



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m18/2011/12.08.10.56-TDI

ANÁLISES DAS TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO SOBRE O BRASIL E IMPACTOS DO DESMATAMENTO NO REGIME DE CHUVAS NA AMAZÔNIA LEGAL

Rômulo Augusto Jucá Oliveira

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Dr. Carlos Frederico de Angelis, aprovada em 04 de outubro de 2011.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/3AU5T4P>>

INPE
São José dos Campos
2011

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):

Presidente:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Membros:

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr^a Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Deicy Farabello - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivéca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m18/2011/12.08.10.56-TDI

**ANÁLISES DAS TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO
SOBRE O BRASIL E IMPACTOS DO DESMATAMENTO
NO REGIME DE CHUVAS NA AMAZÔNIA LEGAL**

Rômulo Augusto Jucá Oliveira

Dissertação de Mestrado do Curso
de Pós-Graduação em Meteorolo-
gia, orientada pelo Dr. Carlos Fre-
derico de Angelis, aprovada em 04
de outubro de 2011.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/3AU5T4P>>

INPE
São José dos Campos
2011

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

- Oliveira, Rômulo Augusto Jucá.
Ol4a Análises das tendências da precipitação sobre o Brasil e impactos do desmatamento no regime de chuvas na Amazônia Legal / Rômulo Augusto Jucá Oliveira. – São José dos Campos : INPE, 2011.
xxii + 98 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m18/2011/12.08.10.56-TDI)
- Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.
Orientador : Dr. Carlos Frederico de Angelis.
1. Tendências da precipitação. 2. Brasil. 3. Desmatamento.
4. Amazônia Legal. 5. Estimativa de precipitação. I.Título.
- CDU 551.583.2:551.588.6
-

Copyright © 2011 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2011 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

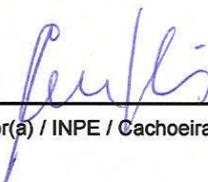
Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de Mestre em
Meteorologia

Dr. Dirceu Luis Herdies



Presidente / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Carlos Frederico de Angelis



Orientador(a) / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Cláudio Moisés Santos e Silva



Convidado(a) / UFRN / Natal - RN

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): Rômulo Augusto Jucá Oliveira

São José dos Campos, 04 de outubro de 2011

*A toda minha família.
Em especial, a meu pai Medimar Oliveira.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Carlos F. de Angelis, pela orientação, sugestões e apoio neste trabalho e também pela confiança e incentivo dados a mim durante esse período.

A meus pais Socorro Jucá, Medimar Oliveira e Márcia Nobre, destes, em especial meu paizão e grande incentivador desta jornada. Obrigado pelos conselhos e ensinamentos, dentre eles a ética, que levarei para toda a vida.

A minha namorada, Megan Bela, pela compreensão, carinho, amor, amizade, companheirismo e confiança que compartilhamos, fundamentais nesta fase da minha vida e pelas sugestões e *helps*, que foram bastante úteis para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus grandes amigos do mestrado, CPTEC e DSA, por terem compartilhado comigo momentos inesquecíveis de aprendizagem, companheirismo e descontração e, em especial, aos que contribuíram cientificamente de forma direta neste trabalho.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), pelo fornecimento dos dados.

Agradeço também, aos membros da banca, pelas valiosas contribuições para este trabalho.

À Simone e Luana, pelo trabalho competente, dedicação, disposição em ajudar sempre e pela paciência.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de estudos concedida.

A Deus por me guiar e dar forças para superar as dificuldades encontradas.

RESUMO

Este trabalho, de caráter observacional, tem como objetivo, inicialmente, analisar as tendências, durante o período de 1979 a 2009, em três características da precipitação, tais como acumulada, frequência e intensidade média de dias chuvosos (separados por classes), anualmente e sazonalmente, sobre os grandes centros urbanos do Brasil, representados pelas capitais estaduais. Foram utilizados os testes de significância não paramétricos de Mann-Kendall e as estimativas de inclinação pelo método Sen. Na segunda parte do trabalho, com o uso da mesma metodologia implantada anteriormente, com respeito a precipitação, são investigadas as possíveis associações entre o desmatamento, através das estimativas do Projeto PRODES, e a precipitação, através das estimativas do satélite TRMM (3B42_V6), sobre a Amazônia Legal durante o período de 1998 a 2009. As análises (regionais) são focadas sobre Áreas, com elevadas taxas anuais de desmatamento, onde são analisadas as características da precipitação e suas possíveis tendências e/ou mudanças. Sabe-se que a precipitação pode ser alterada, quer por uma mudança na distribuição das intensidades, ou por uma mudança no número de dias chuvosos ou por uma combinação de ambos. Sendo assim, os totais diários foram organizados desde os eventos mais fracos até os mais intensos, separados em 10 Classes de quantidade (com cada 10%), por ano e estação do ano, tanto na Parte I, referente às cidades, quanto na Parte II, para as áreas desmatadas. Foram detectadas sobre grande parte das cidades brasileiras e áreas desmatadas na Amazônia tendências de aumento nos totais anuais, principalmente devido ao trimestre MAM. Em SON foram presenciadas tendências de aumentos em seus acumulados, devido principalmente a aumentos na intensidade e frequência de dias chuvosos, principalmente na Classe 10. No entanto, neste trimestre, para Amazônia foram identificadas bastantes reduções, tanto sobre as cidades, durante o período de 1979 a 2009, quanto sobre as Áreas, na segunda parte do estudo, para o período de 1998 a 2009. Sendo que, sobre as áreas foram identificadas que as sub-áreas desmatadas apresentaram tendências de reduções significativas estatisticamente e mais representativa que as sub-áreas de floresta, apresentando também maiores contribuições da Classe 10 para os totais sazonais/anuais. Desta forma, estudos que visam análises de frequência e intensidade da precipitação, corroboram no entendimento não só da caracterização das chuva, mas também fornecendo subsídios para um melhor entendimento do clima da região atual, que é fundamental para o estudo de mudanças climáticas e projeções futuras, de atividades de uso do solo, entre outros, que estão diretamente ligados à sociedade.

ANALYSIS OF TRENDS IN PRECIPITATION OVER BRAZIL AND IMPACTS OF DEFORESTATION ON RAINFALL REGIMES IN THE LEGAL AMAZON

ABSTRACT

This observational study aimed first to analyze trends in three precipitation characteristics, including total precipitation, the number of wet days and the average amount of precipitation on wet days (separated by classes), annually and seasonally, in the major urban centers of Brazil, represented by the capitals, during the period from 1979 to 2009. The non-parametric Mann-Kendall significance test and the Sen's slope estimator method were used. In the second part, the previously established methodology was used to investigate possible associations between deforestation, as estimated by the PRODES Project, and precipitation estimates from the TRMM satellite (3B42_V6) in the Amazon during the period from 1998 to 2009. Regional analyses of rainfall characteristics and its possible trends and/or changes were focused on areas with high annual deforestation rates. It is known that precipitation can be modified either by changes in the intensity distribution or the number of rainy days, or by a combination. Therefore, the total daily events were organized from weakest to the most intense, separated in 10 classes of quantity (each with 10%) per year and season, both referring to cities in Part I and for the deforested areas in Part II. Upward trends in total annual precipitation were found over much of Brazil's cities and deforested areas in the Amazon, mainly due to the MAM season. In SON, increasing trends in their totals were found, primarily due to increases in intensity and frequency of wet days, especially in Class 10. However, during this season in the Amazon, reductions have been identified both in the cities during the period from 1979 to 2009 and in areas in the second part of the study for the period from 1998 to 2009. In the areas, it was identified that the deforested sub-areas tended to have statistically significant and more representative reductions in precipitation than the forest sub-areas, with a higher contribution from Class 10 to the seasonal/annual totals. Thus, studies aimed at analysis of precipitation frequency and intensity not only corroborate the understanding of rainfall characterization, but also offer suggestions for a better understanding of the current climate of the region, which is fundamental to the study of climate change and future projections of land use activities, among others, which directly connected to impact society.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 2.1 - a) Localização das capitais/estações pluviométricas em seus estados (sigla) sobre o território brasileiro, sobrepostas ao mapa de topografia (m) e b) Luzes noturnas sobre o Brasil	7
Figura 2.2 - Normais Climatológicas 1961-1990. Precipitação média anual sobre o Brasil e ciclo médio anual sobre algumas Capitais em estudo. Fonte: Adaptado de INMET, 2009	9
Figura 2.3 - a) Número e b) Período, médio de anos utilizados para a aplicação de tendências nas séries anuais e sazonais sobre as capitais brasileiras	11
Figura 2.4 - Tendência da precipitação total anual (1979-2009) sobre as Capitais: a) Desvio da média em porcentagem; b) Sinal pelo teste Z de M-K e c) Magnitude Q do método Sen. Aumento (diminuição) indicado pela cor azul (vermelho). Círculos com contornos em preto indicam significância estatística acima do nível de 90% pelo Teste M-K	18
Figura 2.5 - Séries temporais de precipitação total anual de estações representativas com tendências positivas estatisticamente significativas. a) Belém-PA e b) São Paulo-SP...18	
Figura 2.6 - Assim como a Fig. 2.5, porém, para as estações do ano: Verão (a), Outono (b), Inverno (c) e Primavera (d)	20
Figura 2.7 - Séries temporais de precipitação total sazonal de estações representativas com tendências positivas (esquerda) e negativas (direita) estatisticamente significativas pelo teste de Mann-Kendall	21
Figura 2.8 - Tendências anual e sazonal da frequência de dias chuvosos sobre as Capitais brasileiras, durante 1979 a 2009, através dos testes de M-K e Sen. Círculos representam o Desvio da média (em %), onde a cor azul (vermelho) indica aumento (diminuição). Círculos com contornos em preto indicam significância estatística do Teste M-K acima do nível de 90%	25
Figura 2.9 - Tendências anual e sazonal da intensidade média de dias chuvosos sobre as Capitais brasileiras, durante 1979 a 2009, através dos testes de M-K e Sen. Círculos representam o Desvio da média (em %), onde a cor azul (vermelho) indica aumento (diminuição). Círculos com contornos em preto indicam significância estatística do Teste M-K acima do nível de 90%	30
Figura 2.10 - Exemplos de tendências anuais por classe da: Intensidade média (a, c) e Frequência média (b, d), para as cidades de Belém-PA (superior) e São Paulo (inferior), durante 1979 a 2009. Barra em preto significa a magnitude da tendência (em mm para a intensidade e % para a frequência) e, linha vermelha significa o desvio da média (em %) e círculos com contornos em preto indicam significância estatística do Teste M-K acima do nível de 90%	35

