



MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS - PPGCA**

BENEDITO EVANDRO BARROS DA SILVA

**ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS DIFERENTES FORMAS DE
OCUPAÇÃO DA SUPERFÍCIE SOBRE AS CONDIÇÕES
METEOROLÓGICAS NA REGIÃO DE SANTARÉM, PARÁ**

BELÉM-PA

2011

BENEDITO EVANDRO BARROS DA SILVA

**ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS DIFERENTES FORMAS DE
OCUPAÇÃO DA SUPERFÍCIE SOBRE AS CONDIÇÕES
METEOROLÓGICAS NA REGIÃO DE SANTARÉM, PARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA-Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Física do clima.

Orientador: Prof.^o Dr. Adilson Wagner Gandu.

BELÉM-PA

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

S586a Silva, Benedito Evandro Barros da

Análise dos impactos das diferentes formas de ocupação da superfície sobre as condições meteorológicas na região de Santarém, Pará / Benedito Evandro Barros da Silva; orientador: Adilson Wagner Gandu - 2011

94 fl.: il.

Dissertação (mestrado em ciências ambientais) – Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2011.

1. Desmatamento - Amazônia. 2. Modelagem numérica. 3. Mudanças climáticas. 4. Uso e ocupação do solo. 5. Santarém (PA) I. Gandu, Adilson Wagner, *orient.* II. Universidade Federal do Pará III. Título.

CDD 22º ed.: 333.751609811

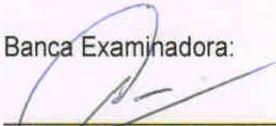
BENEDITO EVANDRO BARROS DA SILVA

**ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS DIFERENTES FORMAS DE
OCUPAÇÃO DA SUPERFÍCIE SOBRE AS CONDIÇÕES
METEOROLÓGICAS NA REGIÃO DE SANTARÉM, PARÁ.**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de
Mestre em Ciências Ambientais do Programa de Pós-
Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Pará. Área de
Física do Clima
Orientador: Dr. Adilson Wagner Gandú

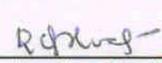
Data de aprovação: 26/08/2011

Banca Examinadora:

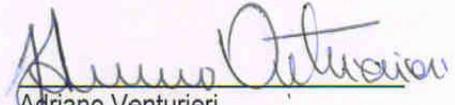


Adilson Wagner Gandú
Universidade de São Paulo

Orientador



Regina dos Santos Alvalá
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais



Adriano Venturieri
EMBRAPA – Amazônia Oriental



Edson José Paulino da Rocha
Universidade Federal do Pará

Dedico primeiramente a Deus o criador de todas as coisas, a minha Mãe Maria da Conceição Barros da Silva pelo apoio inquestionável e em especial a minha namorada Raissa da Silva Lopes, pela motivação e inspiração.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me ensinar e conduzir ao caminho da verdade e pelas bênçãos alcançadas;

A minha família, em especial a minha Mãe, Maria da Conceição Barros da Silva e todos os amigos da minha querida Cidade de Ourém/PA;

Ao Prof. Dr. Adilson Wagner Gandu pela orientação e ensinamentos que foram de extrema importância para meu crescimento pessoal, profissional e intelectual;

A todos os colegas da SEMA/PA, em especial os da Diretoria de Áreas Protegidas e da Coordenadoria de Ecossistemas, em especial ao Dr. Crisomar Lobato e Benjamin Ferreira.

A Equipe técnica do Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental, em especial ao Professor Adriano Venturieri e ao Bolsista Thiago Cardoso, pelas orientações na construção dos mapas de vegetação;

Aos técnicos do SIPAM, Bernardino Simões pelas orientações referentes à meteorologia na região de Santarém; a Eduardo Santos e Flavio Altieri pelas orientações na confecção dos mapas e ao Senhor Pedro Rolim, pela orientação no tratamento e discussão dos dados meteorológicos;

Aos técnicos do INPE, Roberto Wilson Oliveira Dias e Maurício Silva, Regional de Belém, pelos esclarecimentos relacionados aos dados do desmatamento;

A todos os professores, colegas e funcionários do PPGCA pelo apoio e orientação sempre que precisei;

Ao gerente Pedro Edson e as técnicas Denise Ribeiro e Joana Ferreira da Gerência de Recursos Naturais da Unidade Estadual do Pará – IBGE, pelas informações e orientação prestadas na confecção dos mapas;

Aos Bolsistas do LAMAZ, Tarcísio, Albert, Luciano e Ramon Diego pela orientação e amizade diária;

Aos técnicos da SEMA/PA, Tarcísio Schnaider por esclarecer sobre a reclassificação das classes dos mapas; “Zezinho” pelos esclarecimentos nas discussões dos dados climatológicos e ao Paulo pela orientação na formatação e normatização desse trabalho;

Aos meus amigos irmãos (Fabio Cruz, Marília Mesquita, Walter Junior, Cleber Cruz, Ivan Reis, Amaury Veloso, Cristino Rêgo, Claudemir Araújo);

Finalmente, a todos que direta ou indiretamente colaboraram com esta jornada.

"Ai de nós, educadores, se deixarmos de sonhar sonhos possíveis. Os profetas são aqueles que se molham de tal forma nas águas da cultura e da história de seu povo, que conhecem o seu aqui e o seu agora e, por isso, podem prever o amanhã que eles, mais do que adivinham, realizam".

Paulo Freire.

RESUMO

O objetivo desta dissertação foi obter informações referentes ao uso e ocupação do solo na região de Santarém, em diferentes anos das últimas décadas, para melhor representar os efeitos causados pelas modificações das propriedades da superfície sobre as condições atmosféricas simuladas por modelos numéricos de tempo e clima. As superfícies continentais caracterizam-se por causar efeitos substanciais sobre a atmosfera e, conseqüentemente, influir na qualidade das previsões de tempo e de clima. Por outro lado, o desmatamento contribui com as mudanças climáticas, por eliminar grandes quantidades de gases de efeito estufa para a atmosfera. Estas atividades também causam efeitos na saúde pública, na agricultura, nos recursos florestais, nos recursos faunísticos e nos recursos hídricos. Além disso, a substituição da superfície natural por pastagem ou agricultura altera as propriedades térmicas e radiativas da superfície, gerando modificações nas condições atmosféricas locais, regionais e globais. Neste trabalho foram analisados períodos representativos de possíveis mudanças climáticas na região, identificados a partir do tratamento e análise estatística de dados climatológicos de estações meteorológicas de superfície, bem como a evolução temporal e quantitativa do desmatamento na região de estudo com os dados do Projeto PRODES (Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite). Para avaliar os efeitos atmosféricos das mudanças no uso e ocupação do solo utilizou-se como base o mapa de vegetação do IBGE, e a inclusão da classe “desmatamento” ao mesmo em diferentes períodos analisados (anos de 1997 e 2009) trabalhadas no software Arc. Gis. 9.2. Foram criados arquivos de dados de tipos de superfície compatíveis com a leitura do modelo BRAMS, que foi então utilizado para simular os diferentes efeitos desses mapas temáticos de uso e ocupação do solo na atmosfera local. Os resultados indicam uma tendência de aumento da precipitação média anual e da frequência média de dias com precipitação, diminuição da temperatura média das máximas e aumento da temperatura média das mínimas ao longo dos anos na região de Santarém. A área de estudo, até o ano de 1997, registrou um desmatamento de 19,44% e até o ano de 2009 passou para 25,54%. As simulações com os arquivos gerados de uso e ocupação do solo para 1997 e 2009 apresentaram poucas variações para os diferentes mapas temáticos em suas variáveis (temperatura, umidade e fluxos de calor sensível e latente), quando

considerado os valores médios da área total simulada. Porém, quando se considera pequenas áreas localizadas somente sobre as regiões que sofreram maiores modificações, observam-se maiores influências com o aumento do desmatamento.

Palavras-chaves: Desmatamento - Amazônia. Modelagem numérica. Mudanças climáticas. Uso e ocupação do solo. Santarém.

ABSTRACT

This dissertation aimed to get information concerning the use and occupation of soil in the region of Santarém, in different years in the last decades, to show the effects caused by changes of surface properties on the atmospheric conditions simulated by weather and climate numerical models. The land surfaces are characterized by causing substantial effects on the atmosphere and thus influencing the quality of weather and climate forecasts. On the other hand, deforestation contributes to climate change by eliminating large amounts of greenhouse gases into the atmosphere. These activities also cause effects on public health, agriculture, forest resources, wildlife resources, and water resources. In addition, replacement of natural surface by pasture or agriculture modifies the thermal and radioactive properties of the surface, generating changes in local, regional and global atmospheric conditions. In this paper representative periods of possible climate change in the region were analyzed, identified by treatment and statistical analysis of climatologic data from surface weather stations, as well as time and quantitative evolution of deforestation in the study region with data from Project PRODES (Monitoring of Brazilian Amazon Rainforest by Satellite). The evaluation of the atmospheric effects on changes in land use and occupation was based on IBGE vegetation map, and the inclusion of class "deforestation" analyzed in different periods (1997 and 2009) worked on the software Arc. Gis. 9.2. Data files of surface types compatible with the reading of the BRAMS model were created. The BRAMS model was used to simulate the different effects of land use thematic maps in the local atmosphere. The results indicate a trend of increase in average rainfall and frequency of days with precipitation, decrease in average temperature of maximum and increase in average temperature of minimum over years in the region of Santarém. The study area by the year 1997 registered 19.44% deforestation and by the year 2009 it rose to 25.54%. The simulations with the generated files of land use and occupation in 1997 and 2009 showed little variation for different thematic maps in the variables (temperature, humidity and flows of sensible and latent heat) when considering the average values of the total area simulated. However, when small areas located only on the regions suffering the largest changes are taken into account, there are major influences as deforestation increases.

Keywords: Deforestation – Amazon. Numerical modeling, climate change, land use and occupation, Amazon, Santarém.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classes de vegetação disponíveis no modelo BRAMS para a região de Santarém (PA).....	19
Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.....	35
Figura 3 – localização das Estações Meteorológicas na Região De Santarém.	38
Figura 4 – Perfis verticais da temperatura (em vermelho) e da temperatura do ponto de orvalho (em azul) iniciais da atmosfera do modelo.	44
Figura 5 – Umidade do solo inicial utilizada nas simulações com o modelo. A unidade (%) refere-se à porcentagem da máxima umidade (de saturação) do solo.	46
Figura 6 - Precipitação (mm) média total anual, durante o período de 1961 a 2008, na região de Santarém. A linha vermelha representa a “linha de tendência” no período.	48
Figura 7 - Desvio anual normalizado da precipitação durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.	49
Figura 8 – Índice de ENOS Multivariado, médio para os primeiros seis meses de cada ano.....	50
Figura 9 – Precipitação média mensal durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém (em verde), e para os períodos de 1961 a 1983 (em azul) e de 1984 a 2008 (em vermelho).	51
Figura 10 – Frequência de dias com precipitação total anual durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.	53
Figura 11 – Frequência de dias com precipitação total normalizada durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.	53
Figura 12 – Frequência de dias com precipitação pluviométrica, na média mensal, durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.	54
Figura 13 – Temperatura do ar (°C) média das máximas anuais durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.	55
Figura 14 – Temperatura do ar (°C) média das máximas mensais durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.	56
Figura 15 - Temperatura do ar (°C) média anual das mínimas observadas durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.	57

Figura 16 – Temperatura média mensal das temperaturas mínimas durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.	58
Figura 17 - Mapa temático de uso e ocupação do solo “vibge”.....	59
Figura 18 - Mapa temático de uso e ocupação do solo v1997.	64
Figura 19 - Mapa temático de uso e ocupação do solo v2009.	65
Figura 20 - Evolução do desmatamento acumulado na área de estudo no período de 1997 a 2009.	67
Figura 21 – Evolução do incremento do desmatamento na área de estudo no período de 1997 a 2009.	68
Figura 22 – Representação espacial do desmatamento acumulado até o ano de 1997 e acumulado de 1997 a 2009 na área de estudo.	69
Figura 23 – Evolução comparativa do desmatamento entre os municípios envolventes na área de estudo.	70
Figura 24 – Evolução do incremento do desmatamento nos municípios envolventes na área de estudo no período de 1997 a 2009.....	71
Figura 25 – Desmatamento nos municípios nos anos de 1997 e 2009.....	72
Figura 26 - Mapas temáticos de uso e ocupação do solo já com a classificação do submodelo LEAF. A legenda com as cores e a numeração associada está na tabela 12. As áreas A1 e A2 representam, respectivamente, área com menor e maior modificação devido ao desmatamento.	76
Figura 27 – Temperatura do ar (°C) a 2 metros da superfície, simulada para os três mapas temáticos (vibge, v1997 e v2009), média na área total e nas áreas A1 e A2 da Figura 26.	77
Figura 28 – Idem à figura 27, porém para a razão de mistura de vapor d’água (g/Kg).	78
Figura 29 – Idem à figura 27, porém para o fluxo de calor sensível (W/m ²) na superfície.....	79
Figura 30 – Idem à figura 27, porém para o fluxo de calor latente (W/m ²) na superfície.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Legenda de cores da Figura 1, para cada classe de vegetação do modelo BRAMS, para a região de Santarém.	19
Tabela 2 – Municípios e suas áreas totais, abrangentes e suas meso e micro-regiões.....	36
Tabela 3 – Percentual de área florestada até o ano de 2000 e até o ano de 2009, nos municípios abrangentes.....	37
Tabela 4 – Profundidade e umidade do solo (em relação à saturação) adotadas nas simulações.	45
Tabela 5 – Precipitação Mensal e Percentual Mensal do aumento da Precipitação pluviométrica no período de 1984 a 2008 em relação a 1961 a 1983.....	52
Tabela 6 – Médias mensais do número de dias com precipitação e percentuais de aumento desses números período de 1984 a 2008 em relação a 1961 a 1983.....	54
Tabela 7 – Médias mensais da temperatura máximas mensais e percentual da diminuição no período de 1984 a 2008 em relação a 1961 a 1983.....	56
Tabela 8 – Médias mensais da temperatura mínima mensal e percentual do aumento no período de 1984 a 2008 em relação a 1961 a 1983.....	58
Tabela 12 – Evolução comparativa do desmatamento entre Amazônia legal, o Estado do Pará e os Municípios da região de Santarém.	73
Tabela 13 – Classes de Entrada e saída do Modelo Brams.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
BRAMS	Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System
CO ₂	Dióxido de Carbono
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DEFRA	Departamento do Meio Ambiente, Alimentos e Assuntos Rurais
ENOS	El Niño/Oscilação Sul
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
HS	Hemisfério Sul
IAG	Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICEA	Instituto de Controle do Espaço Aéreo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
JBN	Jato de Baixos Níveis
JJA	Junho, julho e agosto
LAMAZ	Laboratório de Modelagem da Amazônia
LEAF	Land Ecosystem-Atmosphere Feedback model
LI	Linha de Instabilidade
MAM	Março, abril e maio
MCG	Modelo de Circulação Geral
MEI	Índice de ENOS Multivariado
MR	Modelo Regional
N	Norte
NEB	Nordeste Brasileiro
OGE	Olson Global Ecosystems
PAFs	Projetos de Assentamentos Florestais
PDS	Projeto de Desenvolvimento Sustentável

PIN	Programa de Integração Nacional
PPGCA	Programa de Pós-Graduação de Ciências Ambientais
ppm	Partes por milhão
PRODES	Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite
RAMS	Regional Atmospheric Modeling System
S	Sul
SEMA	Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará
TM	Thematic Mapper (Sensor de Mapeamento Temático)
TMG	Hora Média de Greenwich
TSM	Temperatura da superfície do mar
UFPA	Universidade Federal do Pará
USP	Universidade de São Paulo
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 OS IMPACTOS DO DESMATAMENTO NO CLIMA E NA BIODIVERSIDADE ...	21
2.2 EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA E NA REGIÃO DE SANTARÉM	24
2.3 CARACTERÍSTICAS DA ATMOSFERA NA REGIÃO DE SANTARÉM.....	26
2.4 ESTUDOS NUMÉRICOS DOS EFEITOS DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA SOBRE O TEMPO E CLIMA REGIONAIS	31
3 OBJETIVOS.....	34
4 MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	35
4.2 DADOS METEOROLÓGICOS	37
4.3 DADOS DE DESMATAMENTO	40
4.4 CRIAÇÃO DOS DADOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA O MODELO METEOROLÓGICO	40
4.5 O MODELO BRAMS E CONFIGURAÇÕES ADOTADAS NAS SIMULAÇÕES ..	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
5.1 EVOLUÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA NA REGIÃO DE SANTARÉM	47
5.1.1 Precipitação pluviométrica.....	47
5.1.2 Frequência de dias com precipitação	52
5.1.3 Temperatura do Ar (°C) - Médias das máximas	55
5.1.4 Temperatura do Ar (°C) - Média das Mínimas.....	56
5.2 MAPAS TEMÁTICOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA REGIÃO DE SANTARÉM	58
5.2.1 Mapa temático 01 (vibge).....	59
5.2.2 Mapa temático 02 (v1997).....	63
5.2.3 Mapa temático 03 (v2009).....	64
5.3 ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO NA REGIÃO DE SANTARÉM	67
5.4 IMPACTOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS DA ATMOSFÉRICA NA REGIÃO DE SANTARÉM	74

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	81
REFERÊNCIAS.....	84
APÊNDICE.....	92

1 INTRODUÇÃO

A região Amazônica é considerada a maior extensão de floresta tropical da Terra, apresentando uma área total de mais de 5 milhões de Km² e caracteriza-se por abrigar grande biodiversidade, abundância em recursos hídricos e influência na manutenção do clima global (MARENGO, 2007). Nos últimos anos, este bioma tem sofrido um acelerado processo de modificação, causado pelas mudanças no uso e ocupação do solo, devido principalmente ao desmatamento seguido de queimadas (FEARNSIDE, 2006). Segundo o PROJETO PRODES (Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite), a Amazônia já perdeu aproximadamente 20% de sua área florestada até o ano de 2009 (PIRES; ROSA, 2010). Os cenários para a Amazônia preveem que a floresta remanescente pode desaparecer até 2050 se o ritmo atual de uso e ocupação do solo se mantiver (SOARES-FILHO et al., 2005).

O desmatamento e as queimadas podem causar efeitos na saúde pública, na agricultura, nos recursos florestais, nos recursos faunísticos, nos recursos hídricos e no clima (CANDIDO et al, 2007). Além disso, a substituição da superfície natural por pastagem, agricultura ou edificações urbanas altera as propriedades térmicas e radiativas da superfície, gerando modificações nas condições atmosféricas locais, regionais e globais (GOUVÊA, 2007).

Neste contexto, a região de Santarém/PA, ao longo dos últimos anos vem sofrendo profundas modificações na superfície do solo devido ao acelerado processo de ocupação. Esse processo foi incentivado pelas políticas de ocupação da Amazônia na década de 70, que priorizaram a facilitação da ocupação pelo aumento e melhoria da infra-estrutura e pelo assentamento de colonos em áreas florestais (COHENCA, 2005). Para Fearnside (2006) o planejamento da construção da rodovia BR-163, a Cuiabá-Santarém, na década de 80, ganha destaque como um dos maiores incentivadores na abertura de áreas de floresta, para a entrada de agentes de desmatamento na região.

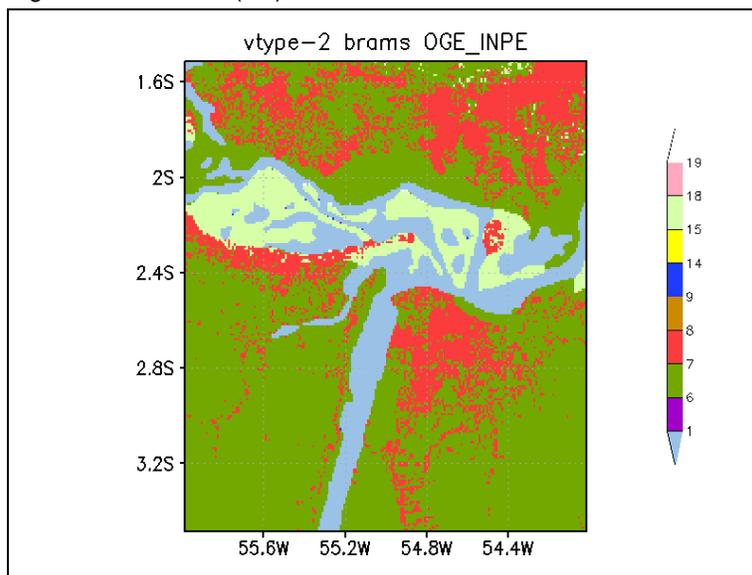
Em relação aos estudos sobre mudanças nas características climáticas locais, Modelos de Circulação Geral (MCG) ou Modelos Regionais (MR) tem sido utilizado para tentar explicar possíveis impactos das mudanças de uso e cobertura do solo no clima da Amazônia e suas consequências na vida humana e na biodiversidade (por exemplo, NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007 e COHEN et al.,

2007). A maioria desses estudos indica que o desmatamento completo da Amazônia irá resultar em um clima mais quente e seco na região, embora alguns poucos modelos também indiquem efeitos contrários (D'ALMEIDA et al., 2007).

A interação entre superfície e atmosfera é caracterizada pelas trocas de umidade, calor e momento linear. Normalmente, no período diurno a superfície atua como uma fonte de calor e umidade para a atmosfera e sumidouro de momento linear, que são misturados e transportados verticalmente pela turbulência na Camada Limite Planetária (GEVAERD e FREITAS, 2006).

As informações extraídas de sensores remotos e bases digitais vetoriais têm sido utilizadas para alimentar e validar modelos numéricos, como os modelos climáticos globais desenvolvidos para simular os processos ambientais ou fazer previsões de mudanças derivadas de ação antrópica (NOVO, 2008). Como exemplo dessa aplicação (SESTINI et al., 2002), o PROJETO PROVEG (Atualização da Representação da Vegetação nos Modelos Numéricos) teve como objetivo principal elaborar mapas digitais de vegetação, mais acurados e atualizados, para serem acoplados aos modelos numéricos utilizados no Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). Para a realização daquele trabalho foi utilizado o mapa de vegetação do Brasil, na escala 1:5.000.000, do IBGE digitalizado; mosaicos de dados Thematic Mapper (TM) Landsat dos estados da Amazônia Legal, referentes ao ano 2000 e o banco de dados do PROJETO PRODES do ano 1997, contendo informação de desflorestamento para a Amazônia Legal. A partir dos dados do PROJETO PROVEG, foram feitos arquivos de dados para serem utilizados no modelo atmosférico regional BRAMS (*Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*) e, no caso específico da região de Santarém, esses dados estão representados na Figura 1.

Figura 1 - Classes de vegetação disponíveis no modelo BRAMS para a região de Santarém (PA).



Fonte: gerados a partir dos dados do Projeto PROVEG.

Tabela 1 – Legenda de cores da Figura 1, para cada classe de vegetação do modelo BRAMS, para a região de Santarém.

Nº	Cores	Classe de vegetação do Modelo BRAMS
1		ÁGUA (WATER)
6		FLORESTA DECÍDUA (DECIDUOUS BROADLEAF TREE)
7		FLORESTA PERMANENTE (EVERGREEN BROADLEAF TREE)
8		GRAMA CURTA (SHORT GRASS)
9		GRAMA ALTA (TALL GRASS)
14		ARBUSTO DECÍDUO (DECIDUOUS SHRUB)
15		PLANTAÇÃO/AGRICULTURA MISTA (CROP/MIXED FARMING)
18		PRADARIAS COM BOSQUE (WOODED GRASSLAND)
19		CIDADES

Essas classes de vegetação, em células de 1 Km x 1 Km, são as informações atualmente disponíveis no modelo BRAMS e fica evidente que não representam a realidade, pois, por exemplo, não apresentam sinais de cidades da região (como Santarém) nem os desmatamentos mais recentes associados com a BR-163. Conforme descrito anteriormente, esses dados foram construídos a partir de informações do ano 2000 e anteriores. Nesse sentido, faz-se necessário que essas informações sejam atualizadas para que os modelos tratem a interação

superfície-atmosfera de forma mais realista, nas simulações de períodos mais recentes.

O presente trabalho tem a seguinte organização: o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica da pesquisa, fazendo referência aos impactos do desmatamento no clima e na biodiversidade, evolução do desmatamento na região de Santarém, características da atmosfera na região de Santarém e estudos numéricos sobre os efeitos do desmatamento na Amazônia sobre o tempo e clima regionais; o Capítulo 3 traz os objetivos gerais e específicos do trabalho; o Capítulo 4 trata dos dados e a metodologia utilizada, com a descrição da área de estudo, descrição da metodologia utilizada na análise dos dados meteorológicos e do desmatamento, na elaboração de mapas de uso do solo e adequação dos dados para o modelo meteorológico e, por fim, uma breve descrição do modelo atmosférico e configurações adotadas; o Capítulo 5 discorre sobre os resultados obtidos, como a evolução do desmatamento na região de Santarém, evolução temporal da temperatura e precipitação na região de Santarém e os impactos dos diversos mapas temáticos de usos do solo sobre a temperatura e fluxos de calor simulados numericamente; o Capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 OS IMPACTOS DO DESMATAMENTO NO CLIMA E NA BIODIVERSIDADE

A Amazônia exerce significativa influência no clima local, regional e global, devido à dimensão continental da floresta, associado aos fortes fluxos de energia e disponibilidade hídrica na atmosfera e localização geográfica na faixa equatorial (COHEN et al., 2007). Modificações no balanço de energia, nos ciclos biogeoquímicos, como da água e do carbono, podem levar a mudanças climáticas e consequências ambientais mais severas e comprometer a sobrevivência de muitas espécies na região (CORREIA et al., 2007; LUIZÃO, 2007). Por isso, a Amazônia é considerada uma região de grande risco do ponto de vista das influências das mudanças climáticas (NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007). As mudanças climáticas referem-se a qualquer alteração nas componentes do sistema climático ocorrido ao longo do tempo, devido à variabilidade natural ou decorrente da atividade humana (IPCC, 2007).

O “desmatamento¹” tem se tornado uma grande ameaça a manutenção do clima e a da biodiversidade na Amazônia por levar a severas consequências ambientais (FEARNSIDE, 2008). A região é considerada a maior fonte brasileira de emissão de gás carbônico (CO₂) para a atmosfera, contribuindo para o aumento do efeito estufa (MACHADO, 2009). O Brasil é responsável por eliminar para atmosfera mais de 70% das emissões de CO₂ provenientes de atividades de uso da terra no planeta (MARENGO, 2007).

Entre as principais causas do desmatamento estão a expansão de atividade agropecuária, incêndios florestais, comércio de madeiras, abertura de estradas, mineração, aumento da densidade populacional e de incentivos fiscais (MARGULIS, 2001; RIVEIRO et al., 2009).

