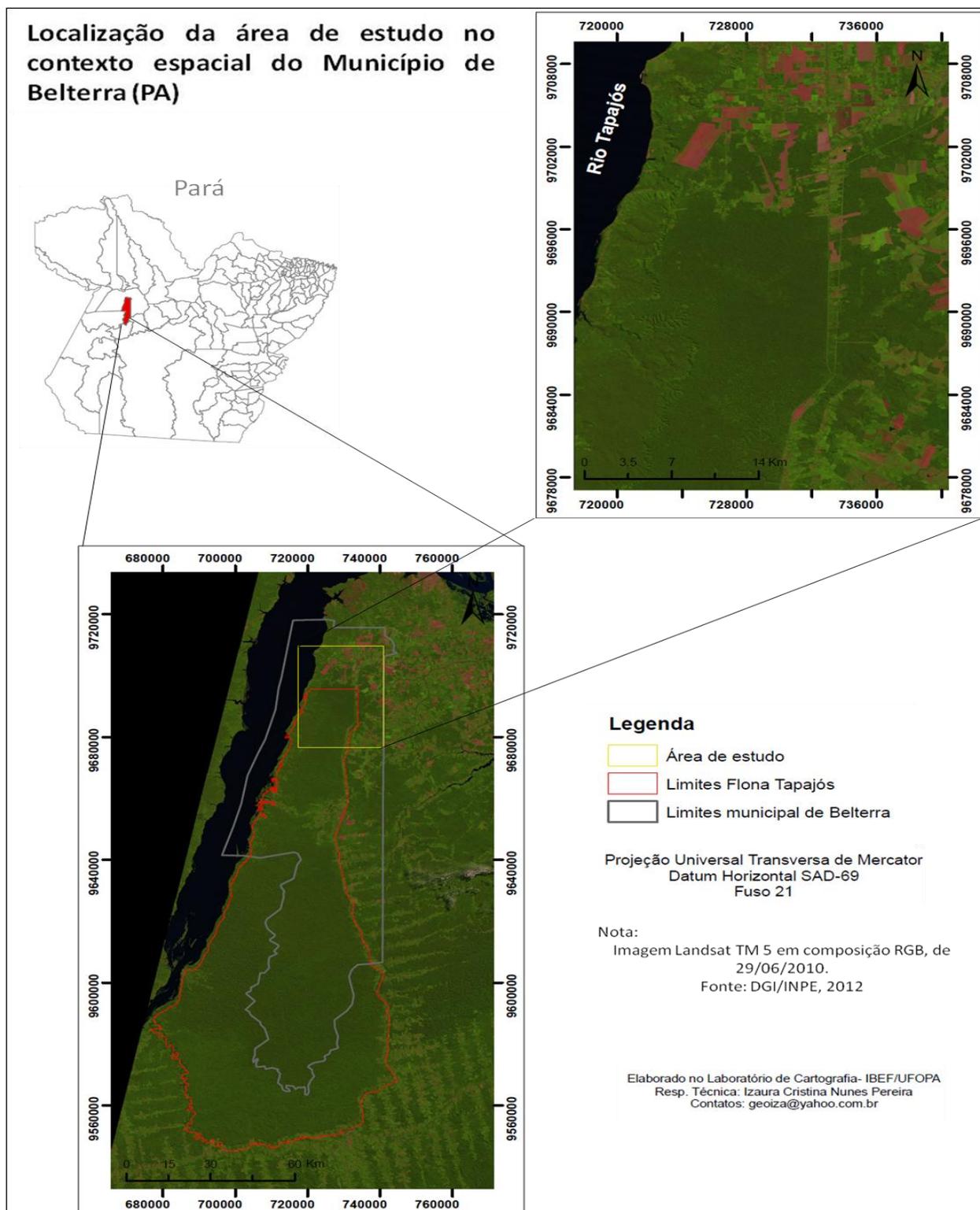
Em seguida, procedeu-se ao levantamento de campo para o reconhecimento dos principais tipos de uso e cobertura da terra existentes na área de estudo. Neste momento também foram coletadas a partir de um receptor *Global Positioning System* (GPS) as coordenadas geográficas das unidades identificadas para posterior integração com a imagem orbital na etapa seguinte. Ressalta-se ainda que a etapa de campo foi desenvolvida em dois períodos distintos, seguindo a sazonalidade climática da região, e que tal etapa foi substancial no processo de interpretação dos dados orbitais.

Por fim, a etapa de laboratório que consistiu na sistematização e análise dos dados obtidos, além da geração do mapa final de unidades de paisagem da área de estudo. Neste momento, foram empregadas as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento necessárias ao alcance dos resultados pretendidos. Nesse processo consideraram-se, além das características da vegetação, os diferentes tipos de uso do solo reconhecidos durante os trabalhos de campo. Partindo do pressuposto de que cada unidade corresponde à síntese das múltiplas interações entre fatores ecológicos, ambientais, físico-químicos, sociais, econômicos e políticos, obteve-se um mapa de unidades de paisagem a partir da integração de diferentes tipos de informações e dados cartográficos, cujo resultado permite observar a distribuição, bem como a representação espacial em termos percentuais das unidades identificadas na área de estudo

4.2.2 Localização da área de estudo

A referência empírica para o desenvolvimento do trabalho corresponde a uma área de aproximadamente 455,7 km², situada entre as coordenadas geográficas -54° 45' 57" de longitude Oeste e -02° 33' 32.39" de latitude Sul e -55° 06' 36.48" de longitude Oeste e -02° 54' 49" de latitude Sul. A área pertence ao município de Belterra e incorpora a porção norte da Floresta Nacional do Tapajós (FNT) (Mapa 03).

Mapa 03- Localização da área de estudo



Fonte: Autora (2012).

Na seleção da área foi considerado o contexto socioeconômico e o potencial ecológico existente na mesma, conforme verificado durante um primeiro levantamento de campo, realizado em outubro de 2010, onde se observou um enorme contraste na paisagem com a presença de parcelas agricultáveis de soja, principalmente às margens da Rodovia Estadual PA-433 (Fotografia 07).

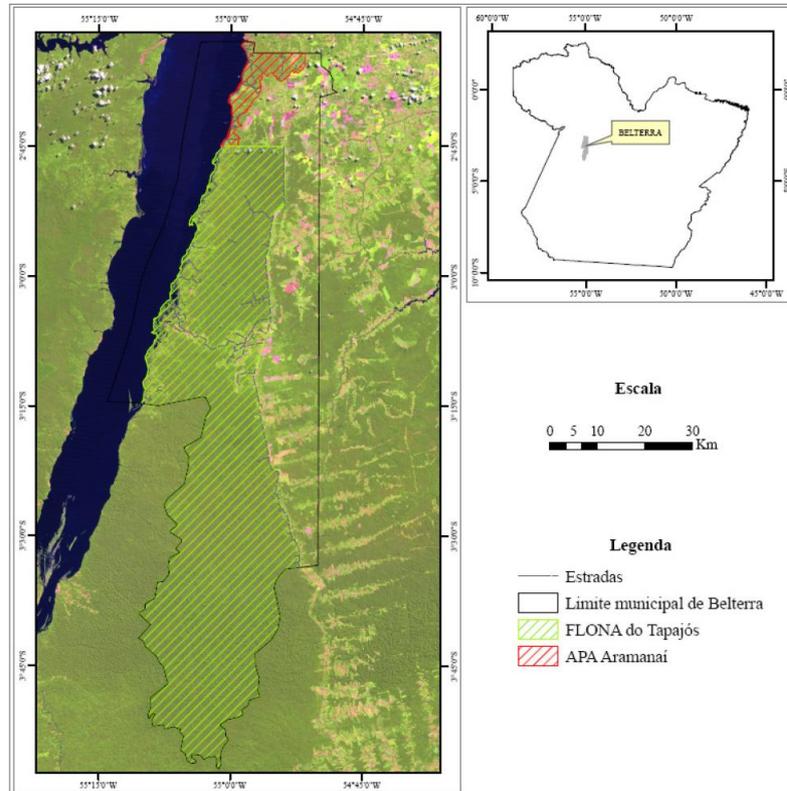
Fotografia 07- Campo de soja, Belterra (PA).



Fonte: Autora (2010).

O local investigado abriga um potencial natural de grande importância ecológica com a presença de áreas de transição entre a floresta densa e o cerrado, mais precisamente situada na Área de Proteção Ambiental Aramañá (APA-Aramañá), criada através da Lei municipal nº 097 de 30 de maio de 2003, que possui uma área de aproximadamente 10.985 hectares (Mapa 04). A mesma está localizada na gleba da antiga concessão de Belterra, em terras pertencentes ao Patrimônio da União. Em seu interior residem 1.192 pessoas, que segundo Folhes, Magalhães e Marianelli (2007), vem sofrendo os impactos do agronegócio e do desmatamento.

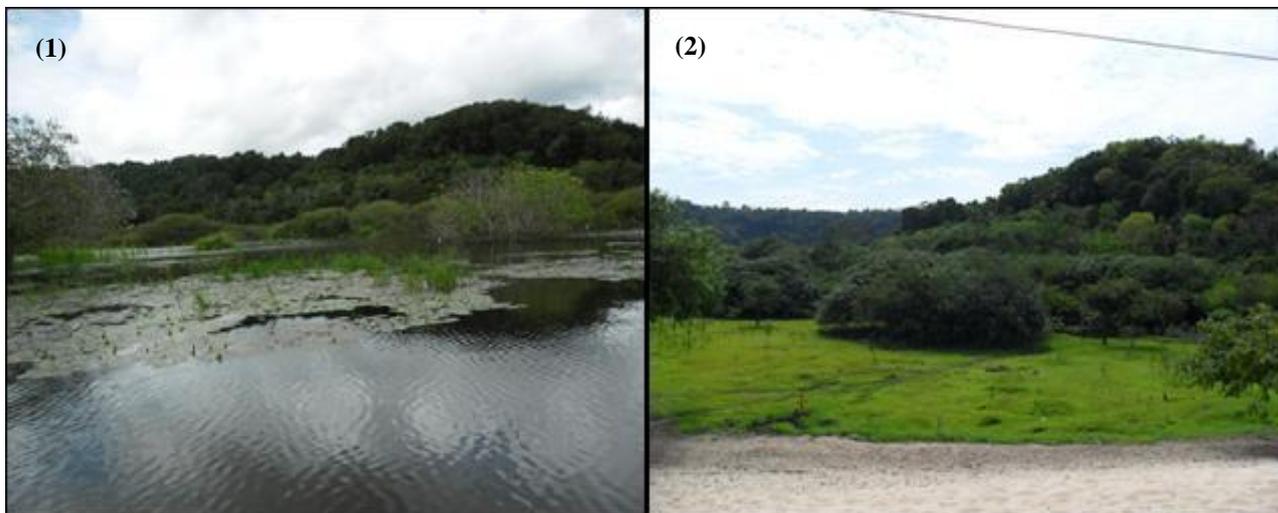
Mapa 04 - Localização da APA-Aramanaí, Belterra (PA).



Fonte: Viana e Fonseca (2009).

Nesse local, a dinâmica das águas produz anualmente duas paisagens bem distintas, diretamente relacionadas com as duas estações climáticas, características da região amazônica: a estação seca e a estação chuvosa. Na Fotografia 08 é possível observar tamanha diferença, já que durante o período chuvoso a área fica completamente tomada pelas águas do Rio Tapajós.

Fotografia 08- Igarapé do Encanto: 1) durante a estação chuvosa (Junho); 2) durante a estação seca (Outubro).



Fonte: Autora (2010; 2012).

4.2.3 Reconhecimento em campo das Unidades de Paisagem

Em trabalho de campo realizado no mês de outubro de 2010 e maio de 2012 foi possível identificar os principais tipos de uso e cobertura do solo presentes na área de estudo. Sendo que uma tipologia florestal foi identificada e reconhecida somente a partir da resposta espectral da mesma nas imagens de satélite e confirmadas, inicialmente, pela análise documental.

No caso da cobertura florestal, utilizou-se como referência o Mapa Fitoecológico gerado no âmbito do Projeto Radar da Amazônia (RADAM) da Folha SA. 21- Santarém, porém com uma nomenclatura mais simples e adequada aos objetivos do trabalho.

Desse modo, foram identificadas as seguintes tipologias:

- Floresta Tropical Aberta, com áreas sedimentares, relevo aplainado, alto platô dissecado com árvores emergentes (Fotografia 09):

Fotografia 09- Floresta de Alto Platô, Flona Tapajós (PA).



Fonte Autora (2012).

- Floresta Tropical Aberta, com áreas sedimentares, relevo ondulado e baixo platô dissecado com árvores emergentes (Fotografia 10):

Fotografia 10- Floresta Tropical Baixo Platô, Comunidade São Domingos, Flona Tapajós (PA).



Fonte: Autora (2012).

- Zona de Tensão Ecológica (Floresta/Cerrado) (Fotografia 11):

Fotografia 11- Zona de transição ecológica, Vila de Aramaná, Belterra (PA).



Fonte: Autora (2010).

- Floresta Secundária (Fotografia 12):

Fotografia 12- Trecho de floresta secundária, Flona Tapajós (PA).



Fonte: Autora (2012).

- Uso urbano (Fotografia 13):

Fotografia 13- Uso urbano às proximidades da PA-433, Belterra (PA).



Fonte: Autora (2012).

- Pasto (Fotografia 14):

Fotografia 14- Pastagem identificada ao longo da PA-433, Belterra (PA).



Fonte: Autora (2012).

- Desmatamento (Fotografia 15):

Fotografia 15- Área desmatada- corte raso, Belterra (PA).



Fonte: Autora (2012).

- Uso agrícola (Fotografia 16):

Fotografia 16- Área de cultivo agrícola, município de Belterra (PA).



Fonte: Autora (2012).

- Solo exposto (Fotografia 17):

Fotografia 17- Porção de solo exposto ao longo da PA-433, município de Belterra (PA).



Fonte: Autora (2012).

Assim, foram identificadas em campo 09 (nove) tipologias, que ao final, na legenda do mapa de UPs, foram agrupadas em duas grandes categorias: Paisagem Natural e Paisagem Antropizada.

4.2.4 Geração do Mapa de Unidades de Paisagem

Para a geração do mapa de UPs utilizou-se como produto principal uma imagem do satélite Landsat TM 5 da órbita/ponto 227/62 do ano 2010.

A cena corresponde ao período seco, pois o déficit hídrico o qual as plantas são submetidas nesse período reflete positivamente na resposta espectral da mesma pelo sensor ao reduzir a taxa de absorção da radiação emitida. Com isso a curva de reflectância tende a ser crescente em alguns casos e, dependendo da faixa do espectro eletromagnético, inversamente proporcional à absorção de energia (MOREIRA, 2011).

Após vários testes de composição entre bandas e revisão da literatura, optou-se pelo uso das bandas 5, 4 e 3. O produto final gerado a partir dessa combinação mostrou-se mais satisfatório no que tange a análise da vegetação. Importa lembrar que a escolha da composição entre bandas em Sensoriamento Remoto depende dos objetivos do trabalho e das características dos alvos investigados.

4.2.4.1 Material Cartográfico

Como suporte à confecção do mapa de unidades de paisagem utilizaram-se também dados cartográficos, tanto em formato vetorial quanto em *raster*. Os dados vetoriais foram os de limites político-administrativos municipais do Estado do Pará, da Floresta Nacional do Tapajós, de hidrografia e rede viária da área de estudo, fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala 1:100.000. Em formato *raster* utilizou-se o Mapa Fitoecológico da folha SA-21 na escala 1:1.000.000 do Projeto Radar da Amazônia (RADAM), mais especificamente os quadrantes na escala 1:250.000 de Santarém (SA-21-Z-B) e Aveiro (SA-21-Z-D).

Os dados de altimetria foram obtidos a partir de imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com Resolução Espacial de 90m, referentes às folhas SA 21.Z-B, SA 21.Z-D e SB 21.XB.

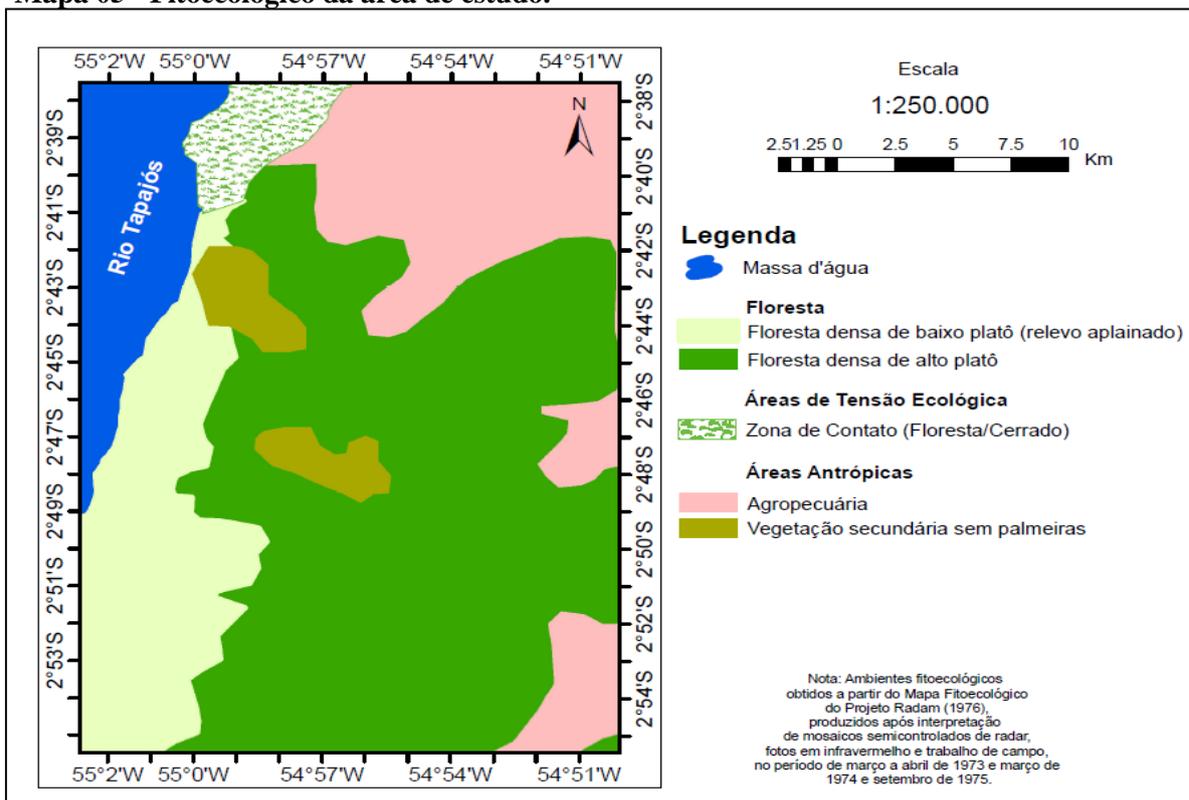
4.2.4.2 Processamento e padronização dos dados cartográficos

Nesta etapa foi realizado o processamento e a padronização dos dados cartográficos para a mesma escala, projeção e *datum* horizontal. O que foi realizado através do software ArcGis 10.0. Nesta etapa também foi utilizado o software *Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas* (SPRING), versão 5.2, gratuitamente, distribuído pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (www.dpi.inpe.br).

a) Dados de Vegetação: processamento e análise

O mapa fitoecológico dos quadrantes Santarém (SA-21-Z-B) e Aveiro (SA-21-Z-D), digitalizados em formato pdf., foram convertidos para o formato tiff (*raster*) e em seguida adicionados ao ArcGis. Logo após, procedeu-se ao georreferenciamento da imagem para a projeção *Universal Transversa de Mercator* (UTM) e datum horizontal *South American Datum 1969* (SAD-69), através do recurso “Georreferencing” do tipo manual com inserção dos pontos via teclado. Utilizou-se 5 pontos de referência espacial da própria imagem, após convertidos de coordenadas geográficas (Latitude/Longitude) para coordenadas planas. Após essa etapa, procedeu-se a vetorização das classes de vegetação existentes na imagem, especialmente, cujo resultado pode ser visualizado no Mapa 05.

Mapa 05 - Fitoecológico da área de estudo.



Fonte: Autora (2012).