Figura 2.11 - Tendências anuais da: Intensidade média (a, d, g); Freqüência média (b, e, h) e Contribuição média aos totais anuais (c, f, i), referentes às Classes 6, 8 e 10, sobre as Capitais brasileiras, durante 1979 a 2009, através dos testes de M-K e Sen. Círculos representam o Desvio da média (em %), onde a cor azul (vermelho) indica aumento (diminuição). Círculos com contornos em preto indicam significância estatística do Teste M-K acima do nível de 90%	36
Figura 2.12 - Exemplos de estações representativas com tendências positivas (a, b) e negativas (c, d) nas séries temporais de contribuição da Classe 10 para os totais anuais	37
Figura 2.13 - Exemplos representativos de tendências sazonais, durante 1979 a 2009 da intensidade média de dias chuvosos separada por Classes (a, b) e suas respectivas séries temporais de intensidade médias, referente á Classe 10 (c, d) e contribuição da Classe 10 para os significativos totais sazonais (e). Valores obtidos através do teste de M-K e método Sen	39
Figura 2.14 - Porcentagem anual/sazonal das tendências positivas (azul) e negativas (vermelho) e suas respectivas significâncias estatística pelo método M-K, referentes às três características da precipitação, para as cidades estudadas	40
Figura 2.15 - Assim como a Fig. 2.14, porém, para valores anuais referente às Classes de Intensidade e Freqüência média de dias chuvosos e contribuição ao total anual	41
Figura 3.1 - Áreas de estudo em Durieux et al. (2009). (a) sobreposta à tendência de OLR (em 10-1 W/m2/ano), Chu et al., 1994); (b) sobreposta na topografia (m); e (c) sobre o mapa de vegetação através do TRFIC. Fonte: Adaptado de Durieux et al. (2003).....	46
Figura 3.2 - a) Localização da área em estudo e b) classificação do mapa de cobertura do solo. c) Contraste entre a fração de precipitação sobre as áreas de floresta, desmatadas e transição floresta/desmatada (cada retângulo marrom na horizontal representa 4 km). Fonte: Adaptado de Knox et al. (2010)	48
Figura 3.3 - Desmatamento na Amazônia Legal e suas novas fronteiras, segundo a) Becker, 2004; 2005 e b) IMAZON (Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia). Fonte: Adaptado de DPI/INPE/GEOMA, 2005 e IMAZON	50
Figura 3.4 - Localização das Áreas (a) e sub-áreas (b) em estudo na Amazônia, sobrepostas ao mapa de desmatamento PRODES	51
Figura 3.5 - Assim como na Fig. 5.7, porém, sobrepostas ao mapa de topografia SRTM	52
Figura 3.6 - Localização das Áreas e sub-áreas em estudo, sobrepostas ao mapa de desmatamento (total, até o ano de 2009) PRODES, sobre toda a Amazônia Legal	52

Figura 3.7 - Variabilidade temporal da correlação de diversos produtos de precipitação (a) e distribuição espacial da correlação entre a precipitação observada e a estimada pelo 3B42, para as estações entre o período de março de 2009 à fevereiro de 2010	53
Figura 3.8 - Comparação da distribuição espacial média anual entre os produtos 3B42_V6, GPCP_1DD e CPC para os percentis 10, 50 e 90, referentes às chuvas fraca, moderada e forte, respectivamente.....	54
Figura 3.9 - Distribuição espacial da precipitação média anual em mm/ano sobre toda a Amazônia Legal, com destaque às Áreas em estudo e ciclo médio anual da precipitação das Áreas 1 a 4 em mm/mês, através do 3B42_V6, para o período de 1998 a 2009	56
Figura 3.10 - Distribuição espacial da precipitação média sazonal em % sobre toda a Amazônia Legal, com destaque às 4 Áreas em estudo, através do 3B42_V6, para o período de 1998 a 2009	57
Figura 3.11 - Assim como na Fig. 3.9, porém, referente à intensidade média em mm/dia	58
Figura 3.12 - Assim como na Fig. 3.11, porém, para a precipitação média total sazonal	58
Figura 3.13 - Desvio padrão normalizado do ciclo médio anual da precipitação para as 4 Áreas e suas respectivas sub-áreas em estudo	59
Figura 3.14 - Tendência da precipitação total anual. a) sobre toda a Amazônia Legal, com ênfase às 4 Áreas em estudo e b) séries temporais de precipitação total anual referente às 4 Áreas em estudo. De 1998 a 2009, através do 3B42_V6. Valores obtidos pelo método de inclinação Sen e teste de M-K. O eixo y representa a precipitação em mm/ano	60
Figura 3.15 - Tendência da precipitação diária (mm) durante o período de 1998 à 2009 pelo 3B42_V6, sobre a Amazônia Legal	61
Figura 3.16 - Tendência nos totais anual e sazonais mostrados através dos parâmetros Z (a) e Q (b), dos testes de Mann-Kendall e Sen, respectivamente, correspondentes às Áreas e suas respectivas sub-áreas em estudo, através do algoritmo 3B42_V6 durante o período de 1998 a 2009	62
Figura 3.17 - Tendências anuais nas freqüências (a) e intensidades (b) da precipitação diária separada por classes, para as 4 Áreas em estudo. A Classe 1 representa os eventos diários mais fracos, por outro lado, a Classe 10 representa os eventos mais intensos. O eixo y à esquerda representa a tendência através do desvio da média (em %). O eixo x representa as classes	63
Figura 3.18 - Tendência na freqüência (a), intensidade (b) por Classe e contribuição da classe 10 para os totais anuais e sazonais (d, e), referentes à Área 1 e suas distintas sub-áreas	64

Figura 3.19 - Tendência na frequência (a), intensidade (b) por Classe e contribuição das classes mais intensas para os totais anuais (c), referentes á Área 4 e sub-áreas Desmatada e Floresta	65
Figura 3.20 - Tendência na frequência (a), intensidade (b) por Classe e contribuição da classe 10 para os totais de SON, referentes á Área 4 e sub-áreas Desmatada e Floresta	66
Figura 3.21 - Assim como a Fig. 3.18, porém, para o trimestre MAM	66
Figura A.1 - Exemplo do algoritmo estimador de precipitação 3B42 do satélite TRMM para toda sua região de domínio e com destaque sobre o Brasil (à direita). Fonte: Adaptado de NASA (2010)	90
Figura A.2 - Taxas e estimativas de desmatamento (km ² /ano) para toda a Amazônia Legal, para o período de 1988 à 2009, pelo Projeto PRODES. (a) Média entre 1977 e 1988; (b) Taxas Anuais Consolidadas, entre 1993 e 1994. Fonte: PRODES, 2010	91
Figura A.3 - Exemplo de corte raso reconhecido pelo PRODES. Fonte: Adaptado de Barlow e Peres, 2008 e PRODES, 2008	92
Figura A.4 - Imagens Landsat (aprox. 230 cenas/ano) necessárias para o PRODES. Fonte: PRODES, 2010	92
Figura A.5 - Probabilidades mensais de obtenção de cenas Landsat TM com 30%, ou menos, de cobertura por nuvens. Fonte: Modificado de Asner (2001)	93
Figura A.6 - Taxas de desmatamento efetuadas a partir do PRODES Digital (eixo vertical esquerdo) Vs. O Número de imagens utilizadas por ano (eixo vertical direito), para o período de 2000 à 2009. (d) representa a taxa estimada. Fonte: PRODES, 2010.....	94
Figura A.7 - Agregado do Mosaico do PRODES Digital 2000 a 2005, para toda a Amazônia Legal. Fonte: PRODES, 2010	95