A fragmentação das áreas florestais diminui o número de habitat disponíveis para as espécies biológicas, levando a alterações na biodiversidade (SALATI et al., 2006). É também cada vez mais evidente que a fragmentação da

¹Desmatamento pode ser definido como a remoção permanente da cobertura florestal, ou seja, a conversão das florestas em pastagens ou em culturas agrícolas, incentivadas por práticas de agropecuária, extração seletiva de madeira, e abertura de estradas (Myers, 2007).

floresta, devido a mudanças do uso de solo, está fazendo a floresta ficar mais suscetível a incêndios, aumentando a inflamabilidade e a taxa de queimadas (ANDREAE et al., 2004).

O ciclo hidrológico da região amazônica ainda é pouco compreendido e, com o avanço das pesquisas na região, foram identificados mecanismos naturais importantes na formação de nuvens e a influência das partículas de queimadas na formação de nuvens rasas, formadas a partir de aerossóis de queimadas com possível impacto no ciclo hidrológico (SILVA DIAS et al., 2004a). As mudanças climáticas representam um risco para o ciclo hidrológico na Amazônia, uma vez que o aumento de temperatura provocará uma maior evaporação e maior transpiração das plantas, o que levará a uma aceleração do ciclo hidrológico, comprometendo o clima na região que é dependente da presença constante de água na atmosfera (NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007). Alterações no ciclo hidrológico são inevitáveis, tais como modificações na evapotranspiração, na precipitação, no escoamento superficial e na disponibilidade de água para as plantas.

O corte seletivo aumenta a vulnerabilidade da floresta ao fogo, que quando entra na floresta, mata as árvores, aumenta a carga de combustível e seca a vegetação, aumentando o risco de futuras queimadas e da completa degradação da floresta (FEARNSIDE, 2005). As queimadas na Amazônia são responsáveis por 50% das emissões de CO₂ no Brasil (BARRETO; PEREIRA; ARIMA, 2008).

Além disso, a substituição da floresta por pastagem altera o balanço de radiação na superfície durante a estação chuvosa, sendo que o saldo de radiação é maior na floresta do que na pastagem, devido ao maior albedo desta última. A maior componente de radiação de onda longa incidente sobre a floresta é uma função da atmosfera mais úmida sobre a floresta, e o menor valor de radiação solar incidente na floresta sugere também uma atmosfera com maior nebulosidade. Isso torna os fluxos de calor sensível maiores na pastagem e de calor latente maiores na floresta, principalmente em períodos mais secos (SILVA DIAS, 2006).

A maior redução da evapotranspiração da pastagem na estação seca está relacionado com a menor profundidade da zona de raízes das gramíneas em relação à floresta, que por isso armazena maior quantidade de água. Mesmo com um maior percentual de refletividade da radiação solar pela pastagem, a temperatura do ar sobre ela tende a aumentar em resposta à diminuição da evapotranspiração (CORREIA et al., 2007).

O desmatamento e as mudanças climáticas introduzem sérias ameaças à diversidade de espécies da flora e da fauna dos ecossistemas, em especial da Amazônia, com o provável resultado de sensível empobrecimento biológico (MARENGO, 2007). Para Vieira, Silva e Toledo (2005) a perda de biodiversidade é uma das principais consequências do desflorestamento na Amazônia e é totalmente irreversível. Segundo esses autores, é possível evitar a erosão dos solos, o desmatamento, recuperar recursos hídricos e a ciclagem de nutrientes utilizando sistemas ecológicos simplificados, porém é impossível trazer de volta espécies extintas. Entender os impactos do desmatamento na biodiversidade da Amazônia ainda é um grande desafio para os cientistas.

Para Marengo (2007), o aquecimento global está afetando os ecossistemas, causando a destruição ou a degradação do habitat e a perda permanente da produtividade, ameaçando tanto a biodiversidade como o bem-estar das populações. Até o ano de 2006, poucos estudos haviam sido realizados para se entender os impactos ecológicos do aquecimento global no país.

Um estudo publicado pelo *Pew Center on Global Climate Change* (Malcolm e Pitelka, 2000) aponta para algumas consequências da mudança de clima, que poderiam ser aplicáveis para América do Sul. Entre elas: as distribuições geográficas de ecossistemas terrestres e animais variam com o novo clima; os aquecimentos e alterações nos regimes de chuva para o futuro, simuladas pelos modelos climáticos, representam uma ameaça para a biodiversidade nacional e regional, além de poder afetar sensivelmente a composição e funções dos ecossistemas, afetando os fluxos de energia e matérias entre as diferentes espécies.

Um relatório publicado pelo Departamento do Meio Ambiente, Alimentos e Assuntos Rurais (DEFRA) do Reino Unido em 2006 indica que o aquecimento global já alterou as rotas de migração de alguns pássaros e de outros animais e por isso pode levar a extinção de muitas espécies (MARENGO, 2007).

O desmatamento leva à perda de serviços ambientais, que têm um valor maior que os usos pouco sustentáveis que substituem a floresta. Estes serviços incluem a manutenção da biodiversidade, da ciclagem de água e dos estoques de carbono que evitam o agravamento do efeito estufa (FEARNSIDE, 2006). Retroalimentações entre as mudanças climáticas e a floresta, por meio de processos tais como os incêndios florestais, a mortalidade de árvores por seca e calor e a

liberação de estoques de carbono no solo, representam ameaças para o clima, a biodiversidade e as populações da Amazônia (FEARNSIDE, 2006).

2.2 EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA E NA REGIÃO DE SANTARÉM

O processo de ocupação na Amazônia intensificou-se de forma drástica nas três últimas décadas. No início da década de 1970, apenas 1% de sua cobertura florestal havia sido suprimida (PADUA, 2000). Naquele período a Amazônia brasileira apresentava uma densidade geográfica média de cerca de 1,5 habitantes/Km², com menos de 1 habitante/Km² nas áreas rurais. Apenas 12% do território da região encontravam-se em propriedades privadas, sendo que mais de 80% dessas propriedades não eram desmatadas (MARGULIS, 2003).

A partir dos anos 70, a ocupação da Amazônia tornou-se prioridade nacional e o governo federal passou a viabilizar e subsidiar a ocupação de terras para expansão pioneira (COSTA, 1997). Neste período, o processo de ocupação acelerou-se e milhões de hectares de florestas foram derrubados para criação de pastos, projetos de mineração e projetos de colonização e reforma agrária (ALVES, 2001).

Com a implantação, pelo Governo Federal, do Programa de Integração Nacional (PIN), que objetivava povoar a Amazônia com a vinda de grande contingente de trabalhadores rurais de diversos pontos do país, a agropecuária passa a ser o foco dos investimentos e são os eixos rodoviários da BR-163 (Cuiabá-Santarém) e da BR-230 (Transamazônica), os principais indutores de uma nova configuração territorial na região (FEARNSIDE, 2006). Para Soares-Filho et. al (2005) as estradas são os principais vetores do desmatamento na Amazônia ao longo de sua história de ocupação.

No período entre 1970 e 2000, a malha rodoviária da região foi duplicada, com a construção de mais de 80 mil quilômetros de estradas, que teve como consequência o aumento expressivo da densidade demográfica na Amazônia (MARGULIS, 2003). Nas décadas que se seguem, a dinâmica de ocupação da fronteira foi avassaladora, conhecida como “década da destruição”. O crescimento populacional, em grande parte devido aos fluxos imigratórios das demais regiões do

país, foi de 3,5% ao ano, quase o dobro da taxa média nacional no mesmo período. A densidade demográfica no ano de 2000 passa a ser de 4,1 e 1,3 habitantes/Km² para a população total e rural, respectivamente (MARGULIS, 2003).

A agropecuária é também responsável por grande maioria do desmatamento na Amazônia (SOARES-FILHO et al., 2005). De 1990 a 2006, o rebanho bovino cresceu a uma taxa de 6,74% ao ano, na região, enquanto no resto do Brasil o crescimento médio do rebanho foi de 0,57% ao ano. Com essas taxas, segundo os dados da Pesquisa Pecuária Municipal do IBGE, o rebanho cresceu de 26 milhões de cabeças em 1990 para 73,7 milhões em 2006, mais de 180% em 16 anos. Esse crescimento ocorreu especificamente nos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia (RIVEIRO et al., 2009). Esse avanço da pecuária sobre as novas áreas segue uma dinâmica que está associada ao aumento da demanda de carne e à progressiva integração da pecuária da região com mercados globalizados (RIVEIRO et al., 2009).

Diversas instituições monitoram o desmatamento ao longo dos anos na região, o caso do IBAMA e do INPE entre outras, no esforço de entender a evolução do desmatamento na região. A partir de 1988 as estimativas do INPE adquiriram o caráter de estatísticas oficiais sobre os desmatamentos da Amazônia brasileira em nível nacional e estadual e posteriormente municipal (MARGULIS, 2003).

O desmatamento na Amazônia Legal cresce a um ritmo de mais de dois milhões de hectares, ou 20.000 Km² por ano. Entre 2003 e 2004, o desmatamento foi de 27.772 Km², o segundo maior incremento desde 1995 que foi de 29.059 Km². O território desmatado acumulou de 1988 até 2009 um total de 378.782,88 Km² (INPE, 2010).

Estes aumentos foram favorecidos pelos resultados do Plano Real, no ano de 1995 e uma queda em 2005, devido às taxas de câmbio desfavoráveis para exportações, somados a “operação Curupira” para reprimir a exploração madeireira ilegal no Estado de Mato Grosso, e uma maior presença de políticas públicas na região, incentivadas por pressões internacionais e nacionais (FEARNSIDE, 2006).

Especificamente sobre a região de Santarém, o uso da terra, até a década de 1980, baseava-se na agricultura familiar, com a utilização de técnicas tradicionais de preparo e cultivo do solo e o extrativismo vegetal (VENTURIERI et al., 2007). A partir das décadas de 1980 e 1990 houve uma intensificação da atividade pecuária e da agricultura mecanizada o que provocou o desmatamento de

grandes áreas, tanto de vegetação primária quanto secundária para a implantação de pastagens e nas áreas de agropecuária familiar (VENTURIERI et al., 2007).

Além disso, nos anos 90 teve início o cultivo de soja na região, promovendo mudanças nos modelos de ocupação e na economia com a abertura de grandes empreendimentos, integrando hidrovias, ferrovias e rodovias, tornando-se um grande agravante ao desmatamento na região (CARVALHO, 1999).

Em abril de 2003, a multinacional CARGILL inaugura um porto graneleiro na cidade de Santarém, o que veio impulsionar a produção local e tornar o município corredor de exportação da produção de soja do Estado do Mato Grosso (CARVALHO, 1999). Para Fearnside (2006), o planejamento da reconstrução da rodovia BR-163, ganha destaque como um dos maiores incentivadores na abertura de áreas de floresta, para a entrada de agentes de desmatamento na região de Santarém.

Os assentamentos rurais também surgem como um dos grandes incentivadores do desmatamento na região. Somente no ano de 2006 foram criados 97 novos projetos de assentamento, entre eles os projetos de desenvolvimento sustentável (PDS) e projetos de assentamentos florestais (PAFs). Estes cobrem uma área de cerca de 2,2 milhões de hectares e foram destinados à alocação de 33.700 famílias (CASTRO, 2008). Estima-se que o assentamento de contingentes populacionais em áreas de floresta já seja responsável por aproximadamente 98.086 Km², ou 15% de todo desmatamento registrado na Amazônia até hoje (BRANDÃO JUNIOR, 2007).

O avanço das plantações de soja na região apresenta-se como a maior ameaça, com seu estímulo para o investimento maciço do governo em infraestrutura, como hidrovias, ferrovias e rodovias, estes investimentos podem levar a maiores desmatamento na região de Santarém (FEARNSIDE, 2005).

2.3 CARACTERÍSTICAS DA ATMOSFERA NA REGIÃO DE SANTARÉM

A Amazônia desempenha um papel importante na circulação atmosférica global, regional e local, devido à dimensão continental da floresta, associada a uma grande disponibilidade hídrica e de energia solar pela sua localização geográfica na faixa equatorial (SOUSA, 2004). A precipitação média anual na Amazônia é de

aproximadamente 2.300 mm, com áreas com precipitações superiores a 3.000 mm/ano localizadas no oeste, noroeste e no litoral norte da Amazônia, sendo que entre estes máximos há um mínimo de 1.600 mm/ano (FIGUEROA; NOBRE, 1990).

A região de Santarém, área deste estudo, localiza-se no oeste paraense, de topografia bastante variada, com altitudes variando de 50m a 600m (EMBRAPA, 2006), caracteriza-se por ser abundante em cobertura florestal, responsável por grande evapotranspiração (fonte de calor latente para atmosfera) e recursos hídricos (rios Amazonas, Tapajós e seus afluentes), que exercem importantes funções no regime hídrico regional (SEPOF, 2006).

A pluviosidade nessa região varia de 1.900 a 2.300 mm anuais, com número de dias com chuva em torno de 151 a 175 dias por ano. Apresenta os meses de fevereiro, março e abril como o trimestre mais chuvoso ao longo do ano e o menos chuvoso os meses de agosto, setembro e outubro (ROCHA et al., 2009).

A região ainda apresenta um clima quente e úmido, com temperatura média anual de 26°C e valores médios para as máximas de 31°C e para as mínimas de 21,5°C. A umidade relativa apresenta valores médios de 83%. O clima predominante na região é classificado como do tipo "Am", pelo método de Köppen, apresentando uma estação seca moderada, com ocorrência de no mínimo um mês com valor de precipitação média inferior a 60 mm. A cobertura de nuvens é relativamente baixa para a Amazônia, com valores entre 5,6 a 6,5 décimos, com evapotranspiração potencial total anual oscilando entre 1.500 e 1.600 mm e entre 1.200 e 1.300 mm de evapotranspiração real (ROCHA et al., 2009).

A precipitação é a variável meteorológica mais importante na região tropical, pois está diretamente relacionada à convecção local, sendo de vital importância na caracterização do tempo e clima na região Amazônica. A convecção caracteriza-se por movimentos ascendentes de ar úmido, favorecidos pelas baixas pressões atmosféricas e pelo aquecimento do ar em contato com a superfície terrestre (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998). A precipitação pluviométrica na Amazônica não é homogênea e apresenta uma grande variabilidade espacial e temporal, associada à influência de diferentes sistemas de meso-escala, escala sinótica e grande escala (SOUSA, 2004).

Molion (1993) apresentou as diversas características da variabilidade climática e o impacto sobre a precipitação na Amazônia. De forma resumida, temos, como principais sistemas responsáveis pela precipitação na Amazônia: Zona de

Convergência Intertropical (ZCIT), Linhas de Instabilidade (LI), Sistemas frontais, Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), brisas, jato de baixos níveis (JBN) e ondas de leste.

A ZCIT é formada pela convergência dos alísios em baixos níveis (divergência em altos níveis) na região de fronteira entre os Hemisférios norte e Sul. Oscila entre as latitudes 10°N-14°N e 2°S-4°S, caracterizando o inverno (junho, julho e agosto - JJA) e verão (março, abril e maio - MAM) amazônico, respectivamente (CUTRIM, MOLION e NECHET, 2000).

A atuação do fenômeno El Niño/Oscilação Sul (ENSO) sobre o Pacífico Equatorial e o gradiente meridional de anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) sobre o Atlântico Tropical modulam conjuntamente uma grande parte da variância interanual do clima da Amazônia (MARENGO; NOBRE, 2009). Estas combinações modulam o posicionamento latitudinal da ZCIT sobre o Atlântico, influenciando desta forma a distribuição da precipitação sobre a Amazônia e Nordeste brasileiro (MARENGO; NOBRE, 2009).

O El Niño é caracterizado pelo aquecimento superficial anômalo do oceano pacífico equatorial, e o La Niña é o oposto. As anomalias de TSM do Pacífico durante os eventos El Niño e La Niña estão associadas com períodos secos e chuvosos na região, respectivamente. Em relação à vazão dos rios da Amazônia, El Niño determina anos com vazões menores que o normal, enquanto que La Niña determina vazões maiores que o normal (MARENGO, 2007).

Outro sistema atmosférico atuante na Amazônia são as LI, que são formadas por convecção profunda, responsáveis pelo transporte de calor para a alta troposfera nas regiões tropicais. As LI se formam ao longo da costa no final da tarde, adentrando o continente com velocidade média de cerca de 12,0 m/s (COHEN et al., 1995). Estas linhas são caracterizadas por possuírem grandes conglomerados de nuvens *cumulonimbus* e sua formação é favorecida pelas circulações de brisa marítima. Valores mínimos de precipitação anual registrados na região de Santarém estão relacionados à passagem das LI na madrugada com atividade convectiva reduzida. As LI da Amazônia se formam ao longo da costa Norte-Nordeste da América do Sul, desde a Guiana até o Estado do Maranhão (COHEN et al., 1989).

Os sistemas frontais ou frentes frias representam uma zona de forte contraste entre o ar frio que substitui o ar quente durante sua passagem, levando a quedas significativas da temperatura. As frentes frias se formam o ano inteiro, mas

durante a primavera-verão do HS se posicionam sobre o sul e centro oeste da Amazônia e o Centro Oeste brasileiro, com seu eixo no sentido NW-SE, de inclinação variável, cruzando a costa leste do Brasil entre 15°S-25°S. Geralmente o máximo de chuva na região central da Amazônia pode estar associado à penetração de sistemas frontais da região sul interagindo e organizando a convecção local (CUTRIM; MOLION; NECHET, 2000). As frentes também atuam no sentido de organizar uma banda de precipitação que se estende desde a Amazônia até o Oceano Atlântico Sul, durante a estação chuvosa, em que essa banda fica estacionária por mais de 4 dias sendo chamada de Zona de Convergência do Atlântico Sul (SILVA DIAS, 2006).

A ZCAS é outro sistema atuante na Amazônia, sendo considerada uma zona de convergência de umidade que surge durante a primavera do HS, causada pela presença da convecção, associada à constante chegada de sistemas frontais propagando se de sul até a região subtropical no litoral sudeste. Apresenta uma orientação sudeste-noroeste e organiza aglomerados convectivos no oeste, sudoeste e sul da Amazônia (OLIVEIRA, 1986; KOUSKY, CAVALCANTI, 1988; LIEBMANN et al., 1999).

Os sistemas frontais também favorecem a formação dos fenômenos de friagem, quando as temperaturas na região oeste (ocidental) da Amazônia sofrem uma grande queda. Isto ocorre devido às massas de ar polares mais fortes que conseguem chegar até o oeste da Amazônia, fazendo assim a temperatura cair no oeste do Mato Grosso, Rondônia e Acre, até 10°C, podendo chegar a menos (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998).

As ondas de leste são fenômenos atmosféricos ondulatórios que se propagam para oeste aproveitando a corrente equatorial básica de leste. São geralmente provenientes de pequenos vórtices ou aglomerados que caminham com os alísios e estes, por sua vez, provêm de restos de perturbações oriundas das latitudes médias, geralmente restos de frentes frias (MARTINS, 2002; MARENGO, NOBRE, 2009). As ondas de leste formam-se na costa da África e deslocam-se na corrente dos alísios, atingindo o litoral do Nordeste brasileiro (NEB). Deslocam-se com uma velocidade média de 10 a 15 nós, com intensidade máxima nos níveis entre 700 e 500 hPa, tendo um comprimento de onda em torno de 15° de longitude. O NEB e parte leste e central da Amazônia são afetados por essas ondas principalmente, em junho, julho e agosto (MARTINS, 2002).

A brisa marítima é um mecanismo físico no qual o ar, devido às diferenças térmicas entre a superfície terrestre e a superfície aquática, move-se em direção do continente durante o dia e vice versa a noite. Durante o dia a terra se aquece mais rapidamente do que a superfície aquática. Uma baixa térmica local se desenvolve sobre o continente, com ventos soprando do mar para a terra. À noite a terra se esfria rapidamente, enquanto o mar permanece quente. O gradiente de pressão é assim invertido e o vento agora sopra da terra em direção ao mar (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1998). Mecanismo semelhante pode também provocar a formação de brisa fluvial ou lacustre quando a superfície aquática for um grande rio ou lago.

Oliveira e Fitzjarrald (1993) comprovaram a existência desta circulação fluvial nos baixos níveis (até 1.500-2.000 m), possuindo o sentido floresta/rio no período da noite e início da manhã, revertendo o sentido (rio/floresta) durante a tarde e início da noite. Observações realizadas por Oliveira e Fitzjarrald (1993) identificaram um gradiente térmico entre rio e floresta de -3°C durante o dia e $+6^{\circ}\text{C}$ à noite. Provavelmente estas influências são mais intensas nas regiões em que a largura dos rios é maior, como no caso da região de Santarém (Rios Tapajós e Amazonas). Na região de Santarém, Fitzjarrald et al. (2003) mostram que existem períodos em que os ventos alísios de leste são fracos e os ventos à superfície chegam a soprar de oeste em função da penetração da brisa do rio Tapajós.

Outro aspecto analisado por Fitzjarrald et al. (2008) foi a variabilidade diurna do padrão da chuva, em função da distância do rio. Próximo ao rio a chuva é predominantemente noturna, enquanto mais no interior do continente ela ocorre tanto no período noturno, associada à passagem das LI como no período da tarde devido à convecção local. Silva Dias et al. (2004b), considerando as condições de formação de brisa coincidindo com a formação de friagem penetrando na região oeste da Amazônia e enfraquecendo os ventos alísios na região de Santarém, identificaram impactos das circulações locais na nebulosidade através da formação de intensa linha de nuvens cúmulos na margem leste do rio Tapajós e ausência de nebulosidade na margem oeste.

2.4 ESTUDOS NUMÉRICOS DOS EFEITOS DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA SOBRE O TEMPO E CLIMA REGIONAIS

Os efeitos do desmatamento da Amazônia sobre o tempo e clima regionais têm sido avaliados através de estudos de modelagem numérica (CORREIA et al., 2007). É previsto que mudanças globais resultem em modificações climáticas significativas na Amazônia (FEARNSIDE, 2008).

Uma síntese dos últimos resultados divulgados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), conhecido como a maior referência mundial em estudos sobre mudanças climáticas, indica um aumento de temperatura por todo o planeta ao longo desse século, com maiores consequências sobre os continentes do que sobre os oceanos, com aumento do nível dos mares, aumento da frequência e a intensidade dos eventos extremos, como furacões, inundações e secas prolongadas (IPCC, 2007). As projeções do IPCC indicam um maior número de dias quentes e ondas de calor em todas as regiões continentais, principalmente em regiões nas quais as disponibilidades hídricas do solo vêm se reduzindo. Há ainda projeções de aumento da temperatura mínima diária em todas as regiões continentais, como a Amazônia. Além disso, dias com geadas e ondas de frio estão se tornando menos frequentes.

Se as tendências de crescimento das emissões se mantiverem, os modelos climáticos indicam que poderá ocorrer aquecimento até acima de 6°C em algumas regiões do globo até o final do século XXI (MARENGO, 2007). Segundo Nobre (2001), nota-se que a projeção de aumento de temperatura global segue a mesma tendência de aumento de temperatura à superfície devido ao desmatamento.

As várias simulações dos efeitos climáticos da substituição da floresta por pastagens na Amazônia indicam que há um aumento da temperatura entre 0,3°C e 3°C, redução da evapotranspiração entre 15% e 30% e redução da precipitação entre 5% e 20% (NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007).

Em um estudo realizado por Fisch et al. (1997), utilizando o modelo numérico do Hadley Centre, concluíram que, em geral, a substituição de floresta por pastagem provoca, em nível sazonal, uma redução no saldo de radiação de ondas curtas de até 8% e radiação total de 3%, uma pequena redução da umidade específica do ar, um aumento da velocidade do vento, uma redução na evaporação

e precipitação de 20% e 14%, respectivamente e um período de seca mais prolongada.

Diversos modelos climáticos globais indicam que com o aumento da temperatura global, o clima do Pacífico tenderá a ficar parecido com uma situação de El Niño (IPCC, 2007). O fenômeno El Niño está associado a condições mais secas na Amazônia, especialmente nas regiões norte, central e leste, enquanto que o aquecimento anômalo das águas do oceano Atlântico norte está associado a situações de estação seca mais severa na região sul e sudoeste da Amazônia. Portanto, um cenário futuro de “El-Niños” e águas relativamente mais quentes no oceano Atlântico tropical norte levará, certamente, a importantes reduções de chuvas e ao alongamento da duração da estação seca em grande parte da Amazônia (CANDIDO et al., 2007).

No entanto, em 2005 foi outro tipo de anomalia climática que secou o oeste e o sul da Amazônia, onde o aquecimento anormal de quase 1°C nas águas tropicais do Atlântico Norte ocasionou essa seca, haja visto que nesse ano não foi registrado o fenômeno El Niño (MARENGO, 2007). A intensa seca ocorrida no sudoeste da Amazônia em 2005 teve fortes impactos na navegação, agricultura, geração de hidroeletricidade, e afetou de forma direta e indireta a população ribeirinha de grande parte da Amazônia (MARENGO, 2007).

Em condições de aquecimento global e secas mais frequentes, as florestas da região amazônica tendem a perder umidade, tornam-se muito mais vulneráveis às queimadas, à mortalidade de árvores e um aumento nas emissões de carbono para a atmosfera (NEPSTAD et al., 2004).

Ao contrário de estudos com MCG, os resultados de modelos de meso-escala, cuja resolução espacial é maior do que àquelas do MCG, observa-se que o desmatamento total da Amazônia não provoca uma diminuição generalizada na precipitação na Amazônia. Ressaltando que no leste da Amazônia, a topografia, o litoral e sistemas de grandes rios têm um importante papel nos padrões anômalos de precipitação, ventos e energia, na simulação de desmatamento total da Amazônia (GANDU et al., 2004; COHEN et al., 2007).

Lu et al. (2005) sugeriram que a formação de cúmulos ao longo do lado leste do rio Tapajós estaria associada ao fato de uma topografia de 200 metros no lado oeste do rio Tapajós, a qual funcionaria como uma barreira aos ventos horizontais de leste em superfície. Adicionalmente, a canalização do escoamento de

norte no Tapajós, em decorrência da justaposição dos rios Amazonas e Tapajós, promoveria uma confluência desse vento com os ventos de leste em superfície ocasionando assim a organização de nuvens cúmulos no lado leste do rio Tapajós.

No trabalho de Cohen et al. (2007) utilizando o modelo numérico de meso-escala BRAMS, identificaram que a substituição da floresta por pastagem mostrou que no Estado do Pará há redução da chuva de até 25% no período chuvoso. Identificaram também um aumento de temperatura na maior parte da região, seguido de aumento da velocidade média do vento próximo à superfície, na região costeira e ao longo dos grandes rios que podem estar relacionado à redução no coeficiente de rugosidade, decorrente do desmatamento na região.