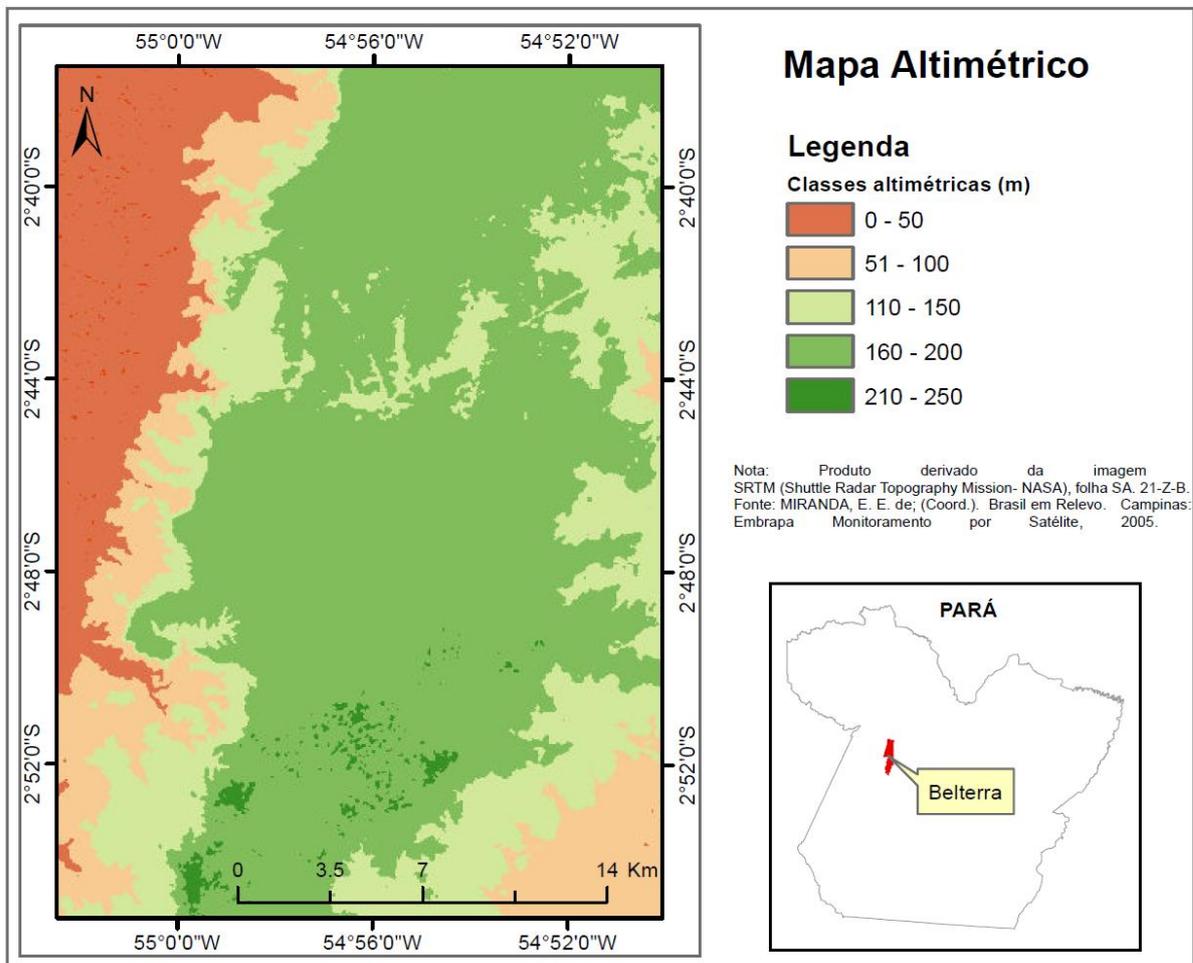
A partir desse mapa foi possível observar a distribuição espacial das unidades de cobertura florestal presente na área de estudo, servindo, assim como referência também ao processo de classificação digital, a ser realizado mais adiante.

b) Dados de Altimetria: processamento e análise

Os dados de altimetria foram extraídos da imagem SRTM folha SA.21-Z-B, para visualização da topografia do terreno e posterior integração com os dados de vegetação.

A imagem foi exportada para o banco de dados do SPRING para a construção de um Modelo Digital do Terreno (MDT), e nesse processo definiu-se o valor do pixel em 30m. Em seguida a imagem foi fatiada em seis intervalos de 50 metros de elevação no intervalo entre 0 a 250 metros, gerando um mapa temático matricial de altimetria (Mapa 06).

Mapa 06- Mapa altimétrico da área de estudo.



Fonte: Autora (2012)

O fatiamento da imagem em cinco classes foi satisfatório na geração das informações altimétricas, demonstrando que na área *locus* do trabalho as elevações variam de 50 a 200 metros. Considerando as classes de altimetria, observa-se que a mais representativa é a de 150-200, cobrindo aproximadamente 59% da área total, seguida pela classe de 100-150 que ocupa uma área de aproximadamente 25%.

4.2.5 Processamento digital

O processamento da imagem Landsat foi realizado no *software* SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) versão 5.2. Já a edição final dos produtos temáticos, obtidos a partir do processamento, foi realizada no ArcGis 10.0. O processamento de imagens, independente do sensor, segue geralmente uma rotina de trabalho que inicia pelo pré-processamento, que se refere a uma série de procedimentos computacionais, tais como o georreferenciamento, o realce da imagem, a correção dos efeitos atmosféricos, o recorte da cena e a filtragem, visando melhorar a qualidade visual da imagem e em alguns casos, a qualidade radiométrica também (MOREIRA, 2011).

Após aquisição e escolha das cenas no catálogo de imagens Landsat disponível na página do INPE, procedeu-se ao recorte e delimitação da área de estudo nas imagens originais. Em seguida, realizou-se o georreferenciamento das imagens com registro do tipo imagem-imagem, usando como referência a cena S-21-00 disponibilizada gratuitamente pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid>) para o Sistema UTM e Datum Horizontal SAD-69.

A etapa seguinte consistiu na transformação dos Números Digitais (ND) das três cenas em análise em valores físicos de radiância e reflectância. Tais valores foram obtidos através do Programa Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), usando os parâmetros de calibração obtidas no cabeçalho das imagens Landsat para cada banda. A Linguagem LEGAL (CORDEIRO et al., 1996), disponível como um módulo do GIS SPRING (CÂMARA et al., 1994; 1996), é resultante da implementação de uma estrutura algébrica sobre tipos de dados categorizados como imagens, grades numéricas regulares e mapas em geral, tipicamente representados sob a forma de matrizes (CORDEIRO; ERTHAL, 2009).

Por fim, visando reduzir os efeitos da atmosfera sobre os valores de reflectância procedeu-se a correção atmosférica da imagem, o que foi realizado a partir do método DOS (*Dark Object Subtraction*), criado por Chavez (1989), com o auxílio da planilha eletrônica desenvolvida por Gürtler et al. (2005). Comumente denominado de “Correção Atmosférica pelo Pixel Escuro”, o método DOS constitui uma forma de correção do espalhamento atmosférico no qual a interferência atmosférica é estimada diretamente a partir dos números digitais (ND) da imagem de satélite, sendo ignorada a absorção atmosférica (SANCHES et al. 2011).

4.2.5.1 Classificação digital

Superada a etapa de pré-processamento parte-se agora para o processamento, propriamente dito, que implica na geração de novos produtos digitais, como a classificação digital, por exemplo. Esta consiste na técnica de rotulação do *pixel* da imagem segundo o uso e a cobertura do solo, possibilitando o reconhecimento de padrões e objetos homogêneos em determinada área. Os algoritmos responsáveis pela efetiva realização desse processo são denominados “classificadores” e podem ser divididos em classificadores “pixel a pixel” e classificadores “por regiões”. Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2007), enquanto os primeiros utilizam apenas a informação espectral de cada pixel para definir regiões homogêneas e se fundamentam em métodos estatísticos e determinísticos, e os segundos empregam, além da informação espectral de cada pixel, a informação espacial que envolve relação com seus vizinhos.

O produto da classificação digital é apresentado na forma de mapas temáticos compostos pela distribuição espacial (geográfica) de manchas ou polígonos que definem o posicionamento e a distribuição de classes específicas de objetos distribuídos sobre a superfície terrestre (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Geralmente, o processo de classificação é aplicado aos dados sem correção radiométrica. Para Ponzoni e Shimabukuro (2007), uma vez que o objetivo dessa técnica é identificar objetos espectralmente diferentes, “não importa se as magnitudes das diferenças espectrais são ou não consistentes com as diferenças de brilho entre objetos, considerando

suas propriedades espectrais” (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007, p. 62). Isso não quer dizer que o processo não pode ser aplicado em imagens convertidas em valores físicos.

A aplicação da classificação é para auxiliar o reconhecimento dos padrões de uso e cobertura do solo. Esse processo pode ser realizado de três formas distintas: supervisionada, não supervisionada e híbrida. A classificação supervisionada consiste na técnica em que ocorre a interação entre o analista e o sistema de processamento da imagem, sendo necessário que o analista tenha conhecimento da área a ser classificada (PEREIRA, 1996). Trata-se de um processo subjetivo que pode gerar um produto com muitos erros de inclusão e omissão de classes. Isso por que na etapa de treinamento o analista deve selecionar áreas que contenham pixels representativos de cada classe, e então o problema é obter amostras de pixels puros, já que a resposta espectral de um alvo numa determinada superfície nunca é homogênea, principalmente em áreas com diferentes coberturas vegetais que apresentam a mesma resposta espectral (MOREIRA, 2011).

Na abordagem não supervisionada, o processo é automático e gerado por operações matemáticas, visando o agrupamento (*cluster*) natural de propriedades espectrais de pixels. Os algoritmos mais usados nesse processo são ISODATA (K-Médias), neste a definição das classes é realizada tendo como critério a distância euclidiana³ entre pixels no espaço de atributos espectrais; o ISOSEG, que utiliza a matriz de covariância e o vetor de média dos níveis de cinza, para estimar o valor central do nível de cinza de cada classe. Inicialmente esse classificador particiona a imagem em regiões com diferentes atributos estatísticos e em seguida realiza a classificação das mesmas, embasado na teoria de agrupamentos (BINS et al., 1993 apud MOREIRA, 2011). O emprego deste método consiste em eliminar a subjetividade no processo de obtenção das amostras de áreas; e o classificador BATTACHARYA usado para medir a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais. Ou seja, mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais. Neste o princípio é análogo ao utilizado para o classificador Ioseg, porém a medida de distância usada é a distância de Battacharya. O classificador Battacharya, ao contrário do Ioseg que é automático, requer interação do usuário, através do treinamento.

3 “A distância euclidiana corresponde a distância mínima entre o valor do número digital do pixel e o valor médio dos números digitais das classes espectrais” (MOREIRA, 2011, p.244).

Neste caso, as amostras serão as regiões formadas na segmentação de imagens (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2009).

A classificação híbrida, por sua vez, refere-se ao método composto por duas fases: a computacional e a interativa (analista-sistema de processamento). Em outras palavras, consiste no uso integrado dos métodos supervisionados e do não supervisionado.

O método de classificação adotado no presente trabalho é o não supervisionado, realizado a partir de imagens fração de vegetação, solo e sombra gerados pelo Modelo Linear de Mistura Espectral, conforme metodologia desenvolvida por Shimabukuro et al. (1997).

4.2.5.2 Aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME)

No caso de áreas com intensa cobertura florestal, a classificação a partir de imagens orbitais é dificultada pela interação espectral dos pixels que compõem a imagem. Uma solução para resolver essa questão é o uso da técnica baseada num modelo de mistura espectral para estimar a proporção de cada alvo no interior do pixel (VERONA; SHIMABUKURO, 2005). Esse modelo leva em consideração as características dos alvos no terreno, podendo ser desta forma linear ou não linear (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

No trabalho utiliza-se o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), onde o valor da radiância em cada pixel, em qualquer faixa espectral, é entendido como resultante da combinação linear das radiâncias de cada componente presente na mistura (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Esse modelo considera a interação entre a energia eletromagnética proveniente do Sol com um componente do elemento de resolução no terreno (SMITH et al., 1985 apud BERNARDES, 1996, p. 39).

Dessa forma, cada pixel contido na imagem, que pode assumir qualquer valor dentro da escala de nível de cinza (2^n bits), contém informações sobre a quantidade e a resposta espectral de cada componente dentro da unidade de resolução do terreno (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

4.2.5.3 Classificação a partir da segmentação da imagem fração sombra

No modelo não supervisionado um procedimento adotado antes da fase de classificação propriamente dita é a segmentação da imagem. Com esta técnica a imagem é recortada em regiões espectralmente homogêneas (MOREIRA, 2011).

A segmentação, que é um processo interno ao sistema, tem por objetivo fragmentar uma imagem *raster* em unidades homogêneas, considerando algumas de suas características particulares (MOREIRA, 2011). A segmentação tem pelo menos dois objetivos: i) decompor a imagem em partes para posterior análise; e, ii) realizar uma mudança de representação (SHAPIRO; STOCKMAN, 2001 apud SALDANHA; FREITAS, 2010).

Para cada região o segmentador calcula os seguintes atributos espectrais: média, variância e textura. A agregação em regiões homogêneas é feita segundo os critérios de similaridade e de área. A similaridade corresponde ao valor mínimo abaixo do qual, duas classes são consideradas iguais e agrupadas e uma única região. O limiar de área define o número mínimo de pixels necessários para que uma área possa ser individualizada (MOREIRA, 2011). Considera-se esta a fase crítica do processo, já que o valor de limiar é que determina a densidade da segmentação, tornando-se necessários vários testes para selecionar o valor mais adequado aos objetivos do trabalho.

A segmentação foi aplicada na imagem fração sombra, pois a mesma proporciona um grande contraste entre áreas florestadas (média quantidade de sombras) e áreas desflorestadas (baixa quantidade de sombras) (SHIMABUKURO et al., 1997). O método empregado foi o “Crescimento de regiões”, disponível no SPRING, com valor de similaridade 4 e restrição de áreas de 50 pixels.

Após segmentação realizou-se a classificação da cena por meio do algoritmo Battacharya, disponível no Spring, obtendo-se 10 (dez) classes de uso e cobertura da terra, conforme será apresentado a seguir.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

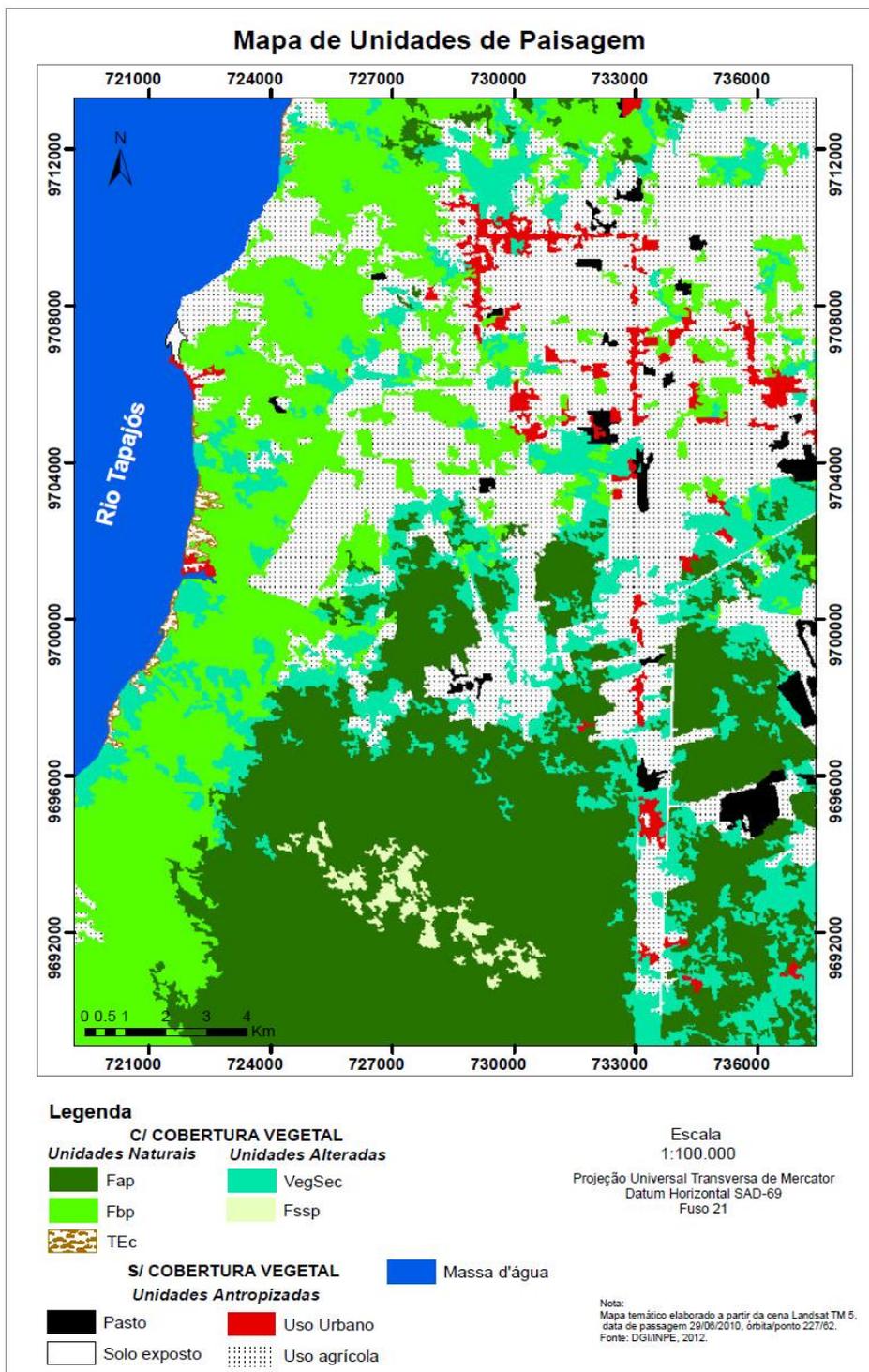
4.3.1 O Mapa de Unidades de Paisagem: um suporte ao reconhecimento dos padrões espaciais

Um mapa de Unidades de Paisagem pode ser definido como um esforço de representação gráfica de unidades distintas, existentes em uma determinada porção da superfície terrestre. Segundo Martinelli (2001), os primeiros mapas de unidades de paisagem foram produzidos a mais de 4.000 anos, constitui registros conscientes da paisagem semi-antropizada da Idade do Bronze, evidenciando o arranjo das habitações, os terraceamentos na meia encosta dos montes e a distribuição dos pomares.

Em outras palavras, a confecção de um mapa de Unidades de Paisagem é um exercício de síntese, uma vez que constituem sistemas geoambientais, portanto, resultado de interações (verticais e horizontais) entre os elementos naturais e antrópicos. No mapa 07 pode ser observar o resultado de tal exercício para a área de estudo de interesse do presente trabalho. No produto gerado pode-se observar a distribuição e a representatividade espacial das classes identificadas, primeiramente distribuídas em dois grandes grupos e em seguida por unidade.

Ressalta-se que para os objetivos propostos as unidades foram identificadas a partir das diferentes classes de uso e cobertura da terra, assim, seus limites não se restringem aos grandes agregados geomorfológicos, classicamente, empregados no processo de individualização das unidades de paisagem.

Figura 07- Mapa de Unidades de Paisagem da área de estudo



Fonte: Autora (2012)

No que tange ao grupo com cobertura vegetal foram consideradas duas tipologias de unidades de paisagem: Unidades Naturais e Unidades Alteradas. A primeira tipologia

incluiu as seguintes classes: Fap (Floresta de alto platô), Fbp (Floresta de baixo platô) e TEc (Tensão Ecológica). Já a segunda as classes VegSec (Vegetação Secundária) e Vssp (Vegetação secundária sem palmeira).

Quanto ao grupo sem cobertura vegetal, foi atribuída apenas uma tipologia de unidade de paisagem, denominada Unidade Antropizada. Esta unidade é composta por quatro classes de uso do solo: pasto, solo exposto, uso urbano e uso agrícola.