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1 – Características dos regimes de precipitação e sistemas atmosféricos por regiões do Brasil	8
Tabela 2.2 - Descrição das estações pluviométricas sobre as capitais estaduais brasileira, com seus respectivos códigos, latitude, longitude e altitude	10
Tabela 2.3 - Classes de Precipitação diária da cidade de Belém-PA, referente ao trimestre DJF, média entre 1979 e 2009	13
Tabela 2.4 - Valores, por capital, da Precipitação média anual; de Z (tendência) e significância estatística (Sig.) de 99,9 (***) , 99 (**), 95 (*) e 90% (+), resultantes do teste de Mann-Kendall (M-K); de Q (magnitude em mm/ano) e B (constante), do método Sen; e desvio da média em %, referente ao período de 1979 a 2009	19
Tabela 2.5 - Assim como a Tabela 2.4, porém, para os valores Sazonais: DJF (verão), MAM (outono), JJA (inverno) e SON (primavera)	22
Tabela 2.6 - Assim como a Tabela 2.4, porém, para a frequência média de dias chuvosos anual	26
Tabela 2.7 - Assim como a Tabela 2.6, porém, para os valores Sazonais: DJF (verão), MAM (outono), JJA (inverno) e SON (primavera)	27
Tabela 2.8 - Assim como a Tabela 2.4, porém, para a intensidade média de dias chuvosos anual	29
Tabela 2.9 - Assim como a Tabela 2.8, porém, para os valores Sazonais: DJF (verão), MAM (outono), JJA (inverno) e SON (primavera)	32
Tabela A1 – Exemplo e descrição de alguns algoritmos estimadores de precipitação do satélite TRMM: 3A12, 3A25, 3B42 e 3B43.....	89

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AB	Alta da Bolívia
ALB	Amazônia Legal Brasileira
AMSR	Advanced Microwave Scanning Radiometer
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
CCMs	Complexos Convectivo de Mesoescala
CMORPH	CPC MORPHing technique
COR	Correlação
CPC	Climate Prediction Center
CPTEC	Centro de Previsão de tempo e Estudos Climáticos
DAAC	Gooddard Distributed Active Archive System
DETER	Projeto de Detecção de Áreas Desflorestadas em Tempo Real
DJF	Dezembro-janeiro-fevereiro
DN	Desvio Normalizado
DOLs	Distúrbios Ondulatórios de Leste
ENOS	El Niño Oscilação Sul
EUA	Estados Unidos da América
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis
ICU	Ilhas de Calor Urbanas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
JBN	Jato de Baixos Níveis
JJA	Junho-julho-agosto
LIs	Linhas de Instabilidade
MAKENSENS	Mann-Kendall test for trend and Sen's method for the magnitude of the trend
MAM	Março-abril-maio
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MK	Mann-Kendall

MLME	Modelo Linear de Mistura Espectral
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCJE	Não Eventos de Jato do Chaco
NEB	Nordeste Brasileiro
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
O2000	Osborn et al. 2000
OMJ	Oscilação Madden Julian
PR	Precipitation Radar
PRODES	Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia
RBLE-3	Rondonian Boundary Layer Experiment
SON	Setembro-outubro-novembro
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SSM/I	Special Sensor Microwave Imager
TM	Thematic Mapper
TMI	TRMM Microwave Image
TMPA	TRMM Multisatellite Precipitation Analysis
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
TSDIS	TRMM Science Data and Information System
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VCANs	Vórtice Ciclônicos em Altos Níveis
VIRS	Visible and Infrared Scanner
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação	2
1.2 Objetivos	3
1.3 Organização do Trabalho	3
2 - PARTE I: ANÁLISES DAS TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO SOBRE AS CAPITAIS DO BRASIL	5
2.1 Revisão Bibliográfica	5
2.1.1 Tendências da precipitação	5
2.1.2 Tendências na intensidade e frequência da precipitação diária por classe.....	7
2.2 Características gerais da área de estudo	8
2.3 Objetivos	10
2.4 Dados	11
2.5 Metodologia	12
2.5.1 Tendências na intensidade e frequência nos totais diários de chuva	13
2.5.1.1 Método O2000.....	14
2.5.2 Teste de Mann-Kendall e Método Sen	15
2.5.2.1 Teste de Mann-Kendall	16
2.5.2.2 Método Sen	17
2.6 Resultados	18
2.6.1 Tendências nos totais anuais e sazonais da precipitação	18
2.6.2 Tendências na Frequência de dias chuvosos anual e sazonal	25
2.6.3 Tendências na Intensidade média de dias chuvosos anual e sazonal	30
2.6.3 Tendências da precipitação diária separada por Classes	35
2.7 Discussões	41
3 - PARTE II: IMPACTO DO DESMATAMENTO NA PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA LEGAL	45
3.1 Revisão Bibliográfica	45
3.1.1 Desmatamento na Amazônia	45
3.1.2 Impactos do desmatamento na Precipitação sobre a Amazônia	46

3.2	Objetivos	50
3.3	Dados	50
3.4	Metodologia	50
3.4.1	Critérios para seleção das áreas em estudo	50
3.4.2	Investigação das características e tendências da precipitação	52
3.4.3	Avaliação do desempenho do algoritmo 3B42.....	53
3.5	Resultados	56
3.5.1	Características espaço-temporal da precipitação pelo 3B42_V6 sobre a Amazônia Legal	56
3.5.2	Tendências anuais e sazonais da precipitação	61
3.5.3	Tendências na frequência e intensidade diárias separadas por classes	64
3.6	Discussões	68
4	– CONCLUSÕES	71
4.1	Sugestões Para Trabalhos Futuros	73
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
	APÊNDICE A - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DAS FONTES DE DADOS	89
A.1	O Satélite TRMM e seus produtos	89
A.1.1	Algoritmo 3B42_V6	90
A.2	PRODES.....	91
A2.1	PRODES Digital	93
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

1 - INTRODUÇÃO

O regime pluviométrico de determinadas regiões do globo parece sofrer alterações devido ao aumento de extremos climáticos, tanto pelo aumento do número de eventos com precipitação extrema, quanto devido a períodos prolongados com e sem chuva (IPCC, 2007). O aquecimento global tem como conseqüências diretas alterações na frequência e na distribuição das chuvas, aumentando as ocorrências de chuvas intensas originadas por processos convectivos, com maior frequência de cheias e ocorrências de secas mais severas e mais prolongadas (HOUGHTON et al., 1996; KARL et al., 1996).

Em geral, o regime pluviométrico e a ocorrência de eventos extremos sobre determinadas regiões, estão ligadas a vários fatores, desde escalas locais à grande escala. Em grande escala cita-se o El Niño, que quando em atuação, com anomalias positivas de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico Tropical Leste e forte convecção nesta região, pode-se relacionar com precipitação abaixo da média no Nordeste Brasileiro (NEB), com secas severas em episódios fortes (KOUSKY et al, 1984; CAVALCANTI, 1996). No sul e sudeste do país a precipitação é intimamente associada à passagem de sistemas frontais (CLIMANÁLISE ESPECIAL, 1998), em períodos de El Niño esta precipitação tende a ser mais abundante, também ligada à extremos diários. Já um exemplo de efeito local seria o desmatamento, que segundo estudos, à exemplo de Oliveira (2008) que indica que o desmatamento sobre uma determinada localidade provoca não somente alterações locais no regime pluviométrico, mas também em regiões remotas.

O desmatamento que, embora apresentando um relativo decaimento a partir de 2004, ainda apresenta altas taxas, especificamente em grandes áreas da Amazônia Legal, segundo as estimativas do Projeto PRODES (Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia), causando impactos não somente no clima local, mas também de várias regiões remotas, como por exemplo, as regiões sudeste e centro-oeste do Brasil, que recebem a umidade (vapor d'água) advinda da Amazônia para seu regime de chuva, necessário para agricultura, hidrografia, etc. Além do clima local e regional, o desmatamento também ameaça a biodiversidade amazônica e os serviços ambientais prestados pela floresta amazônica, levando à perda da cobertura florestal, modificando ecossistemas nativos, extremamente ricos em espécies vegetais e animais.

1.1 Motivação

Indicações de que o clima está mudando e ocorrências de desastres naturais provocados por eventos extremos de tempo e clima (a exemplo de inundações e secas), implicando em aumentos de perdas econômicas e, especialmente, em perdas de vidas, vêm sendo noticiados regularmente pela mídia em todas as partes do globo. E também, a partir do conceito de que processos que ocorrem na superfície do planeta (à exemplo do desmatamento) podem influenciar no clima (VALERIANO et al., 2005), provocando conseqüências climáticas e ambientais em escalas local, regional e global (NOBRE et al., 2004). Diante deste proposto, tais temas vêm despertando o interesse da comunidade científica em estudar tais fenômenos e suas possíveis associações.

No entanto, torna-se necessário um estudo mais completo não somente se limitando a identificar características e/ou possíveis tendências dos eventos extremos de precipitação, mas também nas suas diversas categorias de intensidades, desde os eventos mais fracos aos mais intensos, o que trará benefícios de forma direta e indireta, para a sociedade, dentre elas através da agricultura, visto que, ocorrências extremas, como chuvas freqüentes ou muito intensas, podem provocar várias conseqüências, causando erosão do solo, inviabilização de safras, atraso de colheitas e até mesmo ocasionar problemas nas culturas, acarretando na redução da produtividade agrícola e aumento do custo de produção. Assim como situações opostas, com períodos secos, podem prejudicar a produção.