Novos modelos vêm sendo desenvolvidos para representarem mais realisticamente as interações da vegetação com o clima e os possíveis impactos do desmatamento no clima e na biodiversidade em cenários presentes e futuros, com maiores certezas (MARENGO, 2007), indicando que a mortalidade da floresta poderia acontecer mais rapidamente do que modelos anteriores indicavam (FEARNSIDE, 2008).

3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é estudar os possíveis efeitos das modificações do uso e ocupação de solo na região de Santarém, sobre a atmosfera local.

Especificamente, os objetivos são:

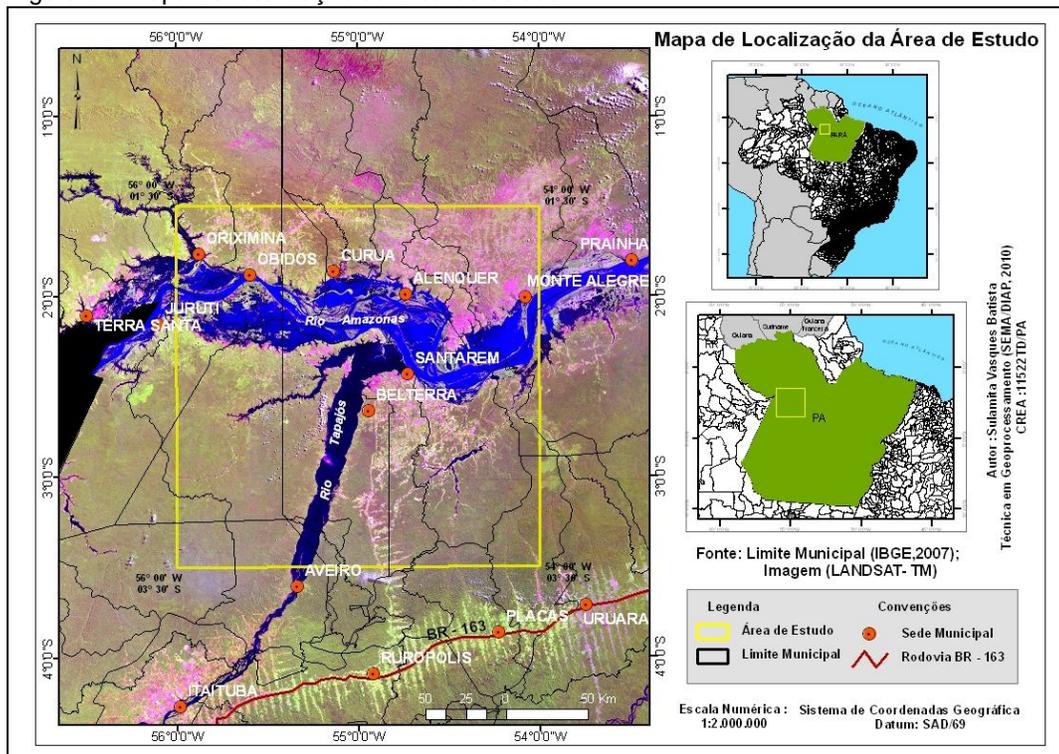
- Verificar uma possível mudança climática na região de Santarém, através da análise estatística de dados de estações meteorológicas da região;
- Analisar a evolução do desmatamento na região de Santarém
- Gerar mapas de uso e ocupação do solo na região de Santarém em períodos específicos para serem utilizados pelo modelo BRAMS;
- Testar a sensibilidade do modelo BRAMS com os diferentes mapas temáticos de uso e ocupação do solo, para verificar seus possíveis efeitos sobre a atmosfera local.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na meso-região do baixo Amazonas e sudoeste Paraense, envolvendo as micro-região de Altamira, Almerim, Itaituba, Óbidos e Santarém, com um perímetro de 12.166,09 Km, e área total de 48.664,36Km², essa região é representada por um polígono regular de 2 graus de latitude por 2 graus de longitude, localizada entre 1° 30' S, 56° 00' W e 3° 30' S, 54°00' W. Engloba parte das áreas de 12 municípios, sendo eles: Alenquer, Aveiro, Belterra, Curuá, Juruti, Monte Alegre, Óbidos, Oriximiná, Placas, Prainha, Santarém, Uruará. Destes, apenas Santarém e Belterra incluem praticamente a área total do município e os demais estão contidos em partes de suas áreas totais (Figura 2).

Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: BATISTA (2010).

A área total de cada município (Km²), área abrangente (Km²) na região de estudo, meso-região e micro-região, encontram-se descritas na tabela 2.

Tabela 2 – Municípios e suas áreas totais, abrangentes e suas meso e micro-regiões.

Município	Área Total (Km ²)	Área de abrangência (Km ²)	Meso-região	Micro-região
Alenquer	22.275	3.162	Baixo Amazonas	Santarém
Aveiro	17.094	2.849	Sudoeste Paraense	Itaituba
Belterra	4.404	3.309	Baixo Amazonas	Santarém
Curuá	1.430	1.317	Baixo Amazonas	Santarém
Juruti	8.307	1.725	Baixo Amazonas	Óbidos
Monte Alegre	21.701	5.724	Baixo Amazonas	Santarém
Óbidos	28.043	4.247	Baixo Amazonas	Óbidos
Oriximiná	107.778	1.637	Baixo Amazonas	Óbidos
Placas	7.174	518	Baixo Amazonas	Santarém
Prainha	12.600	1.358	Baixo Amazonas	Santarém
Santarém	22.876	21.593	Baixo Amazonas	Santarém
Uruará	10.794	1.222	Sudoeste Paraense	Altamira
Total:	264.476	48.664,36		

Fonte: IBGE (2007).

A economia predominante na região é baseada na agricultura, pesca, pecuária, extrativismo e no comércio (SEPOF, 2006). Os solos são representados, sobretudo, pelas classes argissolos e latossolos, nas cores amareladas, amarelo-avermelhadas e avermelhadas, ambos com baixa fertilidade. Os argissolos ocorrem em relevo suave ondulado a ondulado e forte ondulado, enquanto que os latossolos ocorrem em plano e suave ondulado (EMBRAPA, 2008).

Os acidentes geográficos mais importantes são os rios Amazonas e Tapajós, com o encontro das águas amarelas e verde-azuladas, respectivamente, em frente à cidade de Santarém. O rio Curuá-Una e seus afluentes, juntamente com o rio Arapiuns e seus afluentes, exercem importantes funções no regime hídrico regional. Por situar-se, estruturalmente, na bacia sedimentar amazônica, apresenta terrenos terciários de formação barreiras e sedimentos do quaternário recente e antigo (SEPOF, 2006).

O relevo é apresentado por áreas de várzeas, terraços e praias fluviais, correspondentes ao quaternário e por tabuleiros e baixas colinas nas áreas Terciárias. Nas áreas Paleozoicas, ao sul, o relevo torna-se mais expressivo, por apresentar um setor de planaltos tabulares, áreas cuetiformes e algumas pequenas serras. No relevo santareno há, portanto, quatro unidades morfoestruturais do Estado do Pará: Planalto da Bacia Sedimentar do Médio Amazonas, Planalto Residual do Tapajós, Planalto Tapajós-Xingu e Depressão Periférica do Sul do Pará (SEPOF, 2006).

A vegetação predominante na região é do tipo Floresta Ombrófila Densa, caracterizada por suas grandes árvores com altura entre 25 a 35 metros. Outras formações também podem ser encontradas, porém em menor proporção, como: Floresta ombrófila aberta, floresta estacional, savana, campinarana, formações pioneiras, áreas de tensão ecológica, refúgio ecológico, além de vegetação secundária, também conhecida como capoeira, localizadas em áreas que sofreram o desmatamento (EMBRAPA, 2008).

A tabela 3 faz um comparativo da cobertura vegetal nos anos de 2000 e 2009, segundo dados do PRODES (INPE, 2010), apresentando para todos os municípios uma redução no percentual da área florestada.

Tabela 3 – Percentual de área florestada até o ano de 2000 e até o ano de 2009, nos municípios abrangentes.

Municípios	Floresta até 2000 (%)	Floresta até 2009 (%)	Redução (%)
<u>Alenquer (PA)</u>	81	79	2
<u>Aveiro (PA)</u>	91	85	6
<u>Belterra (PA)</u>	71	64	7
<u>Curuá (PA)</u>	28	26	2
<u>Juruti (PA)</u>	67	65	2
<u>Monte Alegre (PA)</u>	66	60	6
<u>Óbidos (PA)</u>	74	72	2
<u>Oriximiná (PA)</u>	94	90	4
<u>Placas (PA)</u>	83	76	7
<u>Prainha (PA)</u>	62	46	16
<u>Santarém (PA)</u>	64	53	11
<u>Uruará (PA)</u>	91	69	22

Fonte: INPE (2010).

4.2 DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados climáticos utilizados neste trabalho foram coletados em três estações de superfície localizadas na região de Santarém (Figura 3). Uma das estações pertence ao Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), está localizada no aeroporto de Santarém (latitude 2,417°S e longitude 54,783°W, na altitude de 60 metros) e os dados disponibilizados foram para o período de 1954 a 2008. A segunda estação pertence ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (latitude 2,533°S e longitude 54,283°W, na altitude de 20 metros) e os dados cobrem o período de 1914 a 1974. A terceira estação pertence à Agência Nacional de Águas

(ANA) (latitude 2,432° S e longitude 54,758°W, sem registro de altitude), referente ao período de 1968 a 2008.

Figura 3 – localização das Estações Meteorológicas na Região De Santarém.



Fonte: (SEMA, 2010).

A opção de utilizar os dados combinados das três estações foi para preencher eventuais falhas identificadas no período analisado. Utilizou-se um método dos mínimos quadrados para efetuar a correlação entre os três bancos de dados. Foi escolhido o período de 1961 a 2008, correspondente a uma série histórica de 47 anos, que era o período com mais dados entre as três estações. Além disso, os dados foram analisados separadamente em dois períodos, de 1961 a 1983 e de 1984 a 2008.

Entre as variáveis meteorológicas diárias analisadas, estão: precipitação (mm), frequência de dias com precipitação, e temperaturas máxima (°C) e mínima (°C) do dia. A partir dos dados tabulados, para cada variável foram calculadas as médias mensais, anuais e normalizadas, desvio padrão e o coeficiente de variação para as médias e totais.

Para o cálculo das médias utilizou-se a média aritmética, descrita por (BUSSAB; MORETTIN, 2002):

$$\bar{X} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n} \quad (1),$$

em que x_n são os n valores da variável x .

Há casos em que a média aritmética pode conduzir a erros de interpretação e para esta situação torna-se necessário o cálculo da dispersão usando, por exemplo, o desvio padrão (dp). O desvio padrão é dado por:

$$dp(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Para a análise da variabilidade, utiliza-se também o desvio normalizado pelo desvio padrão (ou “desvio padronizado”), que é a diferença entre a variável e sua média, dividida pelo desvio padrão. Essa medida dá informação do valor da anomalia (positiva ou negativa) em termos do desvio padrão. Matematicamente, o desvio normalizado (Z) é expresso por:

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{X}}{dp} \quad (3)$$

Outra medida útil da dispersão dos dados é o coeficiente de variação (Cv) que se trata de uma média relativa de variabilidade para a comparação do grau de concentração em torno da média de séries distintas. Ou seja, é o desvio padrão expresso como uma porcentagem da média. Assim, a quantidade Cv é um número adimensional, independente das unidades em que foram medidas as variáveis e representa o desvio-padrão que seria obtido se a média fosse igual a 100. O Cv pode ser expresso matematicamente por (OLIVEIRA, 1999):

$$Cv = \frac{dp}{\bar{X}} \cdot 100\% \quad (4)$$

4.3 DADOS DE DESMATAMENTO

Para a análise da evolução espacial e temporal do desmatamento na região de estudo foram utilizados dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponíveis pelo Projeto PRODES (INPE, 2010), no formato chamado *shape/ArcView* (daqui em diante referido apenas como “*shape*”).

O desflorestamento (ou desmatamento) é definido como a substituição da floresta primária ou de vegetação de fisionomia florestal por atividades agrosilvopastoris, cuja detecção é realizada a partir de plataformas orbitais (INPE, 2010). O desmatamento é considerado em áreas superiores a 6,25 hectares e não inclui áreas em processo de sucessão secundária (vegetação secundária). O índice do desmatamento de um determinado ano representa os valores acumulados desde o mês de agosto do ano anterior até o mês de julho daquele ano. Os dados do desmatamento são originados do satélite Landsat, de resolução espacial de 30 metros por 30 metros (CÂMARA; VALERIANO; SOARES, 2006). Neste trabalho os dados do desmatamento utilizados foram os acumulados até o ano de 1997 e o acumulado até o ano de 2009, referentes apenas a área de estudo (região de Santarém).

4.4 CRIAÇÃO DOS DADOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA O MODELO METEOROLÓGICO

O processo de adequação do mapa de vegetação do IBGE (2003), inclusão da classe “desmatamento” e a criação dos arquivos apropriados para serem utilizados no modelo BRAMS, consistiu em diversas etapas.

Primeiro, com o software ArcGis 9.3 foi criado um arquivo no formato *shape*, com um recorte baseado nas coordenadas geográficas da área de estudo. Esse arquivo foi então sobreposto ao mapa de vegetação do IBGE da Amazônia Legal (2003), escala 1:250.000, gerando-se o arquivo *shape*, com resolução de 30 por 30 metros, contendo as informações das classes do uso e cobertura do solo na região de Santarém. O mesmo arquivo recorte foi sobreposto aos arquivos *shape* do INPE com os desmatamentos acumulados até 1997 e até 2009.

Assim, foram criados três arquivos separadamente para cada mapa temático estudado. Os arquivos foram designados de: (i) **vibge**, representando apenas o uso e cobertura do solo na área de estudo e suas referidas classes, sem a inclusão dos arquivos de desmatamento do INPE; (ii) **v1997**, representando as classes de uso e cobertura do solo do IBGE mais a área da classe desmatamento acumulada até o ano de 1997; (iii) **v2009**, representando o uso e cobertura do solo do IBGE e a área da classe desmatamento acumuladas até o ano de 2009.

Foi feita a seguir a transformação dos arquivos **vibge**, **v1997** e **v2009**, de resoluções de 30 metros por 30 metros, para arquivos em formato do tipo *raster* (matricial) de resolução de 200 metros por 200 metros que, em graus de latitude e longitude, corresponde a 0,001813° por 0,001813°, já que “grau” é a unidade de medida compatível com a leitura do modelo BRAMS.

O *shape* do desmatamento de 2009, sobre a área de estudo, além da classe desmatamento apresentou outras classes, tais como: floresta, não_floresta, não_floresta2, nuvem, hidrografia e resíduos. A classe “resíduos”, por ser considerada “desmatamento” pelo INPE, foi incluída na classe desmatamento e as demais foram excluídas, pois estas já existiam no mapa de vegetação do IBGE.

Os arquivos em formato *raster* foram novamente convertidos em formato *shape*, produzindo para cada pixel um centróide (ponto central) contendo as informações: longitude, latitude, classe de uso e cobertura do solo e número referente à classe.

A partir dos arquivos *shape* foram então extraídos arquivos em formato ASCII (txt), com números identificadores de cada classe de uso e cobertura de solo, compatíveis com a leitura do modelo BRAMS. Desses arquivos *shape* também foram geradas planilhas contendo outras informações, tais como: número de pixel por classe, número referente à classe, área de cada classe em Km² e em percentual em relação à área total.

Finalmente, com um programa computacional em linguagem FORTRAN, as classes do IBGE e a classe “desmatamento” foram adaptadas às classes do OLSON GLOBAL ECOSYSTEMS (OGE, 2010) e desta para um novo conjunto de classes utilizado pelo esquema de interação solo-planta-atmosfera do modelo BRAMS, chamado de Land Ecosystem Atmosphere Feedback (LEAF) (WALKO et al., 2000). O apêndice no final deste trabalho mostra a tabela de correspondência

entre essas três classificações de uso e cobertura do solo: IBGE, OGE e LEAF. Uma discussão sobre essa tabela será feita no capítulo de resultados.

Todos os arquivos produzidos foram gerados no software ArcGIS 9.3, no laboratório da Embrapa Amazônia Oriental, na Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA) e com apoio técnico do SIPAM, INPE e IBGE, ambas localizadas na cidade de Belém do Pará, Brasil. Os arquivos encontravam-se no sistema de projeção GCS_South_American_1969 Datum: D_South_American_1969.

Os arquivos em formato ASCII (txt), foram chamados de **vibge_200x200.txt**, **v1997_200x200.txt**, **v2009_200x200.txt** e processados nos computadores do Laboratório de Modelagem Climática (LAMAZ), da Universidade Federal do Estado do Pará (UFPA), onde receberam formatações adequadas para serem lidos pelo modelo BRAMS.

4.5 O MODELO BRAMS E CONFIGURAÇÕES ADOTADAS NAS SIMULAÇÕES

O modelo BRAMS (*Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*) é um modelo numérico que apresenta múltipla finalidade, criado para simular circulações atmosféricas que vão desde a micro-escala até a grande escala, porém com especial aplicação à simulação de fenômenos atmosféricos de meso-escala (com escalas horizontais da ordem de 2 a 2000 Km). O BRAMS utiliza o conjunto completo de equações que governam a evolução do estado atmosférico, baseado nas leis de movimento de Newton, conservação de massa e na termodinâmica de um fluido geofísico (GOUVÊA, 2007).

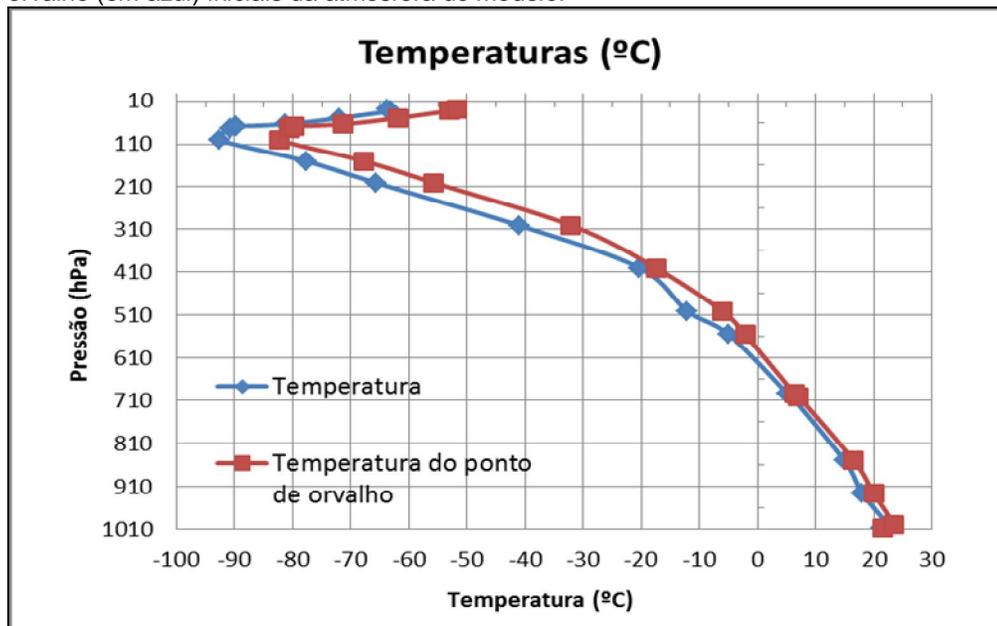
O modelo BRAMS é a adaptação do modelo americano *Regional Atmospheric Modeling System* (RAMS) (PIELKE et al., 1992; COTTON et al., 2003), realizada por um grupo de Instituições no Brasil, e está disponível no site do CPTEC/INPE (<http://brams.cptec.inpe.br>). As adaptações foram feitas para adequar o modelo às características brasileiras e estão descritas em Freitas et al. (2009). O BRAMS é o resultado de um Projeto de Pesquisa patrocinado pela FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS (FINEP, 2011) nos anos de 2002 a 2003 visando produzir uma versão do RAMS adaptado para os trópicos, para ser usado em modo de produção pelos Centros Regionais de previsão do tempo brasileiros e, em modo de pesquisa pelas Universidades brasileiras.

O BRAMS é um modelo tridimensional que consiste de um conjunto de equações prognósticas, incluindo dinâmica, termodinâmica e microfísica de hidrômetros. Essas equações são resolvidas numericamente usando esquema de diferenças finitas. O modelo contém interações entre vários submodelos que simulam as trocas de calor e água nas interfaces solo-vegetação-atmosfera, processos turbulentos na camada superficial e na camada de mistura, transferência de radiação térmica e solar, com suas interações com os hidrometeoros e microfísica de nuvem e precipitação. Além disso, contém a flexibilidade de grades aninhadas que permite resolver as equações do modelo simultaneamente sobre um conjunto de malhas computacionais, interagindo em diferentes resoluções espaciais. Praticamente toda a codificação é feita em linguagem FORTRAN. A versão do modelo utilizado foi o BRAMS 4.2 e para a visualização dos resultados utilizou-se o software (GRID ANALYSIS AND DISPLAY SYSTEM - GrADS, 2010).

Para as simulações, o modelo foi configurado com uma grade horizontal de 111 por 111 pontos, com espaçamento horizontal de 1 por 1 Km e centrada nas coordenadas geográficas de 2,5°S e 55,0°W. O passo de tempo adotado para essa grade foi de 15 segundos. A atmosfera do modelo foi dividida em 32 camadas verticais, sendo a primeira, mais próximo ao solo, com espessura de 100 metros e aumentando de espessura nos níveis superiores a uma taxa de 1,2 em relação à camada inferior. O solo foi dividido em 10 camadas com espessuras especificadas mais abaixo.

O tempo de simulação foi de 49 horas, a partir de 09h00 TMG do dia 1 de outubro de 2009, com saída de arquivos para análises a cada 1 hora. O estado inicial da atmosfera do modelo foi assumido como estando em repouso (sem ventos) e com um perfil de temperatura e umidade dado por uma radiossondagem feita no Aeroporto de Santarém para esse dia (Figura 4). A opção pela escolha de apenas uma sondagem para caracterizar a atmosfera da região é que o domínio do modelo simulado tem uma dimensão não tão grande, de tal forma que as variáveis meteorológicas são relativamente homogêneas na horizontal nesse espaço. Assumir a atmosfera parada no instante inicial teve como objetivo estudar de forma simplificada o efeito atmosférico direto das alterações no uso e cobertura do solo, sobre a temperatura, umidade e fluxo na superfície.

Figura 4 – Perfis verticais da temperatura (em vermelho) e da temperatura do ponto de orvalho (em azul) iniciais da atmosfera do modelo.



O esquema de tratamento dos processos de transferência radiativa adotado foi o chamado de “Mahrer/Pielke”. Nessa parametrização, o modelo considera a interação da radiação solar e infra-vermelha com a superfície e gases atmosféricos, mas desconsidera completamente o efeito da presença de nuvens. Não foi utilizada nenhuma parametrização convectiva, pois os esquemas disponíveis no modelo (tipo Kuo e tipo Grell) não são aplicáveis à resolução adotada (1 Km).

No contexto deste trabalho, a principal parametrização do modelo é a que trata da interação entre o solo, a vegetação e a atmosfera. O BRAMS utiliza o esquema chamado *Land Ecosystem–Atmosphere Feedback* (LEAF), que calcula os fluxos e balanços de energia e água nas diversas camadas do solo, na vegetação, no ar do dossel e na primeira camada vertical da atmosfera (WALKO et al., 2000). Uma característica desse esquema é que a área de cada célula da superfície é dividida em inúmeras sub-áreas, cada uma delas com um tipo diferente de vegetação, interagindo individualmente com a atmosfera e as camadas do solo. Os fluxos de calor e água totais na célula são então calculados como a média dos fluxos individuais, ponderados pelo valor da sub-área associada a cada tipo de vegetação.

Os tipos de vegetação são identificados com valores numéricos associados às classes de uso e cobertura do solo e lidos em arquivos apropriados, montados especialmente para o modelo BRAMS. Neste trabalho, os arquivos de

classes de uso e cobertura de solo utilizados foram aqueles descritos no item 4.4, ou seja, “vibge”, “v1997” e “v2009”, resultando em três simulações com os diferentes mapas temáticos.

A área do domínio adotado nas simulações com o modelo BRAMS foi definida nas coordenadas geográficas 2,995°S a 2.005°S e 55.495°W a 45.505°W, com 100 por 100 pontos de 1 Km por 1 Km. Essa diminuição da área simulada em relação à área trabalhada no item 5.2 deveu-se a uma necessidade de economia computacional.

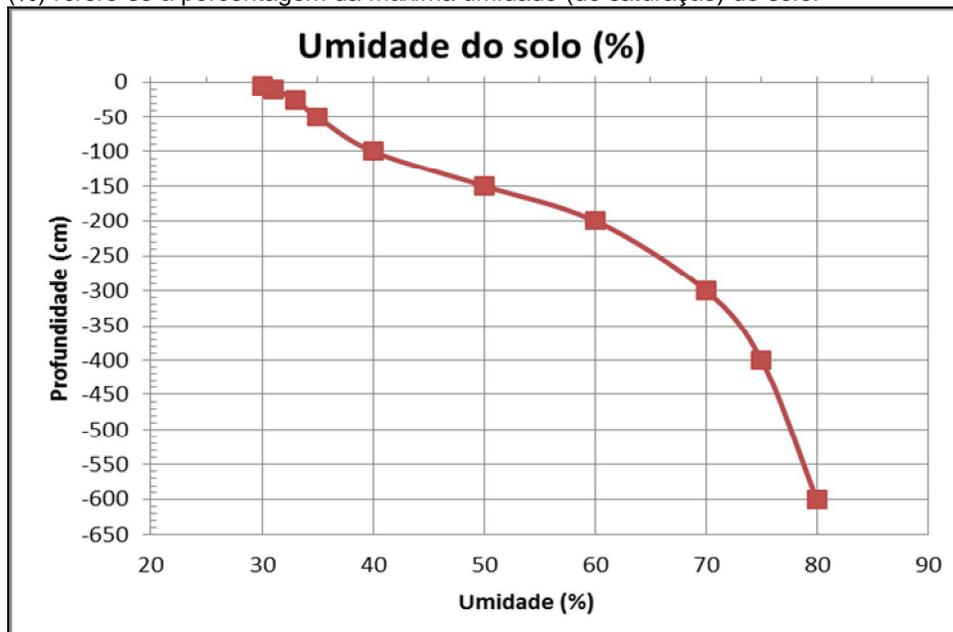
Foram analisadas as variações nos dois dias de simulação, com as variáveis na média espacial em três áreas: na área total do domínio simulado e na área chamada A1 (55,396°W e 55,306°W e 2,797°S e 2,707°S), que representa uma região com menor desmatamento localizada no setor oeste da área de estudos e a A2 (54,748°W e 54,658°W e 2,698°S e 2,608°S), que representa a região mais desmatada localizada no setor leste do domínio.