As classes de florestas naturais distribuem-se na área seguindo a variação do relevo observada no mapa de altimetria. Após tratamento dos dados cartográficos e radiométricos realizou-se a sobreposição dos produtos gerados, em ambiente ArcGis, para verificação da coerência espacial entre as unidades. A grande diferença notada foi em relação à classe Tensão Ecológica, quando comparado ao mapa fitoecológico do RADAM, pois na área de estudo, diferentemente do que é apresentado no mapa citado, as áreas de tensão ecológica, (que neste caso refere-se ao encontro das tipologias floresta densa com o cerrado) ocorrem paralelas às margens do rio, no sentido norte-sul. Não constituem áreas muito extensas e aparecem de modo descontínuo ao longo do Rio Tapajós, conforme pode ser observado no mapa de UPs.

Entre as unidades antropizadas, destaca-se a classe “Uso agrícola” cujas manchas ocupam grande parte da área investigada. O interessante a notar é a localização das manchas pertencente a esta classe, situadas muito próximas do núcleo urbano do município, porção norte do mapa.

A classe Vegetação Secundária aparece bem distribuída na área, com manchas presentes inclusive no âmbito dos limites da Flona Tapajós. No que tange à classe Floresta Secundária sem Palmeira, que não foi reconhecida em campo, mas foi incorporada ao mapa pelo processamento digital, já que a mesma aparece tanto no Mapa Fitoecológico do Projeto RADAM (1976), quanto no mapa de Ambientes Fitoecológicos do Plano de Manejo da Flona Tapajós (2004), utilizados para fins de consulta.

No caso do uso “Desmatamento” observado durante a coleta de campo, o mesmo não foi identificado pelas técnicas de sensoriamento empregadas. Isto pode ser atribuído ao tamanho da área, em relação à resolução espacial da imagem orbital empregada (900 m²), e à característica do processo de desmatamento usado, com a não retirada total da matéria

orgânica, cuja resposta no sensor aparece como área coberta com vegetação. Desse modo, tal classe foi incorporada à classe vegetação secundária.

Cumprе ressaltar que o mapa aqui gerado considerou como parâmetro de análise a vegetação, por entender que esta representa a síntese da interação entre os geofatores, o que se apresenta como possibilidade metodológica na confecção de mapas de unidades de paisagem, mas não a única. No geral, os mapas relacionam o modelado do terreno a partir da distribuição das cotas altimétricas na identificação das unidades. Porém, dependendo da escala de análise, tal critério pode ser desconsiderado.

4.3.2 Análise métrica das Unidades de Paisagem

Após o mapeamento das unidades de paisagem, realizou-se a quantificação e a análise da área ocupada por cada uma ao nível da mancha. Segundo Lang e Blaschke (2009), a área é a medida da estrutura da paisagem mais difundida entre as métricas existentes.

Através da geração de um arquivo vetorial da imagem matriz classificada em etapa anterior, obteve-se a área total de cada classe em metros quadrados (m²), e que posteriormente foi convertida para hectares (ha). A conversão em imagem vetorial, que foi realizada no Spring, consiste em um processo complexo, pois além de extrair os contornos dos objetos, cria também as relações espaciais entre eles, tais como as relações de vizinhança e pertinência entre polígonos, e a conectividade entre os arcos (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2012).

Ao criar o plano vetorial através da função “Medidas de Classes” presente na aba **Temático** do menu principal do software em questão, foi possível obter, de modo interno ao sistema, os valores de área para cada mancha identificada.

No plano vetorial, a área de um polígono é mensurada pela subdivisão de conteúdo do mesmo em formas geométricas básicas. O cálculo é realizado a partir da fórmula descrita abaixo (Equação 7):

$$\text{Área} = 0,5 \cdot \sum (x_{i+1} - x_i) \cdot (y_{i+1} + y_i) \quad (7)$$

Onde: x e y- coordenadas do *i*-ésimo ponto de apoio do polígono.

A medida de área é considerada uma das mais importantes entre as medidas disponíveis, pois além de ser base para a construção de outras métricas, possibilita a análise quali-quantitativa da relação entre a redução e o aumento de classes específicas (relativas ao uso e cobertura da terra), em um determinado recorte espaço-temporal.

A partir dessa métrica calculou-se o percentual de área ocupada por cada UP na área de estudo, tomando como referência o ano de 2010 (Quadro 06).

Quadro 06- Área ocupada pelas UPs identificadas na área de estudo (2010)

Grupo	Unidades	Classes	Área (ha)	% da área em relação a área total
C/ cobertura vegetal	<i>Naturais</i>	Fap	12550.16	27.21
		Fbp	9047.79	19.62
		TEc	171.44	0.37
	<i>Alteradas</i>	Fssp	379.99	0.82
		VegSec	5734.78	12.44
S/ cobertura vegetal	<i>Antropizadas</i>	Pasto	644	1.40
		Uso urbano	884.49	1.92
		Uso agrícola	11189.85	24.26
		Solo exposto	25.97	0.06
	Água	Massa d'água	5487.74	11.90
TOTAL			46116.21	100.00

Nota: Fab- Floresta alto platô; Fbp- Floresta de baixo platô; TEc- Tensão Ecológica; Fssp- Floresta secundária sem palmeira; VegSec- Vegetação Secundária.

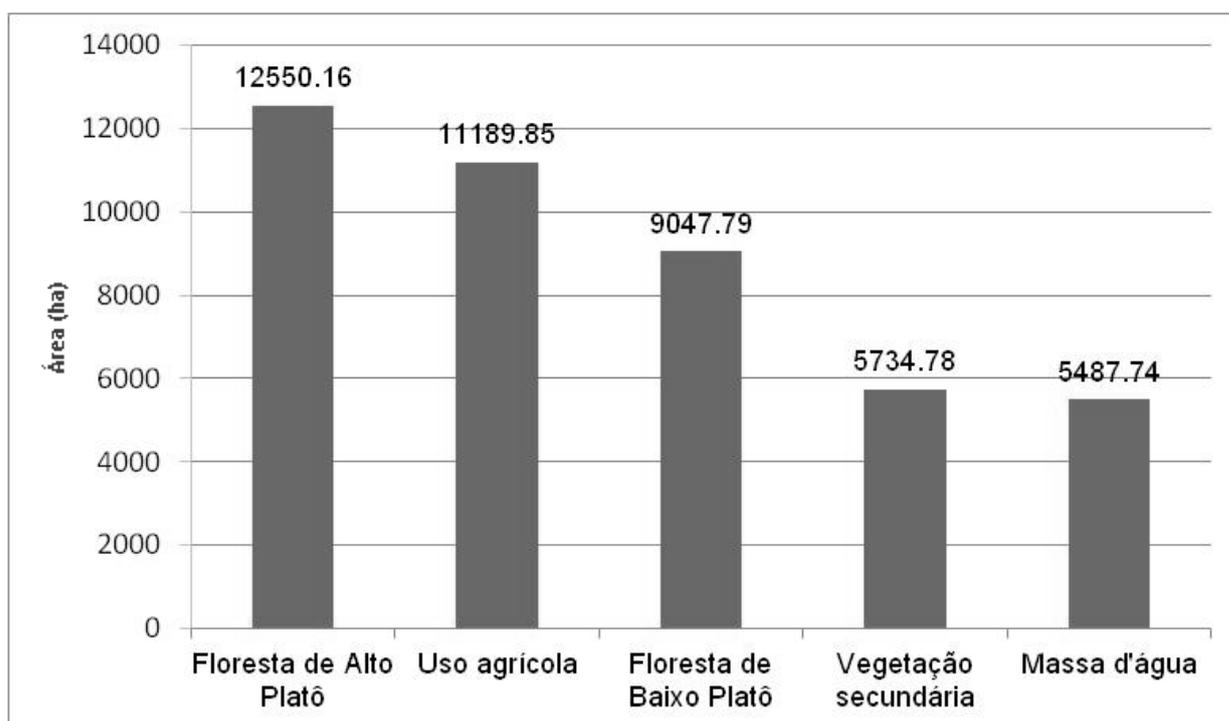
Fonte: Autora (2012).

Pode-se observar que, no âmbito das unidades de paisagem antropizadas, o uso agrícola representa quase 25% do total, enquanto que o uso urbano corresponde a menos de 2%. Esta unidade supera até mesmo o percentual de área ocupada pela unidade de paisagem natural Floresta de baixo platô com 19,62%.

A unidade Floresta de alto platô ocupa a maior parte da área investigada com aproximadamente 12.550,16 ha (27,21%). Embora, grande parte da mesma se encontre nos

limites internos da Flona Tapajós, tais valores podem vir a ser reduzidos ao longo dos próximos anos em virtude da dinâmica econômica em seu entorno.

Gráfico 07- Unidades espacialmente representativas na área de estudo em 2010 por ordem decrescente.



Fonte: Autora (2012)

No gráfico 07 pode-se visualizar as unidades de paisagem espacialmente mais representativas em ordem decrescente. Dessas, duas correspondem às unidades de paisagem antropizadas, são elas: uso agrícola e vegetação secundária.

Contudo, tais medidas muito mais que um simples cálculo de área, possibilita, agregadas com outros dados, avaliar a dinâmica espacial de produção e modificação da paisagem em qualquer ponto da superfície terrestre. Dados quantitativos são muito úteis para a realização de análises comparativas entre variáveis, tanto no mesmo período, quanto em períodos diferentes.

4.4 CONCLUSÕES

Enquanto escala espacial, as unidades de paisagem constituem um importante aporte na análise de questões sócio-ambientais, no que tange à dinâmica da paisagem e suas implicações nos processos biofísicos.

Neste trabalho as UPs foram identificadas a partir dos diferentes tipos de uso e cobertura da terra, partindo do seguinte entendimento: tais usos e coberturas da terra representam a síntese de múltiplas interações, sejam elas ambientais ou sociais. Assim, foi possível discriminar unidades naturais e unidades antropizadas.

Como suporte a análise espacial, o uso das técnicas aqui empregadas mostraram-se de grande aplicabilidade, sobretudo no que concerne a delimitação e caracterização de unidades de paisagem, consideradas atualmente importantes categorias de análise espacial no âmbito do planejamento e da gestão territorial. Considerou-se, desse modo, satisfatório os resultados obtidos, embora deva ser ressaltado que tais técnicas também apresentam limitações.

Em se tratando de Amazônia, o emprego das geotecnologias vem ampliando o leque de conhecimento sobre região, onde processos antrópicos voltados à exploração dos recursos naturais e a derrubada da floresta altera drasticamente a paisagem regional, criando mosaicos cada vez mais fragmentados e diversificados em detrimento da paisagem original, como pôde ser constatado na área de estudo.

Assim, cumpre destacar que a categorização do espaço geográfico em unidades de paisagem, conforme mostrado no mapa de UPs, pode ser usado como referência para outros trabalhos ao permitir a visualização da organização espacial do lugar, além de outras condicionantes, como o grau de retalhamento e a predominância de uma unidade em relação à outra, por exemplo.

**5 ESTIMATIVAS DE BIOMASSA E
CARBONO NA AMAZÔNIA A
PARTIR DA ESCALA DA PAISAGEM
E DE TÉCNICAS INDIRETAS DE
QUANTIFICAÇÃO**

RESUMO

No âmbito das discussões sobre mudanças climáticas e proteção da cobertura florestal emerge a importância de estudos acerca da quantificação dos estoques de biomassa e carbono. Além do aperfeiçoamento dos métodos indiretos de quantificação, torna-se necessário ainda o uso de novas escalas espaciais de análise, que auxiliem no reconhecimento das diversas tipologias florestais existentes em uma determinada área. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo estimar de modo não-destrutivo os estoques de biomassa e carbono acima do solo em unidades, caracterizadas e delimitadas a partir das tipologias florestais, aqui denominadas Unidades de Paisagem (UP), presentes em uma área situada no município de Belterra (PA), visando com isso analisar a diferença entre os estoques em cada tipologia. Para tanto, o reconhecimento em campo da estrutura da cobertura florestal em cada UP, a coleta de dados morfométricas, via inventário florestal, o uso de técnicas de sensoriamento remoto e de modelos de regressão, foram empregados para o alcance dos objetivos propostos. Assim, por meio dos valores de biomassa foi possível observar a contribuição de cada unidade na composição do estoque geral de carbono. Pelos resultados obtidos, a floresta de alto platô (fap) é a que mais detém biomassa por hectare ($392,23 \text{ t.ha}^{-1}$), seguida pela unidade tensão ecológica ($125,72 \text{ t.ha}^{-1}$). Em virtude da dinâmica socioeconômica no qual as unidades aqui investigadas estão inseridas torna-se necessário a criação de mecanismos mais eficazes para proteção dos estoques existentes, já que o processo de derrubada e queima da floresta implica no aumento da quantidade de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera e, consecutivamente, no agravamento dos problemas climáticos em longo prazo. Nesse debate, o uso de técnicas indiretas de quantificação de biomassa e carbono florestal desempenha um importante papel, já que possibilitam estimar esses parâmetros de modo não destrutivo e rápido, retornando resultados bastante satisfatórios. Porém, tais técnicas ainda necessitam de aperfeiçoamentos, principalmente, no que tange ao uso dos modelos estatísticos e a sua conversão em produtos do tipo imagem, como mapas de distribuição de biomassa e carbono, por exemplo.

Palavras-chave: Biomassa, carbono, estrutura florestal, unidade de paisagem.

ABSTRACT

In the discussions on climate change and protection of forest cover emerges the importance of studies on quantification of biomass and carbon stocks. Besides the improvement of indirect methods of quantification, it is necessary to further the use of new spatial scales of analysis, to aid in the recognition of the various forest types existing in a particular area. In this sense, the present work, considering the scale of the landscape, is to estimate in a non-destructive biomass stocks and carbon above ground units, characterized and bounded from forest types, here called Landscape Units (UP) present in an area located in the municipality of Belterra (PA), to thereby analyze the difference between the stocks in each typology. Therefore, recognition in the field of structure in each forest cover UP, morphometric data collection, forest inventory through the use of remote sensing techniques and regression models were employed to achieve the proposed objectives. Thus, through the biomass values was possible to observe the contribution of each unit in the stock composition usually carbon. From the results, the high plateau forest (fap) is the one that holds more biomass per hectare (392.23 t ha⁻¹) followed by the drive ecological tension (125.72 t ha⁻¹). Due to the dynamic socioeconomic in which the units are inserted investigated here it is necessary to create more effective mechanisms for protecting the existing stocks, since the process of felling of forest and burning implies increasing the amount of carbon dioxide (CO₂) in the atmosphere and, consecutively, in worsening weather problems in the long term. In this debate, the use of indirect techniques for quantification of biomass and forest carbon plays an important role, as they allow us to estimate these parameters nondestructively and fast, returning results very satisfactory. However, such techniques still require improvements, especially regarding the use of statistical models and their conversion into products such as image, as distribution maps of biomass and carbon, for example.

Keywords: Biomass, carbon, forest structure, landscape unit.

5.1 INTRODUÇÃO

A rapidez com que a destruição das florestas tropicais vem ocorrendo, e os impactos regionais e globais desse processo exigem o desenvolvimento de ferramentas que possam fornecer uma visão integrada dos seus mecanismos de funcionamento e do seu potencial na regulação do clima do planeta. De acordo com Pinto Júnior et al. (2009, p. 814):

As florestas tropicais são essenciais ao ciclo do carbono global porque estocam 20–25% do carbono terrestre global (Bernoux *et al.*, 2002). Vários debates sobre se as florestas tropicais emitem ou sequestram o carbono atmosférico tem aumentado o interesse nos componentes do solo e seus ciclos (Clark, 2004), ressaltando a complexa variedade de processos físicos, químicos e bióticos, que atuam em direções ou intensidades diferentes.

Ainda conforme esses autores, essa teia complexa de interações exige mensurações de carbono, que levem em consideração os ecossistemas distintos com o intuito de realizar análises sobre a dinâmica dos mesmos, no que tange a emissão de CO₂ para a atmosfera. E complementar a isso, calcular a capacidade que cada ecossistema tem de estocar carbono, em virtude, das diferentes quantidades de biomassa presentes nos mesmos.

Mensurar CO₂ em diversos ambientes é de fundamental importância na compreensão do papel do bioma Amazônia para mitigação das mudanças climáticas, tendo em vista que o “ciclo do carbono pode ser considerado *chave* no para o entendimento das mudanças climáticas globais e suas implicações na dinâmica de processos essenciais para a biosfera” (ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2004, p. 14). Porém, ainda são pouco conhecidas as etapas desse ciclo em nível dos ecossistemas terrestres, principalmente, em nível da paisagem.

Mediante o contexto atual de alterações do clima global, estudos voltados à análise dos processos inerentes ao ciclo do carbono nos ecossistemas terrestres, sejam eles da quantificação dos estoques ou do fluxo atmosfera-biosfera, mostram-se de grande relevância no sentido de gerar mais informações, necessárias a melhor compreensão da ciclagem desse elemento. Diversos modelos quantitativos vêm sendo desenvolvidos para projetar cenários futuros sobre a resposta da floresta ao aquecimento global, porém ainda são discrepantes os resultados gerados entre os modelos no que tange ao cálculo de biomassa existente (FEARNSIDE, 2009). Os resultados obtidos apresentam alto grau de incerteza, que também é atribuído a falta de conhecimento sobre as magnitudes da função da vegetação e dos solos, das mudanças no uso da terra e dos mecanismos de *feedback*, que podem ocorrer devido ao aquecimento da superfície terrestre (ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2004).

Estimativas de carbono florestal são obtidas a partir da quantificação da biomassa. Esta corresponde a toda matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal (SILVEIRA et al., 2008). No caso da biomassa florestal ou *fitomassa*, os componentes geralmente estimados são a biomassa viva horizontal acima do solo, composta de árvores e arbustos, a biomassa morta acima do solo, composta pela serrapilheira e troncos caídos, e a biomassa abaixo do solo, composta pelas raízes; a biomassa total é dada pela soma de todos esses componentes (SILVEIRA, 2010).

Uma das polêmicas que cerca o debate sobre florestas e reservas de carbono é como medir a capacidade de estoque de CO₂ com baixo custo e em curto prazo. Uma das alternativas mais modernas vem sendo a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto⁴ na modelagem de processos ecológicos, integrados ao mapeamento cartográfico e a investigação *in loco* de pontos amostrais via inventário florestal, além do uso de modelos estatísticos que consideram variáveis morfométricas da vegetação. Entre os trabalhos já desenvolvidos destacam-se os estudos de Turner et al. (2004), Hiura (2005), Novo et al.(2005) e Nayak, Patel e Dadhwal (2010).

Somado a isso, as discussões sobre o funcionamento dos ecossistemas no balanço de carbono e sua interação com o sistema climático ainda são incipientes, o que demanda continua investigações, pois se estima que a floresta amazônica detenha um estoque de aproximadamente 100 bilhões de toneladas de carbono e capacidade de sequestrar, através da fotossíntese, entre 300 a 600 milhões de toneladas de carbono anualmente (MANZI, 2008).

Entretanto, um dos pontos a ser considerado nesses estudos é a escala espacial adotada para a obtenção dos estoques de carbono, que precisa considerar os diversos tipos de cobertura e uso da terra, pois a vegetação varia conforme a topografia e as múltiplas interações entre os fatores físico-geográficos e sociais, acarretando em capacidades de estoques também diferenciadas.

Nesse sentido, atenção deve ser dada também as áreas de florestas alteradas ou degradadas, já que a assimilação de carbono no processo de regeneração de florestas não está claramente estabelecida (LUIZÃO, 2004). Isso representa, por sua vez, incerteza no balanço global de carbono, juntamente com o processo de conversão da floresta primária, pois ambos podem influenciar a concentração de dióxido de carbono na atmosfera e, portanto, interagir

⁴ Em virtude dos avanços nos métodos de extração de dados e informações e do desenvolvimento da ciência como um todo (NOVO *et al.*, 2005), o Sensoriamento Remoto vem se mostrando como a principal ferramenta para auxiliar análises espaço-temporais de fenômenos naturais na Amazônia, sobretudo por causa das características de alguns sensores que possuem a capacidade de penetrar a cobertura densa de nuvens, constantemente presentes na região.

com o sistema climático. Desse modo, esses ambientes necessitam de investigação, sobretudo por que representam parcela considerável do espaço regional amazônico, correspondendo já em 2008 a uma área com 24.932 km², sendo 7.708 km² situados no estado do Pará, o que equivale a aproximadamente 30,91% do total (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2008).