No entanto, um monitoramento mais detalhado sobre extensas áreas e associações com o desmatamento, como por exemplo, sobre a Amazônia, exige a existência de uma densa rede de pluviômetros, que em certos casos é inviabilizado por diversos fatores, entre eles o difícil acesso devido à topografia (ANGELIS et al., 2004). Tendo em vista esta dificuldade, a realização de um trabalho com a utilização de fontes alternativas de precipitação, neste caso estimativas por satélite (assim como realizado por diversos trabalhos sobre a região) a exemplo de Negri et al., (2002); Angelis et al. (2003); Mota (2003); Gomes (2008); Vila et al. (2009); Santos e Silva et al. (2010), possibilita uma investigação mais detalhada quando associadas ao desmatamento.

Em síntese, algumas questões que o presente trabalho procura responder seriam: Quais locais (capitais ou regiões) apresentam tendências (positivas ou negativas)

estatisticamente significativas, nas últimas décadas? Qual categoria de precipitação (por exemplo: fraca, moderada ou intensa), apresentaram mais representatividades nestas tendências? O desmatamento da Amazônia contribuiu para o aumento ou diminuição de eventos com grandes taxas de precipitação?

1.2 Objetivos

Através de uma análise observacional, este trabalho tem como objetivo geral identificar o comportamento das tendências ou mudanças da precipitação separada por categorias, tais como, suas intensidades, frequências e suas contribuições para os totais anuais e sazonais, com base na metodologia estatística proposta por [Osborn et al. \(2000\)](#), aplicada às séries diárias de precipitação sobre as Capitais brasileira. O trabalho também tem como objetivo investigar a possível influência do desmatamento nas tendências, através desta mesma metodologia, sobre áreas intensamente desmatadas na Amazônia Legal Brasileira (ALB). Para isto, este trabalho estará dividido em duas partes, com seus respectivos objetivos específicos:

- 1) Parte I: Identificar sobre as capitais brasileiras tendências ou mudanças na distribuição da precipitação diária (separada por classes), quanto às suas intensidades, frequências e suas contribuições para os totais anuais e sazonais, durante o período de 1979 à 2009, com a utilização do teste de significância Mann-Kendall e as estimativas de inclinação pelo método Sen.
- 2) Parte II: Investigar, através das estimativas de desmatamento do projeto PRODES sobre a ALB, o impacto das áreas com elevadas taxas anuais de desmatamento no comportamento da precipitação (local e regional) e suas possíveis tendências e/ou mudanças (mesmo método aplicado na Parte I) e com um foco especial para a classe 10 (eventos mais intensos).

1.3 Organização do trabalho

Este trabalho divide-se em 4 capítulos. Os resultados estão separados em 2 partes (Capítulos 2 e 3), nestas estão contidos: Revisão bibliográfica, objetivos específicos, dados utilizados, uma breve descrição da área em estudo, a metodologia aplicada, resultados e discussões. Por fim, no capítulo 4, é feita uma síntese das principais conclusões do trabalho com sugestões para trabalhos futuros.

2 - PARTE I: ANÁLISES DAS TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO SOBRE AS CAPITAIS DO BRASIL

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Tendências da precipitação

Estudos recentes indicam mudanças da precipitação sobre diversas áreas continentais do globo durante o século XX. Em grande parte, com tendências positivas (significativamente nas partes lestes da América do Sul e América do Norte, Norte da Europa e Ásia), porém, não homogênea, uma vez que grandes áreas são caracterizadas por tendências negativas (Espanha, sul da África, regiões do sul da Ásia e área Mediterrânea) e outras dominadas por variabilidade (DAI et al., 1997; IPCC 2001, 2007; ALEXANDER et al., 2005; ALLEY et al., 2007; DEL RÍO et al., 2010).

Em geral, as mudanças na precipitação média são inferiores ou insignificantes, enquanto mudanças e, diferentes intensidades da precipitação (à exemplo das chuvas intensa/muito intensa) são estatisticamente significantes, quanto na escala global (GROISMAN et al., 1999 e 2005) e a nível regional (MANSON et al., 1999; KUNKEL, 2003).

Segundo Haylock et al. (2006), o padrão de tendências dos extremos e da precipitação anual sobre a América do Sul durante as últimas décadas são em grande parte semelhantes. Assim, uma vez que há aumento da precipitação anual nas regiões Sul-Sudeste da América do Sul nas últimas décadas (BARROS et al. 2000; LIEBMANN et al. 2004), uma provável causa seria devido não só às chuvas intensas (LIEBMANN et al. 2004; RE e BARROS, 2009), mas também a uma outra qualquer categoria de intensidade precipitação que venha a ter uma maior contribuição. Uma das possíveis causas de uma mudança na intensidade seriam mudanças na contribuição relativa da precipitação proveniente de mecanismos frontais, orográficas e convectivas (OSBORN et al., 2000).

Alexander et al. (2006), observando tendências da precipitação, por década (entre 1951 e 2003), sobre as áreas continentais do globo, encontrou uma contribuição no total anual por dias bastante chuvosos e que geralmente, o número de eventos de precipitação diária intensa que levam a inundações têm aumentado, porém, não em todos os lugares. Para o Brasil (regiões nordeste a sul, nas quais são mais providas de registros pluviométricos históricos), Groisman et al. (2005) e Marengo et al. (2009) identificaram tendências de aumento da

precipitação desde os anos de 1950, detectando um aumento na frequência dos eventos pluviiais extremos, principalmente sobre a região Sudeste e que estes eventos, segundo [Carvalho et al. \(2002\)](#), ocorrem mais durante períodos de El Niño, principalmente sobre o Estado de São Paulo.

A variabilidade interanual dos fenômenos El Niño e La Niña, o ciclo El Niño Oscilação Sul (ENSO), acarreta em pronunciados efeitos na precipitação sobre diversas áreas do Brasil ([KOUSKY et al., 1984](#) e [GRIMM et al., 1998](#)). [Silva et al. \(2007\)](#) mostraram as regiões do Brasil mais afetadas com anomalias de chuva bastante acentuadas, relacionadas à episódios de El Niño e La Niña, como exemplo os fortes episódios de El Niño 1982/83 e 1997/1998, que acarretaram em déficits sobre diversas áreas da Amazônia e cheias sobre a região sudeste do Brasil.

Segundo [Marengo et al. \(2007\)](#), usando índices de extremos definidos por [Frich et al. \(2002\)](#) e baseados em percentis e valores limiares, grande parte do sudeste da América do Sul, centro da Argentina e até o Centro-Oeste e o Sudeste do Brasil, os dados de estação de superfície mostraram uma tendência de aumento dos episódios de chuva intensa, entre o período de 1961 a 2000. Essas tendências sugerem aumento na frequência e intensidade de eventos de chuva no sudeste da América do Sul.

Em síntese, de acordo com as Avaliações do quarto Relatório de 2007 do IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas), haverá, no decorrer deste século, aumento de chuvas nas regiões que já são bem providas de chuvas e diminuição nas regiões que hoje sofrem com a escassez de água, além do aumento tanto da frequência quanto da intensidade dos eventos extremos, como furacões, inundações e secas prolongadas. Todavia, o quadro geral de mudanças do regime de chuvas nem sempre se aplica a todas as regiões da Terra.

Sobre o Brasil, para o início do século XXI, são esperados aumentos na precipitação sobre as regiões Sul, Amazônia ocidental e região litorânea entre Amapá e Ceará. Reduções nas chuvas são esperadas no sul e no centro da Amazônia, no Centro-Oeste do Brasil e na maior parte do Nordeste do Brasil, enquanto o número de dias chuvosos consecutivos tende a cair na maior parte do Nordeste do Brasil, Centro-Oeste do Brasil e oeste e sul da Amazônia. Já com relação aos índices extremos de chuvas, são observadas tendências de aumentos, tanto na frequência quanto na intensidade de eventos de chuva extremos no Sul e Sudeste do Brasil e também, embora menor, sobre as partes ocidental e oriental-litoranea da Amazônia e no norte

do Nordeste. São detectadas reduções nos extremos de chuvas do sul da Amazônia e grande parte do Nordeste Brasileiro (IPCC 2007).

2.1.2 Tendências ou mudanças na intensidade e frequência da precipitação por classe

A frequência de eventos extremos de precipitação (ou outra categoria) pode ser alterada, quer por uma mudança na distribuição das intensidades ou por uma mudança no número de dias chuvosos ou por uma combinação de ambos (OSBORN et al., 2000). Além disso, verifica-se que os totais de precipitação sazonal e anual são determinados tanto pelo número, quanto pela intensidade de eventos neste período. Portanto, separar as contribuições e tendências da frequência e intensidade para as tendências dos totais de precipitação torna-se bastante importante para compreender os efeitos a longo prazo das mudanças climáticas sobre o ciclo hidrológico global (LIU et al., 2005).

Desta forma, Karl et al. (2005) e Karl e Knight (1998) demonstraram uma abordagem que separa a influência das mudanças na frequência e intensidades de dias chuvosos e identificaram um aumento ao longo do tempo da contribuição relativa de eventos de precipitação intensa nos Estados Unidos da América (EUA) ao longo das décadas mais recentes.