A umidade inicial do solo e os níveis de profundidade das camadas foram os mesmos utilizados por Saad et al. (2010), estão listados na tabela 4 e ilustrados na Figura 5. O perfil adotado representa um solo relativamente seco nos primeiros níveis, da superfície até a profundidade de 2 m, e mais úmido em níveis mais baixos e foram obtidos experimentalmente por Bruno et al (2006), no sitio Km-83 da Floresta Nacional do Tapajós em outubro de 2002.

Tabela 4 – Profundidade e umidade do solo (em relação à saturação) adotadas nas simulações.

Profundidade (cm)	600	400	300	200	150	100	50	25	10	5
Umidade (%)	80	75	70	60	50	40	35	33	31	30

Figura 5 – Umidade do solo inicial utilizada nas simulações com o modelo. A unidade (%) refere-se à percentagem da máxima umidade (de saturação) do solo.



Fonte: Adaptado de Saad et al. (2010).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados e discussões desta pesquisa e encontra-se organizado em quatro subseções. A subseção 5.1 apresenta uma discussão sobre a evolução temporal da temperatura e precipitação na região de Santarém, de 1961 a 2008. A subseção 5.2 mostra os resultados da combinação dos mapas temáticos de uso e cobertura do solo do IBGE e do desmatamento do INPE, para os anos de 1997 e 2009. Na subseção 5.3 é discutida a evolução do desmatamento na região de Santarém, analisando-se o desmatamento na área de estudo e nos municípios abrangentes. A subseção 5.4 apresenta os resultados das simulações com os diferentes mapas temáticos, discutindo as diferenças provocadas nos campos de temperatura, umidade e fluxos de calor sensível e latente na superfície.

5.1 EVOLUÇÃO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA NA REGIÃO DE SANTARÉM

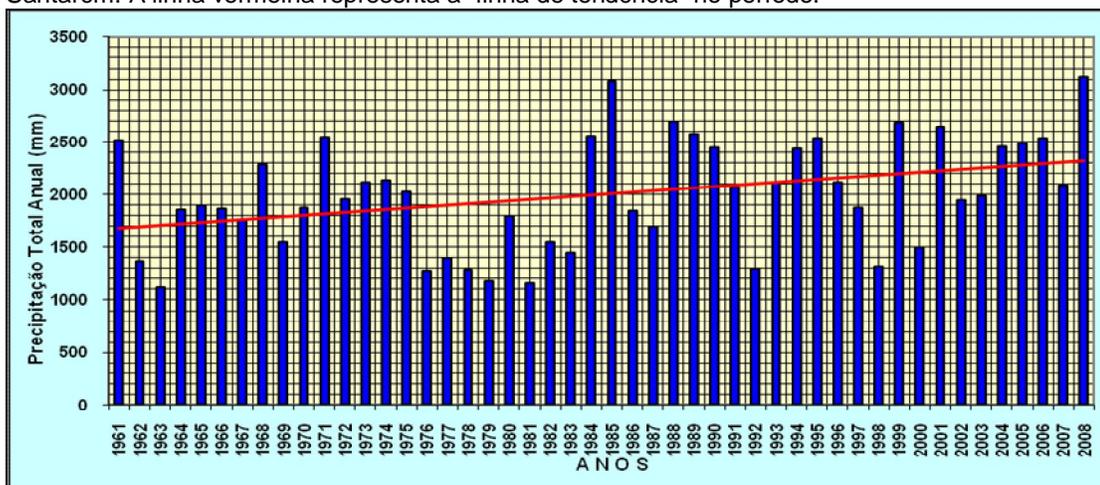
5.1.1 Precipitação pluviométrica

A figura 6 mostra a precipitação pluviométrica anual acumulada, no período de 1961 a 2008 na região de Santarém, junto com a linha de tendência desses dados. A precipitação média anual para esse período foi de 2.000 mm, com desvio padrão de 520 mm e coeficiente de variação 26,0%. Esse valor de precipitação média anual encontra-se próximo ao observado por Rocha et al. (2009), que variou de 1.900 a 2.300 mm anuais na região.

Apesar da grande variabilidade interanual, observa-se ainda na figura 6, através da linha de tendência, um aumento da precipitação ao longo desse período. Nota-se também (confirmado pela figura 7, abaixo), que o período que vai de 1961 a 1983 aparenta ter valores anuais de precipitação menores que os do período seguinte. Efetuando uma análise separada desses dois períodos, notam-se valores médios anuais de 1.737mm entre 1961 e 1983 e de 2.243 mm para o período de 1984 a 2008, o que representa um aumento de cerca de 30% em relação ao primeiro período. Este aumento da precipitação é diretamente proporcional ao desmatamento

na região de Santarém, o que também é observado em outros trabalhos como: CORREIA; ALVALÁ; MANZI (2007); OLIVEIRA et al. (2006) e NOBRE et al. (2009).

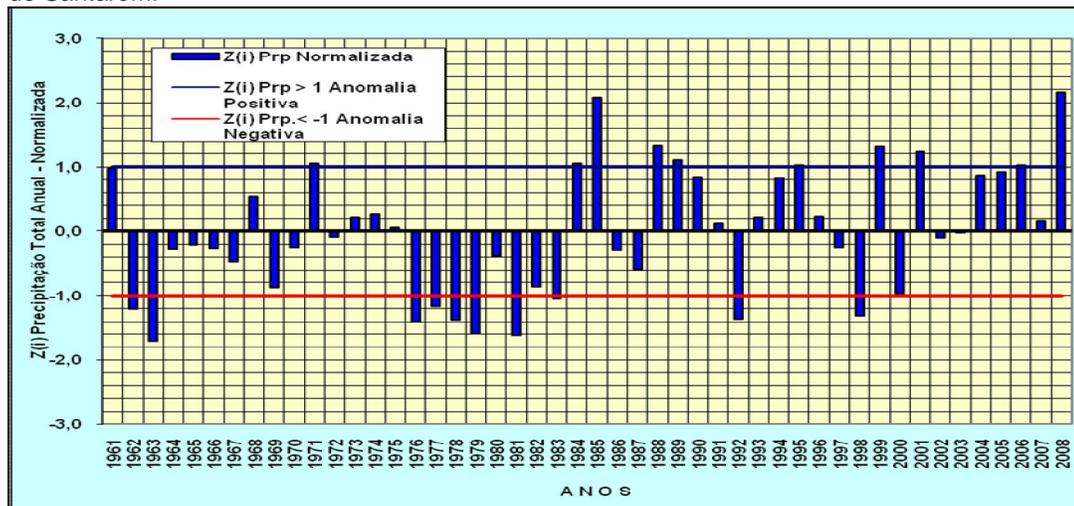
Figura 6 - Precipitação (mm) média total anual, durante o período de 1961 a 2008, na região de Santarém. A linha vermelha representa a “linha de tendência” no período.



Fonte: (SIPAM, 2010 Adaptado de ANA, INMET e ICEA).

A figura 7 mostra a variabilidade interanual da precipitação pluviométrica, considerando o desvio anual (valor anual menos a média), normalizado pelo desvio padrão. Fica evidente que até 1983 houve uma predominância de anomalias negativas de precipitação anual e o inverso de 1984 a 2008. As anomalias negativas mais intensas (valores de desvio normalizados abaixo de -1) ocorreram em maior número de 1976 a 1983 e as anomalias positivas mais intensas ao longo do período seguinte, com destaque para os anos de 1985 e 2008.

Figura 7 - Desvio anual normalizado da precipitação durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.



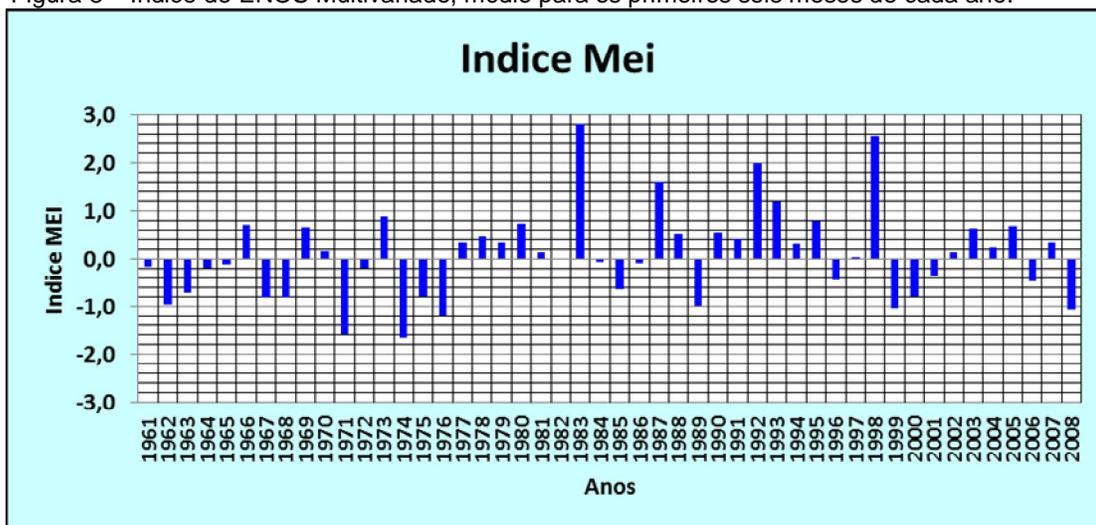
Fonte: (SIPAM, 2010 Adaptado de ANA, INMET e ICEA).

O fenômeno El Niño/Oscilação Sul é um dos fenômenos atmosfera-oceano acoplado mais importante que provoca variabilidade climática na escala de tempo interanual. Diversos índices são utilizados na literatura para monitorar o fenômeno ENOS e, dentre eles, o chamado Índice de ENOS Multivariado (MEI, 2011). O MEI é baseado em seis variáveis observadas sobre o oceano Pacífico tropical: pressão ao nível do mar, componente zonal e meridional do vento em superfície, temperatura da superfície do mar, temperatura do ar e fração total de cobertura de nuvens (WOLTER; TIMLIN, 1998). A figura 8 mostra o valor do índice MEI, médio dos seis primeiros meses de cada ano do período estudado, sendo que valores positivos (negativos) representam anos com o fenômeno El Niño (La Niña). Por esse índice, os anos de 1971, 1974 e 1976 foram os que tiveram La Niña mais forte (valores menores que -1) e os anos de 1983, 1987, 1992, 1993 e 1998 tiveram El Niño mais forte (valores maiores que 1).

Impactos do fenômeno El Niño e La Niña têm sido observados na região de Santarém: excesso de chuva durante La Niña e secas durante El Niño (MARENGO, 2007). Comparando-se as figuras 7 e 8, observa-se que, realmente, nos anos de El Niño mais forte citados acima, as precipitações foram anormalmente mais baixas, exceto para o ano de 1993 que apresentou uma pequena anomalia positiva de precipitação. Já os anos de La Niña mais forte citados, coincidem com anos de anomalia positiva de precipitação. No caso de El Niños e La Niñas mais fracos nem sempre se observa essas relações diretas, pois outros fatores, tais como

as anomalias de temperatura da superfície do mar no oceano Atlântico tropical podem também provocar anomalias de precipitação na Amazônia (SOUZA et al., 2000).

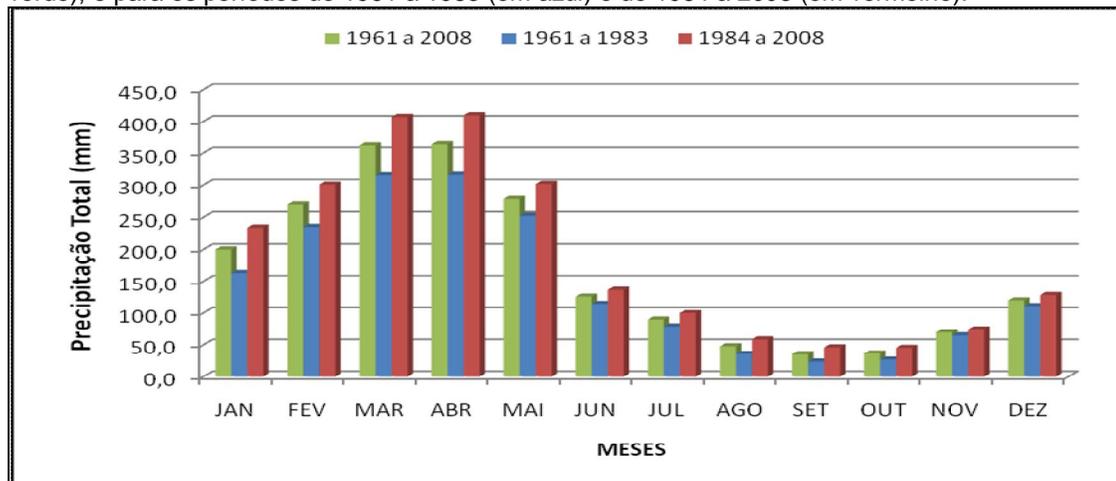
Figura 8 – Índice de ENOS Multivariado, médio para os primeiros seis meses de cada ano.



Fonte: (MEI, 2011).

A figura 9 mostra o ciclo anual da precipitação pluviométrica na região de Santarém, considerando as médias mensais durante todo o período analisado (1961 a 2008) e, também separadamente, para os períodos de 1961 a 1983 e de 1984 a 2008. Observa-se que a maior ocorrência de precipitação é nos meses entre janeiro a maio, com ocorrências acima de 150 mm mensais, caracterizando o período chuvoso da região. Os maiores volumes mensais de precipitação ocorrem nos meses de março (363,1 mm) e abril (364,8 mm), época do ano em que a ZCIT está em sua posição climatológica mais ao sul do equador, atingindo em anos normais 4°S a 5°S (CUTRIM; MOLION; NECHET, 2000).

Figura 9 – Precipitação média mensal durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém (em verde), e para os períodos de 1961 a 1983 (em azul) e de 1984 a 2008 (em vermelho).



Fonte: (SIPAM, 2010 Adaptado de ANA, INMET e ICEA).

O período seco (menos chuvoso) se estende de julho a novembro, com precipitações mensais abaixo de 100 mm. Vale ressaltar que os meses com menores volumes de precipitação são setembro (35,2 mm) e outubro (36,5 mm), período em que a ZCIT está deslocada para o hemisfério Norte, com o ramo descendente da Célula da Circulação de Hadley posicionado no hemisfério Sul (CUTRIM; MOLION; NECHET, 2000). Esse posicionamento da Célula de Hadley, em especial na região central do Brasil, intensifica a subsidência associada e inibe a convecção profunda, o que impede o crescimento de nuvens com grande desenvolvimento vertical sobre a região, reduzindo assim os totais mensais de precipitação (SOUSA, 2004). Os meses de junho (126,0mm) e dezembro (120,0 mm) funcionam como transição entre o período chuvoso e seco e entre o seco e chuvoso, respectivamente.

Os meses menos chuvosos tornam-se propícios ao desmatamento e ao aparecimento de focos de queimadas (CÂMARA; VALERIANO; SOARES, 2006), que tendem a serem maiores em anos de El Niño, pois estes intensificam os períodos de seca na Amazônia (MARENGO, 2007). Nesse período, o corte seletivo aumenta consideravelmente a vulnerabilidade da floresta ao fogo. Quando o fogo entra na floresta, ele mata as árvores, aumenta a carga de combustível e seca o sub-bosque, elevando o risco de futuras queimadas e da completa degradação da floresta. Além disso, as atividades madeireiras são intensificadas pela facilidade do acesso para a retirada da madeira (FEARNSIDE, 2005).

A figura 9 mostra também que, analisando separadamente os dois períodos, de 1961 a 1983 e de 1984 a 2008, nota-se um aumento das médias de precipitação em todos os meses do segundo período em relação ao primeiro. A tabela 5 mostra que esse aumento varia de 14 a até 94%, sendo que nos meses mais chuvosos (março, abril) esse aumento é da ordem de 30%.

Tabela 5 – Precipitação Mensal e Percentual Mensal do aumento da Precipitação pluviométrica no período de 1984 a 2008 em relação a 1961 a 1983.

PERIODO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961-1983	162,8	235,1	315,2	315,9	252,3	114,4	78,9	35,8	23,6	26,8	65,0	110,8
1984-2008	234,2	300,8	407,2	409,9	301,6	136,6	99,9	58,6	45,9	45,4	74,2	128,5
%	43,9	27,9	29,2	29,8	19,5	19,4	26,7	64,0	94,2	69,3	14,3	15,9

Fonte: (SIPAM, 2010 Adaptado de ANA, INMET e ICEA).

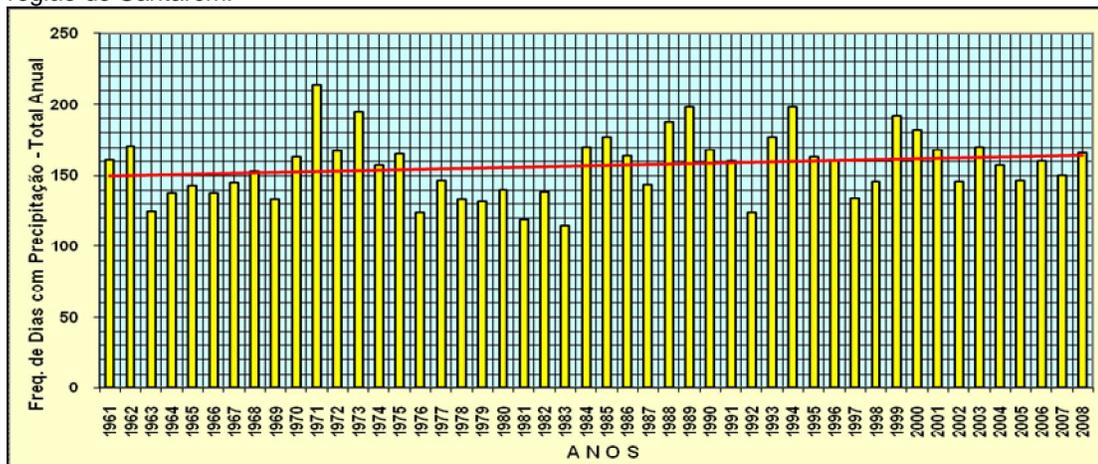
5.1.2 Frequência de dias com precipitação

A figura 10 mostra a frequência anual de dias com precipitação na região de Santarém. A frequência média para todo o período analisado é de 157 dias por ano, com desvio padrão de 23 dias e coeficiente de variação de 14,4%. Os valores médios da frequência de dias com precipitação neste conjunto de dados encontram-se entre os valores indicados por Rocha et al. (2009) na região, que variaram naquele trabalho entre de 151 a 175 dias.

A linha de tendência identificada também na figura 10 mostra um pequeno aumento da frequência de dias com precipitação ao longo dos anos nesse período. Porém, esse aumento não é tão acentuado como no caso observado para a precipitação total anual, o que significa que o volume de precipitação médio diário tem aumentado na região de Santarém. Esse aumento diário pode estar relacionado com a intensificação dos sistemas precipitantes que atuam nessa região.

Analisando separadamente os períodos de 1961 a 1983 e de 1984 a 2008, notam-se valores médios anuais de 149 dias e de 164 dias respectivamente, apresentando um aumento de 11% da frequência de dias com precipitação no segundo período em relação ao primeiro. Esse aumento de 11%, comparado com o aumento de 30% no volume anual de precipitação obtido anteriormente, corrobora a observação de que a chuva na região tem se tornado mais intensa nos últimos anos.

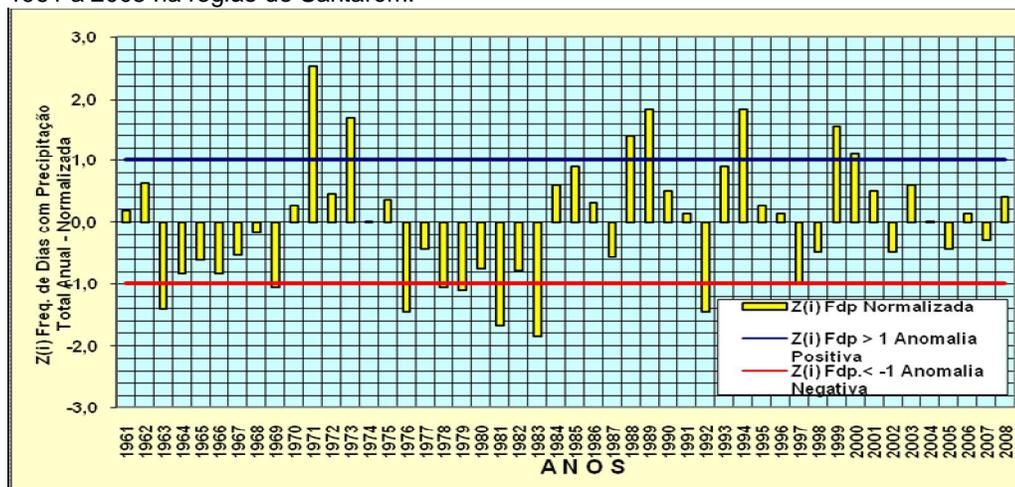
Figura 10 – Frequência de dias com precipitação total anual durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.



Fonte: (SIPAM, 2010 Adaptado de ANA, INMET e ICEA).

A figura 11 mostra a variabilidade interanual da frequência de dias com precipitação, considerando os valores totais anuais no período de 1961 a 2008 na região de Santarém. Comparando-se essa figura com a figura 8 (Índice MEI), observa-se que a maioria dos anos de El Niño forte (1983, 1987, 1992 e 1998) foram anos com número de dias de precipitação abaixo do normal, exceto o ano de 1993. Já para os três anos de La Niña mais forte (1971, 1974 e 1976) não há nenhuma relação evidente com a anomalia de dias com precipitação.

Figura 11 – Frequência de dias com precipitação total normalizada durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.



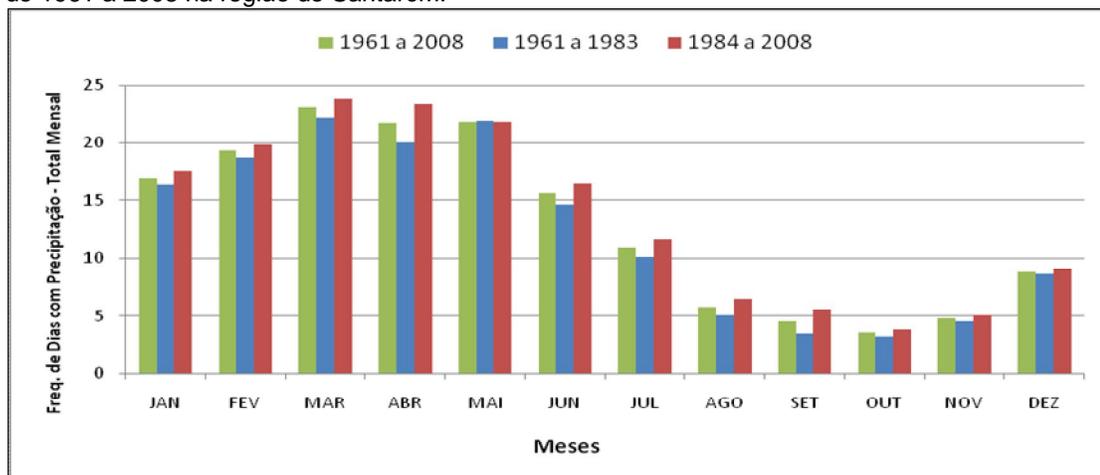
Fonte: (SIPAM, 2010 Adaptado de ANA, INMET e ICEA).

A figura 12 mostra a frequência média mensal de dias com precipitação no período de 1961 a 2008 e separados para os períodos de 1961 a 1983 e de 1984

a 2008 na região de Santarém. Observa-se no período como um todo que os meses de março, abril e maio registraram as maiores ocorrências (22 a 23 dias), enquanto que os meses de setembro, outubro e novembro registraram as menores ocorrências (4 a 5 dias) ao longo do ano. Os resultados da figura 12 são consistentes com a figura 9, ou seja, os meses com maior (menor) número de dias com ocorrência de precipitação é coincidente com os meses mais (menos) chuvosos na região de Santarém.

Ainda na figura 12, ao analisar separadamente dois períodos, de 1961 a 1983 e de 1984 a 2008, nota-se um aumento do número de dias com precipitação em todos os meses no segundo período quando comparado ao primeiro. Os valores médios mensais dos dois diferentes períodos e o percentual de aumento da frequência de dias com precipitação em cada mês do período de 1984 a 2008 em relação a 1961 a 1983 encontram-se listados na tabela 6.

Figura 12 – Frequência de dias com precipitação pluviométrica, na média mensal, durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.



Fonte: (SIPAM, 2010 Adaptado de ANA, INMET e ICEA).

Tabela 6 – Médias mensais do número de dias com precipitação e percentuais de aumento desses números período de 1984 a 2008 em relação a 1961 a 1983.

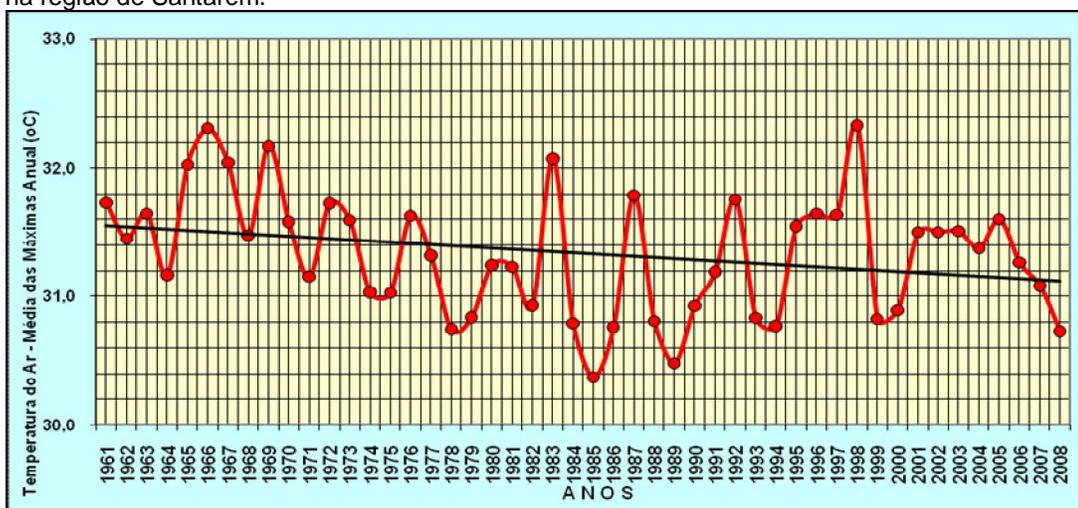
PERÍODO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961-1983	16,3	18,7	22,2	20,0	21,9	14,7	10,1	5,0	3,4	3,2	4,5	8,6
1984-2008	17,5	19,9	23,8	23,3	21,8	16,4	11,6	6,5	5,6	3,8	5,0	9,0
%	7,5	6,4	7,4	16,6	-0,3	12,0	14,4	29,3	63,0	21,0	11,6	5,5

Fonte: (SIPAM, 2010 Adaptado de ANA, INMET e ICEA).