Assim, para cada tipologia florestal, cuja estrutura (horizontal e vertical) resulta da combinação de múltiplos fatores, há produção de biomassa diferenciada e que precisa ser considerado nos estudos sobre estoque e fluxos de carbono, tendo em vista que a floresta amazônica não é uniforme, ela em si mesma é um mosaico complexo, formado por várias fitofisionomias, diferenciadas, porém interligadas (PUIG, 2008). Dependendo da tipologia, no que tange à idade da floresta, das espécies existentes e do contexto socioeconômico de uso da terra, essas unidades assumem diferentes papéis no âmbito das questões relativas às alterações climáticas. Nesse âmbito, importante também é o uso de técnicas indiretas de quantificação de biomassa e carbono florestal.

No contexto apresentado, a identificação dessas tipologias e sua distribuição no espaço torna-se um instrumento fundamental de planejamento e quantificação da capacidade de estoque de carbono nos ambientes florestais existentes, compreendidas aqui enquanto unidades de paisagem.

Desse modo, no âmbito das questões levantadas, este capítulo tem por objetivo estimar carbono acima do solo em unidades de paisagem, caracterizadas e delimitadas a partir das tipologias florestais, visando analisar a diferença existente entre as unidades no que tange ao estoque de CO₂ e como o recorte da paisagem pode ser um importante instrumento de planejamento e gestão da cobertura florestal em áreas de intensa vulnerabilidade antrópica num contexto de mudanças climáticas.

5.2 MATERIAIS E MÉTODOS

5.2.1 Unidades de paisagem: características e localização

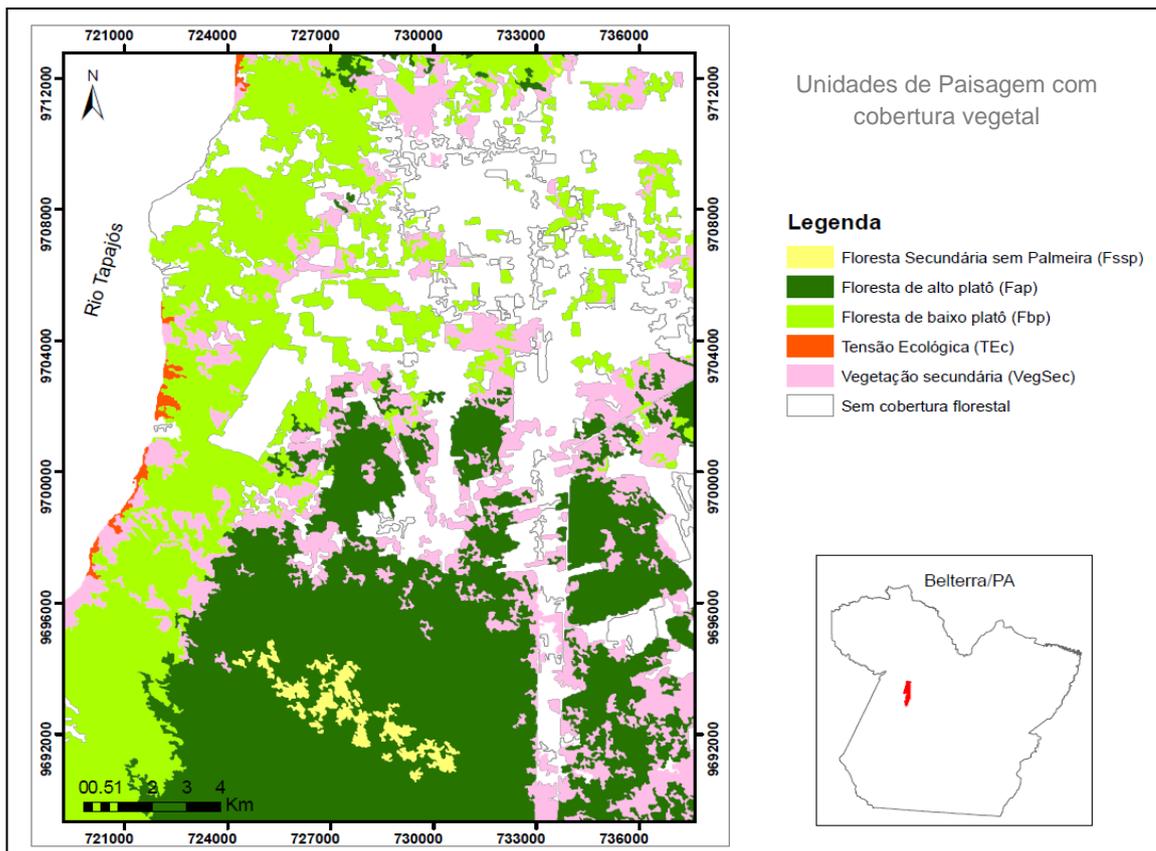
Neste trabalho adota-se como escala espacial de análise a paisagem, mais precisamente, a Unidade de Paisagem (UP). As diferentes tipologias de UPs são, então, caracterizadas e delimitadas a partir de técnicas de sensoriamento remoto.

Compreende-se por unidade de paisagem, conforme Zonneveld (1989), uma unidade que pode ser individualizada em relação a um determinado atributo, porém

homogênea em si mesma. O atributo aqui considerado foi a cobertura vegetal, que permitiu a caracterização a partir de imagens orbitais de cinco unidades de paisagem passíveis de quantificação de biomassa e carbono vegetal, sendo três tipologias compreendidas enquanto unidades de paisagem naturais (Floresta de Alto Platô, Floresta de Baixo Platô e Tensão Ecológica (Floresta/Cerrado) e duas como unidades de paisagem modificadas (Floresta Secundária sem Palmeiras e Vegetação Secundária) (Mapa 08).

Das cinco unidades, a unidade Floresta Secundária sem Palmeira não pôde ser incluída nesta etapa, devido à sua localização geográfica, que inviabilizou o acesso por terra durante a realização do inventário florestal, e ainda pela ausência de dados sobre a sua estrutura interna em outras fontes, que pudessem fornecer elementos para estimar valores de biomassa, específicos a essa formação.

Mapa 08- Localização das unidades de paisagem com cobertura vegetal



Fonte: Autora (2012).

Ressalta-se ainda que as unidades citadas situam-se no âmbito do município de Belterra, região oeste do Pará, incluindo porção norte da Floresta Nacional do Tapajós (FNT), no quadrante situado entre as seguintes coordenadas geográficas: $-54^{\circ} 45' 57''$ de longitude

Oeste e $-02^{\circ} 33' 32.39''$ de latitude Sul e $-55^{\circ} 06' 36.48''$ de longitude Oeste e $-02^{\circ} 54' 49''$ de latitude Sul.

5.2.2 Estimativas de biomassa

Para estimar a biomassa nas unidades de paisagem naturais, anteriormente descritas, empregou-se o método indireto, a partir de duas estratégias de mensuração. A primeira foi obtida através da coleta em campo via inventário florestal amostral. A segunda foi estimada por meio de modelos de regressão ajustados a partir da análise de correlação entre o volume de madeira estimado no inventário florestal e as variáveis obtidas a partir de imagens orbitais, nesse caso Landsat TM 5, para fins de comparação em análises multitemporais e representação espacial da distribuição da biomassa e do carbono florestal acima do solo (modelagem espacial). Portanto, escolheu-se as variáveis independentes de maior correlação com a variável dependente, neste caso o volume.

5.2.2.1 Inventário Florestal

O inventário florestal consiste em uma técnica de estimação da produção florestal e de outras características dos recursos florestais, que pode ser realizada sob diferentes níveis de detalhamento e em diferentes momentos (SOARES et al., 2010).

Há vários tipos de inventários, normalmente definidos segundo os seus objetivos. Quanto à forma de coleta de dados, os inventários podem ser classificados em: Inventário 100% (Censo) e Inventário Amostral. O primeiro ocorre quando todos os indivíduos são observados e medidos; e o segundo, constitui a maioria dos inventários realizados, ocorre quando apenas uma parte da população é observada. Essa forma de coleta permite a obtenção de estimativas precisas e exatas de diferentes parâmetros populacionais em menor tempo e custo, caso a área do levantamento seja bastante extensa (SOARES et al., 2010). Entre os métodos por amostragem, destaca-se o inventário pelo método quadrante, cujas características serão apresentadas nas páginas seguintes.

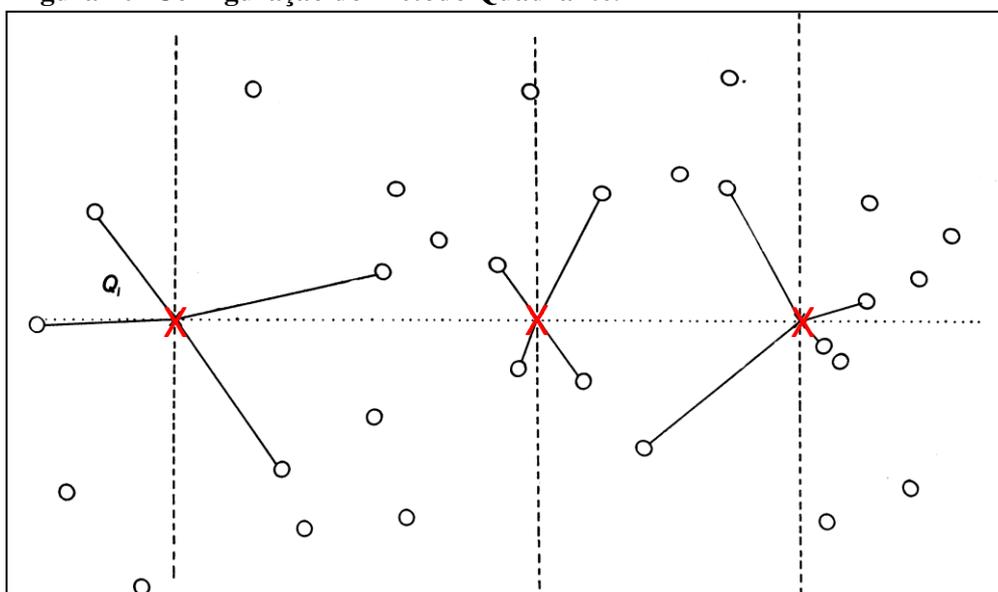
i) Método quadrante

Entre os dias 09 e 10 de novembro de 2012 realizou-se a coleta de dados em quatro unidades de paisagem identificadas no âmbito do município de Belterra, estado do Pará. Para a realização desta etapa optou-se pelo método quadrante. O inventário por esse

método pressupõe que as árvores tenham um padrão espacial completamente aleatório para que a estimativa da densidade não apresente diferenças entre o valor da amostra e o valor do parâmetro (população) (GORENSTEIN, 2002).

O método quadrante (Figura 10), dentre os métodos de distância, tem sido o mais utilizado em levantamentos fitossociológicos de florestas tropicais. Segundo Gorenstein (2002), sua grande difusão deve-se à economia de tempo na coleta e a possibilidade de amostrar uma área maior quando comparado ao método de parcelas de área fixa (COTTAM; CURTIS, 1956).

Figura 10- Configuração do Método Quadrante.



Nota: O X (em vermelho) representa o centro do ponto amostral. Neste método a distância é medida a partir desse ponto para a planta mais próxima a ele, independentemente da direção (Q_1), a área em torno do ponto é dividida em quatro quadrantes de 90° (linha tracejada) e a distância é medida a partir do ponto mais próximo à árvore. Na figura, as linhas pontilhadas representam a distância entre os pontos amostrais e as linhas sólidas as distâncias medidas.

Fonte: Modificado a partir de Cottam e Curtis (1956).

A aplicação desse tipo de amostragem consiste no estabelecimento dentro do povoamento ou área a ser amostrada, de pontos distribuídos de modo sistemático ou aleatório, embora o primeiro seja mais recomendado. Tais pontos são divididos em quatro quadrantes, sendo amostrado o indivíduo mais próximo ao ponto em cada quadrante. Registra-se a espécie, o diâmetro e a distância ponto-árvore, num total de 4 árvores (MARTINS, 1993 apud GORENSTEIN, 2002). A distância entre os pontos deve ser estabelecida de modo que uma mesma árvore não seja amostrada por pontos distintos.

Na execução do inventário florestal, a escolha das áreas a serem amostradas ocorreu obedecendo principalmente o critério da acessibilidade, por isso a unidade de

paisagem Floresta secundária sem palmeira (Fssp) foi descartada nessa fase, pois não foi possível ter acesso à mesma que se encontra imbricada no meio da floresta densa de alto platô (Figura 11).

Figura 11- Situação geográfica da unidade Floresta secundária sem palmeira (Fssp).



Fonte: Autora (2012)

Em todas as unidades de paisagem visitadas, foram amostrados 15 pontos, a uma distância de 50 metros entre eles, com exceção da unidade Floresta de alto platô (Fap), cuja distância entre os pontos foi de 100 metros, por ter uma área maior que as demais.

Para duas unidades, Vegetação Secundária (VegSec) e Floresta de baixo platô (Fbp) a orientação da coleta deu-se de forma longitudinal no sentido oeste-leste. A Fap foi amostrada no sentido leste-oeste. No caso da unidade Tensão Ecológica (TEc), como a sua distribuição na área de estudo ocorre paralela ao Rio Tapajós, a coleta foi realizada no sentido norte-sul.

Durante o inventário foi mensurada a circunferência do fuste a altura de 1,30m do solo (CAP), para posterior conversão no diâmetro à altura de 1,30m do solo (DAP) de indivíduos arbustivos, arbóreos e palmeiras com circunferência maior ou igual a 31,4 cm, não considerando árvores mortas. Além deste parâmetro, mediu-se a altura total (Ht) e a distância ponto-árvore da planta mais próxima do ponto central em cada quadrante.

Na coleta de dados foi utilizado um quadrante de madeira (Fotografia 18), uma trena de 50m, fichas de campo, uma trena de 10 metros, além dos equipamentos de segurança

necessários (perneiras e capacetes). Os indivíduos vivos mensurados foram identificados por para-botânicos durante o inventário.

Fotografia 18- Quadrante usado durante o inventario.



Fonte: Autora (2012).

Na Fotografia 19, pode-se observar todas as etapas de aplicação do método, que inicia logo após a abertura picada na mata com a medição das distâncias entre os pontos. Em seguida, faz-se o lançamento do quadrante no ponto definido. Neste momento, com o uso de um receptor *Global Positioning System* (GPS) toma-se a coordenada do ponto central e, a partir disso, realiza-se a coleta das variáveis das espécies, imediatamente mais próximas a este ponto.

Fotografia 19- Síntese esquemática das etapas do inventário.



Fonte: Autora (2012).

Ao final da coleta todos os dados foram sistematizados em um banco de dados no Excel para posterior tratamento estatístico. No total foram amostradas 60 árvores em cada UP, sendo 4 (quatro) árvores por ponto, conforme já citado.

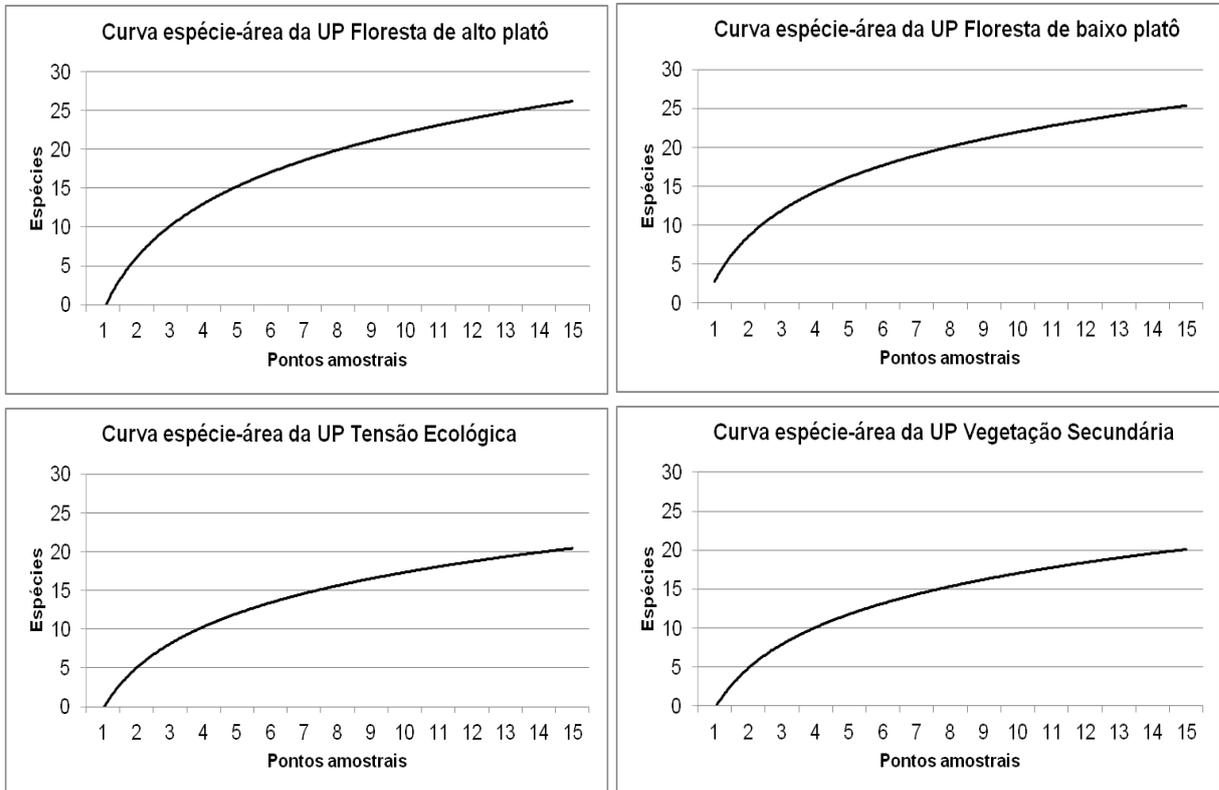
A partir das variáveis, altura total, circunferência e distância ponto-árvore foi possível calcular os seguintes parâmetros estruturais das UPs:

- Densidade absoluta (número de árvores por hectare - ha);
- Área basal, em $m^2 ha^{-1}$;
- Distribuição diamétrica;
- Volume por indivíduo e por classe diamétrica, em m^3 ;
- Volume, em $m^3 ha^{-1}$;
- Carbono na fitomassa, árvores e palmeiras com $DAP \geq 10$ cm, em $t ha^{-1}$;

A suficiência amostral da composição florística foi verificada pela curva espécie-ponto para as quatro unidades de paisagem, a qual é oriunda da relação entre o número cumulativo de espécies amostradas (eixo y) com o número de pontos de amostragem (eixo x). À medida que a reta atinge a estabilidade subentende-se que os pontos foram suficientes (CAIN, 1938). Para as unidades amostradas as curvas mostram um comportamento

satisfatório apesar da quantidade média de pontos, conforme pode ser observado nos gráficos da Gráfico 08.

Gráfico 08- Curva espécie-área das unidades de paisagem.



Fonte: Autora (2012).

Conforme Cain (1938) a curva de acumulação de espécies, em florestas tropicais, nunca atinge a horizontalidade e a amostragem mínima pode ser considerada quando um acréscimo de 10% na área amostrada (número de pontos), corresponder a um acréscimo de no máximo 10% do número de espécies, sendo possível observar tendência à estabilização na curva a partir do ponto 13 para todas as unidades de paisagem.

Assim, a partir dos dados coletados o volume total com casca de árvores em pé da *i*-ésima espécie (V_{tc_i}) foi estimado utilizando o fator de forma igual a 0,7 (HEINSDIJK; BASTOS, 1963), por meio da seguinte expressão (Equação 8):

$$Vol = \frac{\pi \cdot DAP^2 \cdot ht \cdot f}{4} \quad (8)$$

Em que,

Vol = volume (m^3/ha)

$$\pi = 3,14/5$$

DAP= Diâmetro a altura do peito (m)

ht= altura total (m)

f= fator de forma (0,7)

Importa frisar que a realização deste inventário no âmbito da proposta do trabalho, para além da coleta de dados morfométricos da vegetação teve como objetivo também verificar a partir de observação direta a heterogeneidade estrutural da floresta, informação esta fundamental as proposições deste trabalho.