Com um método de análises semelhantes ao de Karl e Knight (1998), porém, utilizando limiares, no qual varia de estação para estação, determinados pela quantidade de precipitação, em vez de frequência, Osborn et al. (2000) analisou eventos intensos de precipitação (definindo como a precipitação diária contribuindo em, pelo menos, 10% do total de precipitação sazonal) através de 110 estações sobre o Reino Unido, para o período de 1961 a 1995. Em alguns de seus resultados, Osborn et al. (2000), encontraram que no inverno (verão) houve um aumento (diminuição) na contribuição desses eventos intensos nos totais sazonais. Durante a primavera e outono não foram encontradas claras mudanças.

Além de Karl et al. (1995) e Karl e Knight (1998) para os EUA e Osborn et al. (2000), Osborn e Hulme (2002) e Maraun et al. (2008) para o Reino Unido, vários outros estudos para diversos países, com a utilização deste método e mesmo tipo de abordagem, têm mostrado alterações significativas, principalmente nas categorias de eventos extremos de precipitação diária, à exemplos de: Hennessy et al. (1999) e Haylock e Nicholls (2000) para a Austrália; Mason et al. (1999) para a África do Sul; Brunetti et al. (2002) para a Itália; Liu et al. (2005) para a China; entre outros. Sobre a América do Sul/Brasil esta técnica ainda não foi utilizada.

2.2 características gerais da área de estudo

O Brasil é considerado um dos maiores países do Globo, com uma grande extensão territorial de aproximadamente 8.512.000 km² de área, equivalente a 47% do território sul-americano. É formado pela união de 26 estados federados e por um distrito federal, divididos em 5.565 municípios. Tem a quinta maior população, com aproximadamente 190 milhões de habitantes, concentrados principalmente sobre as Capitais, consideradas grandes centros urbanos (Figura 2.1). Sua grande extensão latitudinal, localização com o Oceano Atlântico, em latitude praticamente tropical, as variadas formas de relevo, dentre outros, permitem o desenvolvimento e a atuação de diferentes sistemas atmosféricos, que contribuem para a ocorrência de diferentes regimes de precipitação ao longo de seu território.

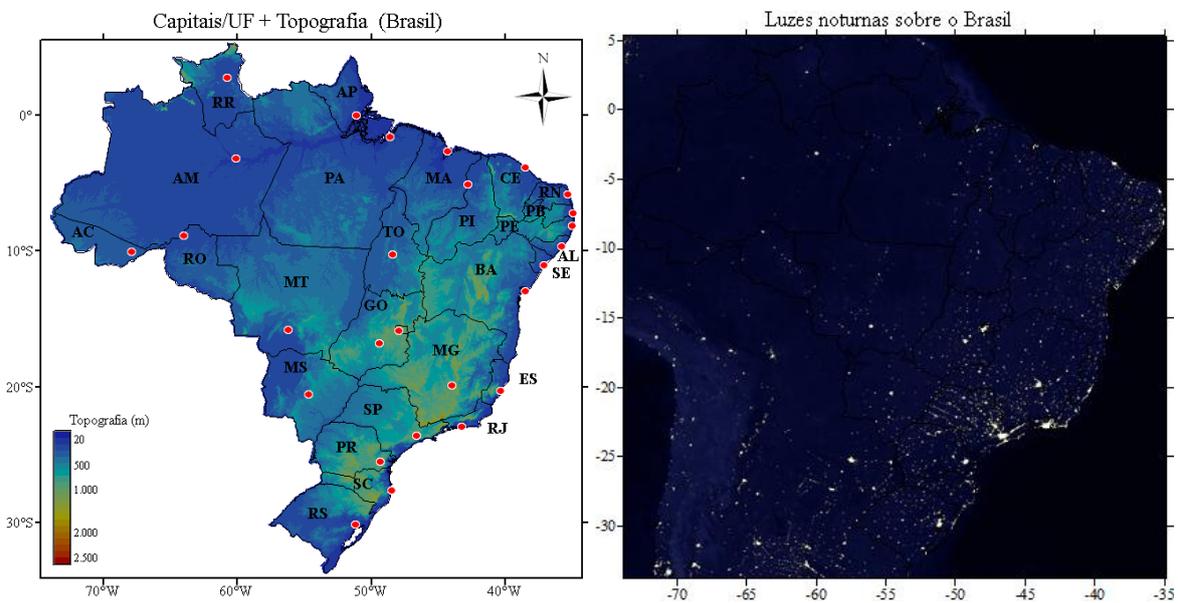


Figura 2.1 – a) Localização das capitais/estações pluviométricas em seus estados (sigla) sobre o território brasileiro, sobrepostas ao mapa de topografia (m) e b) Luzes noturnas sobre o Brasil.

A precipitação sobre os grandes centros urbanos, em especial nas capitais, apresenta um papel bastante importante, uma vez que a população (nestes casos, em grande número) apresenta-se bastante vulnerável aos seus extremos, ou seja, à precipitações intensas. Estas, que por sua vez, dependendo da localidade/região, estão associadas a um tipo específico ou a interação de diversos sistemas precipitantes, desde a escala local (à exemplo de brisas e convecção local) à escala sinótica (sistemas frontais e Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs)). Por exemplo, sobre a cidade de Belém-PA, grande parte dos eventos extremos estão relacionados a episódios de Linhas de Instabilidade (LIs) e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (COHEN et al, 1995; FERREIRA, 2008). No entanto, toda a costa Norte-Nordeste do Brasil, segundo Barbosa et al. (2006), são regiões de formação de perturbações convectivas, que

dependendo da sua formação e/ou evolução, podem ganhar grande extensão horizontal e se propagam continente adentro para o interior da Amazônia, causando precipitações elevadas em diversas localidades (RICKENBACK, 2004). Na região nordeste, à exemplo da capital Maceió-AL, o principal sistema atmosférico causador de chuvas intensas são os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) (TORRES e FERREIRA, 2011). Já em São Paulo-SP (região sudeste), onde a precipitação é uniformemente distribuída ao longo do ano (GRIMM et al. 2000), episódios de sistemas frontais e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) acarretam em altos índices de chuva, causando diversos transtornos à população (FERRAZ, 2000 e SILVA DIAS et al., 1988). Um outro fenômeno (local) a ser levado em conta, por estar diretamente ligado ao clima e conseqüentemente a precipitação sobre as cidades, são as Ilhas de Calor Urbana (ICU) (ARYA, 2001), que estão associadas ao aumento da temperatura da superfície e do ar sobre uma área urbana, em relação às áreas rurais ou suburbanas vizinhas.

Em síntese, as características de cada regime (ciclo anual de precipitação e sistemas atmosféricos que contribuem e/ou inibem a precipitação) sobre o Brasil, são sumarizadas conforme Reboita et al. (2010) e INMET (2009), através da Tabela 2.1 e Figura 2.2, respectivamente.

Tabela 2.1 – Características dos regimes de precipitação e sistemas atmosféricos por regiões do Brasil.

Regiões do Brasil	Característica do Ciclo Anual de Precipitação	Sistemas Atmosféricos Atuantes
Sul	A precipitação é praticamente homogênea ao longo do ano. O total anual é elevado (1050-1750 mm/ano) sendo ainda maior no oeste do sul do Brasil na fronteira com o Paraguai (1750-2100 mm/ano).	Frentes; ciclones; Vórtice Ciclônicos em Altos Níveis (VCANs) subtropicais; Linhas de Instabilidades (LIs) pré-frontais; nuvens vírgula; CCMs subtropicais, bloqueios atmosféricos; ZCAS; Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS); Jato de Baixos Níveis (JBN) a leste dos Andes; circulação de brisa.
Noroeste a Sudeste	Máximos de precipitação no verão e mínimos no inverno. O total anual varia ao longo destas regiões: no setor norte é superior a ~2450 mm, já no centro-oeste e sudeste é de ~1500 mm.	Ventos alísios; JBN a leste dos Andes; ASAS; convecção por aquecimento radiativo da superfície; Alta da Bolívia (AB); ZCIT; circulação de brisa; LI tropicais e pré-frontais; CCMs tropicais; frentes; VCANs subtropicais; ciclones.
Norte da Região Norte e Litoral do Nordeste	Máximos de precipitação no primeiro semestre do ano. No norte da região norte do Brasil o total anual é de 2000 mm, enquanto no litoral do nordeste do Brasil é de 1500 mm.	ZCIT; DOLs; convecção por aquecimento radiativo da superfície; CCMs tropicais; ventos alísios, circulação de brisa; LI; ondas de leste; cavado do nordeste do Brasil; VCANs tropicais; ASAS; frentes.
Sertão Nordestino	Máximos de precipitação no verão e mínimos no inverno, mas os totais são reduzidos (entre 200 e 500 mm/ano).	Ramo descendente da circulação zonal propiciada pela atividade convectiva na Amazônia; ZCIT; VCANs tropicais; frentes; ASAS