5.1.3 Temperatura do Ar (°C) - Médias das máximas

A figura 13 mostra a temperatura do ar considerando a média das máximas anuais no período de 1961 a 2008 na região de Santarém. Para o período como um todo, a média anual das máximas foi de 31,3°C, com desvio padrão de 0,5°C e coeficiente de variação de 1,5%. O valor médio obtido com esse conjunto de dados se encontra próximo ao observado por Rocha et al. (2009), que foi de 30,8°C. A linha de tendência na figura 13 mostra uma pequena redução da temperatura média máxima anual ao longo desse período, sendo que a média das máximas anuais registradas no período de 1961 a 1983 foi de 31,5°C, enquanto que as registradas no período de 1984 a 2008 foi de 31,2°C.

Figura 13 – Temperatura do ar (°C) média das máximas anuais durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.

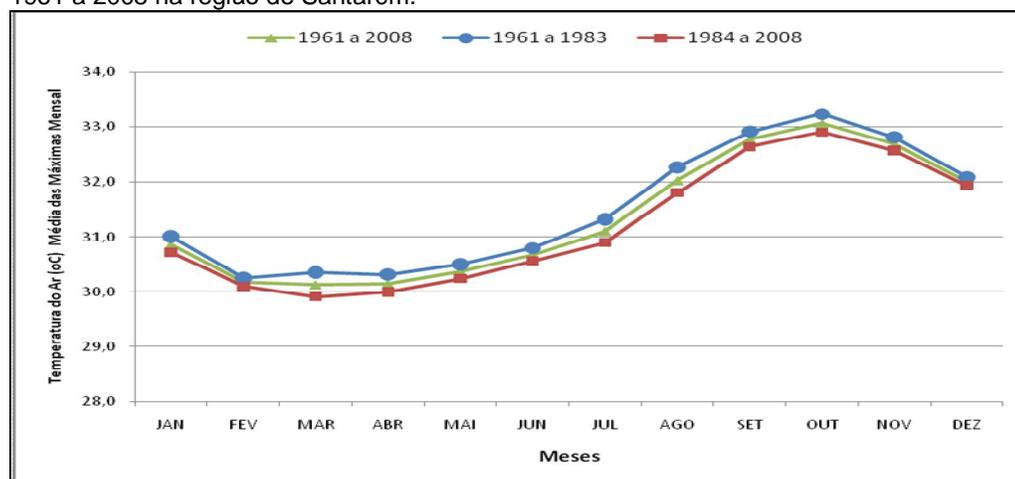


Fonte: (SIPAM, 2010 Adaptado de ANA, INMET e ICEA).

A figura 14 mostra a temperatura média mensal do ar, considerando as médias das máximas mensais no período de 1961 a 2008 na região de Santarém. Observa-se que o trimestre mais quente ocorre de setembro a novembro, com temperaturas da ordem de 33°C e o trimestre menos quente de fevereiro a abril, com temperaturas da ordem de 30°C. Os meses de maior temperatura coincidem com os de menor precipitação e o contrário para os meses menos quentes.

Ao analisar separadamente os dois períodos, de 1961 a 1983 e de 1984 a 2008, obtêm-se médias mensais no primeiro período de 27,7°C e de 27,9°C para o segundo, com pequenas diminuições em todos os meses do ano (tabela 7).

Figura 14 – Temperatura do ar (°C) média das máximas mensais durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.



Fonte: (SIPAM, 2010 Adaptado de ANA, INMET e ICEA).

Tabela 7 – Médias mensais da temperatura máximas mensais e percentual da diminuição no período de 1984 a 2008 em relação a 1961 a 1983.

PERIODO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961-1983	31,0	30,2	30,3	30,3	30,5	30,8	31,3	32,3	32,9	33,2	32,8	32,1
1984-2008	30,7	30,1	29,9	30,0	30,2	30,6	30,9	31,8	32,6	32,9	32,6	31,9
%	-1,0	-0,5	-1,4	-1,0	-0,9	-0,8	-1,3	-1,4	-0,8	-1,0	-0,7	-0,5

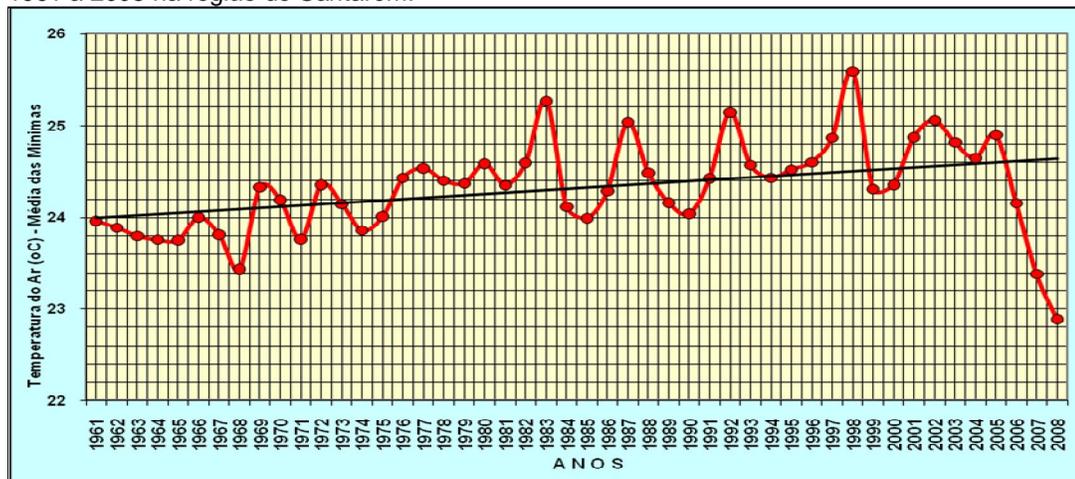
Fonte: (SIPAM, 2010 Adaptado de ANA, INMET e ICEA).

5.1.4 Temperatura do Ar (°C) - Média das Mínimas

A figura 15 mostra as médias anuais das temperaturas mínimas em relação ao período de 1961 a 2008 na região de Santarém. Para o período como um todo a média das temperaturas mínimas foi de 24,3°C, com desvio padrão de 0,5°C e coeficiente de variação de 2,1%. Esse valor médio é um pouco maior que o observado por Rocha et al. (2009) que ficou entre 21,6°C e 22,5°C.

Observando a linha de tendência das temperaturas mínimas e fazendo a média separadamente para os períodos de 1961 a 1983 e de 1984 a 2008, nota-se um pequeno aumento dessas temperaturas no segundo período, embora os últimos três anos da série apresentem uma tendência de diminuição.

Figura 15 - Temperatura do ar (°C) média anual das mínimas observadas durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.

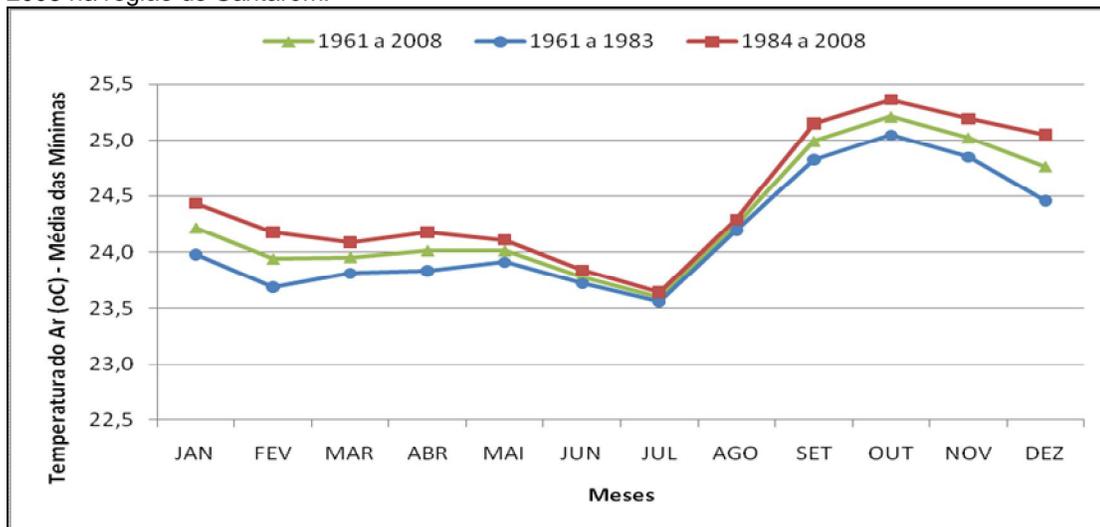


Fonte: (SIPAM, 2010 Adaptado de ANA, INMET e ICEA).

A figura 16 mostra as temperaturas médias mensais considerando as temperaturas mínimas mensais no período de 1961 a 2008 na região de Santarém. Para todo o período analisado, observa-se que o mês com as temperaturas mínimas mais baixas é julho, e que as temperaturas mínimas mais altas ocorrem em outubro. Neste caso, a maior temperatura mínima ocorre no mês de menor precipitação, porém a menor temperatura mínima não ocorre no mês de máxima precipitação.

Analisando separadamente dois períodos, de 1961 a 1983 e de 1984 a 2008, a média da temperatura mínima é de 21,5°C no primeiro período e de 21,7°C no segundo período sendo que as temperaturas de todos os meses (exceto julho) ficaram ligeiramente maiores no segundo período (figura 16 e tabela 8).

Figura 16 – Temperatura média mensal das temperaturas mínimas durante o período de 1961 a 2008 na região de Santarém.



Fonte: (SIPAM, 2010 Adaptado de ANA, INMET e ICEA).

Tabela 8 – Médias mensais da temperatura mínima mensal e percentual do aumento no período de 1984 a 2008 em relação a 1961 a 1983.

PERÍODO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1961-1983	24,0	23,7	23,8	23,8	23,9	23,7	23,6	24,2	24,8	25,0	24,9	24,5
1984-2008	24,4	24,2	24,1	24,2	24,1	23,8	23,6	24,3	25,2	25,4	25,2	25,1
%	1,9	2,0	1,2	1,4	0,8	0,5	0,4	0,4	1,3	1,3	1,4	2,4

Fonte: (SIPAM, 2010 Adaptado de ANA, INMET e ICEA).

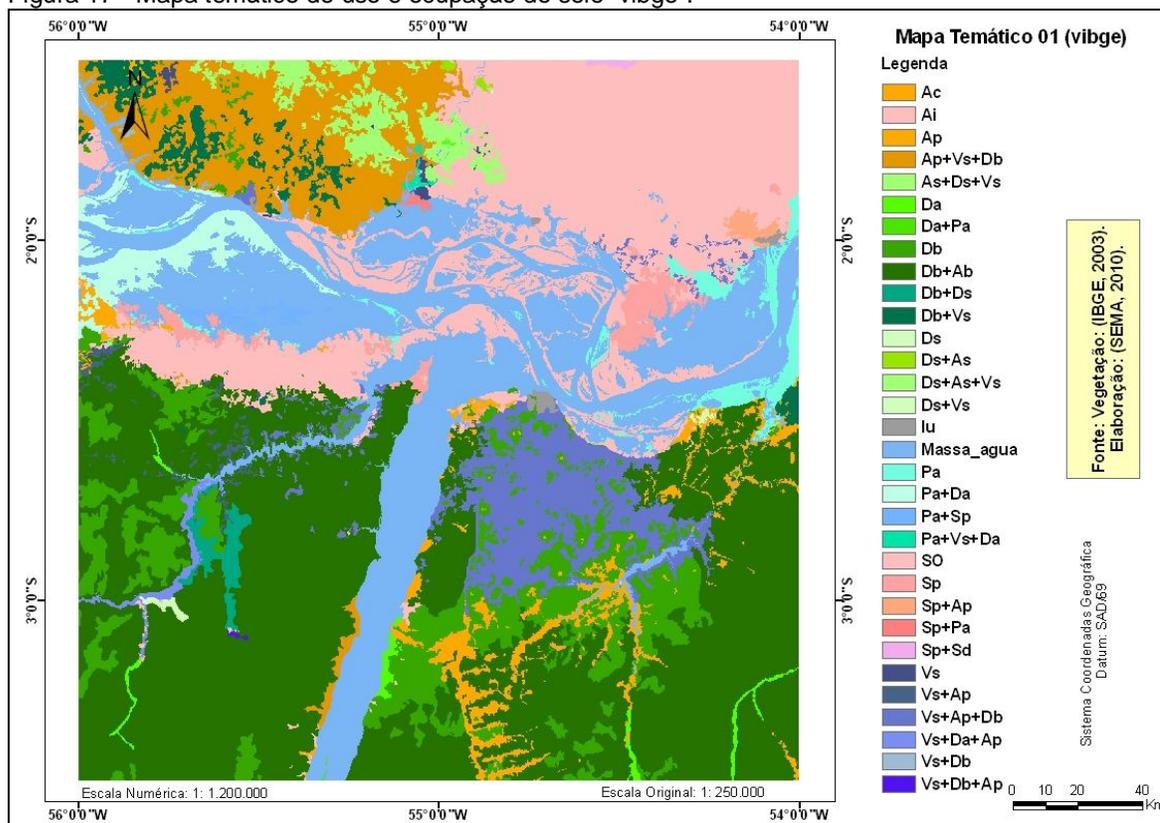
5.2 MAPAS TEMÁTICOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA REGIÃO DE SANTARÉM

Conforme apresentado na metodologia, a partir do mapa de vegetação do IBGE (2003), foram construídos três mapas temáticos de uso e ocupação do solo na região de Santarém. O mapa temático 01, chamado de “vibge” representa o próprio mapa de vegetação do IBGE de 2003, sem a inclusão de nenhuma outra camada de informação. O mapa temático 02, chamado “v1997” representa o uso e ocupação do solo do IBGE de 2003, mais a classe “desmatamento” acumulada até o ano de 1997, conforme as informações do PRODES. O mapa temático 03, chamado “v2009”, representa o uso e ocupação do solo do IBGE, mais a classe “desmatamento” acumulada até o ano de 2009. A seguir, serão descritas as características de cada um desses mapas temáticos.

5.2.1 Mapa temático 01 (vibge)

A figura 17 mostra o mapa temático 01, representando o uso e ocupação do solo na região de Santarém com 32 classes, com resolução espacial de 200 m por 200 m e escala de 1:200.000. Por outro lado, a tabela 9 mostra a área (em Km²) para cada classe e a área percentual em relação a toda a região representada na figura 18.

Figura 17 - Mapa temático de uso e ocupação do solo “vibge”.



Fonte: (SEMA, 2010).

Entre as classes com maior ocorrência estão a “floresta ombrófila das terras baixas, densa e aberta” (Db+Ab) com 15.298,28 Km² (31,44%), a classe “massa de água” com 9.006,72 Km² (18,51%) e a classe “contato savana/floresta ombrófila” (SO), com área de 7.283,6 Km² (14,97%).

Tabela 9 - Classes de uso e ocupação do solo na região de Santarém.

(continua)

Nº da classe	CLASSE segundo o IBGE	ÁREA	%
1	SO – Contato Savana/Floresta ombrófila	7.283,6	14,97
2	Ap – Pecuária (Pastagem)	1.253,68	2,58

(continua)

3	Ai - Área Indiscriminada	1.513,8	3,11
4	(As+Ds+Vs) As – Floresta Ombrófila Aberta Submontana, Ds – Floresta Ombrófila Densa Submontana Vs – Vegetação secundária	803,08	1,65
5	Massa_agua	9.006,72	18,51
6	(Db+Vs) Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas, Vs – Vegetação secundária	662,6	1,36
7	Pa - Formação Pioneiras	655,64	1,35
8	(Vs+Ap+Db) Vs – Vegetação secundária, Ap – Pecuária (Pastagem), Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas	2.454,16	5,04
9	(Pa+Da) Pa – Formação Pioneiras Da - Floresta densa aluvial	789,84	1,62
10	(Sp+Ap) Sp – Savana Parque Ap – Pecuária (Pastagem)	95,2	0,20
11	Sp – Savana Parque	571,72	1,17
12	(Pa+Sp) Pa – Formação Pioneiras Sp – Savana Parque	128,6	0,26
13	Ds – Floresta Ombrófila Densa Submontana	57,24	0,12
14	Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas	3.948,88	8,11
15	(Db+Ab) Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas Ab - Floresta Ombrófila aberta das Terras Baixas	15.298,28	31,44
16	(Ds+As+Vs) Ds – Floresta Ombrófila Densa Submontana As – Floresta Ombrófila Aberta Submontana Vs – Vegetação secundária	45,24	0,09
17	(Ap+Vs+Db) Ap – Pecuária (Pastagem) Vs – Vegetação secundária Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas	3.015,44	6,20
18	(Sp+Sd) Sp – Savana Parque Sd – Savana florestada	26,72	0,05
19	(Ds+As) Ds – Floresta Ombrófila Densa Submontana As – Floresta Ombrófila Aberta Submontana	25	0,05
20	(Vs+Db) Vs – Vegetação secundária Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas	9,76	0,02
21	Vs – Vegetação secundária	69,16	0,14
22	(Pa+Vs+Da) Pa – Formação Pioneiras Vs – Vegetação secundária Da - Floresta densa aluvial	27,36	0,06
23	Iu – área de influência urbana	89,08	0,18
24	(Ds+Vs) Ds – Floresta Ombrófila Densa Submontana Vs – Vegetação secundária	2,8	0,01

continua

25	(Sp+Pa) Sp – Savana Parque Pa – Formação Pioneiras	26,4	0,05
26	(Vs+Ap) Vs – Vegetação secundária Ap – Pecuária (Pastagem)	175,88	0,36
27	Ac - Agricultura	21,84	0,04
28	(Vs+Db+Ap) Vs – Vegetação secundária Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas Ap – Pecuária (Pastagem)	8,28	0,02
29	Da - Floresta densa aluvial	180,4	0,37
30	(Vs+Da+Ap) Vs – Vegetação secundária Da - Floresta densa aluvial Ap – Pecuária (Pastagem)	154,72	0,32
31	(Db+Ds) Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas Ds – Floresta Ombrófila Densa Submontana	260,36	0,54
32	(Da+Pa) Da - Floresta densa aluvial Pa – Formação Pioneiras	2,88	0,01
		48.664,36	100,00

Fonte: IBGE (2003).

A seguir, são apresentadas as características das classes de uso e ocupação do solo na região de Santarém, analisadas individualmente, sem agrupamento:

Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas (Ab): Formação compreendida entre 4º de latitude Norte e 16º de latitude Sul, em terrenos com altitudes que variam de 5 m até 100 m (IBGE, 1992). Com ocorrência mais restrita, distribui-se intercaladamente em meio a Floresta Densa, especialmente nos vales de sedimento terciários. Nesta situação, distingue-se com as fisionomias ou faciações abertas com palmeiras e ou aberta com cipós (IBGE, 2008).

Floresta Ombrófila Aberta Submontana (As): Formação distribuída por toda a Amazônia, com quatro faciações florísticas (palmeiras, cipós, sororoca e bambu), situadas entre 4º de latitude Norte e 16º de latitude Sul, acima dos 100 m de altitude (IBGE, 1992). Esta formação encontra-se na faixa de transição entre a Floresta Densa e a Floresta Estacional, em terrenos geralmente cristalinos. Ocorre alternando-se em mosaicos com a própria floresta Densa, com fisionomias abertas. Em partes desta área, o desmatamento tem provocado um recrudescimento no aparecimento de palmeiras, especialmente de babaçu (*attalea speciosa*) e também inajá (*attalea maripa*), com tendência a formar grandes “cocais” (IBGE, 2008).

Floresta Densa Aluvial (Da): Formação ribeirinha ou “floresta ciliar” que ocorre ao longo dos cursos da água e ilhas (principalmente em rios de águas escuras), ocupando as planícies inundadas, periodicamente inundáveis e os terraços antigos quaternários. Suas principais características ficam por conta dos fanerófitos de alto porte, alguns ultrapassando os 50 m na Amazônia e raramente os 30 m nas outras partes do Brasil (IBGE, 1992). Na floresta aluvial das áreas periodicamente inundáveis (“mata de várzea”) predominam as espécies de rápido crescimento, casca lisa e com frequência seus troncos se apresentam com anomalias como reforços de raízes sereias ou conhecida regionalmente como “mata de igapó”, difere da anterior tanto pelo nível de encharcamento do solo, como pela seleção de tubulares (sapopemas) cercando a sua base. Já a floresta aluvial das áreas permanentemente inundadas apresenta um número menor de espécies adaptadas (IBGE, 2008).

Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (Db): A formação das terras baixas ocupa a faixa e os vales de sedimentos terciários, fora das “várzeas”, em terrenos com altitudes que não ultrapassam a 100 metros. São as “terras baixas” que a floresta ombrófila densa se caracteriza pela exuberância da sua cobertura vegetal, com predomínio de árvores de grande porte e emergente (IBGE, 2008).

Floresta Ombrófila Densa Submontana (Ds): Encontra-se situada sobre cotas altimétricas entre 100 e 600 metros, geralmente em terrenos mais antigos ou cristalinos. Suas árvores raramente ultrapassam os 30m de altura, formando uma cobertura vegetal mais ou menos uniforme (IBGE, 2008).

Área Indiscriminada (Ai): São aquelas em que não se pode definir o tipo de antropismo existente, devido principalmente às condições de acesso (IBGE, no prelo).

Agricultura (Ac): Culturas alimentares de subsistência (arroz, feijão, mandioca e milho, hortaliças), culturas comerciais (coco-da-baía, açaí, cupuaçu, pupunha, pimenta-do-reino, mamão, banana) (IBGE, 2006).

Pecuária (Pastagem) (Ap): Pecuária bovina extensiva para corte; culturas alimentares de subsistência (arroz, feijão, mandioca e milho); Vegetação secundária (sem palmeira) (IBGE, 2006).

Área de Influência Urbana (Iu): Áreas habitadas por moradores da zona urbana ou rural (IBGE, 2006).

Massa D’água: Corpos de água superficial, água interiores (IBGE, 2006).

Formações Pioneiras (Pa): Originam-se pela ocupação de formações edáficas resultantes da deposição de material aluvionar transportados pelo leito dos rios. À medida que a deposição de sedimento ocorre, espécies vegetais se instalam culminando em formações pioneiras arbóreas, formações pioneiras arbustivas e formações pioneiras lenhoso-graminóides. Estes tipos de vegetação são encontrados nas regiões de várzea que se localizam as margens do rio Amazonas (IBGE, 1992a).

Savana Florestada (Sd): Também conhecida como Cerradão, constitui-se de comunidades mais ou menos densas de indivíduos arbóreos, com alturas que variam de 10 a 15 m. Destacam-se algumas espécies da Floresta Densa que apresentam maior amplitude ecológica, resistindo e se adaptando ao meio que lhe é pouco favorável. Dentre estas, tamanqueira (*Fagara rhoifolia*) e a cariperana (*Licania membranaceae*) (IBGE, 2008).

Contato Savana/Floresta Ombrófila (SO): Correspondem a um estrato arbóreo esclerófilo de altura média entre 5 e 10 metros, intercaladas com elementos arbustivos, algumas bromeliáceas e palmeiras anãs. Entre suas espécies estão a *Cratella americana*, *Piptadenia peregrina*, *Roupala spp etc* (IBGE, 1992).

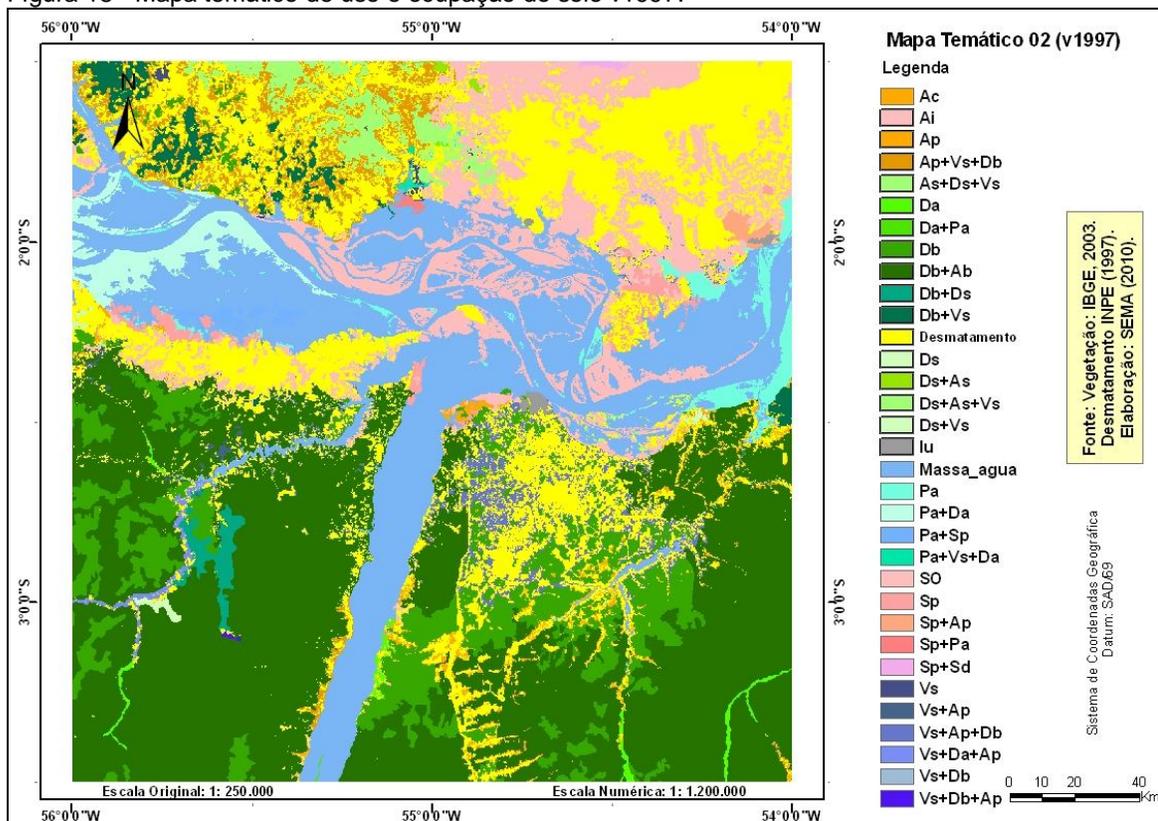
Savana Parque (Sp): Savanas Parque são características das planícies aluviais da Amazônia, cuja característica marcante é a ausência de estratos arbóreos. As extensões campestres dessa vegetação são dominadas por *Paspalum sp*, *Aristida sp*, *Andropogum sp etc* (IBGE, 1992). Esta vegetação é encontrada na porção setentrional da área, próximo às desembocaduras dos rios Tapajós, Tiriós, Alter do Chão, Alenquer e Monte Alegre (IBGE, 2008).