5.2.2.2 Modelagem estatística

Na literatura observa-se o aumento crescente do uso das técnicas de sensoriamento remoto na obtenção de parâmetros biofísicos da vegetação. A maior parte dos trabalhos visa fornecer a partir de modelos estatísticos formas de quantificações desses parâmetros tais como o DAP, a altura e a biomassa, que sejam mais próximas do real. Dentre esses trabalhos destacam-se o de Higuchi et al (1998), que desenvolveram vários modelos estatísticos para conversão de massa fresca para massa seca e de biomassa para a floresta de terra-firme da Amazônia; e o de Ratuchne (2010), que desenvolveu equações alométricas para estimar a biomassa arbórea acima do solo, o carbono fixado e o conteúdo de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana, localizada no município de General Carneiro no estado do Paraná.

No presente trabalho a modelagem foi usada como um recurso metodológico para espacialização da diferença do volume arbóreo, e, conseqüentemente, da biomassa acima do solo e do carbono presente em cada unidade de paisagem investigada. De um modo geral, a técnica consistiu no uso de modelos de regressão linear, gerados a partir da correlação de dados biofísicos da vegetação com dados extraídos de imagens orbitais (variáveis radiométricas).

a) Obtenção das variáveis radiométricas

Para a obtenção dos dados radiométricos foi utilizada uma imagem Landsat 5 *Thematic Mapper* (TM) do dia 29 de junho de 2010, órbita/ponto 227/62, nas bandas espectrais TM3, TM4 e TM5. Após o devido preparo da cena no que tange ao

georreferenciamento, conversão dos valores físicos em reflectância aparente e correção radiométrica, partiu-se para o processamento da mesma visando à geração de imagens índices, nesse caso: NDVI e RAZÃO. Isso foi realizado em ambiente Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) do software Spring versão 5.2.2.

Uma imagem índice de vegetação corresponde a uma transformação radiométrica, almejando realçar determinadas informações que não são muito visíveis nas imagens originais (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Há disponíveis na literatura vários índices para estudar os fenômenos relacionados à vegetação, dentre os mais usados destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada = *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Este índice baseia-se no princípio de que a assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia mostra um evidente contraste entre a região do visível (vermelho-Banda 3) e a do infravermelho próximo (Banda 4). Quanto maior for esse contraste, maior o vigor da vegetação na área imageada (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007; MOREIRA, 2011). Essa relação é expressa pela equação 9:

$$NDVI = \frac{(B4 - B3)}{(B4 + B3)} \quad (9)$$

Em que,

B4= Infravermelho próximo;

B3= Região do Vermelho.

A imagem RAZÃO corresponde a um produto gerado a partir de uma operação não-linear, utilizada para realçar as diferenças espectrais de um par de bandas, caracterizando determinadas feições da curva de assinatura espectral de alvos determinados (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 1998). Pode ser expressa na Equação 10:

$$R = Im_1 / Im_2 \quad (10)$$

Em que,

Im= imagem.

A imagem razão foi obtida a partir da divisão da imagem TM4 pela TM3. A etapa seguinte consistiu na obtenção dos valores de reflectância nas bandas e imagens índices de forma individual, o que foi realizado após a criação de máscaras vetoriais representativas

dos pontos de coleta. Com as coordenadas planas do ponto central do quadrante usado no inventário florestal foi criado um arquivo vetorial em formato circular com raios específicos para cada unidade de paisagem. O valor do raio foi definido a partir da média das distâncias corrigidas obtidas por árvore durante a coleta. Essa etapa foi desenvolvida em ambiente ArcGis 10.0 a partir da importação da planilha Excel, com as coordenadas dos pontos. Após adicionados na tela de visualização do ArcGis, os mesmos foram selecionados e exportados para o formato *shapefile*.

Em seguida, a partir da ferramenta *Geoprocessing* disponível no menu principal do software em questão, selecionou-se a função *buffer* para a criação da área circular em torno dos pontos, inserindo o raio. Para cada unidade de paisagem foram admitidos valores específicos de raio por entender que tal parâmetro reflete o próprio comportamento estrutural de cada unidade florestal e com isso a sua especificidade.

No Spring fez-se a sobreposição das áreas circulares sobre as imagens em serviço para obtenção dos valores radiométricos correspondentes a cada banda na área amostrada. Esses valores foram obtidos mediante o cálculo das médias aritméticas entre os valores de reflectância existentes em toda extensão da área circular. Desse modo, obteve-se um valor de reflectância para cada círculo, no total de 15 por amostra, cuja área variou segundo a unidade de paisagem, conforme já explicitado. Esses dados foram organizados em um banco de dados, que incluiu o volume arbóreo.

Após essa etapa, partiu-se para a análise da correlação do volume arbóreo com as variáveis digitais das bandas TM4, TM5 e dos índices NDVI e RAZÃO, considerando os quinze pontos amostrados por unidade de paisagem. Devido aos baixos valores obtidos, a banda TM3, individualmente, foi descartada dessa fase. Através do teste de correlação de Pearson (r), pode-se calcular o grau de associação das variáveis digitais (independentes) com a variável biofísica (dependente). A correlação linear de Pearson constitui um teste paramétrico, onde os valores das variáveis X e Y são mensurados em nível intervalar ou de razões. O coeficiente pode variar de -1 a $+1$, quanto mais próximo desses valores extremos, mais forte a associação das variáveis examinadas (AYRES et al., 2007).

A partir dos resultados obtidos, constatou-se baixa correlação entre as variáveis para a totalidade do volume arbóreo. Desse modo, partiu-se para uma nova estratégia pautada na estratificação ou fatiamento dos valores de volume por intervalo de classe em ordem crescente. Isso foi realizado inicialmente em uma única unidade de paisagem, para fins de verificação e eficiência dos resultados, respeitando as especificidades do volume na mesma,

que é função do DAP e da altura total das árvores, variáveis essas que se diferenciam segundo a tipologia florestal.

Como critério estatístico, o fatiamento foi realizado considerando no mínimo três *scores*, com aproximados valores numéricos. Condição essa necessária para a realização dos testes paramétricos. Tal condição foi realizada sem nenhum problema ou prejuízo para a análise.

Após teste de correlação (r), a partir dessa nova estrutura dos dados, cujos valores de significância foram bem mais representativos, procedeu-se a estratificação para as demais unidades de paisagem.

Ao considerar a diferenciação estrutural da floresta, não foi possível obter um único intervalo de classe para as quatro UPs. Porém, foi possível uniformizar a quantidade de classes nessas unidades que, apesar dos intervalos diferenciados, ficaram divididas em 4 classes de volumes arbóreos. Este processo foi realizado ainda no banco de dados no Excel, bem como a obtenção dos coeficientes de correlação, cujos valores podem ser observados no quadro abaixo (Quadro 07), por variável digital e classe de volume:

Quadro 07- Correlação entre o volume e as variáveis digitais.

UP	Coeficientes de correlação (r – Pearson)				
	Classes (Vol m ³ /ha)	TM4	TM5	NDVI	RAZÃO
Fap	4,00-15,00	0,20	-0,21	0,80	0,80
	15,10-26,00	-0,34	-0,70	-0,24	-0,35
	26,10-52,00	-0,76	0,33	-0,95*	-0,96*
	52,10-108,00	0,50	0,23	0,34	0,30
Fbp	3,00-7,00	-0,20	-0,95*	0,12	0,04
	7,10-9,00	-0,26	-0,60	-0,53	-0,58
	9,10-16,00	0,97*	0,50	0,69	0,73
	16,10-31,00	-0,32	-0,84	0,27	0,27
VegSec	0,60-1,32	-0,17	0,73	-0,89	-0,88
	1,38-2,65	0,53	0,76	0,44	0,37
	2,85-6,52	0,66	0,68	-0,49	-0,67
	9,20-12,39	0,99*	0,97	-0,16	0,95*
TEc	0,70-2,30	0,96*	0,17	0,83	-0,97*
	2,31-7,50	0,00	-0,99*	0,00	0,80
	7,51-13,00	-0,08	0,17	-0,02	-0,81
	13,1-80,00	-0,99*	-0,90	-0,99*	0,83

*Significativo a $\alpha=95\%$.

Fonte: Autora (2012).

Assim, foi possível visualizar qual a variável digital mais significativa para cada classe volumétrica. Porém, para ter certeza da capacidade preditiva das mesmas realizou-se

uma análise *Stepwise* pelo método progressivo (*Forward*) com todas as variáveis digitais, independente do coeficiente de correlação obtido em etapa anterior. Este processo consiste no processo de seleção automática de variáveis que se relacionam com maior intensidade com a variável dependente, nesse caso o volume, o que é fundamental para a geração de modelos mais precisos (AYRES et al., 2007). Esta etapa foi realizada no software *BioEstat*, disponível para download no seguinte endereço eletrônico <<http://www.mamiraua.org.br/downloads/programas>>. Para determinadas classes de volume a análise retornou apenas uma variável, nesse caso empregou-se regressão linear simples. Para as classes com mais de uma variável preditiva a regressão foi do tipo linear múltipla.

b) Modelos de Regressão gerados

Com base nos resultados da análise *Stepwise* partiu-se para a construção dos modelos de regressão, o que foi realizado também no software *BioEstat*. Para cada unidade de paisagem obteve-se 4 (quatro) modelos, testados e ajustados pelo método dos mínimos quadrados, conforme as diferenças do volume florestal observado. A eficiência dos modelos foi avaliada tomando por base os coeficientes de determinação ajustado ($r^2_{ajustado}$), erro padrão em percentagem (Syx%) e F da regressão (Quadro 08).

Quadro 08- Modelos de regressão testados e ajustados para o cálculo de biomassa.

UP	Classes (Vol m ³ /ha)	Modelos	r ² _{ajustado}	Syx%	F
Fap	4.00-15.00	Y= -19,06+0,25RAZÃO	0,64	36,21	1,81
	15.10-26.00	Y= 46,62-0,87B5	0,49	12,13	1,92
	26.10-52.00	Y= 149,73-0,83RAZÃO	0,89	4,57	26,34
	52.10-108.00	Y=2649,97+ 12,07B4-14,75NDVI	0,63	24,86	0,86
Fbp	3.00-7.00	Y= 84,63-2,52B5	0,86	11,20	19,58
	7.10-9.00	Y= -14,01-0,10B5-0,02RAZAO	0,45	7,82	0,42
	9.10-16.00	Y= -26,73+0,56B4	0,92	5,45	36,80
	16.10-31.00	Y= 68,69-1,24B5	0,40	6,41	26,68
VegSec	9.00-20.00	Y= 16,29-0,07NDVI+0,003RAZÃO	0,36	25,89	1,83
	20.10-40.00	Y= -10,85+0,43B5	0,35	27,12	2,46
	40.10-98.00	Y= -1,22+0,31B5-0,03RAZAO	0,98	4,83	64,53
	98.10-186.00	Y= -15,78+0,41B4	0,99	0,86	594,77
TEc	0.70-2.30	Y= 1,26+0,04B4-0,014 RAZÃO	0,97	7,83	46,31
	2.31-7.50	Y= 239,68+1,86B4-1,73NDVI+ 0,29RAZAO	0,83	12,94	7,48
	7.51-13.00	Y= 14,37-0,04RAZAO	0,47	6,24	0,88
	13.1-80.00	Y= 594,38-2,69NDVI	0,99	4,65	507,79

Fonte: Autora (2012).

A partir dos modelos descritos acima foi possível espacializar a distribuição da biomassa e do carbono nas unidades de paisagem investigadas. Processo este realizado por meio da linguagem LEGAL do Spring.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Estimativas de biomassa por métodos indiretos

Conforme já mencionado, para a quantificação da biomassa florestal nas unidades de paisagem em estudo foram empregadas técnicas indiretas de quantificação, no caso o inventário florestal e o uso de modelos de regressão.

O inventário florestal pelo método quadrante mostrou-se satisfatório ao proporcionar a obtenção de variáveis estruturais da cobertura florestal representativas das tipologias florestais analisadas. Trata-se de um método bastante rápido e de grande aplicabilidade em estudos como estes, que não tem como objetivo calcular a produtividade comercial dos recursos florestais⁵.

Os dados coletados permitiram a identificação das espécies mais comuns em cada tipologia, bem como a comprovação das características estruturais das mesmas no que tange aos aspectos morfométricos e florísticos. O que possibilita compreender melhor a dinâmica da floresta, já que a disposição das espécies é regida por leis físicas, que determinam a distribuição espacial, tanto vertical quanto horizontal, dos indivíduos arbóreos (PUIG, 2008).

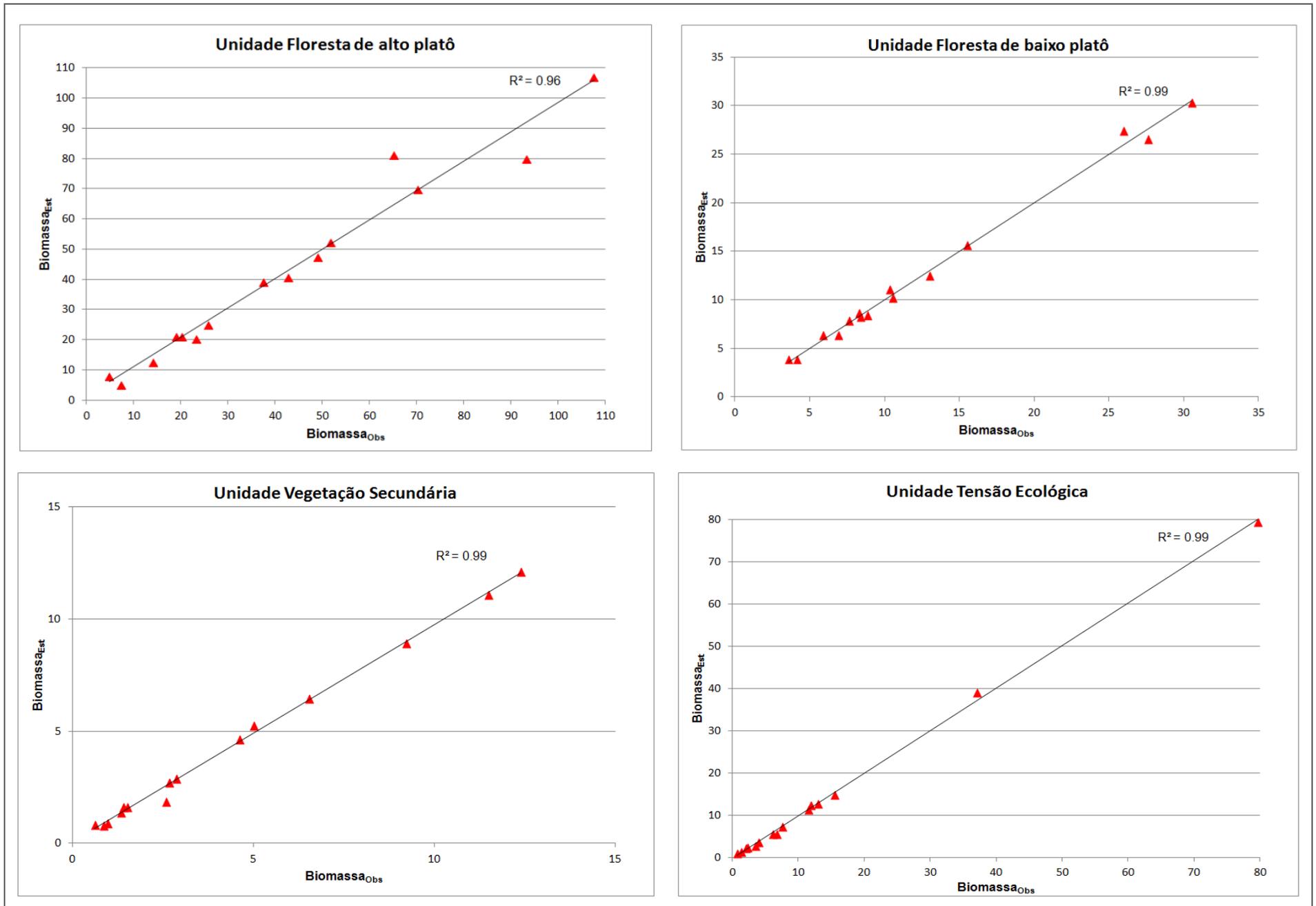
A partir dos dados obtidos, estimou-se o volume arbóreo por hectare, correspondente a cada unidade de paisagem. Valores esses que também foram calculados através de modelo estatísticos, gerados a partir da correlação de variáveis radiométricas com os dados coletados em campo. Isso funcionou como um suporte a mais na análise dos estoques, pois os modelos foram gerados com intuito de espacializar as diferenças observadas.

No que concerne ao uso desses modelos cumpre destacar que é crescente a sua aplicação para a determinação de parâmetros biofísicos da vegetação, principalmente, associados a dados espectrais, tais como os trabalhos de Bernardes (1996), Ponzoni e Rezende (2004) e o de Matos e Kichner (2008). A maior parte dos estudos estabelece apenas uma equação ou modelo para a totalidade da formação florestal, retornando baixas correlações com o produto usado, no caso imagens de satélites ou imagens índices, como a NDVI e a Razão, por exemplo. Quando aplicadas a quantificação do volume arbóreo, o uso de apenas uma equação tende a sub ou superestimar os valores, de modo muito discrepante. Uma alternativa a ser considerada é a estratificação desse volume em classes, conforme foi realizado na presente pesquisa.

⁵ À título de informação, importa ressaltar que para a região de estudo, em particular no que tange aos limites da Flona Tapajós, diversos inventários florestais amostrais já foram realizados. Denominados Inventários Florestais de Reconhecimento (IFR) esses inventários tinham o objetivo de estimar o estoque madeireiro das espécies de maior importância econômica. O primeiro IFR foi realizado em 1977, nas florestas de alto platô, pela missão da FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) e o segundo em 1983, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), nas áreas de florestas de flanco e declive. Tais inventários foram utilizados aqui apenas à título de comparação com os valores observados em campo, já que o método de amostragem empregado nos IFRs foi diferente do usado no inventário realizado no presente trabalho. (ESPÍRITO SANTO et al., 2005).

Nos gráficos apresentados na Figura 12, pode-se visualizar a comparação entre os valores dos dados coletados em campo e aqueles estimados através dos modelos de regressão. Valores próximos à linha diagonal, representados pelos triângulos vermelhos, indicam o ótimo desempenho das equações na estimativa do parâmetro biofísico. De um modo geral, verificou-se que os modelos apresentaram um índice de determinação alto entre $r^2= 0.96$ e $r^2=0.99$. Entre as unidades, a Floresta de alto platô foi a que apresentou o menor desempenho ($r^2= 0.96$), porém elevado. Os resultados indicam que a relação entre variáveis digitais e parâmetros biofísicos da vegetação é uma técnica bastante promissora, mas que merece aperfeiçoamento, sobretudo em áreas de intensa cobertura florestal. Importa frisar ainda que a eficiência dos resultados está diretamente relacionada com a estratificação do volume arbóreo em classes de volume.

Assim, constatou-se que entre os valores totais de volume a diferença não foi superior a 2%, tanto para mais quanto para menos, ou seja, mesmo subestimando, que foram os casos das unidades VegSec e TEc, ou superestimando, no caso das unidades Fap e Fbp, a diferença entre o volume observado e o estimado apresentou uma margem de erro muito pequena.



Desse modo, os métodos indiretos aqui empregados para a determinação da biomassa contida acima do solo mostraram-se bastante úteis, podendo ser considerados como uma importante ferramenta na análise da dinâmica florestal, no que tange a sua produtividade primária. Apesar disso, tais métodos também apresentam algumas limitações que precisam ser consideradas, sobretudo no que concerne ao emprego de modelos de regressão, mas que em nada inviabilizam o seu uso, tais como a equivalência entre a resolução espacial da imagem usada e o tamanho da unidade amostral em que será realizada a coleta, por exemplo.

5.3.2 Características fitofisionômicas das UPs: reconhecendo a heterogeneidade em campo

A coleta de dados realizada durante o inventário possibilitou caracterizar cada unidade de paisagem investigada. Desse modo, foram observados aspectos referentes às características das espécies mais proeminentes, ao padrão espacial da distribuição dos indivíduos arbóreos, ao perfil oblíquo das copas, o diâmetro e a altura das árvores. Estes aspectos são fundamentais para uma análise quali-quantitativa da cobertura florestal e da sua dinâmica, já que a organização de um povoamento desempenha papel essencial em seu funcionamento (PUIG, 2008).