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

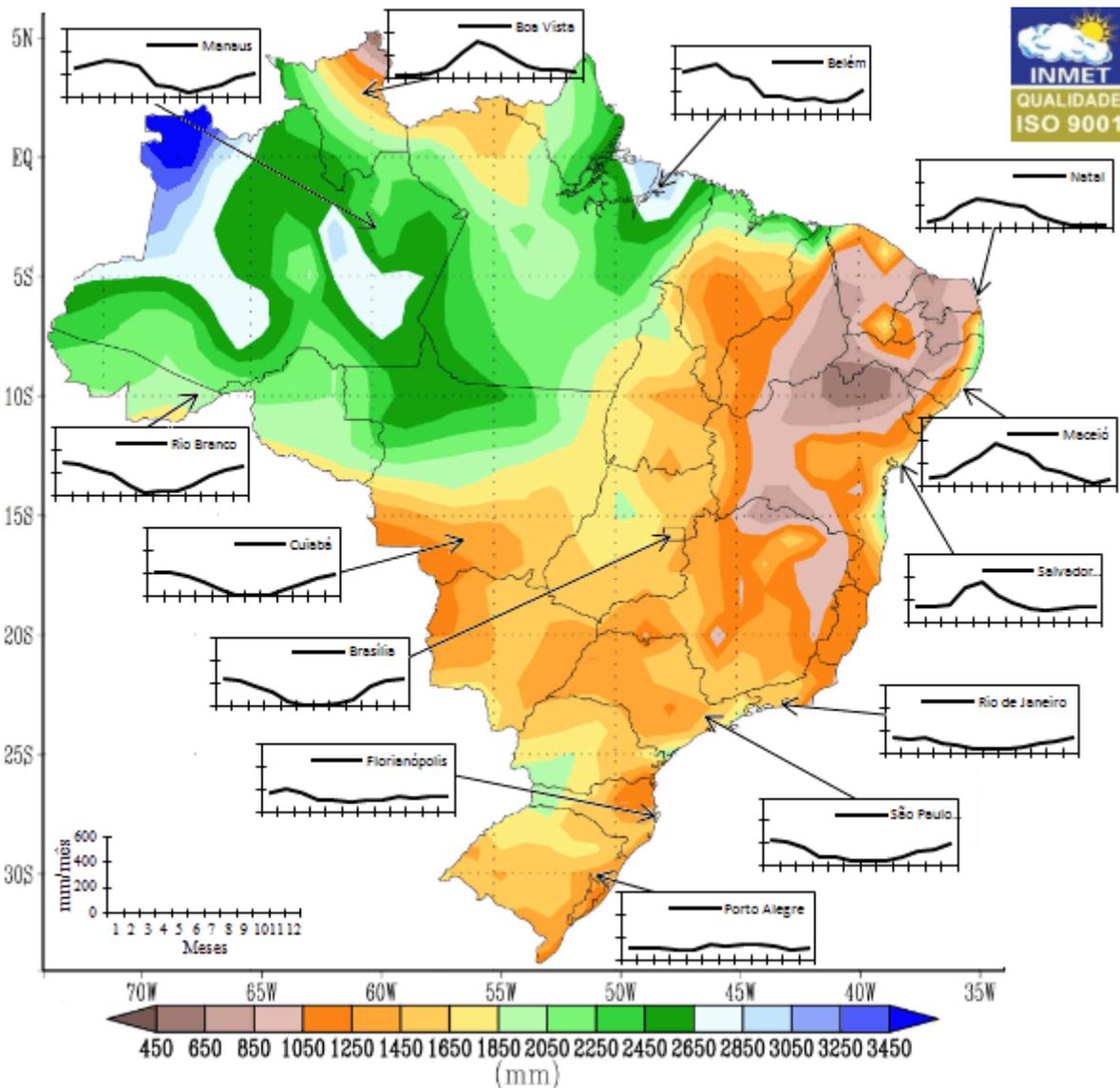


Figura 2.2 – Normais Climatológicas 1961-1990. Precipitação média anual sobre o Brasil e ciclo médio anual sobre algumas Capitais em estudo.

Fonte: Adaptado de [INMET \(2009\)](#).

2.3 Objetivos

Dada a importância e as vantagens de se utilizar o método de [Osborn et al. \(2000\)](#), este trabalho tem como objetivo detectar, sobre os grandes centros urbanos (capitais), tendências ou mudanças nas séries temporais anuais e sazonais de precipitação, durante o período de 1979 a 2009, quanto aos seus acumulados, intensidades e frequência diárias separados por classe, aplicando metodologias estatísticas: teste de Mann-Kendall e método de Sen, para investigar os sinais e significâncias e magnitudes de tais tendências, respectivamente.

2.4 Dados

Os dados de precipitação utilizados neste capítulo são provenientes do banco de dados de superfície medidos nas estações pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Considerou-se uma série temporal de dados de precipitação acumulada diária para um período desde janeiro de 1979 à dezembro 2009, referentes as 26 capitais estaduais e 1 distrito federal (total de 27 estações), sobre o território brasileiro. As estações, localizadas por capitais (vistas na Figura 2.1), são detalhadas na Tabela 2.2. Foram considerados trimestres contendo até 5% de dados faltosos e, conforme a Figura 2.3, uma série temporal com um número mínimo de 15 anos (Fig. 2.3 a) e com um período acima de 25 anos (Fig. 2.3 b). Com isso, foram descartadas 2 estações, pertencentes às capitais-UF: Rio de Janeiro-RJ e Porto Velho-RO.

Tabela 2.2 – Descrição das estações pluviométricas sobre as capitais estaduais brasileira, com seus respectivos códigos, latitude, longitude e altitude.

Nº	Código	Capital/Estação	UF	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Nº Médio de anos
1	82915	Rio Branco	AC	09°58'S	67°48'W	160,0	24,4
2	82994	Maceió	AL	09°40'S	35°42'W	64,5	14,2
3	82331	Manaus	AM	03°07'S	59°57'W	67,0	26,4
4	82098	Macapá	AP	00°03'S	51°07'W	14,5	28,6
5	83229	Salvador (Ondina)	BA	13°00'S	38°30'W	51,4	22
6	338048	Fortaleza (FUNCEME)	CE	03°44'S	38°44'W	46,0	29,2
7	83377	Brasília	DF	15°47'S	47°56'W	1159,5	28,6
8	83648	Vitória	ES	20°19'S	40°19'W	36,2	17,8
9	83423	Goiânia	GO	16°40'S	49°15'W	741,5	29,2
10	82280	São Luís	MA	02°32'S	44°13'W	50,9	30,8
11	83587	Belo Horizonte	MG	19°56'S	43°56'W	915,0	25,6
12	83611	Campo Grande	MS	20°27'S	54°37'W	530,7	18,6
13	83361	Cuiabá	MT	15°33'S	56°07'W	151,3	17,6
14	82191	Belém	PA	01°26'S	48°26'W	10,0	30,4
15	82798	João Pessoa	PB	07°06'S	34°52'W	7,4	16,2
16	82900	Recife (Curado)	PE	08°03'S	34°57'W	10,0	30,8
17	82578	Teresina	PI	05°05'S	42°49'W	74,4	16,2
18	83842	Curitiba	PR	25°26'S	49°16'W	923,5	24,8
19	83743	Rio de Janeiro	RJ	22°53'S	43°11'W	11,1	0
20	82598	Natal	RN	05°55'S	35°12'W	48,6	19
21	82825	Porto Velho	RO	08°46'S	63°55'W	95,0	0
22	82024	Boa Vista	RR	02°49'N	60°39'W	90,0	18,4
23	83967	Porto Alegre	RS	30°03'S	51°10'W	47,0	23,4
24	83897	Florianópolis	SC	27°35'S	48°34'W	1,8	16,8
25	83096	Aracaju	SE	10°57'S	37°03'W	4,7	21,6
26	83781	São Paulo (Mir. de Santana)	SP	23°30'S	46°37'W	792,1	28,8
27	83033	Palmas	TO	10°11'S	48°18'W	280,0	18,8

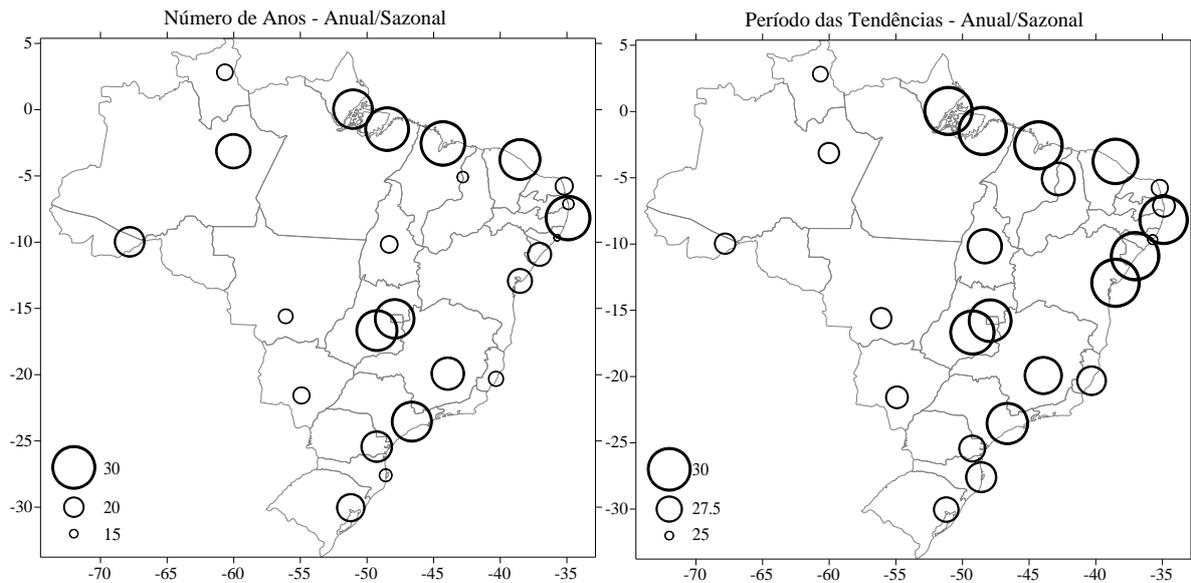


Figura 2.3 – a) Número e b) Período, médio de anos utilizados para a aplicação de tendências nas séries anuais e sazonais sobre as capitais brasileiras.