Vegetação secundária (Vs): Vegetação localizada em áreas que sofreram o desmatamento, também conhecida como capoeira (EMBRAPA, 2008).

5.2.2 Mapa temático 02 (v1997)

Este mapa temático representa o uso e a cobertura do solo na região de Santarém com 32 classes, com resolução espacial de 200 m por 200 m e escala de 1:200.000, mais o desmatamento acumulado até 1997, que representava 19,44% de toda a área de estudo (figura 18). Uma comparação das áreas percentuais entre este mapa temático, o mapa temático anterior (vibge) e o próximo (v2009) será feito abaixo.

Figura 18 - Mapa temático de uso e ocupação do solo v1997.

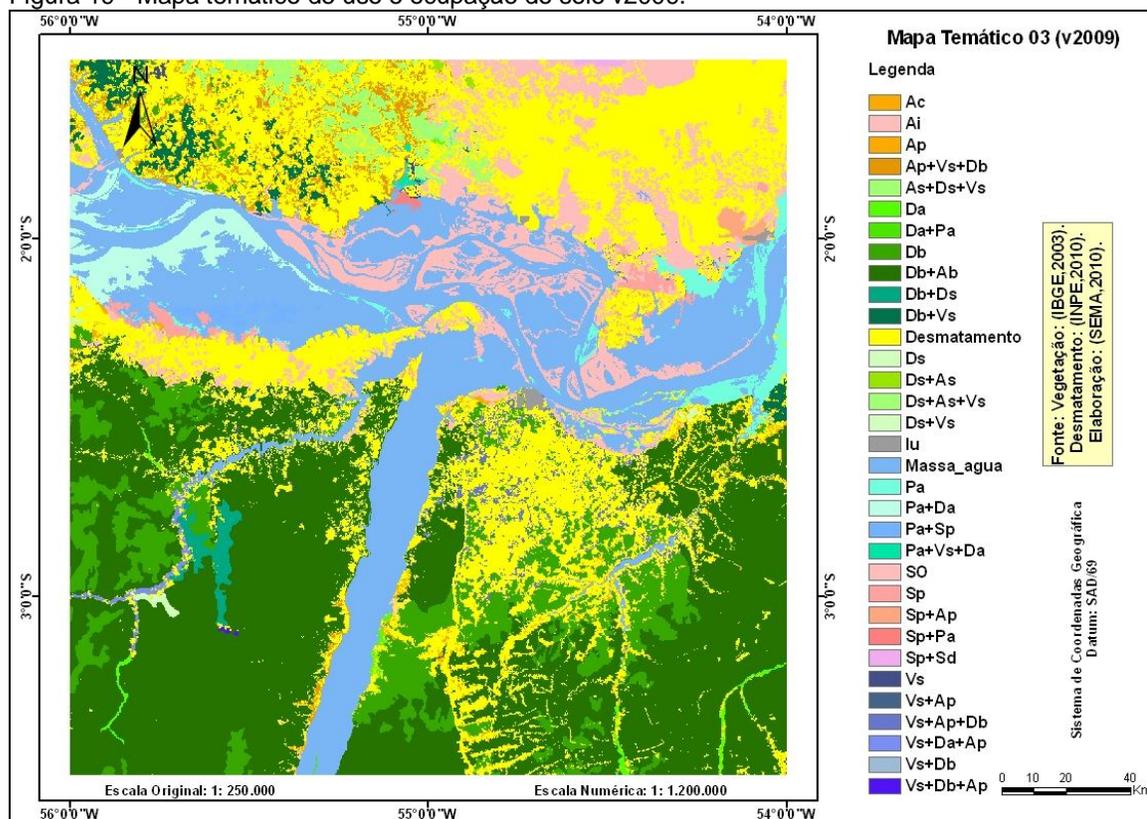


Fonte: (SEMA, 2010).

5.2.3 Mapa temático 03 (v2009)

Este mapa temático (figura 19) representa o uso e a cobertura do solo na região de Santarém com 33 classes, com resolução espacial de 200 m por 200 m e escala de 1:200.000, mais o desmatamento acumulado até o ano de 2009, que representava 25,54% de toda a área de estudo. Nota-se que no período de 1997 a 2009 ocorreu um aumento de 6,10% na área desmatada.

Figura 19 - Mapa temático de uso e ocupação do solo v2009.



Fonte: (SEMA, 2010).

Para fins comparativos, a tabela 10 representa de forma mais detalhada a evolução do desmatamento ao longo dos diferentes mapas temáticos, individualmente e por cada classe. Observa-se uma redução na maioria das classes ao longo dos anos, substituída pela classe desmatamento. Por exemplo, a classe SO que no mapa *vibge* apresentava 14,97% é reduzida para 8,95% até 1997, chegando a um valor de 7,66% até o final de 2009. A classe de número 15 (Db+Ab), com maior ocorrência, teve pouca alteração.

As classes 1, 2, 3, 8 17 e 24 foram as que tiveram as maiores alterações, apresentando a classe 24 com 100% de alteração. As classes 25 e 32 não sofreram alterações ao longo dos anos, já a classe 23 foi mantida inalterada, pois foi excluído o desmatamento sobre as cidades.

Tabela 10 – Evolução percentual das áreas das classe de uso e ocupação do solo na região de Santarém.

Nº da classe	Classes	Mapas temáticos		
		vibge (%)	v1997 (%)	v2009 (%)
1	SO	14,97	8,95	7,66
2	Ap	2,58	1,09	0,60
3	Ai	3,11	0,58	0,30
4	As+Ds+Vs	1,65	1,53	1,29
5	Massa_agua	18,51	18,29	18,22
6	Db+Vs	1,36	1,29	1,12
7	Pa	1,35	1,29	1,27
8	Vs+Ap+Db	5,04	1,76	1,06
9	Pa+Da	1,62	1,55	1,55
10	Sp+Ap	0,20	0,17	0,17
11	Sp	1,17	0,77	0,63
12	Pa+Sp	0,26	0,26	0,26
13	Ds	0,12	0,11	0,11
14	Db	8,11	7,82	7,32
15	Db+Ab	31,44	30,69	29,55
16	Ds+As+Vs	0,09	0,09	0,08
17	Ap+Vs+Db	6,20	2,50	1,69
18	Sp+Sd	0,05	0,05	0,05
19	Ds+As	0,05	0,05	0,04
20	Vs+Db	0,02	0,01	0,01
21	Vs	0,14	0,09	0,07
22	Pa+Vs+Da	0,06	0,05	0,05
23	Iu	0,18	0,18	0,18
24	Ds+Vs	0,01	0,00	0,00
25	Sp+Pa	0,05	0,05	0,05
26	Vs+Ap	0,36	0,19	0,09
27	Ac	0,04	0,02	0,02
28	Vs+Db+Ap	0,02	0,01	0,01
29	Da	0,37	0,32	0,27
30	Vs+Da+Ap	0,32	0,24	0,22
31	Db+Ds	0,54	0,52	0,51
32	Da+Pa	0,01	0,01	0,01
33	Desmatamento		19,44	25,54

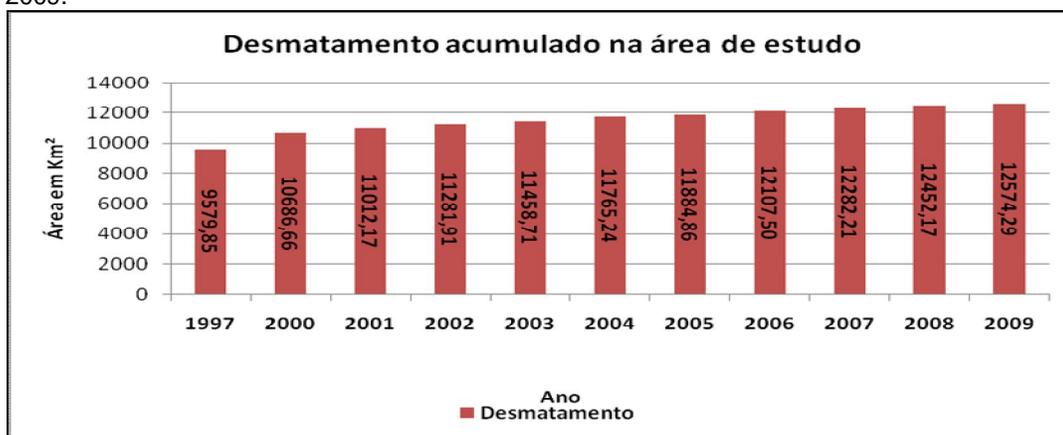
Fonte: Adaptado de (INPE, 2010).

5.3 ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO NA REGIÃO DE SANTARÉM

A figura 20 mostra o desmatamento acumulado na área de estudo, em Km², no período de 1997 a 2009 na região de Santarém. A área total apresentou um valor de 48.664,36Km². Nota-se que até o ano de 1997 o desmatamento acumulou uma área de 9.579,85 Km² correspondendo a 19,44% da área de estudo, enquanto que até o ano 2000 passa a acumular uma área de 10.686,66 Km², representando 21,71% e até 2009 acumulou uma área de 12.574,29 Km², ou seja, 25,54% de toda a área foram desmatadas (INPE, 2010).

O período de 1997 a 2000 representou uma evolução de 2,27% do desmatamento na área de estudo, representado pelos anos de 1997, 1998, 1999 e 2000. Os anos de 1998 e 1999 não se encontram registrados nos banco de dados do PRODES, pois ainda se encontram em análise pelo INPE.

Figura 20 - Evolução do desmatamento acumulado na área de estudo no período de 1997 a 2009.



Fonte: Adaptado de (INPE, 2010).

A figura 21 mostra o incremento do desmatamento em Km² por ano, no período de 1997 a 2009 na região de Santarém. Nota-se que o maior incremento foi de 1.106,80 Km² no período de 1997 a 2000 seguido do período de 2000 a 2001 com 325,51Km² e do período 2003 a 2004 com 306,53 Km². O menor incremento foi de 122,12 Km², registrado no período de 2008 a 2009 (INPE, 2010).

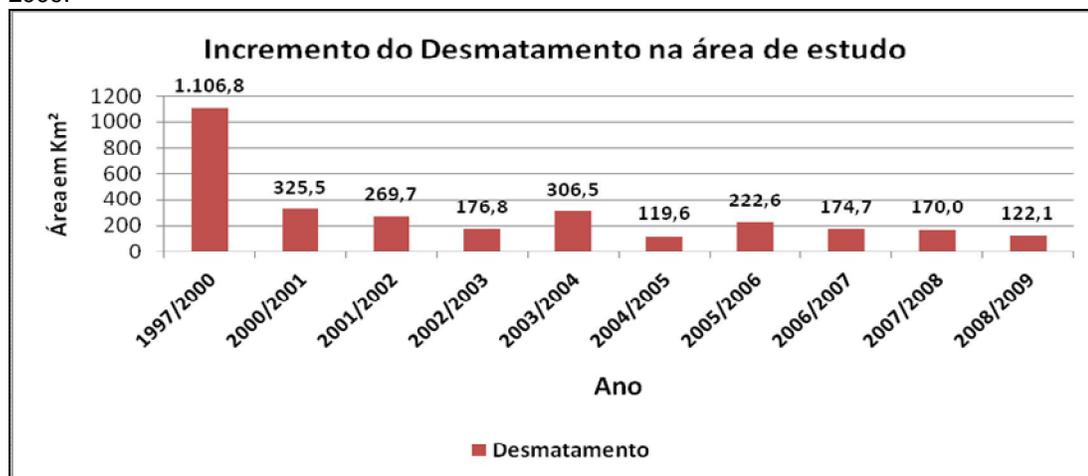
Os incrementos dos anos de 2000 a 2004 coincidem com o início da produção de soja na região, que culminou na ocupação de grandes áreas para o plantio de soja e posteriormente para a agropecuária (MARGULIS, 2003).

Nesse período foi observado um rápido crescimento da produção baseado no plantio mecanizado de grãos (arroz, milho e soja) que começou a mudar a paisagem em parte da bacia do Tapajós. O avanço da agricultura mecanizada é visto como uma das variáveis para o aumento do desflorestamento na região amazônica (VENTURIERI et al., 2007).

Observa-se uma redução do desmatamento na área de estudo nos últimos três anos (2007, 2008 e 2009) (PRODES, 2010). Isto se dá devido a maior presença de políticas públicas na região visando o ordenamento territorial e fundiário, tais como a criação de unidades de conservação, terras indígenas e diferentes modalidades de assentamentos da reforma agrária (COELHO, 2009).

Nos municípios de Santarém e Belterra, por exemplo, nos anos de 2005 e 2006, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), em áreas gerenciadas pela Superintendência Regional de Santarém (SR-30), criou vários projetos de assentamentos com a argumentação de tentar barrar o processo de desmatamento e concentração fundiária (COELHO, 2009).

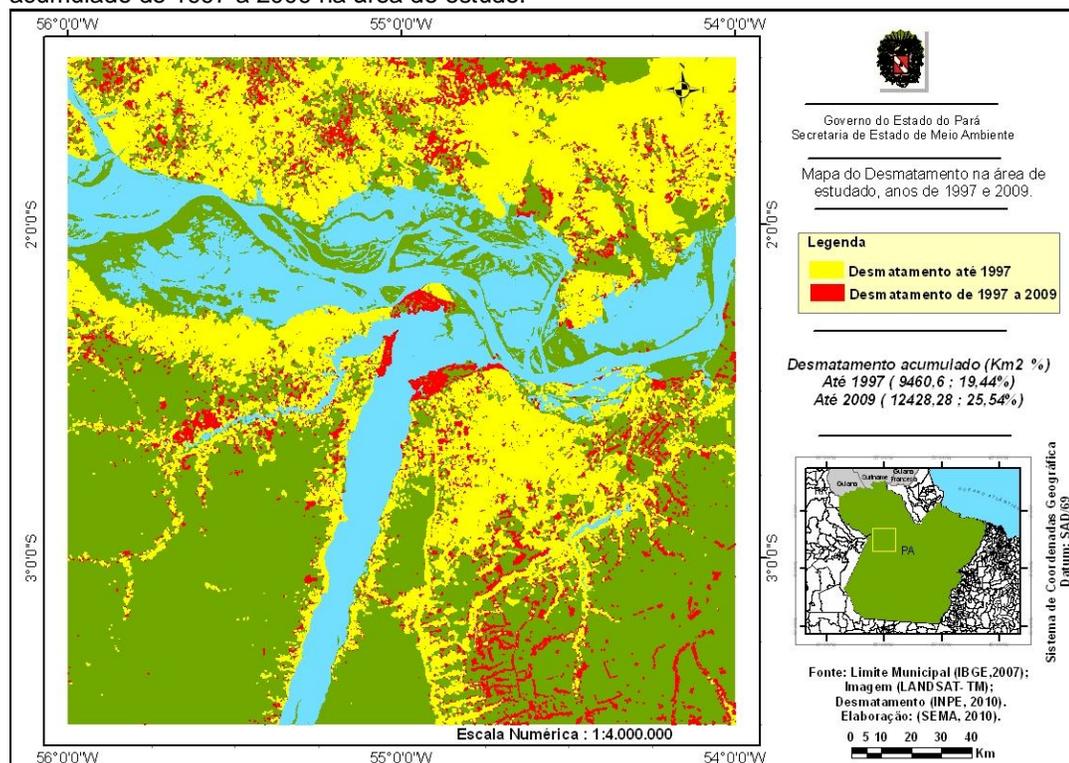
Figura 21 – Evolução do incremento do desmatamento na área de estudo no período de 1997 a 2009.



Fonte: Adaptado de (INPE, 2010).

A figura 22 representa espacialmente o desmatamento acumulado até o ano 1997 e o incremento no desmatamento de 1997 até 2009.

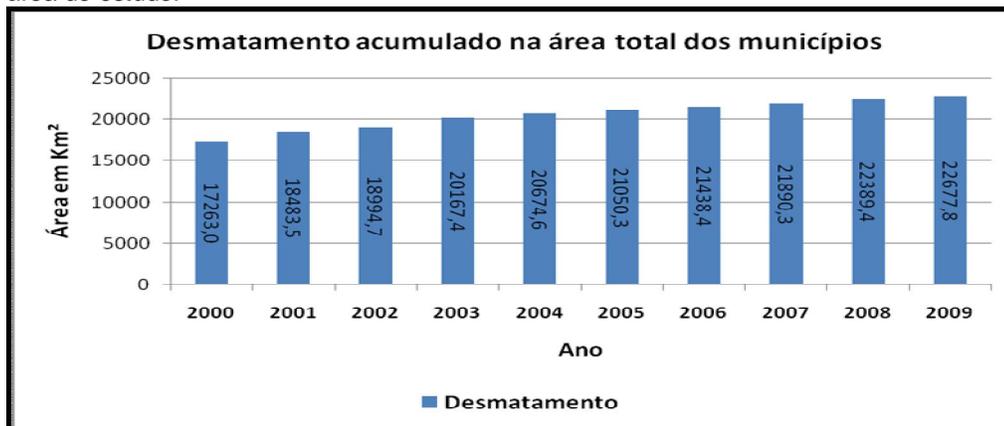
Figura 22 – Representação espacial do desmatamento acumulado até o ano de 1997 e acumulado de 1997 a 2009 na área de estudo.



Fonte: (SEMA, 2010).

A figura 23 representa o desmatamento por município envolvente na área de estudo, em Km², por ano no período de 2000 a 2009 na região de Santarém. A área total dos 12 municípios é de 264.476 Km². Nota-se que até o ano de 2000 o desmatamento acumulou uma área de 17.263,0 Km² correspondendo a 6,54% da área total dos municípios, enquanto que até o ano 2009 passa a acumular uma área de 22.677,8 Km², representando 8,57% (INPE, 2010).

Figura 23 – Evolução comparativa do desmatamento entre os municípios envolventes na área de estudo.



Fonte: Adaptado de (INPE, 2010).

A tabela 11 representa o total de desmatamento acumulado até o ano de 2009, em percentual, por município na região de Santarém. Observa-se que os municípios que apresentaram uma maior área desmatada em relação a sua área total na região de Santarém são Uruará, Placas e Curuá, com valores respectivos de 26,97%, 23,22% e 21,99%. Por outro lado, os municípios de Oriximiná, Alenquer e Aveiro registraram os menores valores, respectivamente 1,32%, 5,95% e 6,54% (INPE, 2010).

Os municípios de Uruará e Curuá encontram-se próximo à BR-163 (rodovia Cuiabá-Santarém) e aos assentamentos criados pelo INCRA, o que supostamente vem justificar o crescente desmatamento nesses dois municípios. Por outro lado, o município de Placas encontra-se próximo aos municípios de Santarém e Belterra, dois municípios que sofreram grandes influências da mecanização agrícola no início dos anos 90.

Tabela 11 - Área total e desmatada por município, em Km² e em percentual, até o ano de 2009.

Municípios	Área total (Km ²)	2009 (Km ²)	%
Alenquer (PA)	22275	1325,2	5,95
Aveiro (PA)	17094	1117,7	6,54
Belterra (PA)	4404	797,2	18,10
Curuá (PA)	1430	314,5	21,99
Juruti (PA)	8307	1143,4	13,76
Monte Alegre (PA)	21701	4744,1	21,86
Óbidos (PA)	28043	1765,4	6,30
Oriximiná (PA)	107778	1428,0	1,32
Placas (PA)	7174	1665,7	23,22

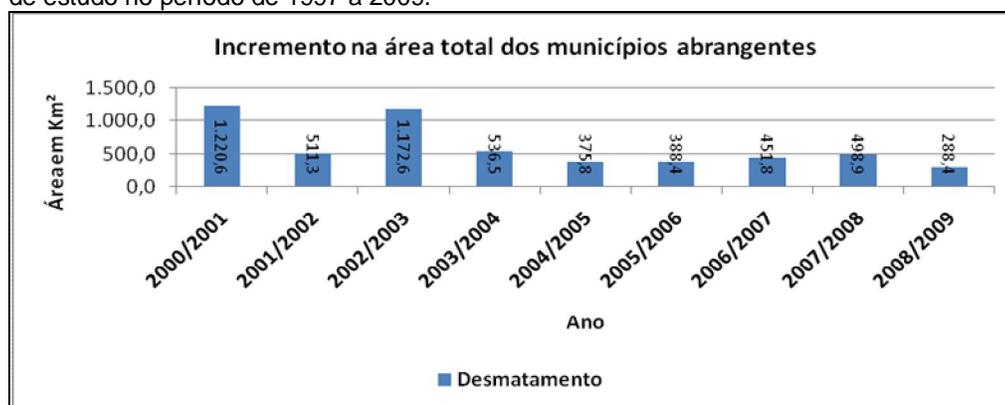
(Continua)

Prainha (PA)	12600	930,0	7,38
Santarém (PA)	22876	4535,5	19,83
Uruará (PA)	10794	2911,1	26,97

Fonte: (INPE, 2010).

A figura 24 representa o incremento do desmatamento nos 12 municípios envoltantes, em Km², por ano no período de 2000 a 2009. Observa-se que os maiores incrementos ocorreram nos períodos de 2000 a 2001 e de 2002 a 2003, com valores de 1.220,6 Km² e 1.172,6 Km², respectivamente (INPE, 2010). Esses valores também coincidem com o crescimento da mecanização agrícola na região, incentivada pela produção de grãos.

Figura 24 – Evolução do incremento do desmatamento nos municípios envoltantes na área de estudo no período de 1997 a 2009.

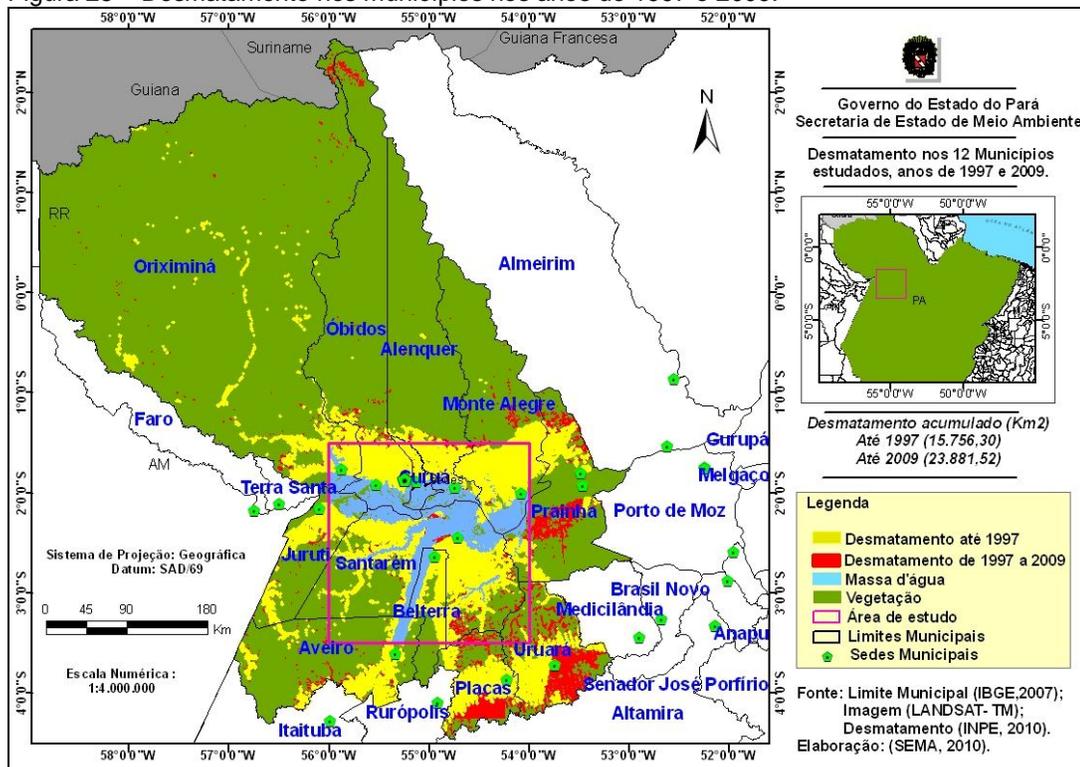


Fonte: Adaptado de (INPE, 2010).

A figura 25 representa o desmatamento acumulado em km² por ano nos municípios da região de Santarém, até o ano de 1997 e acumulado de 1997 até 2009. Observa-se que os municípios que concentram o maior desmatamento na área de estudo estão mais ao sul, próximo a Rodovia BR-163, que é responsável por atrair grandes desmatamentos na região, juntamente com os assentamentos que também estão localizados mais ao sul (CASTRO, 2008). Conforme ressalta Venturieri et al. (2007), na Amazônia o desenvolvimento da agropecuária e da produção de grãos tem sido acompanhado pelo aumento do desmatamento e da grilagem de terras e que nessa região ocorre, em especial, na direção Norte dos municípios de Uruará e Curuá e na direção Sudoeste de Prainha, em áreas de

reserva florestal interconectadas ao polo graneleiro de Santarém, por estradas clandestinas, abertas, na sua maioria, por madeireiros.

Figura 25 – Desmatamento nos municípios nos anos de 1997 e 2009.



Fonte: (SEMA, 2010).

A tabela 12 faz uma comparação entre os incrementos do desmatamento na Amazônia, no Estado do Pará e nos municípios da região de Santarém. Nota-se que os maiores incrementos na Amazônia legal ocorreram nos anos de 2001 a 2004, tendo o período de 2003 a 2004 em que foi registrado o segundo maior incremento de desmatamento na Amazônia com 27.772 Km², perdendo apenas para o ano de 1995 que teve um incremento total de 29.059 Km²/ano. O território desmatado acumulou de 1988 até 2009 um total de 378.782,88 Km² (INPE, 2010).

Destacam-se os anos de 1995 e 2004 como as maiores taxas de desmatamentos, com valores acima de 2.500 Km²/ano, fato que foi favorecido pelos resultados do Plano Real no ano de 1995 e uma queda em 2005, devido às taxas de câmbio desfavoráveis para exportações e a uma maior presença de políticas públicas na região (FEARNSIDE, 2006).