Na unidade Floresta de alto platô (Fap), verificou-se que a mesma é bastante diversa no que tange as espécies existentes. Nos pontos inventariados pode-se contabilizar a presença de 28 espécies diferentes, com a predominância do Babaçu (*Orbignya martiana* Mart.), representando 15% do total das espécies identificadas (Fotografia 20). Segundo o Projeto Radam (1976), essa palmácea chega a ocorrer com uma frequência de até 12 indivíduos por hectare.

Fotografia 20- Presença de babaçus em meio à floresta densa de Alto Platô.



Fonte: Autora (2012).

Por classe de altura para esta unidade, pode se constatar que a maioria das espécies está entre 6 a 20m, com indivíduos com até 24,5 de altura. Essa fitofisionomia integra o Sistema da Floresta Tropical Aberta, cujas principais características compreendem: dificuldade de penetração, árvores caídas, grande número de espécies emergentes, solo do tipo Latossolo amarelo argiloso e cobertura uniforme (PROJETO RADAM, 1976). Ocorre em relevo aplainado com cotas topográficas entre 150 a 200 m (Fotografia 21).

Fotografia 21- Perspectiva zenital da estrutura da floresta de Alto Platô.



Fonte: Autora (2012).

Para a tipologia Floresta de baixo platô foram identificadas 26 espécies diferentes, com destaque para as espécies Abiorana vermelha (*Pouteria guianensis* Aubl.) e Passarinheira (*Casearia arbórea* (Rich.) Urb.), correspondendo a 8,34% e 10% do total dos indivíduos inventariados nessa unidade, respectivamente.

Essa formação também integra o Sistema Floresta Tropical Aberta, situa-se as entre as cotas altimétricas de 50 a 150 m, paralela à margem direita do Rio Tapajós (sentido N-S) em relevo dissecado. Nessa formação predomina o solo do tipo Latossolo amarelo com textura que varia de média a muito argilosa. Estruturalmente esta formação apresenta diferenças em relação a Fap, sobretudo pelas espécies existentes, mas também pela características do relevo, que varia bastante dentro do intervalo citado (Fotografia 22).

Fotografia 22- Visão oblíqua da estrutura vertical da Floresta de baixo Platô.



Fonte: Autora (2012).

Outra unidade bastante singular é a de Tensão Ecológica. Esta formação, que normalmente pode ser encontrada em áreas sob a influência dos rios e lagos, são definidas como regiões de contato entre diferentes tipos de vegetação que se misturam (PROJETO RADAM, 1976). Neste trabalho a unidade definida como Tensão Ecológica corresponde à área de contato entre a floresta e o cerrado, situada à margem direita do Rio Tapajós na comunidade Aramanaí, situada no município de Belterra (PA). Pelo levantamento fitossociológico pode-se identificar as espécies mais características como: Jutaí-mirim (*Hymenaea parvifolia* Huber), Tento amarelo (*Ormosia excelsa* Benth.), Uxirana (*Vantanea parviflora* Lam.) e o Ipê amarelo (*Hymenaea parvifolia* Huber). Entre as espécies inventariadas o Jauari (*Astrocaryum jauari* Mart.) foi o que apresentou a maior quantidade com um total de 11 indivíduos (18,34%).

Nessa unidade as espécies observadas, em sua maioria apresentaram fustes retorcidos com várias perfilhações e raízes expostas (Fotografia 23). Do ponto de vista paisagístico, constitui um cenário de imensa beleza e singularidade no que tange a formação vegetal característica do Bioma Amazônia.

Fotografia 23- Características das espécies encontradas na área de tensão ecológica.



Fonte: Autora (2012).

No caso da Floresta Secundária identificou-se 23 espécies diferentes, sendo a espécie Tatapiririca (*Tapirira guianensis* Aubl.) a com o maior número de indivíduos, representando aproximadamente 11,67% do total inventariado. Essa unidade amostral situada no interior da Flona Tapajós constitui também uma área de contato floresta/cerrado, que, entretanto, sofreu intensa intervenção antrópica com aproximadamente 12 anos de regeneração. Na área foi possível encontrar várias seringueiras (*Hevea brasiliensis*) e roçados abandonados (Fotografia 24).

Fotografia 24- Roçado abandonado em meio à floresta em regeneração.



Fonte: Autora (2012).

No que tange as duas últimas unidades, vale ressaltar que ambas situam-se entre as cotas altimétricas de 0 a 50 metros, às proximidades do Rio Tapajós, porém em diferentes pontos na área de estudo.

5.3.3 Biomassa quantificada nas UPs

A partir do volume florestal calculado inicialmente em metros cúbicos por hectare, obteve-se valores estimados de biomassa acima do solo presente em cada UP em toneladas por hectare ($t \cdot ha^{-1}$)⁶, cujos valores são apresentados no quadro 09, abaixo:

Quadro 09- Biomassa das árvores e palmeiras com DAP \geq 10 cm por unidade de paisagem.

UP	Biomassa ($t \cdot ha^{-1}$)
Floresta de Alto Platô (Fap)	392,23
Floresta de Baixo Platô (Fbp)	115,85
Tensão Ecológica (TEc)	125,72
Vegetação Secundária (VegSec)	39,58

Fonte: Autora (2012).

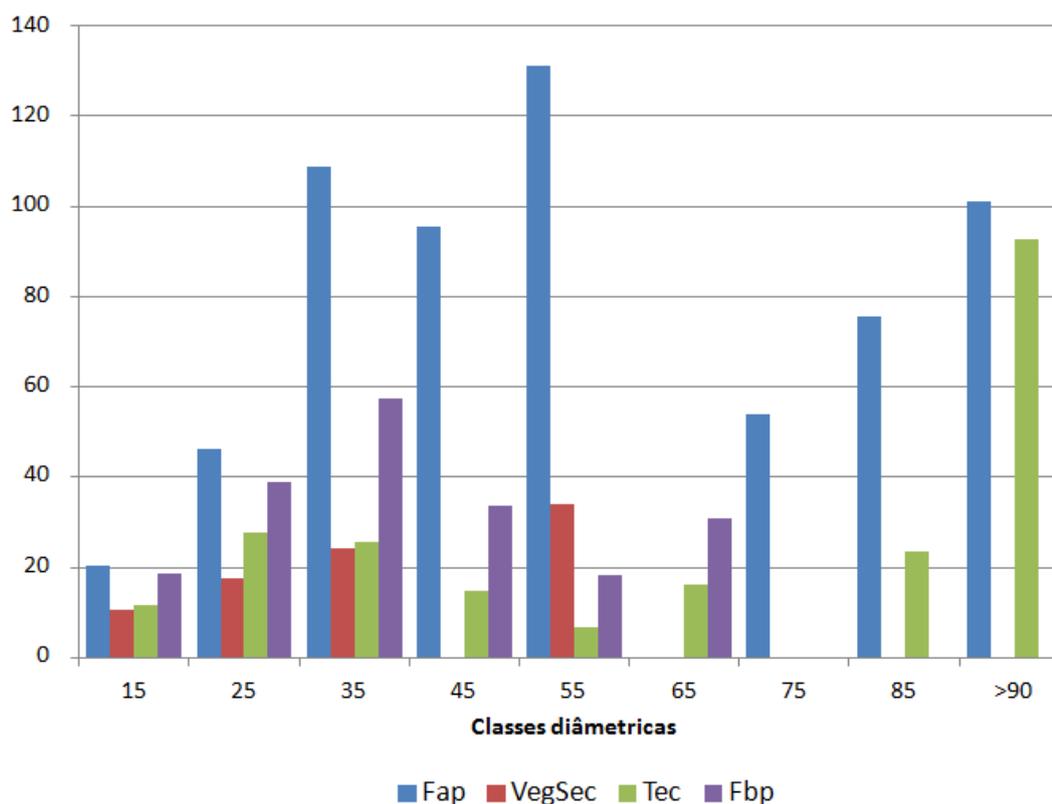
Os valores estimados estão próximos aos disponíveis na literatura para a região amazônica (PROJETO RADAM, 1976; FEARNSSIDE, 1993; HIGUCHI *et al.*, 1998). Ressalta-se que o acúmulo de biomassa é diferente em cada local, refletindo uma variação causada por diversos fatores ambientais e por fatores inerentes a própria planta (SOARES *et al.*, 2006). O que implica afirmar, que dificilmente haverá um certo consenso em relação aos valores de biomassa para a região, já que os fatores controladores dessa variável são passíveis de interferência no tempo e no espaço.

A floresta de alto platô é a que concentra a maior quantidade de biomassa por hectare, aproximadamente duas vezes a mais que a floresta de baixo platô, que apresentou uma quantidade menor, embora próxima, em relação a UP tensão ecológica, o que pode ser justificado pela quantidade de árvores com mais de um (01) fuste presentes nesta formação. No que tange a floresta secundária, o valor obtido já era o esperado dado o tempo de regeneração da mesma, com a presença de indivíduos jovens, e com um DAP médio em torno de 20,6 cm, enquanto que a formação alto platô possui um DAP médio de 28,8 cm.

⁶ Para a conversão do volume em m^3/ha para fitomassa em t/ha foi realizada considerando a densidade média da madeira definida para a Amazônia em 0,62 com base na literatura (Nogueira, 2000).

Através de um gráfico de distribuição diâmetrica foi possível observar em quais classes há maior concentração de biomassa. Considerando a totalidade das unidades a maior concentração está nas classes 25 e 45 cm de DAP. Acima da classe 65 cm, obteve-se valores somente para unidades Tensão Ecológica e Floresta de alto platô (Gráfico 09).

Gráfico 09- Distribuição da biomassa por classe diamétrica.



Fonte: Autora (2012).

Pelos valores calculados pode-se notar que entre determinadas florestas, mesmo pertencendo ao mesmo sistema florestal, no caso das unidades Fap e Fbp, ocorrem variações na produção de biomassa. E o mesmo sistema, dependendo das intervenções sofrida também apresenta valores de biomassa diferenciados, fazendo referência as unidades VegSec e TEc, já que a primeira apesar de significativamente alterada, corresponde a uma área de tensão ecológica.

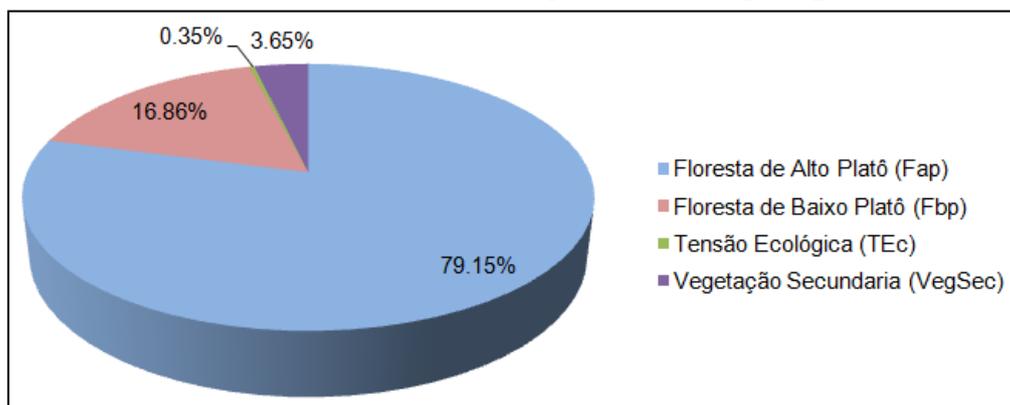
Considerando a área ocupada por cada UP, obteve-se as seguintes estimativas de biomassa total disponível em cada uma, conforme quadro 10:

Quadro 10- Biomassa total por unidade de paisagem

Unidade de Paisagem	Área (ha)	Biomassa UP (t/ha)	Biomassa total (t)
Floresta de Alto Platô (fap)	12550,16	392,23	4.922.549,26
Floresta de Baixo Platô (fbp)	9048,79	115,85	1.048.302,32
Tensão Ecológica (TEc)	171,44	125,72	21.553,44
Vegetação Secundaria (VegSec)	5734,78	39,58	226.982,59
TOTAL	27504,17	-	6.219.387,61

Fonte: Autora (2012).

A unidade com maior biomassa é a unidade Fap (79,15%), que apresenta a maior área entre todas as unidades investigadas e também a maior quantidade de biomassa acima do solo por hectare. Em segundo lugar, está a unidade Fbp com uma biomassa total correspondente a 16,86% e em terceiro a vegetação secundária (3,65%), que apesar de conter o menor estoque de biomassa por hectare entre todas as UPs, superou a unidade tensão ecológica, que apresentou o segundo maior estoque de biomassa por unidade de área (Gráfico 10).

Gráfico 10- Distribuição da biomassa total por unidade de paisagem.

Fonte: Autora (2012).

Ao considerar a área total ocupada por cada unidade de paisagem constatou-se que independente da capacidade de estoque da tipologia florestal, a área ocupada pela mesma é uma variável a ser considerada. Por isso unidades com menor potencial por hectare de biomassa, que é o caso da vegetação secundária, conforme já frisado, apresentou valor de biomassa total maior que a unidade tensão ecológica, pois a totalidade da área (soma de todas as manchas) ocupada pelas formações secundárias é superior a esta última.

5.3.4 Estoque de carbono nas UPs

No âmbito das discussões sobre mudanças climáticas e aquecimento global, a conservação dos estoques de carbono contido na biomassa florestal acima do solo, e em outros reservatórios, constitui uma das ações que contribui para a redução das emissões de CO₂ para a atmosfera. Nesse sentido, a conservação das florestas é fundamental à manutenção do equilíbrio climático do planeta. Para Dallagnol et al. (2011), tão importante quanto manter as florestas “em pé” é obter estimativas da capacidade de carbono fixada pelas mesmas, o que é fundamental, no sentido de gerar mais informações necessárias para elaboração de projetos de manejo e com isso controlar o aumento das emissões de CO₂ para a atmosfera.

Dessa forma, mensurações do carbono estocado pela vegetação constituem importantes indicadores de referência para o cálculo das emissões de CO₂ resultantes do processo de desmatamento, para a retenção desse elemento na vegetação remanescente e para o seu sequestro na vegetação em recuperação (crescimento secundário) (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2003).

O teor de carbono, de um modo geral, constitui 50% do peso da matéria orgânica seca, ou seja, da biomassa (SOARES et al., 2006). E esta é função da estrutura florestal, que varia segundo as características fisiomorfológicas da vegetação, tais como a capacidade fotossintética, área foliar e proporção de tecidos fotossintetizantes na folhagem (LARCHER, 2000 apud DALLAGNOL et al., 2011).

Higuchi et al. (2004) afirmam que a estimativa de estoque de carbono pode ser obtida pelo produto da biomassa florestal pela concentração de carbono. A concentração de carbono na vegetação obtida por Higuchi e Carvalho Júnior (1994) está em torno de 48%, valor este dentro dos limites de concentrações em florestas tropicais, que é de 46 a 52%. Tomando como referência este fator, foram calculados os estoques de carbono existentes em cada unidade de paisagem (Quadro 11).

Quadro 11- Estoques de carbono total por unidade de paisagem.

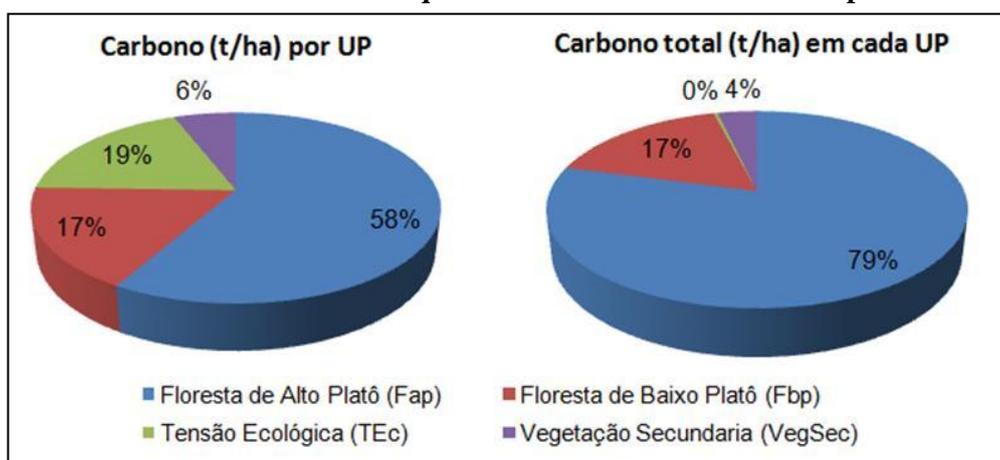
UP	Carbono (t.ha ⁻¹)
Floresta de Alto Platô (Fap)	188.27
Floresta de Baixo Platô (Fbp)	55.60
Tensão Ecológica (TEc)	60.34
Vegetação Secundaria (VegSec)	19

Fonte: Autora (2012).

Pelos valores observa-se que a quantidade de carbono estocado na floresta de alto platô é aproximadamente três vezes maior que nas unidades tensão ecológica e floresta de baixo platô. Estas possuem uma capacidade de estoque muito próxima, embora a unidade tensão ecológica apresente uma quantidade maior de carbono estocado.

No que concerne à unidade vegetação secundária o estoque apresentado é o menor entre todas as unidades com apenas $19 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Entretanto, cumpre destacar que formações secundárias, em fase de regeneração, possuem alta taxa de assimilação de carbono, tendo em vista que durante a fase inicial do desenvolvimento de uma floresta, grande parte dos carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa, que vai sendo reduzida gradativamente, quando as copas começam a competir entre si (SOARES et al., 2006). Porém, quando se analisa a capacidade de estoque em relação à área ocupada por cada UP, observa-se que a unidade vegetação secundária possui uma contribuição maior na área de estudo em relação à unidade tensão ecológica, cuja contribuição não chega a 1% (Gráfico 11):

Gráfico 11- Percentual dos estoques de carbono individual e total por UP.



Fonte: Autora (2012).

Em virtude do tamanho da área ocupada a Fap detêm 79% do estoque total de carbono estimado na área de estudo, seguida pela unidade Fbp com 17%. Desse modo, ressalta novamente que o tamanho da área ocupada pela formação florestal é um fator a ser considerado em análises sobre estoques e reservas de carbono, já que esta é uma variável bastante sensível às atividades antrópicas.

No que tange, a unidade VegSec, importa frisar que estudos revelam que uma floresta secundária com 10 anos de idade assimila de 6, a $10,0 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em 20 anos essa assimilação passa a variar de 4,0 a $7,0 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com 80 anos esse valor cai para $2,0 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Acredita-se que em 100 anos a floresta atinja o seu estado de equilíbrio, com taxa

de assimilação de $0,97 \text{ t C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (FEARNSIDE; GUIMARÃES, 1996). Nessa dinâmica tais formações desempenham um papel significativo no balanço de carbono, principalmente por ocuparem parcela considerável da superfície terrestre, conforme assinala Brown e Lugo (1990).