2.5 Metodologia

Para cada capital e ao longo dos 31 anos em estudo foram, inicialmente, investigadas as tendências dos acumulados anuais e sazonais (DJF – dezembro-janeiro-fevereiro, MAM – março-abril-maio, JJA – junho-julho-agosto e SON – setembro-outubro-novembro) e das suas respectivas frequências e intensidade média de dias chuvosos (precipitação total diária acima de 0,1 mm). Em seguida foi aplicada a técnica de [Osborn et al. \(2000\)](#), buscando-se comparar e identificar tendências ou mudanças na distribuição da precipitação diária separada por classes (tais como suas intensidades, frequências e contribuições anuais e sazonais). Para a identificação e estimativa da inclinação das tendências (monotônicas) nas séries anuais, foram aplicados os testes não-paramétricos de Mann-Kendall e o método Sen, conforme [Salmi et al. \(2002\)](#). A seguir, apresenta-se uma breve descrição das técnicas e métodos aqui aplicados.

2.5.1 Tendências na intensidade e frequência nos totais diários de chuva

Tendo em vista a importância de se estudar a intensidade e a frequência de eventos diários e suas respectivas tendências e contribuições ao longo do tempo, foi aplicada neste estudo a técnica realizada por [Osborn et al. \(2000\)](#) (O2000), [Osborn e Hulme \(2002\)](#) e [Maraun et al. \(2008\)](#), adaptadas de [Karl et al. \(1995\)](#) e [Karl e Knight \(1998\)](#). Em geral, tais métodos visam retirar a influência das variações do número de dias chuvosos, o qual pode ocasionar em um aumento ou diminuição na frequência de todos os eventos, desde os fracos aos mais intensos, através da separação dos acumulados diários de precipitação em 10 categorias de intensidade, desde os eventos mais fracos aos mais intensos.

Em O2000, todos os quantis acumulados, têm a mesma oportunidade de exibir tendências de contribuições grandes em uma série de dados, fazendo com que este apresente uma abordagem levemente melhorada em comparação com as anteriores (à ex. de [Karl e Knight, 1998](#)). A seguir é feita uma descrição mais detalhada do método O2000 aqui aplicado.

2.5.1.1 Método O2000

Para cada série diária de precipitação foram definidas 10 (dez) categorias de diferentes intensidades de chuva e as séries temporais representando a contribuição de cada categoria ao total de chuva. Para isto, foram adotados os seguintes passos:

- 1) Para cada estação (capital), por ano e por estação do ano, todas as séries diárias, referentes ao período de 1979 a 2009 foram organizadas em ordem crescente de precipitação diária.
- 2) Baseado nestes valores e para cada ano foram definidas 10 categorias: cada categoria contendo 10% da quantidade total acumulada de chuva por estação. Assim, a categoria 1, contém os eventos com menores valores de precipitação, contribuindo com 10% do total anual. A categoria 2 representando os próximos 10% da precipitação acumulada do ano. Sucessivamente cada decil é calculado até que a categoria 10 represente os últimos 10% do total anual da precipitação. Desta forma, a categoria 1 representa os casos com chuva fraca e que contribui com os primeiros 10% do total anual. A categoria 10, por sua vez, representa os casos de chuva mais fortes e que contribui com os últimos 10% do total anual. Por exemplo, a categoria 1 de janeiro é definida como o intervalo de precipitação que contém um número suficiente (em torno de 50%, da série) de eventos de chuva mais fracas que compõem 10% do total acumulado de janeiro de 1979 a 2009. A

categoria 10, por outro lado, é o intervalo que contém um número menor de eventos (cerca de 1,5% da série), porém, mais intensos, que compõem a mesma quantidade de 10%.

- 3) Usando estas categorias, definidas com os dados de 1979 a 2009, foram calculadas séries temporais de contribuição para cada estação do ano, durante todo o período de estudo. Estas séries anuais, para cada estação do ano, categoria e capital, foram medidas a porcentagem da precipitação a partir dos eventos pertencentes a uma determinada categoria em relação à precipitação total do período correspondente.

Durante o período referido, a contribuição média de cada categoria é, por construção, 10%, mas é livre pra variar entre os anos individuais e fora do período referente, assim como suas intensidades e frequências. Como as categorias foram definidas para cada estação do ano individualmente, em uma época do ano ou em uma área bastante seca, a categoria 10 é composta por eventos de precipitação mais baixos em relação aos de regime mais chuvosos.

Como exemplo da aplicação do método, considere a estação em Belém-PA (vista na Figura 2.3 e Tabela 2.2). Durante todos os verões (DJF) de 1979-2009, os 10 quantis acumulados, conforme definidos acima, são mostrados na Tabela 2.3. Houve em média 2 dias com chuva, cujo valor diário foi acima de 67,5 mm (intensidade média de 73,6 mm/dia) e estes fornecendo cerca de 10% da precipitação total de DJF. Por outro lado, cerca de 33,7 (45,2%) eventos, entre 0,2 e 8,0 mm (com 3,0 mm/dia de intensidade média), contribuem com os 10% da Classe 1. DJF apresenta em média cerca de 75 (83%) dias chuvosos, durante o período de 1979 a 2009.

Tabela 2.3 – Classes de Precipitação diária da cidade de Belém-PA, referente ao trimestre DJF, média entre 1979 e 2009.

Classes	Quantis Acumulados (%)	Menor corte (mm)	Intens. Média (mm)	Dias c/ chuva por classe	
				Nº	%
1	0 - 10	0.2	3.0	33.7	45.2
2	10 - 20	8	9.9	10.8	14.4
3	20 - 30	12.6	14.7	7.1	9.5
4	30 - 40	17.3	19.1	5.6	7.5
5	40 - 50	22	23.8	4.4	5.9
6	50 - 60	26.9	28.6	3.6	4.8
7	60 - 70	32.8	34.5	3	3.9
8	70 - 80	40	42.2	2.5	3.4
9	80 - 90	47.9	50.8	2.1	2.8
10	90 - 100	67.5	73.6	2	2.6
				74.9	100

2.5.2 Teste de Mann-Kendall e Método Sen

Para o teste de tendência monotônica aplicou-se a mesma metodologia usada por [Fan e Wang \(2010\)](#) e [Silva \(2010\)](#), que utiliza um *template* denominado de *MAKENSENS* (*Mann-Kendall test for trend and Sen's method for the magnitude of the trend*) desenvolvido pelo Instituto Meteorológico Finlandês ([SALMI et al. 2002](#)).

Com o teste não paramétrico de Mann-Kendall verifica-se a presença de uma tendência monotônica crescente ou decrescente e, em seguida, estima-se a inclinação e magnitude de uma tendência linear com o método não paramétrico de Sen ([GILBERT 1987](#)).

2.5.2.1 Teste de Mann-Kendall

Em síntese, o teste não paramétrico de Mann-Kendall, originalmente criado por [Mann \(1945\)](#) e reformulado por [Kendall \(1948\)](#), consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem seqüencial, contando o número de vezes em que os termos restantes são maiores que o valor analisado. O método descreve a tendência de uma série temporal de dados, sendo apropriado para casos em que a tendência possa ser assumida como monotônica e, portanto, não apresentando qualquer ciclo sazonal ou outra tendência nos dados. Segundo [Goossens e Berger \(1986\)](#) o teste de Mann-Kendall é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas e permite também a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência.

Considerando o teste de tendência monotônica crescente ou decrescente, deseja-se testar a hipótese nula da não existência de tendência, H_0 , ou seja, as observações x_i são aleatoriamente ordenadas no tempo, contra a hipótese alternativa, H_1 , em que há uma tendência monotônica de aumento ou redução. O teste estatístico de Mann-Kendall é determinado da seguinte forma,

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases}, \quad (1)$$

em que

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{ sinal}(x_j - x_k), \quad (2)$$

onde x_j e x_k são os valores (anuais ou sazonais) nos anos j e k ($j > k$), respectivamente; n é a duração da série de dados; e $\text{sgn}(\theta)$ é igual a 1, 0 e -1 se θ é maior que, igual a ou menor que zero, respectivamente;

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right], \quad (3)$$

Sendo, q o número de grupos vinculados e t_p é o número de valores de dados no grupo $p^{\text{ésimo}}$.

Para casos em que as séries temporais contêm menos de 10 amostras, usa-se o teste estatístico S para séries contendo amostras maiores do que 10 pontos a aproximação normal (teste estatístico Z). Sendo assim, neste estudo, por apresentar em todos os casos amostras superiores a 12 anos, a presença de uma tendência estatisticamente significativa é avaliada usando o valor do teste Z , considerando uma distribuição normal. Um valor que apresenta um resultado positivo (negativo) de Z indica a tendência de aumento (diminuição) dos valores da série temporal.