Considerando o período analisado, observa-se uma redução no desmatamento no ano de 2009, registrando a menor taxa dos últimos 20 anos. Os maiores incrementos do Estado do Pará acompanham a mesma projeção do desmatamento da Amazônia legal. Haja vista que o Estado do Pará apresenta-se, juntamente com o Estado do Mato Grosso, como os dois principais destruidores da floresta amazônica ao longo dos anos.

Tabela 9 – Evolução comparativa do desmatamento entre Amazônia legal, o Estado do Pará e os Municípios da região de Santarém.

Anos	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Região de Santarém	0	1.223,7	511,3	1.855,7	590,9	415,8	397,2	595,1	526,4	343,4
Pará	6.671	5.237	7.510	7.145	8.870	5.899	5.659	5.526	5.607	4.281
Amazônia Legal	18.226	18.165	21.651	25.396	27.772	19.014	14.286	11.651	12.911	7.464

Fonte: Adaptado de (INPE, 2010).

5.4 IMPACTOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS DA ATMOSFÉRICA NA REGIÃO DE SANTARÉM

Neste item são apresentados os resultados das simulações numéricas da atmosfera com o modelo BRAMS, com o uso dos três mapas temáticos de uso e ocupação do solo descritos no item 5.2.

O modelo BRAMS utiliza um conjunto de classes de vegetação em seu submodelo de interação solo-planta-atmosfera que é diferente daquele adotado pelo IBGE. Conforme comentado no item 4.4 da Metodologia, as classes de uso e ocupação do solo do IBGE foram reclassificadas para as classes do OLSON GLOBAL ECOSYSTEM (OGE) e destas para as classes de vegetação do submodelo LEAF adotado no BRAMS. A tabela relacionando as classes IBGE, OGE e LEAF, é apresentada no Apêndice deste trabalho. Nessa tabela é também adotada uma classificação mais simplificada, que será utilizada na discussão abaixo.

A tabela 13 mostra um resumo da reclassificação das classes de entrada dos mapas temáticos (classes do IBGE) nas respectivas classes simplificadas, resultando em apenas nove classes simplificadas, representadas por um número correspondente a classe de vegetação do LEAF e uma cor definida conforme os critérios adotados na publicação IBGE (2006). As classes de saída do modelo Floresta tropical (13 classes), Savana (6 classes), Agricultura (5 classes) e Formação Pioneira (4) apresentaram um maior número de classes do IBGE agrupadas.

Tabela 10 – Classes de Entrada e saída do Modelo Brams.

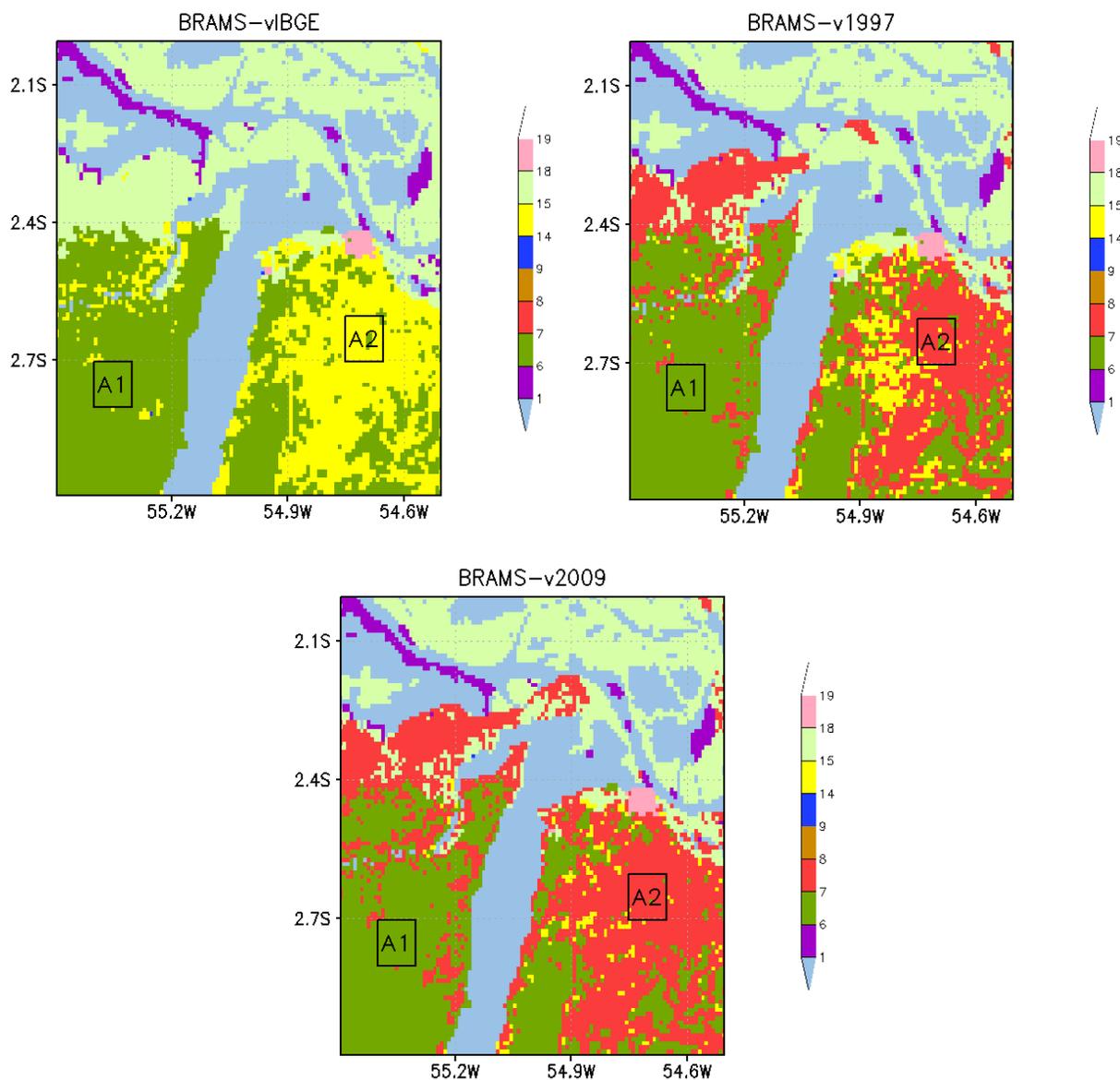
Classes de entrada dos mapas s	Nº	Cores	Classe simplificada
Massa_agua	1		Água
Pa, Pa+Da, Pa+Vs+Da, Da+Pa	6		Formação Pioneira
As+Ds+Vs, Db+Vs, Ds, Db, Db+Ab, s+As+Vs, Ds+As, Vs+Db, Ds+Vs, Vs+Db+Ap, Da, Vs+Da+Ap, Db+Ds,	7		Floresta Tropical
Desmatamento	8		Desmatamento
Vs	9		Vegetação secundária
Ai	14		Floresta Alterada
Ap, Vs+Ap+Db, Ap+Vs+Db, Vs+Ap, Ac	15		Agricultura
So, Sp+Ap, Sp, Pa+Sp, Sp+Sd, Sp+Pa	18		Savana
Iu	19		Cidades

Cada classe de vegetação do modelo é representada internamente no submodelo LEAF por um conjunto de parâmetros biofísicos, que vai determinar as trocas de energia, massa e momento entre a superfície e a atmosfera do modelo. Exemplos de parâmetros biofísicos são: albedo, emissividade, fração da cobertura de vegetação, altura do dossel, profundidade das raízes, resistência estomática mínima, índice de área foliar da vegetação, fração da cobertura da vegetação verde e comprimento de rugosidade (WALKO et al., 2000).

A seguir, serão comparadas as variações temporais de algumas variáveis meteorológicas do modelo, das simulações com os três mapas temáticos: vibge, v1997 e v2009 (Figura 26). Serão mostradas as variações nos dois dias de simulação (48 horas), com as variáveis na média espacial em três áreas: na área total do domínio simulado e nas áreas A1 e A2 da figura 26. A área chamada A1 representa uma região com menor desmatamento e a A2 representa a região mais desmatada

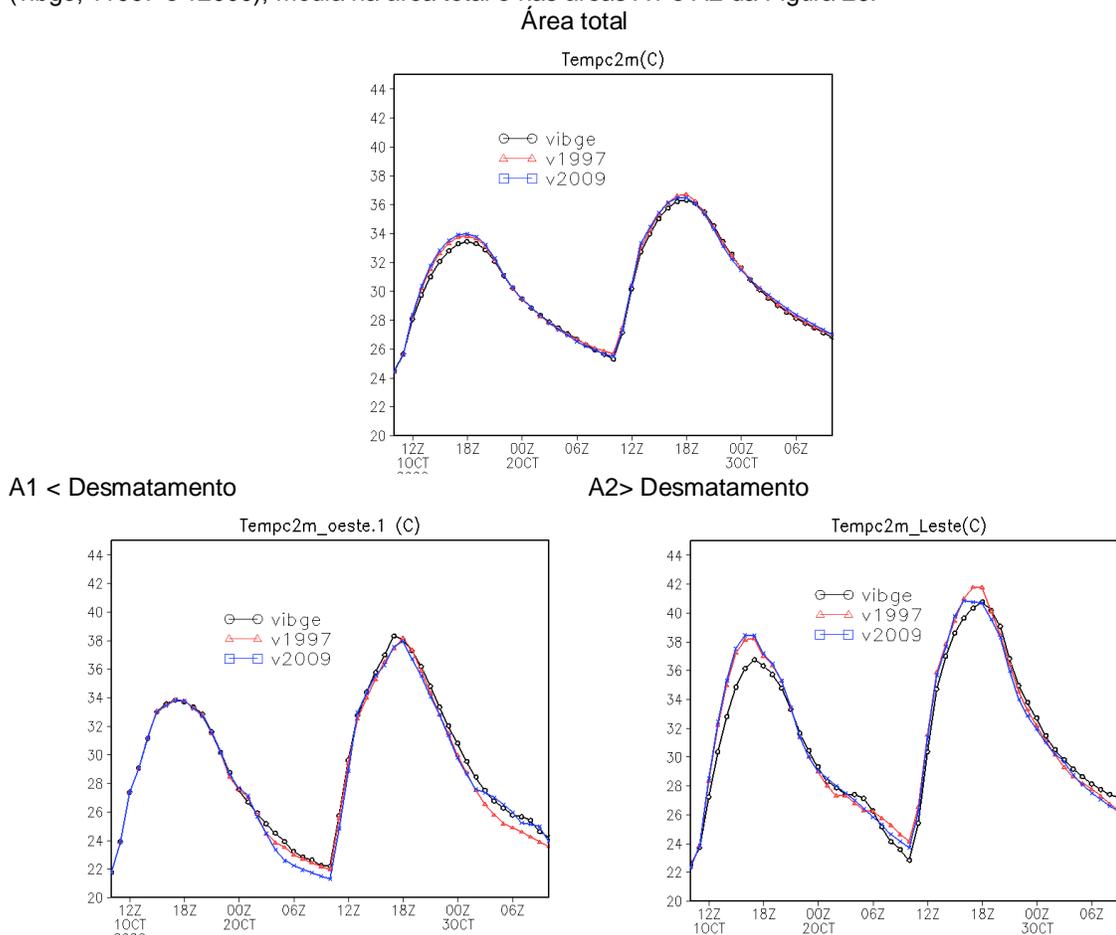
A figura 27 representa a temperatura do ar a 2 metros da superfície, considerada na média na área total e nas duas diferentes áreas (A1, menor desmatamento e A2, maior desmatamento) dos três diferentes mapas temáticos utilizados pelo modelo BRAMS no período de 49 horas de simulação. Considerando-se a média na área total do domínio simulado, nota-se pouca variação da temperatura média a 2 metros da superfície entre os mapas temáticos. No primeiro dia a maior temperatura simulada foi de aproximadamente 34°C, enquanto que no segundo dia a maior temperatura foi de 36°C. Embora as temperaturas sejam muito parecidas para os três mapas temáticos, já se observa um pequeno aumento da temperatura no caso dos mapas temáticos com desmatamento (v1997 e v2009) em relação ao mapa temático sem desmatamento (vibge), principalmente no primeiro dia de simulação.

Figura 26 - Mapas temáticos de uso e ocupação do solo já com a classificação do submodelo LEAF. A legenda com as cores e a numeração associada está na tabela 12. As áreas A1 e A2 representam, respectivamente, área com menor e maior modificação devido ao desmatamento.



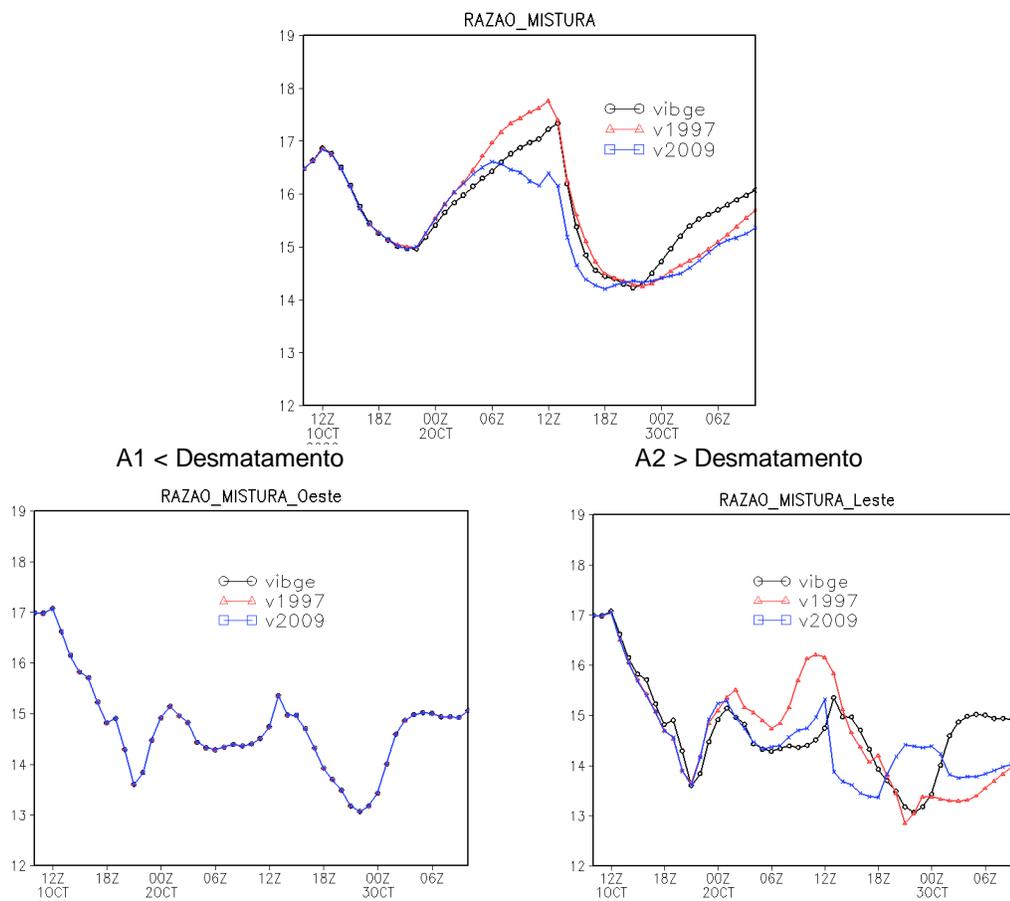
As diferenças ficam mais evidentes quando se analisa as áreas mais localizadas (A1 e A2). Na área A1, com menor desmatamento, observam-se poucas variações entre os diferentes mapas temáticos, enquanto que na área A2 as temperaturas máximas do primeiro dia tiveram um aumento de 1 a 2°C com a introdução do desmatamento nessa região.

Figura 27 – Temperatura do ar (°C) a 2 metros da superfície, simulada para os três mapas temáticos (vibge, v1997 e v2009), média na área total e nas áreas A1 e A2 da Figura 26.



A figura 28 representa a razão de mistura do vapor d'água considerado na média da área total e das duas diferentes áreas (A1 e A2) para os três diferentes mapas temáticos simulados pelo modelo BRAMS no período de dois dias. No caso destas simulações idealizadas, como a atmosfera parte de um estado inicial sem ventos e, portanto, sem o transporte (advecção) de vapor d'água de outras regiões, as variações de razão de mistura se devem unicamente pela evaporação nas superfícies líquidas (rios) e à evapotranspiração da vegetação do modelo. Na figura 27 observam-se poucas diferenças na razão de mistura de vapor dos três mapas temáticos, para o período diurno do primeiro dia de simulação (das 11Z à 21Z), diferenças que vão se tornar mais evidentes a partir do período noturno e principalmente sobre as áreas que sofreram mais desmatamento (A2).

Figura 28 – Idem à figura 27, porém para a razão de mistura de vapor d'água (g/Kg).
Área total

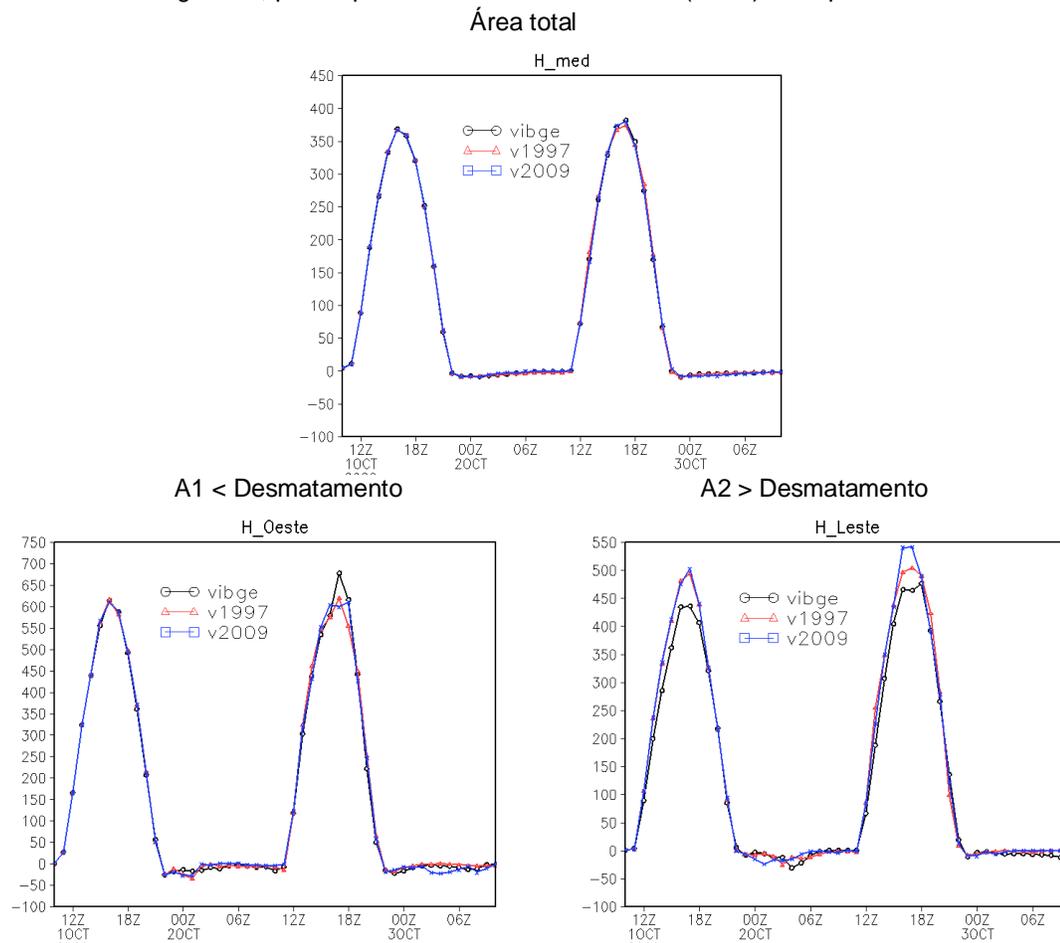


É interessante observar que no mapa temático de desmatamento inicial (v1997) ocorre um aumento do vapor d'água na atmosfera, enquanto seria de se esperar que houvesse uma diminuição em função da menor taxa de evapotranspiração da vegetação do tipo "pastagem" que substituiu vegetações do tipo "floresta" ou "agricultura". Provavelmente esse aumento ocorra, pois, com o desmatamento podem estar ocorrendo circulações (ventos) mais intensas provocadas pela brisa fluvial que se estabelece durante o primeiro dia de simulação, que faz com que mais vapor seja evaporado das superfícies líquidas (rios) da região simulada. Já no caso de um maior desmatamento (v2009) a disponibilidade de vapor d'água diminuiria em função da menor evapotranspiração da vegetação associada ao desmatamento.

A temperatura do ar e a razão de mistura de vapor, próximos à superfície, estão fortemente relacionados com os fluxos de calor sensível e calor latente que

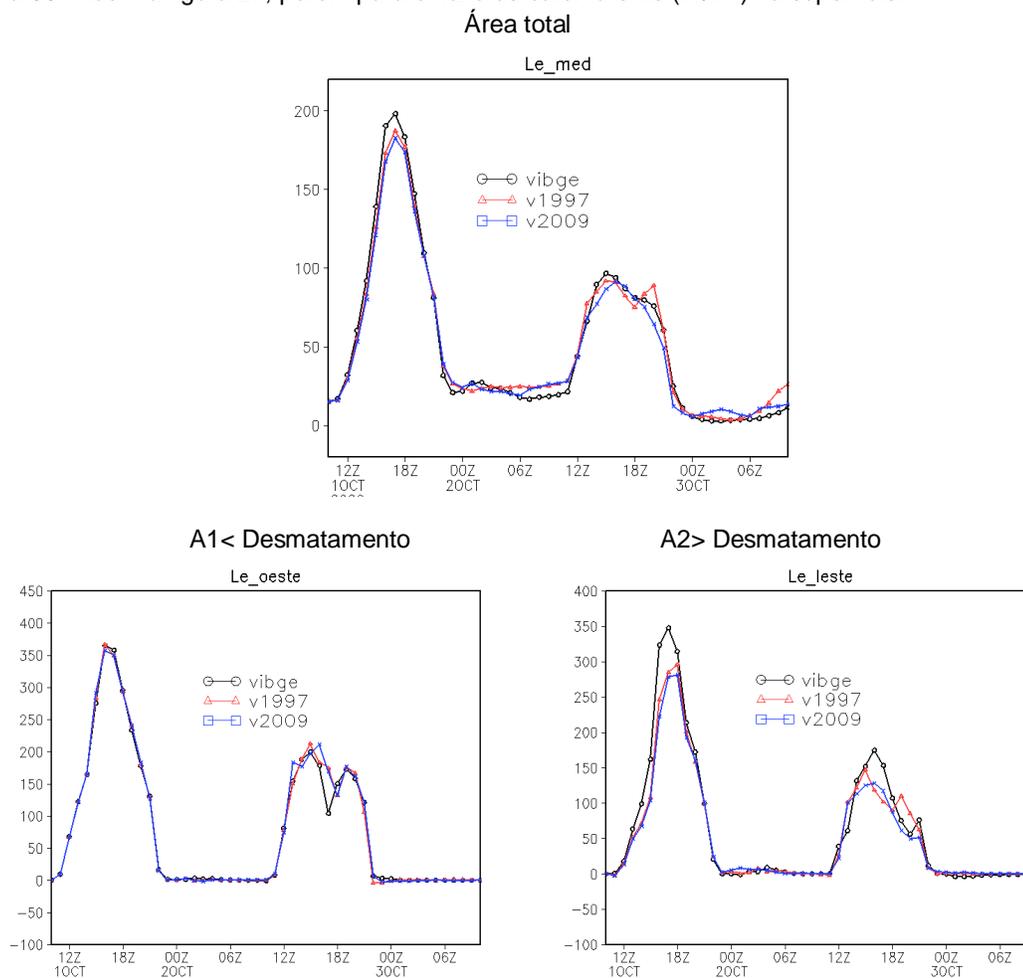
ocorrem na superfície. A figura 29 mostra o fluxo de calor sensível na superfície, considerado na média de toda a área simulada e nas duas diferentes áreas (A1 e A2) nos três diferentes mapas temáticos criados para o modelo BRAMS. Nota-se que as diferenças mais significativas ocorrem principalmente sobre a área que sofreu maiores transformações (A2). O fluxo de calor sensível é maior no caso dos mapas temáticos com desmatamento (*v1997* e *v2009*), com valor da ordem de 10% a mais nos horários de fluxo máximo, em comparação com o caso sem desmatamento (*vibge*). Esse maior fluxo de calor sensível pode explicar as maiores temperaturas, próximo à superfície, simuladas com os mapas temáticos de desmatamento (figura 26).

Figura 29 – Idem à figura 27, porém para o fluxo de calor sensível (W/m^2) na superfície.



A figura 30 mostra o fluxo de calor latente na superfície, considerando a área total e as duas diferentes áreas (A1 e A2) para os três diferentes mapas temáticos simulados pelo modelo BRAMS.

Figura 30 – Idem à figura 27, porém para o fluxo de calor latente (W/m^2) na superfície.



Da mesma forma que para o caso do fluxo de calor sensível, as diferenças mais significativas ocorrem principalmente sobre as regiões que sofreram maiores modificações (região A2). De uma forma geral, sobre as regiões desmatadas o fluxo de calor latente é menor que no caso de regiões com vegetação do tipo floresta ou agricultura. Observar que os menores valores de fluxo de calor latente, em relação ao de fluxo de calor sensível, se deve ao fato de que as simulações foram feitas com uma umidade de solo relativamente baixa (figura 5) para representar condições mais próximas da observada na época seca da região de Santarém.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Esta pesquisa procurou identificar os possíveis efeitos causados pelas modificações no uso e ocupação da superfície sobre as condições atmosféricas na região de Santarém (PA), analisando dados climáticos observados em estações meteorológicas de superfície e através de simulações preliminares com o modelo numérico BRAMS. Foi também analisada a evolução do desmatamento na região, para os períodos de 2000 a 2009, com base nas imagens de desmatamento disponibilizadas pelo Projeto PRODES.

Da análise das informações do PRODES, o período de 2000 a 2003 foi o que contabilizou o maior desmatamento na região de Santarém, devido aos incentivos da agricultura mecanizada. Os Municípios de Uruará, Curuá e Placas foram os que mais desmataram no período de 2000 a 2009, quando se relaciona área desmatada em relação à área total do município. Este fato se deu devido à proximidade da BR-163 e dos Projetos de Desenvolvimento Sustentáveis (PDS), que facilitam o transporte de madeira e a produção da agricultura mecanizada. A região mais a leste da área de estudo sofreu maior modificação da superfície do solo, enquanto que a região mais a oeste sofreu menor desmatamento ao longo dos anos.