5.3.4.1 Distribuição espacial dos estoques de carbono

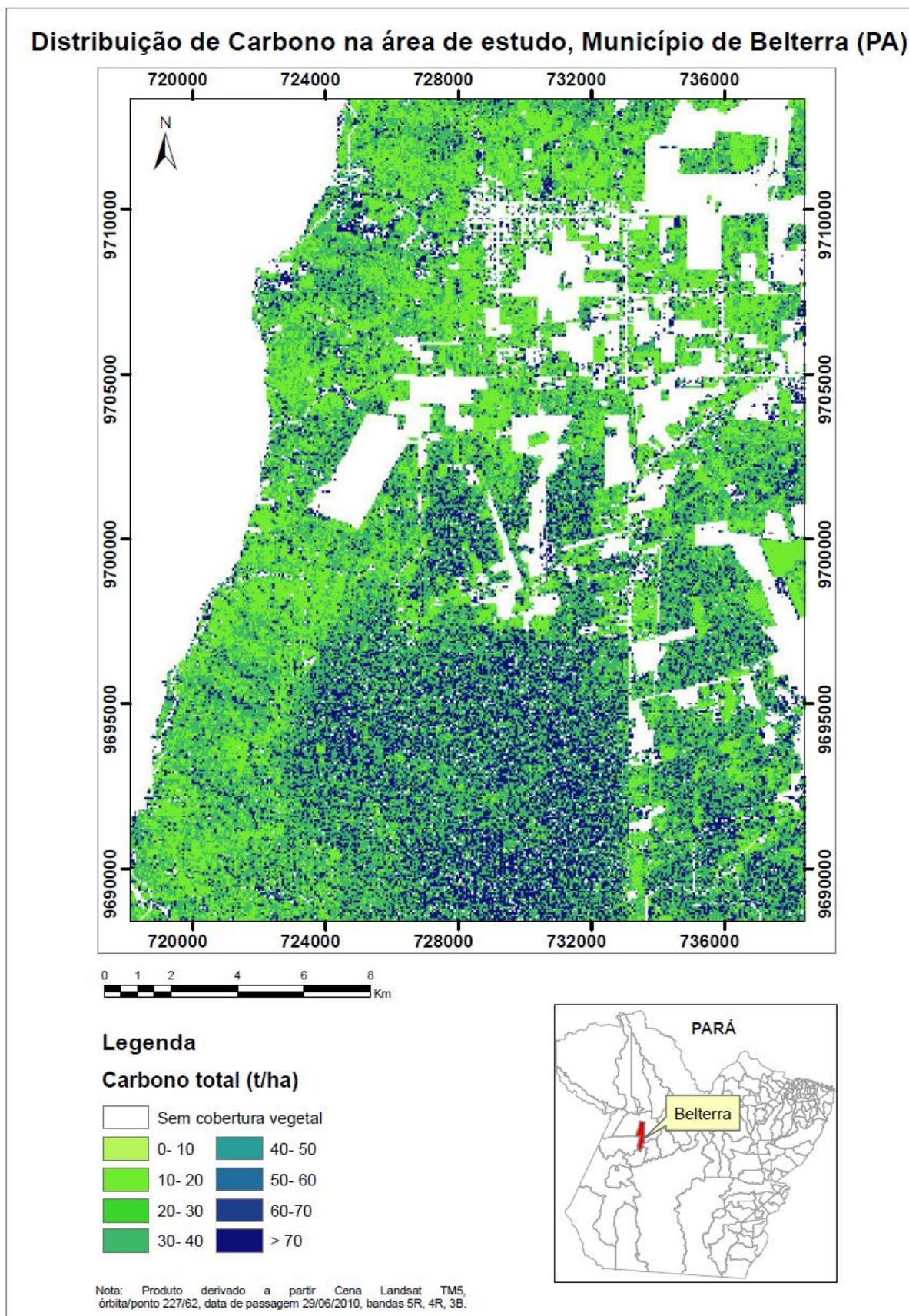
A partir dos modelos estatísticos desenvolvidos em etapa anterior foi possível espacializar a distribuição desses estoques. De acordo com Turner et al. (2004), a modelagem espacial de dados biofísicos a partir de técnicas de sensoriamento remoto mostra-se como uma importante ferramenta complementar aos estudos sobre o ciclo do carbono, possibilitando a integração de dados diversos e o mapeamento das características da vegetação.

No mapa gerado (Figura 57), pode-se notar que os maiores estoques de carbono concentram-se na floresta de alto platô com valores superiores a 70 t.ha^{-1} . Nas unidades floresta de baixo platô e tensão ecológica, há o predomínio de estoques com variações entre $30\text{-}40 \text{ t.ha}^{-1}$, embora em alguns pontos, observa-se a disponibilidade de valores acima de 50 t.ha^{-1} . No que tange a unidade vegetação secundária, o teor de carbono estocado nesta unidade não ultrapassa a quantidade de 40 t/ha com o predomínio dos estoques entre $10 \text{ a } 20 \text{ t.ha}^{-1}$. O que é coerente com os valores estimados, apresentados no quadro 09.

Observa-se, desse modo, que na área de estudo o estoque de carbono presente é bastante variado, não somente entre as unidades de paisagem, mas também no interior das mesmas, o que pode estar relacionado com as mudanças do gradiente topográfico e com as características da interação entre os fatores ambientais, o que, no entanto necessita de mais investigação. Nesse sentido, a adoção da macha (*patch*) como escala espacial de análise parece ser mais adequada.

Contudo, em virtude do papel das florestas na mitigação dos problemas climáticos globais a geração de dados e informações sobre suas características, estruturas e potencialidades, tornam-se cada vez mais necessárias, principalmente porque a quantidade de carbono estocado tanto abaixo quanto acima do solo presente nas mesmas supera a quantidade de carbono existente na atmosfera atualmente (HOUGHTON, 1994) (Mapa 09).

Mapa 09- Distribuição espacial de carbono florestal acima do solo presente na área de estudo.



Fonte: Autora (2012).

5.4 CONCLUSÕES

A estrutura da floresta é um parâmetro a ser considerado nos estudos voltados a quantificação dos estoques de biomassa e carbono, já que esta varia segundo a tipologia vegetal. Estruturas diferenciadas possuem estoques diferenciados, o que também é influenciado pela idade da floresta e pela forma como a mesma é manejada.

Em virtude da dinâmica socioeconômica no qual as unidades aqui investigadas estão inseridas torna-se necessário a criação de mecanismos mais eficazes para proteção dos estoques existentes, já que o processo de derrubada e queima da floresta implica no aumento da quantidade de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera e, consecutivamente, no agravamento dos problemas climáticos em longo prazo. Nesse debate, o uso de técnicas indiretas de quantificação de biomassa e carbono florestal desempenha um importante papel, já que possibilitam estimar esses parâmetros de modo não destrutivo e rápido, retornando resultados considerados satisfatórios. Porém, tais técnicas ainda necessitam de aperfeiçoamentos, principalmente, no que tange ao uso dos modelos estatísticos e a sua conversão em produtos do tipo imagem, como mapas de distribuição de biomassa e carbono, por exemplo.

Embora os dados revelem que na Amazônia a capacidade de sequestrar carbono da atmosfera supere as emissões provocadas pela substituição da cobertura florestal, deve haver um esforço maior no sentido de manutenção dos ecossistemas existentes, já que isto significa uma importante contribuição à mitigação do aquecimento global (MANZI, 2008).

De um modo geral, tal esforço deve iniciar com a adoção de novas escalas espaciais de análise, visando romper com a ideia de uma Amazônia homogênea, ou apenas constituída de duas grandes macroestruturas, várzea e terra-firme, tendo em vista que esta última inclui tanto florestas densas quanto florestas abertas e cerrado, as quais ainda podem ser subdivididas em outras unidades para a realização de estudos mais detalhados (CLEMENT; FONSECA, 2008), sem contar as áreas degradadas ou abandonadas de enorme potencial ecológico.

Nesse sentido, a adoção da paisagem enquanto escala de análise mostra-se de grande utilidade e aplicabilidade, pois insere um novo nível de observação que considera não apenas a história física do local, mas também a história social. Permitindo, desse modo, projetar cenários futuros de uso e ocupação do solo, que auxiliem no desenvolvimento de atividades que possam causar o menor dano possível às florestas, dado ao importante serviço ambiental que as mesmas oferecem ao planeta como um todo.

Considerando a especificidade do bioma Amazônia no que tange a ciclagem de nutrientes, deve-se considerar ainda que como a quantidade de nutrientes necessários a manutenção da floresta está na biomassa e não no solo, inseridos num sistema de reciclagem interno auxiliado por adaptações biológicas para a conservação dos nutrientes no próprio sistema, quando ocorre a remoção dessa estrutura biótica os nutrientes são perdidos rapidamente por lixiviação, sob condições de alta temperatura e de chuvas intensas. Assim, estratégias agrícolas pautadas em monoculturas de plantas anuais de vida curta são inapropriadas para a Amazônia (ODUM; BARRET, 2008). Tal fato alerta para as possíveis consequências da expansão da monocultura da soja, considerada um dos principais impulsionadores do desmatamento na região.

6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Segundo Drew (2010)⁷, a forma como o homem lida com o meio ambiente varia entre as regiões e as culturas, bem como com o tempo. Porém, o próprio tempo já demonstrou que, independente da tradição cultural, todos os elementos estão conectados. Tal conexão “é geral, de forma direta ou tênue, sendo impossível compreender qualquer aspecto isolado sem referência à sua função como parte do conjunto do mundo [...]” (DREW, 2010, p.19). Em outras palavras não há ação, mesmo planejada, sem consequência, e como exemplo o autor cita a construção de uma casa, enfatizando que as mudanças vão para além da simples substituição de um trecho de grama ou de floresta por um bloco de concreto, pois:

[...] A construção irá alterar parcialmente o clima circundante, o clima modificado alterará o caráter do solo e da vegetação vizinha e, por sua vez, a mutação do solo e da vegetação redundará em alterações posteriores do clima local. O telhado conduzirá as águas da chuva, diferentemente do que faria a vegetação preexistente, e assim por diante (DREW, 2010, p.19).

Considerando a escala do mundo, tais mudanças parecem insignificantes, mas imaginemos o processo de substituição da floresta em um bloco de concreto ou em uma área de pastagem em escala regional. Quais seriam os resultados em curto, médio e longo prazo? Quais as motivações de tal ação? As respostas a essas questões não podem ser dadas sem o conhecimento do contexto espacial onde a ação ocorre e muito menos considerando apenas uma dimensão do todo social.

Isso é factível quando nos reportamos à questão da mudança climática global bastante discutida na contemporaneidade, provocada pelo aumento da quantidade de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Embora haja um grupo de cientistas descrente em torno deste fenômeno, vários estudos indicam que o clima da terra vem sendo alterado desde o século XVIII pelas atividades antrópicas, principalmente, no concernente à queima de combustíveis fósseis e à mudança de uso e cobertura da terra. Em relação a esta última atividade, novas questões parecem emergir: quais são essas mudanças de uso da terra e onde elas ocorrem ou se intensificaram?

Independente de resposta essa conjuntura reascendeu o debate em torno das florestas tropicais e sua importância na mitigação da problemática do clima global, no que diz respeito à ciclagem do carbono e da relação emissão-sequestro de CO₂.

⁷ DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 7. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

E nesse bojo, a Amazônia transcende como foco de preocupação e interesse. Preocupação por que a mesma se configura atualmente como a principal fonte de propagação de CO₂ em virtude da queima e desmatamento da cobertura florestal, e interesse por ser ao mesmo tempo um importante sumidouro desse elemento. Porém, a Amazônia não é homogênea nem do ponto de vista social, geográfico e muito menos ecossistêmico. Assim, qual a verdadeira quantidade de estoque de biomassa existente na mesma? Esse estoque varia de acordo com os ecossistemas? Em quais áreas da Amazônia a conversão da floresta em áreas antropizadas vem ocorrendo de forma intensa e acelerada, e quais fatores, em escala regional, vem provocando esse processo? Em escala local, já é possível perceber as implicações do mesmo? Percebe-se, assim, que são muitas questões, cujas respostas vão variar segundo o local e as dinâmicas socioespaciais intrínsecas, e algumas poderão até não ser respondidas.

Como um esforço de compreensão, a mudança de escala espacial de análise pode auxiliar e muito nessa discussão, ao facilitar o desenvolvimento de perspectivas integradoras e sistêmicas. Partindo dessa premissa, encontramos na área do conhecimento denominada Ecologia da Paisagem o suporte teórico e metodológico necessário para exercitar o “olhar integrador” a partir da escala da paisagem.

No escopo metodológico dessa abordagem o uso de mapas e imagens de satélites é fundamental, tanto quanto a escala empregada, seja ela cartográfica, espacial, temporal ou radiométrica, já que permitem a visualização da paisagem em diferentes níveis e com isso a sua quantificação e aplicação de outras métricas de análise da estrutura paisagística.

Entendida como uma abordagem holística, a Ecologia da Paisagem que tem como objeto de estudo os padrões e interações da paisagem e suas mudanças ao longo tempo, considera tanto as paisagens naturais quanto às paisagens construídas pela ação do homem. Para, além disso, possibilita a compreensão da sucessão dos fatos no âmbito dos seus contextos e como isso reflete na dinâmica da paisagem como um todo, conforme análise realizada no município de Belterra (PA) no período entre 1997 a 2010.

Partindo dos limites político-administrativos de Belterra, pôde-se observar que as mudanças atuais na paisagem refletem o contexto socioeconômico atual do município, que tem na atividade agrícola mecanizada, com destaque para a monocultura da soja, a sua força motriz. Com isso já se pode deduzir que no intervalo temporal considerado, os estoques de biomassa e carbono no município também foram afetados negativamente.

Porém, em uma escala cartográfica entre 1:500.000 e 1:800.000, usada em média para representar a área ocupada por uma unidade territorial como o município, a análise

limita-se à observação do aumento das áreas antropizadas e a generalização da cobertura vegetal, ou seja, da sua homogeneização, tornando-se necessário, assim, a ampliação dessa escala, a partir da redução da área de estudo e, paralelamente, da seleção de outros níveis espaciais no âmbito da paisagem. Este procedimento vai possibilitar identificar as unidades que compõem o mosaico da paisagem, tanto naturais quanto antropizadas.

Desse modo, considerando a unidade de paisagem como uma área homogênea em si mesma, mas individualizada quanto ao entorno em uma porção do território municipal de Belterra, procedeu-se à identificação e caracterização dessas unidades usando como referencial os diferentes tipos de uso do solo e cobertura da vegetação existentes na área. Nessa fase, o trabalho integrado entre o levantamento de campo e a classificação digital de imagens de satélite com a aplicação das técnicas Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) e Classificação não-supervisionada foi substancial, permitindo assim identificar essas unidades, apresentadas no Mapa de Unidades de Paisagem. A partir desse recorte partiu-se para a obtenção das estimativas de carbono nas unidades em que tal cálculo era possível, independente da sua essência, natural ou antropizada.

Das unidades de interesse, em duas não foi possível à obtenção de valores de carbono, são elas: áreas agrícolas e floresta secundária sem palmeira. A primeira por causa da própria sazonalidade da atividade predominante, cultivo da soja, que por ser temporária não foi possível identificar nas imagens Landsat usadas no presente trabalho, cuja data de passagem do satélite foram sempre após a colheita do grão. No caso da unidade floresta secundária sem palmeira, a questão foi de ordem logística, por está localizada no cerne da floresta densa de alto platô, o acesso à mesma exige um aparato humano, técnico e financeiro maior do que o que estava disponível durante a coleta de campo, realizada nas demais unidades no mês de novembro de 2012. O que, no entanto não comprometeu o alcance dos objetivos do presente trabalho e no futuro poderão constituir objetos de novas pesquisas nessa linha de investigação por parte da autora.

Como a maior parte dos trabalhos no que tange a obtenção de estimativas de carbono utiliza outras escalas, uma questão a ser respondida era: a escala da paisagem serve como recorte espacial nas análises de fluxo e estoque de carbono? Questão esta que no âmbito da Ecologia da Paisagem está relacionada à discussão da aplicação dessa abordagem na análise de processos ecossistêmicos e biogeoquímicos.

Atrelado a isso também se discutiu os métodos usados para obtenção de biomassa florestal, com ênfase nas técnicas indiretas com uso de produtos de sensoriamento remoto e equações alométricas, que utilizam variáveis morfométricas da vegetação, facilmente obtidas

em campo. A partir da integração dessas duas técnicas pode-se estimar a biomassa nas unidades de paisagem analisadas e, para além disso, avaliar a redução dessa variável ao longo de 34 anos, já que se utilizou como plano referencial o mapa fitoecológico do RADAM de 1976.

Assim, foi possível usar a escala da paisagem para quantificar carbono acima do solo e com isso observar a distribuição espacial desses estoques na área investigada. Entretanto, os resultados obtidos poderiam ter sido mais precisos se a análise tivesse sido concentrada em apenas uma unidade, ou seja, ao nível da mancha, pois quando se tem uma área muito heterogênea o esforço amostral deve incluir todas as unidades investigadas, o que nem toda vez é possível, seja por questões de acesso, de tempo ou técnicas e financeiras, já que isso envolve um custo, mesmo utilizando métodos indiretos como suporte. Além disso, ao considerar apenas uma unidade ou mancha é possível aprofundar o conhecimento da estrutura da mesma, o que para o uso de técnicas de sensoriamento remoto constitui uma tarefa altamente relevante, já que vai possibilitar analisar os níveis de interação radiométrica entre as espécies arbóreas que compõem a mancha ou a unidade, possibilitando, com isso, importantes avanços no estudo da vegetação.

Do ponto de vista espacial a quantidade de biomassa e carbono varia de acordo com o tamanho da área, porém além desta variável é preciso considerar a estrutura da vegetação e saber a capacidade de estoque por ambiente. Desse modo, um gráfico ou um mapa de distribuição de carbono entre as unidades de paisagem ilustra apenas o percentual de estoque na área de estudo. Contudo, quando se aplica as técnicas aqui descritas em uma série temporal é possível calcular a redução desses estoques ao longo do tempo e com isso avaliar os impactos desse processo no fluxo de carbono, isso fazendo referência a apenas um elemento do complexo sistema terra-atmosfera.

De fato pôde-se constatar que a estrutura da floresta implica nos valores de biomassa e carbono estocado, e essa estrutura varia segundo os níveis de interação entre os geofatores em escala regional. Porém, em escala local tal variação pode ser observada empiricamente segundo as variações do terreno, conforme verificado em campo e através dos dados cartográficos.

Outro ponto a ser destacado refere-se à dinâmica socioeconômica do lugar, pois a análise da redução dos estoques de carbono ao nível da paisagem no âmbito do contexto sócio espacial, conforme aqui realizada, permite identificar os vetores dessa dinâmica e a sua concentração espacial, subsidiando, assim, a tomada de decisões no que tange à manutenção das reservas florestais em curto, médio e longo prazo. Nesse sentido, o debate em torno da

análise integrada entre homem e ambiente mostra-se inerente ao estudo da paisagem, tornando o esforço analítico menos cansativo.

Em suma, a paisagem, muito mais que uma escala espacial, constitui uma importante categoria de análise científica e metodológica, pertencente à grande área da Geografia e, operacionalmente trabalhada no âmbito da Ecologia da Paisagem. Consubstanciando várias técnicas de análise, qualitativas e quantitativas, pode-se a partir desta escala compreender as múltiplas interações entre os fatores que compõem o substrato material de uma determinada área e como essas interações vão se emoldurando ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, L. O, et al. Detecção de cicatrizes de áreas queimadas baseada no modelo linear de mistura espectral e imagens índice de vegetação utilizando dados multitemporais do sensor MODIS/TERRA no estado do Mato Grosso, Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v.35, n. 4, p.445-456, oct./dec. 2005.

ARAGÃO, L. E. O. e C. de et al. Integração de dados geo-espaciais para definição de unidades de paisagem na região do Tapajós: aquisição de parâmetros ecológicos no campo para modelagem da produtividade florestal em escala regional. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...**, São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1263 – 1270.

ARAGÃO, L. E. O.; SHIMABUKURO, Y. E. **Perspectivas para o estudo da biogeoquímica do carbono em macro-escala integrando diferentes técnicas**: modelagem ecológica, sensoriamento remoto e SIG: Relatório Técnico. São José dos Campos: INPE, 2004.

ARAÚJO, R. et al. Estado e Sociedade na Br 163: desmatamento, conflitos e processos de ordenamento territorial. In: CASTRO, E. (Org.). **Sociedade, território e conflitos**: BR-163 em questão. Belém: NAEA, 2008. p. 13-83.

AYRES, M. et al. **BIOESTAT**: Aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas. Belém: Ong Mamiraua, 2007.

BERNARDES, S. **Índices de vegetação e valores de proporção na caracterização de floresta tropical primária e estágio sucessionais na área de influência da Floresta Nacional do Tapajós- Estado do Pará**. 1996, 94 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, 1996.

BERTRAND, G. *Écologie d' un espace géographique: les géosystèmes du Valle de Prioro*. **Espace Géographique**, n. 2, p. 113-128, 1972.

_____. Paisagem e Geografia Física Global. Esboço Metodológico. **Ra´e Ga**, Curitiba, n. 8, p.141-152, 2004.

BOLFE, E. L., et al. Correlação entre o carbono de sistemas agroflorestais e índices de vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 15. 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE. p.1705-1712.

BÓLOS, M. de I C. Las tendencias del paisaje integrado em geografia. In: ENCUESTRO DE GEOGRAFÍA EUSKAL HERRIA-CATALUNYA., 1., 1983, Catalunya. **Anais...** Catalunya, 1983. Disponível em <<http://www.euskomedia.org/analitica/4071>>. Acesso em 08 abr. 2011.