A análise dos dados climáticos da região de Santarém apresentou como trimestre mais chuvoso os meses de fevereiro a abril e o menos chuvoso de agosto a outubro. A análise também confirmou que a variabilidade da precipitação e da frequência de dias de precipitação na região de Santarém sofre influência do fenômeno El Niño/Oscilação Sul, mais evidente na sua fase quente (El Niño) do que na sua fase fria (La Niña).

A análise dos dados climáticos da região de Santarém apresentou como trimestre mais chuvoso os meses de fevereiro a abril e o menos chuvoso de agosto a outubro. A análise também confirmou que a variabilidade da precipitação e da frequência de dias de precipitação na região de Santarém sofre influenciado fenômeno El Niño/Oscilação Sul, mais evidente na sua fase quente (El Niño) do que na sua fase fria (La Niña).

O volume anual de precipitação mostra uma tendência de aumento ao longo do período analisado (1961 a 2008), sendo que a média do volume no período de 1984 a 2008 foi cerca de 30% maior em relação ao período de 1961 a 1983.

Embora a frequência anual de dias com precipitação tenha aumentado ao longo desse período, esse aumento é pequeno se comparado com o aumento no volume de precipitação, o que leva a conclusão de que as chuvas vêm se tornando mais intensas ao longo dos anos na região de Santarém.

As temperaturas máximas médias anuais na região de Santarém tem apresentado uma diminuição ao longo do período analisado, enquanto que as temperaturas mínimas médias anuais tem mostrado um aumento.

Em relação aos diferentes mapas temáticos de uso e ocupação do solo, produzidos para serem utilizados pelo modelo BRAMS, a resolução de 200 x 200 metros apresenta de forma mais detalhada a superfície na região de Santarém, abrindo a possibilidade de simulações de mais alta resolução espacial para a região.

Para esta simulação iniciais do modelo BRAMS feitas com esses mapas temáticos mostram que, na média em uma área de 1 por 1 grau de latitude/longitude, variáveis como temperatura do ar e razão de mistura de vapor próxima à superfície, não apresentam grandes variações, em função das diferentes características da superfície. As diferenças ficam mais evidentes quando se compara regiões menores que sofreram ou não uma marcante mudança no uso e ocupação do solo. Por exemplo, regiões onde ocorreu desmatamento, mostram maiores temperaturas máximas diurnas que regiões aonde a floresta vem se mantendo intacta ou com menores taxas de desmatamento. Os resultados mostram que esse aumento na temperatura está relacionado com o maior fluxo de calor sensível na superfície no caso das superfícies desmatadas.

No caso do vapor d'água na atmosfera, essa relação "desmatamento implica maior (ou menor) razão de mistura" não é tão direta e evidente, pois as circulações de brisa fluvial geradas pelo modelo podem transportar mais (ou menos) vapor d'água evaporado dos rios para a região analisada. Por outro lado, no caso destas simulações, feitas com baixa umidade do solo, o fluxo de calor latente de superfícies desmatadas é menor que em superfícies com vegetação, por exemplo, de floresta ou agrícola.

Os resultados das simulações efetuadas neste trabalho foram feitas em uma situação meteorológica bastante idealizada, com o objetivo apenas de testar preliminarmente os arquivos de uso e ocupação de solo que possam ser gerados em alta resolução.

Algumas sugestões de trabalhos futuros podem ser dadas para a ampliação deste trabalho. Por exemplo:

- possível influência das características do uso e ocupação do solo em simulações com condições meteorológicas reais, onde tenha sido constatada a presença de sistemas meteorológicos diversos (convecção isolada, linhas de instabilidade, etc.) ou em diferentes épocas do ano (estação chuvosa ou seca);

- estudo da importância relativa entre a condição sinótica de grande escala e os efeitos locais do tipo de superfície, topografia e rios, no estabelecimento da circulação atmosférica e distribuição de chuvas na região de Santarém.

REFERÊNCIAS

ANDREAE, M.O. et al. Smoking rain clouds over the Amazon. **Science**, v. 303, p.1342-1345. 2004.

ALVES, D. S. O processo de desmatamento na Amazônia. **Parcerias Estratégicas**. n. 12, Set., 2001. Disponível em: <http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/176/10>. Acesso em: 12 out. 2010.

BATISTA, S. V. **Mapa de localização da área de estudo**. Belém: SEMA, 2010.

BARRETO, P.; PEREIRA, R.; ARIMA, E. **A pecuária e o desmatamento na Amazônia na era de mudanças climáticas**. Belém: Imazon, 2008. 40p.

BRANDÃO JÚNIOR, A. et al. Desmatamento e estradas não-oficiais da Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 2357-2364.

BRUNO, R. D.; ROCHA, H. R.; FREITAS, H. C.; GOULDEN, M. L.; MILLER, S. D. Soil moisture dynamics in an eastern Amazonian tropical forest. **Hydrol. Process.** 20, 2477–2489. 2006.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. São Paulo: Saraiva, 2002. 520 p.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D.M.; SOARES, J.V. **Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos, INPE, set., 2006. Disponível em: <www.obt.inpe.br/prodes/metodologia.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2011.

CANDIDO, L. A. et al. O clima atual e futuro da Amazônia nos cenários do IPCC: a questão da savanização, **Cienc. Cult. [online]**, v. 59, n. 3, p. 44-47. 2007.

CARVALHO, Geórgia. et. al. **Perguntas e respostas sobre Aquecimento Global**. Belém : IPAM, 2002.

CARVALHO, R. A. Amazônia rumo ao “ciclo da soja”. **Amazônia Papers**, São Paulo, n. 2, p. 8, set. 1999. Disponível em: <<http://www.amazonia.org.br>>. Acesso em: 10 ago. 2010.

CASTRO, W. M. **Análise espacial das mudanças na cobertura e uso da terra em Santarém e Belterra, Pará, Brasil**. 2008. 117f. Dissertação (mestrado em ciências ambientais) – Universidade Federal do Pará, UFPA, Belém, 2008.

COHEN, J. C. P. et al. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Cienc. Cult. [online]**, v. 59, n. 3, p. 36-39. 2007. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v59n3/a15v59n3.pdf>>. Acesso em: 12 Ago. 2010.

COHEN, J. C. P.; M. A. F. Silva Dias; C. A. Nobre, Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. **Monthly Weather Review**, 123, 11, p. 3163-3174. 1995.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. de. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade da Amazônia. *Climáanalise*. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v.4, n.11, p. 34-40. 1989.

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 a 2004**, 2005. 23f. Monografia (especialização) - Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais, Minas Gerais, 2005.

CORREIA, F. W. S.; ALVALÁ, R. C. S.; MANZI, A. O. Modeling the impacts of land cover change in Amazonian: a regional climate model (RCM) simulation study. **Theoretical and Applied Climatology**, v.93, n.3-4, p. 225-244. 2007.

CORREIA, F. W. S. et. al. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal, **Cienc. Cult. [online]**, v. 59, n. 3, p. 39-43. 2007.

COSTA, W. M. DA. **O Estado e as políticas territoriais no Brasil**. 7. ed. São Paulo: Contexto. 1997. 83 p.

COTTON, W.R, et al. RAMS 2001: Current Status and future directions. **Meteorol Atmos Phys**, n.82, p.5–29. 2003.

CUTRIM, E. M. C.; MOLION, L. C. B.; NECHET, D. **Chuvas na Amazônia durante o século XX**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. [Anais...] Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/12-e969ba4193fd5703d2c9a23ca0e66097.pdf>>. Acesso em 12 Jan. 2010.

D'ALMEIDA, C. The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: a review on scale and resolution. **International Journal of Climatology**. n. 27, p. 633-647. 2007.

D'ALMEIDA, C.; VÖRÖSMARTY, C. J.; MARENGO, J. A.; HURTT, G. C.; DINGMAN, S. L.; KEIM, B. D. A water balance model to study the hydrological response to different scenarios of deforestation in Amazonia. **Journal of Hydrology** n. 331, p. 125-136. 2006.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amaz. [online]**, v.36, n.3, p. 395-400. 2006.

_____. **Desmatamento na Amazônia Brasileira: história, índices e consequência**. Manaus: INPA, 2005. Disponível em:<http://www.conservation.org.br/publicacoes/files/16_Fearnside.pdf>. Acesso em 13 Jul. 2010.

_____. Mudanças climáticas e conservação na Amazônia Brasileira. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 59., 2008, Natal, RN. [**Mesas redondas**] Natal, Rio Grande do Norte: [s.n], 2008. p.247-250. Disponível em: <www.philip.inpa.gov.br/publ_livres/2008/Botanica-Natal-2008.pdf>. Acesso em: 22 de Outubro de 2010.

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS (FINEP). Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/>>. Acesso em: 14 jul. 2011.

FIGUEROA, S. N., NOBRE, C. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. **Climanálise-Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v.5, n.6, p. 36-48, Jun. 1990.

FISCH, G. et al. Simulações climáticas do efeito do desmatamento na região amazônica: estudo de um caso em Rondônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.12, n.1, 33-48. 1997.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C.A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, p. 101-126. 1998.

FITZJARRALD DR, et. al. River breezes, cloudiness, and regional climate near the confluence of the Tapajós and Amazon Rivers, Brazil, 2003.

FITZJARRALD D. R. et. al. Spatial and temporal rainfall variability bear the Amazon-Tapajós confluence. **Journal of the Geophysical Research**, v.113, n. G00B11, p. 01-17. 2007.

FREITAS, S. R. et al. The Coupled aerosol and tracer transport model to the Brazilian developments on the regional atmospheric modeling system (CATT-BRAMS) – Part 1: Model description and evaluation, publicado em **Atmos. Chem. Phys.**, 9, 2843–2861. 2009. Disponível em: <www.atmos-chem-phys.net/9/2843/2009/>. Acesso em: 8 de jun. 2011.

GANDU, A. W.; COHEN, J. C. P.; SOUZA, J. R. S de. Simulations of deforestation in Eastern Amazon using a higher-resolution model. **Theoretical and Applied Climatology**, n.78, p.123-135. 2004.

GEVAERD, R.; FREITAS S. Estimativa operacional da umidade do solo para iniciação de modelos de previsão numérica da atmosfera. Parte I: descrição da metodologia e validação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3, p. 1-15, ago. 2006.

GOUVÊA, M. L. **Cenários de impacto das propriedades da superfície sobre o conforto térmico humano na cidade de São Paulo**. 2007, 87f. Dissertação (mestrado) Universidade de São Paulo, 2007.

ÍNDICE de ENOS Multivariado (MEI). Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html>>. Acesso em: 8 de jun. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha municipal digital**. 2007. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/malhas_digitais/municipio_2007/Malha_Municipal_Digital_2007_2500/Disseminacao_2007/Proj_Geografica/SIRGAS2000/ArcView_Shp/2007/E2500/UF/PA/>. Acesso em 28 jun. 2011.

_____. Banco de dados de recursos naturais da Amazônia Brasileira. Tema vegetação. Rio de Janeiro. IBGE/CISCEA/SIVAM.SIG, produto digital, 2003. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/banco_dados_georeferenciado_recursos_naturais/albers/Amazonia_Legal/Vegetacao/>. Acesso em: 22 mar. 2010.

_____. **Manual técnico de vegetação brasileira**. Rio de Janeiro. 1992. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/ManuaisdeGeociencias/Manual%20Tecnico%20da%20Vegetacao%20Brasileira%20n.1.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2011.

_____. **Manual Técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro. 2.ed. 2006 Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursosnaturais/usodaterra/manualusodateerra.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2011.

_____. **Mapa de vegetação do Estado do Pará**, 2008. Disponível em: em: <http://www.ibge.gov.br/mapas_ibge/tem_vegetacao.php>. Acesso em 10 set. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da floresta Amazônica Brasileira por satélite - Projeto PRODES**. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2009.htm>. Acesso em: 01 jul. 2010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) **Climate Change 2007: Summary for policymakers**. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007.

KOUSKY, V. E.; CAVALCANTI, I. F. Precipitation and atmospheric circulation anomaly patterns in the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.3, p.199-206. 1988.

LIEBMANN, B.; KILADIS, G.; MARENGO, J. A; AMBRIZZI, T.; GLICK, J. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. **J. Climate**, v.12, n. 7, p. 1877-1891, July. 1999.

LU, L. et. al. Mesoscale circulations and atmospheric CO₂ variations in the Tapajós Region, Pará, Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v.110, p. 01-17. 2005.

LUIZÃO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Cienc. Cult. [online]**, v. 59, n. 3, p. 31-36. 2007.

MACHADO, L. de O. R. Desflorestamento na Amazônia Brasileira: ação coletiva, governança e governabilidade em área de fronteira. **Sociedade e Estado**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 115-147, jan./abr. 2009.

MALCOLM, J., PITELKA, L.F. **Ecosystems & global climate change**: a review of potential impacts on U.S. Washington, DC: Terrestrial Ecosystems and Biodiversity. Pew Center on Global Climate Change, 2000. 41 p.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. 2. ed. Brasília: MMA, 2007. 212p.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Clima da região amazônica. In: CAVALCANTI, I. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F.; JUSTI, M. G. A. (org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2009. p. 197-210.

MARGULIS, S. **Quem são os agentes dos desmatamentos na Amazônia e por que eles desmatam?** 2001. Disponível em: <<http://www.amazonia.org.br/arquivos/13213.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2011.

_____. S. **Causas do desmatamento na Amazônia Brasileira**. Brasília: Banco Mundial, 2003. 100 p. Disponível em: <<http://www.amazonia.org.br/arquivos/79104.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2011.

MARTINS, A. C. F. Avaliação da Condição Meteorológica Associada às Ondas de Leste Durante o Experimento DESMATA. Belém-PA, 2002 (Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Meteorologia - UFPA).

MODELO BRAMS. Disponível em: <<http://brams.cptec.inpe.br/>> Acesso: em 23 mar. 2010.

MOLION, L. C. B. Amazonia rainfall and its variability. In: BONNEL, M. HUFSCHEMIDT, M.M. GLADWELL, J.S. (eds) **Hydrology and water management in the humid tropics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. p. 99-111. (International Hydrology Series)

MYERS, E. N. **Policies to reduce emissions from deforestation and degradation (REDD)**: an examination of the issues facing the incorporation of REDD into market-based climate policies in Tropical Forests. Discussion Paper RFF DP 07-50. dez. 2007 NAIDOO, R. Economic Growth and Liquidation of Natural Capital: The Case of Forest Clearance. **Land Economics**, v.80, p. 194-208, may. 2004.

NEPSTAD, D. et al. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: a basin-wide analysis f. **Global Change Biology**, v.10, p. 704-717. 2004.

NOBRE, C. A., SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Cienc. Cult. [online]**, v. 59, n. 3, p. 22-27. 2007.

_____. Modelos e cenários para a Amazônia: o papel da ciência Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. **Parcerias Estratégicas**, 2001. Disponível em: <http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewArticle/186>. Acesso em: 23 nov. 2010.

NOBRE, P.; MALAGUTTI, M.; URBANO, D.F.; ALMEIDA, R.A.F.; GIAROLLA, E. Amazon deforestation and climate change in a coupled model simulation. **Journal of Climate**, n. 22, p. 5686-5697. 2009.

NOVO, E. M. I. M. **Sensoriamento remoto** - princípios e aplicações. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2008.

OLIVEIRA, A. S. de. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia**. São José dos Campos : INPE, 1986. 115p.

OLIVEIRA, A. P. de; FTZJARRALD, D. R. The Amazon river breeze and the local boundary layer: I – Observations. **Boundary Layer Meteorology**, v.63, n.1-2, p. 141 – 162. 1993.

OLIVEIRA, F.N.M.; ARAÚJO, R.L.C.; CARVALHO, J.S.; SILVA, C.L. Inferência de mudanças microclimáticas na região de Manaus (AM) Usando dados geotérmicos e meteorológicos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, n.2, p.169–187. 2006.

OLIVEIRA, F. E. M. de. **Estatística e probabilidade**: exercícios resolvidos e propostos. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

OLSON Global Ecosystems (OGE). Disponível em: <http://edc2.usgs.gov/glcc/sadoc1_2.php#olso>. Acesso em: 16 nov. 2010.

PADUA, J. A. Biosfera, história e conjuntura na análise da questão amazônica. **História, Ciência, saúde – Manguinhos**, v.6, p.793-811, set. 2000.

PIELKE, R. A. et al. A comprehensive meteorological modeling system – RAMS. **Meteorol Atmos Phys**, v. 49, p. 69–91. 1992.

PIRES, M.; ROSA, M. Análise do desmatamento em 2009, em especial em municípios e áreas prioritárias de atuação. In: SEMINÁRIO TÉCNICO-CIENTIFICO DE AVALIAÇÃO DOS DADOS DE DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL, 7., 2010, Brasília, DF, [Anais...] Brasília, DF, MMA/INPE, 2010. Disponível em:<<http://www.obt.inpe.br/prodes/seminario2010/index.html>>. Acesso em: 28 jun. 2011.

PROJETO PROVEG. Disponível em: <<http://proveg.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 23 mar. 2011.

RELATÓRIO SÓCIOECONOMIA. **Caracterização da área de estudos. ZEE BR-163**. Belém: EMBRAPA, 2008. Disponível em: <<http://zeebr163.cpatu.embrapa.br/index.php>>. Acesso em: 27 mai. 2010.

RIVEIRO, S. et. al. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v.19, n.1, p. 41-66, jan./abr. 2009.

ROCHA, E. J. P. et. al., **Zoneamento climático**: relatório preliminar ZEE-PA. Belém: SIPAM, 2009. 31p.

SALATI, E., SANTOS, Â. A. Dos. KLABIN, I. Temas ambientais relevantes. **Estudos Avançados**, v. 20, n.56, 2006.

_____, M. A. F. et al. Denning, River breeze circulation in eastern Amazonia: Observations and modeling results, **Theor. Appl. Climatol.**, v.78, p.111 – 122. 2004.

_____, M. A. F. Meteorologia, desmatamento e queimadas na Amazônia: uma síntese de resultados do LBA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.21, n.3, p.190-199. 2006.

SAAD, S. I. et. al. **Can the deforestation breeze change the Rainfall in Amazonia?** a case study for the BR-163 Highway Region. Department of Atmospheric Science, Institute of Astronomy, Geophysics and Atmospheric Sciences (IAG), University of São o Paulo, São Paulo, Brazil. 2010.

SANTOS COELHO, A. dos. **Modelagem de dinâmica do uso da terra e cobertura vegetal na região de Santarém, Oeste do Pará**. 2009. 128f. Dissertação (mestrado em ciências ambientais) – Universidade Federal do Pará, UFPA, Belém, 2009.

SECRETARIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO ORÇAMENTO E FINANÇAS (SEPOF). **Anuário estatístico do Estado do Pará 2006**. 2006. Disponível em:<www.sepof.pa.gov.br>. Acesso em: 11 ago. 2010.

SESTINI, M. F. et al. **Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos**. São José dos Campos: INPE, 2002.

SILVA DIAS, M. A. F.; ARTAXO, P. ANDREAE, M. O. Aerosols impact clouds in the Amazon Basin. **Newsletter**, vol. 14, n. 4, p. 4-6. 2004.

SISTEMA DE PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA (SIPAM) - Centro Regional de Belém (CR/BE). Disponível em: <<http://www.sipam.gov.br/>>. Acesso em: 22 mar. 2010.

SOARES-FILHO, Britaldo et al. Cenários de desmatamento para a Amazônia. **Estudos Avançados**. v. 19, n.54. 2005.

SOFTWARE GRID ANALYSIS AND DISPLAY SYSTEM (GrADS). Disponível em:<<http://www.iges.org/grads/>>. Acesso em: 29 jun. 2011.

SOUSA, E. P. P. de. **Relações entre as anomalias de tsm do atlântico e pacífico e as precipitações na Amazônia oriental**. Tese de Doutorado. INPE. São José dos Campos. (SP) 2004.

SOUZA, E. B. et al. On the Influences of the El Niño, La Niña and Atlantic Dipole Pattern on the Amazonian Rainfall During 1960-1998. **Acta Amazonica**, v.30, n.2, p. 305-318. 2000.

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, 13, 2007, Florianópolis. [Anais...] Florianópolis: ABSR Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2006/11.16.02.21/doc/7003-7010.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2011.

VIEIRA, I. C. G.; SILVA, J. M. C. da; TOLEDO, P. M. De. **Estratégias para evitar a perda de biodiversidade na Amazônia.** ESTUDOS AVANÇADOS 19 (54), 2005.

WALKO, R. L. et al. Coupled atmosphere-biophysicshydrology models for environmental modeling. **J Appl Meteor**, v.39, p. 931–944, 2000.

WOLTER, K.; TIMLIN, M.S. Measuring the strength of ENSO events – how does 1997/98 rank? **Weather**, v.53, p.315–324. 1998.

APÊNDICE

**APÊNDICE A- CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO IBGE, COM AS
RESPECTIVAS CLASSES DE VEGETAÇÃO EQUIVALENTES DO OGE E DO
LEAF E UMA CLASSIFICAÇÃO SIMPLIFICADA.**

(continua)

Valor IBGE	Código IBGE	Legenda IBGE	Valor OGE	Legenda OGE	Valor LEAF	Legenda LEAF	Classificação simplificada
1	SO	SO – Contato Savana/Floresta ombrófila	43	Savanna (woods)	18	wooded grassland	Savana
2	Ap	Ap – Pecuária (Pastagem)	93	Grass Crops	15	Crop/Mixed farming, C3 grassland	Agricultura
3	Ai	Ai - Área Indiscriminada	34	Tropical degraded forest	14	Mixed woodland	Floresta alterada
4	As+Ds+Vs	As – Floresta Ombrófila Aberta Submontana Ds – Floresta Ombrófila Densa Submontana Vs – Vegetação secundária	90	Rain Green Tropical Forest	7	Evergreen Broadleaf Tree	Floresta tropical
5	Massa_agua	Agua	14	Inland Water	1	Lake, Rivers, Streams	Água
6	Db+Vs	Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas Vs – Vegetação secundária	90	Rain Green Tropical Forest	7	Evergreen Broadleaf Tree	Floresta tropical
7	Pa	Pa – Formação Pioneiras	19	Evergreen Forest And Fields	6	Deciduous Broadleaf Tree	Formação Pioneira
8	Vs+Ap+Db	Vs – Vegetação secundária Ap – Pecuária (Pastagem) Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas	94	Crops, Grass, Shrubs	15	Crop/Mixed farming, C3 grassland	Agricultura
9	Pa+Da	Pa – Formação Pioneiras Da - Floresta densa aluvial	19	Evergreen Forest And Fields	6	Deciduous Broadleaf Tree	Formação Pioneira
10	Sp+Ap	Sp – Savana Parque Ap – Pecuária (Pastagem)	91	Woody Savanna	18	wooded grassland	Savana
11	Sp	Sp – Savana Parque	91	Woody Savanna	18	wooded grassland	Savana
12	Pa+Sp	Pa – Formação Pioneiras Sp – Savana Parque	58	Fields And Woody Savanna	18	wooded grassland	Savana
13	Ds	Ds – Floresta Ombrófila Densa Submontana	90	Rain Green Tropical Forest	7	Evergreen Broadleaf Tree	Floresta tropical
14	Db	Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas	90	Rain Green Tropical Forest	7	Evergreen Broadleaf Tree	Floresta tropical
15	Db+Ab	Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas Ab - Floresta Ombrófila aberta das Terras Baixas	90	Rain Green Tropical Forest	7	Evergreen Broadleaf Tree	Floresta tropical
16	Ds+As+Vs	Ds – Floresta Ombrófila Densa Submontana As – Floresta Ombrófila Aberta Submontana Vs – Vegetação secundária	90	Rain Green Tropical Forest	7	Evergreen Broadleaf Tree	Floresta tropical
17	Ap+Vs+Db (=8)	Ap – Pecuária (Pastagem) Vs – Vegetação secundária Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas	94	Crops, Grass, Shrubs	15	Crop/Mixed farming, C3 grassland	Agricultura

(conclusão)

Valor IBGE	Código IBGE	Legenda IBGE	Valor OGE	Legenda OGE	Valor LEAF	Legenda LEAF	Classificação simplificada
18	Sp+Sd	Sp – Savana Parque Sd – Savana florestada	91	Woody Savanna	18	wooded grassland	Savana
19	Ds+As	Ds – Floresta Ombrófila Densa Submontana As – Floresta Ombrófila Aberta Submontana	90	Rain Green Tropical Forest	7	Evergreen Broadleaf Tree	Floresta tropical
20	Vs+Db (=6)	Vs – Vegetação secundária Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas	90	Rain Green Tropical Forest	7	Evergreen Broadleaf Tree	Floresta tropical
21	Vs	Vs – Vegetação secundária	7	Tall Grasses And Shrubs	9	Tall grass	Vegetação secundária
22	Pa+Vs+Da	Pa – Formação Pioneiras Vs – Vegetação secundária Da - Floresta densa aluvial	19	Evergreen Forest And Fields	6	Deciduous Broadleaf Tree	Formação Pioneira
23	Iu	Iu – área de influencia urbana	1	Urban	19	Urban and Built Up	Cidades
24	Ds+Vs	Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas Vs – Vegetação secundária	90	Rain Green Tropical Forest	7	Evergreen Broadleaf Tree	Floresta tropical
25	Sp+Pa (=12)	Sp – Savana Parque Pa – Formação Pioneiras	58	Fields And Woody Savanna	18	wooded grassland	Savana
26	Vs+Ap	Vs – Vegetação secundária Ap – Pecuária (Pastagem)	94	Crops, Grass, Shrubs	15	Crop/Mixed farming, C3 grassland	Agricultura
27	Ac	Ac - Agricultura	94	Crops, Grass, Shrubs	15	Crop/Mixed farming, C3 grassland	Agricultura
28	Vs+Db+Ap (=17)	Vs – Vegetação secundária Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas Ap – Pecuária (Pastagem)	90	Rain Green Tropical Forest	7	Evergreen Broadleaf Tree	Floresta tropical
29	Da	Da - Floresta densa aluvial	90	Rain Green Tropical Forest	7	Evergreen Broadleaf Tree	Floresta tropical
30	Vs+Da+Ap	Vs – Vegetação secundária Da - Floresta densa aluvial Ap – Pecuária (Pastagem)	90	Rain Green Tropical Forest	7	Evergreen Broadleaf Tree	Floresta tropical
31	Db+Ds	Db – Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas Ds – Floresta Ombrófila Densa Submontana	90	Rain Green Tropical Forest	7	Evergreen Broadleaf Tree	Floresta tropical
32	Da+Pa	Da - Floresta densa aluvial Pa – Formação Pioneiras	19	Evergreen Forest And Fields	6	Deciduous Broadleaf Tree	Formação Pioneira
33	Desmatamento	DESMATAMENTO	2	Low Sparse Grassland	8	Short Grass	Desmatamento