BROWN, S.; GILLESPIE, A. J. R.; LUGO, A. E. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. **Forest Science**, Lawrence, v. 35, p. 881-902, 1989.

CAIN, S. A. The species-area curve. **The American Midland Naturalist**, v. 19, n. 3, p. 573-581, may 1938.

CÂMARA, G. S. et al. Complexity in GIS Interface Design. **I Brazilian Workshop on Geoinformatics**, Campinas, 1994.

CÂMARA, G. et al. Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling. **Computers and Graphics**, New York, v. 15, n.6, p. 13-22, 1996.

CARVALHO, V. de; TURA, T. A Expansão do monocultivo de soja em Santarém e Belterra: injustiça ambiental e ameaça à segurança alimentar. In: ENCONTRO DA REDE DE ESTUDOS RURAIS, 1., 2006, Niterói. **Anais...** Rio de Janeiro, 2006.

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

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgar Blucher, 1999.

COMISSÃO PASTORAL DA TERRA. **Levantamento exploratório sobre a expansão da soja no Estado do Pará. Pólos Paragominas/Santarém/Redenção**. Belém, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento de safra brasileira de grãos**. Séries históricas. Brasília, 2012. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>>. Acesso em: 14 fev. 2012.

COHEN, W. B., Response of vegetation indices to changes in three measures of leaf water stress. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 57, n. 2, p.195-202, 1991.

COHENCA, D. **A expansão da fronteira agrícola e sua relação com o desmatamento detectado em imagens Landsat TM e ETM+ na região norte da BR-163, Pará entre os anos de 1999 e 2004**. 2005.59 f. Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Lavras, Pós-Graduação em Gestão e Manejo Ambiental em Sistemas Florestais, Lavras, 2005.

CORDEIRO, J. P. et al. Álgebra de geo-campos e suas aplicações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 1641-1648.

CORRÊA, J. A. de J. et al. Uso de imagens *NDVI* para análise temporal da dinâmica da paisagem no município de Belterra – PA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 6540-6547.

COTTAM, G.; CURTIS, J. T. The use of distance measures in phytosociological sampling. **Ecology**, Washington, v. 37, n. 3, p. 451-460, jul. 1956.

DALLAGNOL, F. S. et al. Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 4, out./dez. p.410-416, 2011.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 7. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

EIPHANIO, J. C. N.; et al. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p.445-454, jun., 1996.

ESCADA, M. I. S. et al. **Levantamento do uso e cobertura da terra e da rede de infraestrutura no distrito florestal da BR-163**. São José dos Campos: INPE, 2009.

ESPÍRITO-SANTO, F. D. B. et al. Modelagem espacial de dados de inventários florestais de grande intensidade amostral na Floresta Nacional do Tapajós (PA). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1509-1516.

FEARNSIDE, P. M. Migração, colonização e meio-ambiente: o potencial dos ecossistemas Amazônicos. In: FERREIRA, E. J. G. et al. (Org.). **Bases Científicas para Estratégias de Preservação e Desenvolvimento da Amazônia**. Manaus: INPA, 1993. v. 2, p. 249-267.

_____. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation**, v. 28, n. 1, p. 23-38, mar., 2001.

_____. O cultivo da soja como ameaça para o meio ambiente na Amazônia brasileira. In: FORLINE, L. C.; MURRIETA, R. S. S.; VIEIRA, I. C. G. (Ed.) **Amazônia além dos 500 Anos**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2006. p. 281-324.

_____. Quantificação do serviço ambiental do carbono nas florestas amazônicas brasileiras. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 743-756, 2008.

_____. Estoques e fluxos de carbono na Amazônia como recursos naturais para geração de serviços ambientais. In: BUENAFUENTE, S. M. F. (Org.). **Amazônia: Dinâmica do carbono e impactos socioeconômicos e ambientais**. Boa Vista: Ed. da UFRR, 2009. p. 27-56.

FEARNSIDE, P. M.; GUIMARÃES, W. M. Carbon uptake by secondary forests in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 80, n. 1-3, p. 35-46, 1996.

FISCH, G. Mudanças Climáticas na Amazônia: estudo de caso de substituição de floresta tropical por pastagens. In: LIMA, M. A. de et al. (Orgs.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2001.

FOLHES, R. T.; MAGALHÃES, C. O.; MARIANELLI, G. S. Mapeamento participativo socioambiental: a experiência da Área de Proteção Ambiental Aramanaí, no município de Belterra, Pará. In: SEMANA DE INFORMÁTICA, 4., 2007, Santarém; SEMANA DE GEOTECNOLOGIAS, 2., 2007, Santarém; ESCOLA DE SOFTWARE LIVRE, 1., 2007, Santarém. **Anais...** Santarém: LBA, 2007. p. 181-182.

FORMAN, R. T. T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

FREITAS, L. F. **Soja vs. Floresta**. 2006. Disponível em: <<http://www.flickr.com/photos/leoffreitas/99845791/>>. Acesso em: 2 jul. 2012.

GOMES, A. G.; VARRIALE, M. C. **Modelagem de Ecossistema**: uma introdução. 2. ed. Santa Maria: Ed.UFSM, 2004.

GORENSTEIN, M. R. **Métodos de amostragem no levantamento da comunidade arbórea em Floresta Estacional Semidecidual**. 2002. 92 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Pós-Graduação em Ciências Florestais, Piracicaba, 2002.

GRANDIN, G. **Fordlândia**: ascensão e queda da cidade esquecida de Henry Ford na selva. Rio de Janeiro: Rocco, 2010.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

GÜRTLER, S. et al. Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens TM e ETM+ Landsat. **RBC- Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 57, n. 2, p.162-167, ago. 2005.

HAASE, G. Approaches to, and methods of landscape diagnosis as a basis of landscape planning and landscape management. **Ekológia**, Bratislava, n. 9, p. 11–29. 1990.

HANSEN, J. et al. Global temperature change. **PNAS**, Washington, v. 103, n. 39, p. 14288-14293, sep. 2006.

HARTMANN, D. L. **Climatologia Física Global**. Tradução Dimitrie Nechet. Belém: IG/UFGA, 2008.

HEINSDIJK, D.; BASTOS, A. M. **Inventários florestais na Amazônia**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Setor de Inventário Florestal, 1963. (Boletim, 6).

HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n. 2, p. 153-158. 1998.

_____. Dinâmica e Balanço do Carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 295-304, set./dez. 2004.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JUNIOR., J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 125-153.

HIURA, T. Estimation of aboveground biomass and net biomass increment in a cool temperate forest on a landscape scale. **Ecology Research**, v. 20, n. 3, p. 271-277, may. 2005.

HOUGHTON, R. A. As florestas e o ciclo de carbono global: armazenamento e emissões atuais. In: SEMINÁRIO EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, 1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994. p. 39-76.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, aug.1988.

HUETE, A. R.; JUSTICE, C. **MODIS Vegetation index (MOD13) Algorithm theoretical basis document**. Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geoestatísticas dos Recursos Naturais da Amazônia Legal**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências/IBGE, 2003.

_____. **Censo Demográfico 2000/2010/ Contagem da População**. 2007.

_____. **Pesquisa Agropecuária Municipal**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 2 jul. 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Manual do Spring**: Noções de Geoprocessamento. São José dos Campos: INPE, 1998.

_____. **Projeto PRODES Digital**: Mapeamento do desmatamento da Amazônia com Imagens de Satélite. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/14>>. Acesso em: 2 jul. 2012

_____. **Projeto PRODES**: monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. São José dos Campos, 2012a. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>. Acesso em: 2 jul. 2012.

_____. **Divisão de Processamento de Imagens**: catálogo de imagens. São José dos Campos, 2012b. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 2 jul. 2012.

_____. **Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais**. 2012c. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/ndvi/?i=br>>. Acesso em: 15 mar. 2012.

_____. **Tutorial do SPRING**: 10 aulas. São José dos Campos, 2012d.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parênteses, 2009.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LEONARDI, S. S.; SOUZA, S. M.; FONSECA, L. M. G. Comparação do Desempenho de Algoritmos de Normalização Radiométrica de Imagens de Satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 2063-2069 Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/rep/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.14.16.57-BR>>. Acesso em: 07 jul. 2010.

LIMA, R. N de S.; ROCHA, C. H. B. Técnicas de sensoriamento remoto e métricas de ecologia da paisagem aplicadas na análise da fragmentação florestal no município de Juiz de Fora – MG em 1987 e 2008. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO

REMOTO – SBSR, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011.p. 2067-2074.

LUIZÃO, R.C.C. et al. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a Central Amazonian forest. **Global Change Biology**, n. 10, p. 592-600. 2004.

MACGARIGAL, K. et al. **Fragstats**: espacial pattern analyses Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts. 2002. Disponível em: <<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>>. Acesso em: 02 maio 2011.

MAKHNEV, A. K.; MAKHNEVA, N. E. Landscape-ecology and population: aspectos of the strategy of restoration of disturbed lands. **Contemporary problems of ecology**, v. 3, n. 3, p. 318-322, jun. 2010.

MANZI, A. O. Amazônia no contexto das mudanças climáticas globais: aspectos físicos. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL AMAZÔNIA DINÂMICA DO CARBONO E IMPACTOS SÓCIO-ECONÔMICOS E AMBIENTAIS, 2., 2008, Boa Vista. **Anais...** Boa Vista: UFRR, 2008.

MARTINELLI, M.; PEDROTTI, F. A cartografia das unidades de paisagem: questões metodológicas. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, São Paulo, n.14, p. 39-46. 2001.

MATOS, F. D. de A.; KIRCHNER, F. F. Estimativa de biomassa da floresta ombrófila densa de terra firme na Amazônia Central com o satélite Ykonos II. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 157-171, jan./mar. 2008.

MENDONÇA, J. C. et al. Avaliação de eventos de inundação na Região Norte Fluminense, Rio de Janeiro, utilizando imagens de sensores remotos. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 255-267. 2012.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens?. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 1, n. 1, dez. 2001.

MONTEIRO, C. A. F. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas agrárias e urbanas ao problema de elaboração de modelos de avaliação. In: SIMPÓSIO SOBRE A COMUNIDADE VEGETAL, COMO UNIDADE BIOLÓGICA, TURÍSTICA E ECONÔMICA, 1978, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ACIESP, 1978. p. 43-74.

MORAN, E. F. Interações homem-ambiente em ecossistemas florestais: uma introdução. In: MORAN, E. F.; OSTROM, E. (Org.). **Ecossistemas florestais: interação homem-ambiente**. São Paulo: Editora SENAC. São Paulo: Edusp, 2009. p. 14-40.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 4. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2011.

NAVEH, Z. The total human ecosystem: integrating ecology and economics. **Bioscience**, Reston, v. 50, n. 4, p. 357-361, apr. 2000.

NAVEH, Z.; LIEBERMAN, A. **Landscape ecology: theory and applications**. New York: Springer-Verlag, 1994.

NAYAK, R. K.; PATEL, N. R.; DADHWAL, V. K. Estimation and analysis of terrestrial net primary productivity over India by remote-sensing-driven terrestrial biosphere model. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 170, n. 1-4, p. 195-213, nov., 2010.

NEEF, E. **Die theoretischen Grundlagen der Landschaftslehre**. Germany: Haack, 1967.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Revista Parcerias Estratégicas**, n. 12, p. 239-258, set. 2001.

NOVO, E. M. L. de M. et al. Técnicas avançadas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo de mudanças climáticas e ao funcionamento dos ecossistemas amazônicos. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 35, n. 2, p. 259-272, 2005.

ODUM, E. P.; BARRETT, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

OTTE, A.; SIMMERING, D.; WOLTERS, V. Biodiversity at the landscape level: recent concepts and perspectives for multifunctional land use. **Landscape Ecology**, Netherlands, v. 22, n. 5, p. 639-642, dec. 2007.

PARÁ. Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças. **Estatística municipal: Belterra**. Belém, 2011.

PARÁ. **Portal da Prefeitura Municipal de Belterra**. 2012. Disponível em: <<http://belterra.pa.gov.br/>>. Acesso em: 05 jun. 2011.

PEREIRA, C. A.; VIEIRA, I. C. G. A importância das florestas secundárias e os impactos da sua substituição por plantios mecanizados de grãos na Amazônia. **Interciência**, Caracas, v. 26, n. 8, p. 337-341, ago. 2001.

PEREIRA, I. C. N.; PEZZUTI, J. C. B. Dinâmica da Soja e Modificação da Paisagem na Amazônia: uma análise quali-quantitativa a partir da Ecologia da Paisagem. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 5., 2010, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, SC: ANPPAS, 2010.

PEREIRA, J. C. M. **Os modos de vida na cidade: Belterra, um estudo de caso na Amazônia brasileira**. 2012. 256 f. Tese (Doutorado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Rio de Janeiro, 2012.

PEREIRA, J. L. G. **Estudos de áreas de florestas em regeneração através de imagens Landsat TM**. 1996. 137 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, São José dos Campos, 1996.

PINTO JUNIOR, O. B. et al. Efluxo de CO₂ em floresta de transição Amazônia Cerrado e em área de pastagem. In: **Acta Amazônica**, Manaus, v. 39, n. 4, p. 813-822, 2009.

PIVELLO, V. R.; METZGER, J. P. Diagnóstico da pesquisa em ecologia de paisagens no Brasil (2000-2005). **Biota Neotropica**, Campinas, v. 7, n. 3, 2007. Disponível em: <<http://www.biotaneotropica.org.br>>. Acesso em: 01 fev. 2009.

PLANO de Manejo- Floresta Nacional do Tapajós. Brasília, DF: MMA/IBAMA, 2004. v. 1.

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** Viçosa, v. 28, n. 4, p. 535-545, 2004.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKUBO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007.

PORTO, M. L.; MENEGAT, R. Ecologia de Paisagem: um novo enfoque na gestão dos sistemas da terra e do homem. In: MENEGAT, R., et al. (Orgs.) **Desenvolvimento sustentável e gestão ambiental nas cidades: estratégias a partir de Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2004.

PROJETO RADAM: **Folha SA-21 - Santarém**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, Departamento de Produção Mineral (DNPM), 1976. 1 v. (Levantamentos de recursos naturais, 10).

PUIG, H. **A floresta tropical úmida**. São Paulo: UNESP, 2008.

PUTY, C. C. B. Zoneamento Econômico Ecológico da BR-163: Relatório: Agricultura Empresarial Mecanizada. 2006. Disponível em: <<http://www2.ufpa.br/cputy/wps.htm>>. Acesso em: 04 fev. 2009.

RATUCHNE, L. C. **Equações alométricas para a estimativa de biomassa, carbono e nutrientes em uma floresta ombrófila**. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Pós-Graduação em Agronomia, Guarapuava, 2010.

REFOSCO, J. C. Ecologia da paisagem e Sistema de Informações Geográficas no estudo da interferência da paisagem na concentração de Sólidos Totais no reservatório da usina de Barra Bonita, SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 343-349.

RICHARDSON, A. J.; WIEGAND, C. L. Distinguishing vegetation from soil background information. **Remote Sensing of Environment**, n. 53, p. 188-198, 1977.

RICHLING, A. Landscape ecology as a discipline combining investigations on natural environment. In: RICHLING, A.; MALINOWSKA, E.; LECHNIO, J. (Eds.) **Landscape Research and Its Applications in Environmental Management**. Warsaw, Poland: IALE Polisch Association, 1994. p. 15-19.

RODRIGUEZ, J. M. M. et al. **Geocologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. 3. Ed. Fortaleza: UFC, 2007.

RUNNING, S. W. et al. Terrestrial Remote Sensing Science and Algorithms planned for EOS/MODIS. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n. 17, p. 3587-3620, 1994.

SALDANHA, M. F. S.; FREITAS, C. da C. Segmentação de imagens digitais: uma revisão. São José dos Campos: INPE, 2010. Disponível em: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18%4080/2010/06.22.18.13/doc/106003.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2011.

SALOVAARA, K. J. et al. Classification of Amazonian primary rain forest vegetation using Landsat ETM+ satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, New York, n. 97, p. 39-51, 2005.

SÁNCHEZ-AZOEIFA, G. A. et al. Monitoring carbon stocks in the tropics and the remote sensing operational limitations: from local to regional projects. **Ecological Applications**, Washington, v. 19, n. 2, p. 480-494, 2009.

SANCHES, I. Del'Arco, et al. Análise comparativa de três métodos de correção atmosférica de imagens Landsat 5 – TM para obtenção de reflectância de superfície e NDVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 7564-7571.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. **As florestas e o carbono**. Curitiba: Universidade Federal de Paraná, 2002. p.119-140.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado**. 5. ed. São Paulo: Hucitec, 1997.

SAUER, O. A Morfologia da Paisagem. In: CORRÊA; ROZENDAHL (Orgs.). **Paisagem tempo e Cultura**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1998. p. 12-69.

SHIMABUKURO, Y. E. et al. **Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear deflorestamento na Amazônia**. São José dos Campos: INPE, 1997.

_____. **Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear deflorestamento na Amazônia**: Relatório Técnico, INPE-6147-PUD/029. São José dos Campos: INPE, 1998.

SILVEIRA, P. Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de floresta ombrófila densa utilizando o método da derivação do volume comercial. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 789-800, out./dez. 2010.

SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 185-206, jan./mar. 2008.

SOARES, C. P. B. et al. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Ed. UFV, 2006.

SOARES FILHO, B. S. [Modelagem da Dinâmica de Paisagem de uma Região de Fronteira de Colonização Amazônica](#). 1998. 299 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transporte. São Paulo, 1998.

SOARES FILHO, B. S. et al. Cenários de desmatamento para a Amazônia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 54, p. 137-152. 2005.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de Geossistemas**. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1977. (Métodos em questão, 16)

TAVARES, A. C. Mudanças Climáticas. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.) **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2004.
TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

TUCKER, C. M.; OSTROM, E. Pesquisa multidisciplinar relacionando instituições e transformações florestais. In: MORAN, E. F.; OSTROM, E. (Org.). **Ecosistemas florestais: interação homem-ambiente**. São Paulo: SENAC; EDUSP, 2009. p.109-138.

TURNER, D. P. et al. Integrating Remote Sensing and Ecosystem Process Models for Landscape- to Regional-Scale Analysis of the Carbon Cycle. **BioScience**, Reston, v. 54, n. 6, p. 573-584, 2004.

UHL, C., R. BUSCHBACHER, and E. A. S. SERRAO. Abandoned pastures in eastern Amazonia. I. Pattern of plant succession. **Journal of Ecology**, London, v. 76, n. 3, p. 663-681, sep. 1988.

VENTURIERI, A. et al. Análise da expansão da agricultura de grãos na região de Santarém e Belterra, Oeste do estado do Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 7003-7010.

VERONA, J. D.; SHIMABUKURO, Y. E. Classificação da cobertura vegetal da região norte da FLONA do Tapajós utilizando a segmentação de imagens-fração. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 12., Goiânia, 2005. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1685-1689.

VIANA, J da S.; FONSECA, M. G. Expansão de estradas e desmatamento em unidades de conservação do município de Belterra, Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 14., Natal, 2009. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1573-1579.

VICTÓRIO, C. P.; KUSTER, R. M.; LAGE, C. L. S. Qualidade de luz e produção de pigmentos fotossintéticos em plantas in vitro de *Phyllanthus tenellus Roxb*. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 05, n. 02, p. 213-215, 2007.

WATRIN, O. dos S. et al. Análise da dinâmica na paisagem do nordeste paraense através de técnicas de geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 8., Salvador, 1996. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 427-433.

WATRIN, O. dos S.; VENTURIERI, A. Métricas de paisagem na avaliação da dinâmica do uso da terra em projetos de assentamentos no sudeste paraense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p.3437-3440.

WU, J. *Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations*. **Landscape Ecology**, Netherlands, v. 19, p. 125-138, 2004.

WU, J.; HOBBS, R. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis. **Landscape Ecology**, Netherlands, v.17, n. 4, p. 355–365, dec. 2002.

ZONNEVELD, I. S. The land unit- a fundamental concept in landscape ecology, an its applications. **Landscape Ecology**, Netherlands, v.3, n.2, p. 67-86, dec. 1989.