O teste para verificar a tendência monotônica crescente (positiva) ou decrescente (negativa) em um nível de significância α , a hipótese nula H_0 é rejeitada se o valor absoluto de Z for maior do que $Z_{1-\alpha/2}$, onde $\pm Z_{1-\alpha/2}$ são os quantis $1-\alpha/2$ de uma distribuição normal padrão, correspondendo a um dado nível de significância α para o teste. Utiliza-se um teste de significância bicaudal, considerando quatro níveis de significância α : 0,1; 0,05; 0,01 e 0,001.

O nível de significância de 0,001 significa que há uma probabilidade de 0,1% de que os valores x_i tenham uma distribuição aleatória, ou seja tem-se a probabilidade de 0,1% de se cometer um erro ao rejeitar a hipótese nula H_0 , portanto, neste caso é realmente muito provável a existência de uma tendência monotônica. O nível de significância de 0,1 significa que há uma probabilidade de 10% de que se cometer um erro ao rejeitar H_0 , e assim por diante.

O teste Mann-Kendall, por ser um método não paramétrico, não necessita que a série de dados apresente uma distribuição normal (gaussiana). Por outro lado, os testes não paramétricos são mais conservadores que os testes paramétricos e suas conclusões não são tão robustas como os testes paramétricos (como o caso do teste *t de student*).

2.5.2.2 Método de Sen

Já o método não-paramétrico de Sen (SEN, 1968; GILBERT, 1987) utiliza um modelo linear para estimar a inclinação da tendência e da variância dos resíduos sendo constante no tempo. São permitidos valores em falta e os dados não precisam obedecer a uma distribuição específica qualquer. Além disso, o método de Sen não é muito afetado por erros de um dado único. Realiza-se a estimativa da verdadeira inclinação da tendência, assumindo que esta seja linear, existente numa série temporal, possibilitando encontrar a magnitude desta tendência. Isto significa que

$$f(t) = Qt - B, \quad (4)$$

onde Q é a inclinação e B é uma constante.

Para obter a estimativa de inclinação Q , primeiro calculam-se as inclinações de todos os pares de dados

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}, \quad (5)$$

onde $j > k$.

Se existem n valores x_j na série temporal, obtêm-se $N = n(n-1)/2$ estimativas de inclinação Q_i . Assim inclinação estimada pelo método de Sen é a mediana destes valores N de Q_i . Os valores N de Q_i são classificados do menor para o maior, e a estimativa de Sen é

$$Q = Q_{[(N+1)/2]}, \quad \text{se } N \text{ é ímpar}$$

$$\text{ou} \quad (6)$$

$$Q = \frac{1}{2} (Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}), \quad \text{se } N \text{ é par}$$

Para obter uma estimativa de B na Eq. 4, são calculados os n valores da diferença $x_i - Q_{ti}$.

Uma descrição mais detalhada para o cálculo do teste estatístico Z de Mann-Kendall, estimativa de inclinação Q e da constante B pelo método Sen pode ser encontrada em [Salmi et al. \(2002\)](#).

2.6 Resultados

As tendências da precipitação (acumulada, frequência, intensidade diária e separada por classes), para todas as capitais em estudo, são exibidas na forma de distribuição espacial. Como exemplo, são mostradas as séries temporais de algumas estações específicas com representatividade. Mesmo sabendo que todas as classes possuem iguais importâncias, neste será dada uma atenção especial à Classe 10, que provem dos eventos mais intensos. Os resultados advindos do teste de Mann-Kendall e do método Sen, assim como as tendências (anuais e sazonais), para todas as estações selecionadas, são mostrados na forma de tabelas.

2.6.1 Tendências nos totais anuais e sazonais da precipitação

A Figura 2.4 representa a tendência da precipitação total anual, observadas nas capitais brasileiras, representada pelo desvio da média em porcentagem, os valores do teste Z de M-K e de inclinação Q pelo método Sen. Observam-se, em grande parte das capitais brasileiras, tendências positivas nos totais anuais de precipitação (regiões nordeste, sudeste e parte da Amazônia), com valores ultrapassando cerca de 60 e 80% acima da média sobre algumas cidades, porém, apenas as cidades Belém-PA (Fig. 2.5 a) e São Paulo-SP (Fig. 2.5 b), que apresentaram aumentos de aproximadamente 14 e 19%, respectivamente, alcançaram significância estatística de 95% e 90%, respectivamente. As tendências negativas foram presenciadas nas capitais situadas mais a oeste (Rio Branco-AC, Cuiabá-MT e Campo Grande-MS, com cerca de 5 a 15% de redução) e sul (Florianópolis-SC e Porto Alegre-RS, com aproximadamente 25 e 4% de diminuição) do Brasil. Os valores anuais, para cada cidade, do teste de M-K (Z e Sig.) e do método Sen (Q e B), assim como os desvios da média (em porcentagem), são apresentados na Tabela 2.4.

Sazonalmente (Figura 2.6 a-d) é possível notar que principalmente, durante a estação de outono (Fig. 2.6 b) verifica-se padrões espaciais similares ao da tendência anual sobre grande parte do Brasil, associados à estação chuvosa. Nesta estação, a região Norte e principalmente sobre a região Nordeste, são observadas tendências de aumento e com algumas cidades apresentando cerca de 60 a 80% (Boa Vista-RR e Palmas-TO) e de 30 a 40% (Belém-PA e Salvador-BA) acima da média, estatisticamente significantes acima do nível de 95%. Nas demais estações a distribuição é relativamente diferente e tendo em vista que os acumulados de precipitação das estações de inverno e primavera são relativamente menores aos de verão e outono. No inverno (Fig. 2.6 c) não são encontradas tendências significativas sobre as capitais

em estudo, embora durante esta estação do ano, principalmente sobre a região Nordeste, permanece um padrão semelhante ao do outono, com tendências de aumento sobre grande parte de suas capitais.

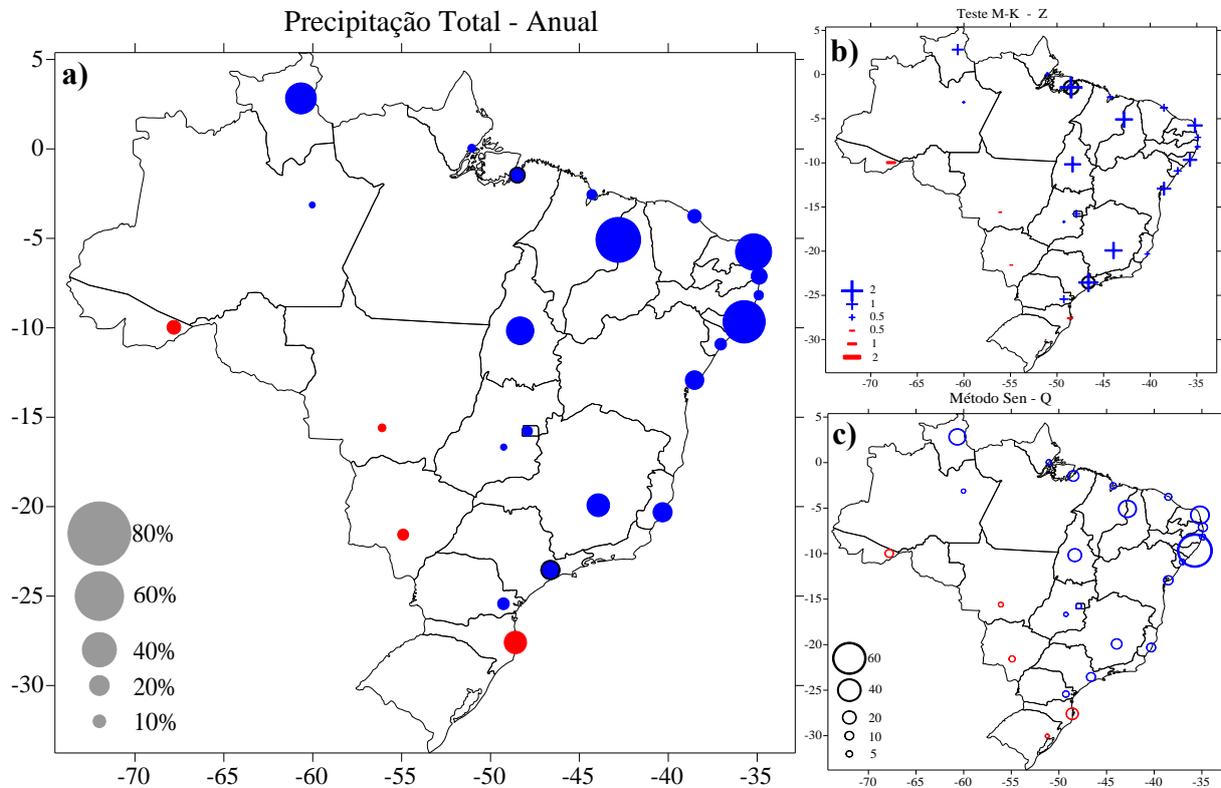


Figura 2.4 – Tendência da precipitação total anual (1979-2009) sobre as Capitais: a) Desvio da média em porcentagem; b) Sinal pelo teste Z de M-K e c) Magnitude Q do método Sen. Aumento (diminuição) indicado pela cor azul (vermelho). Círculos com contornos em preto indicam significância estatística acima do nível de 90% pelo Teste M-K.

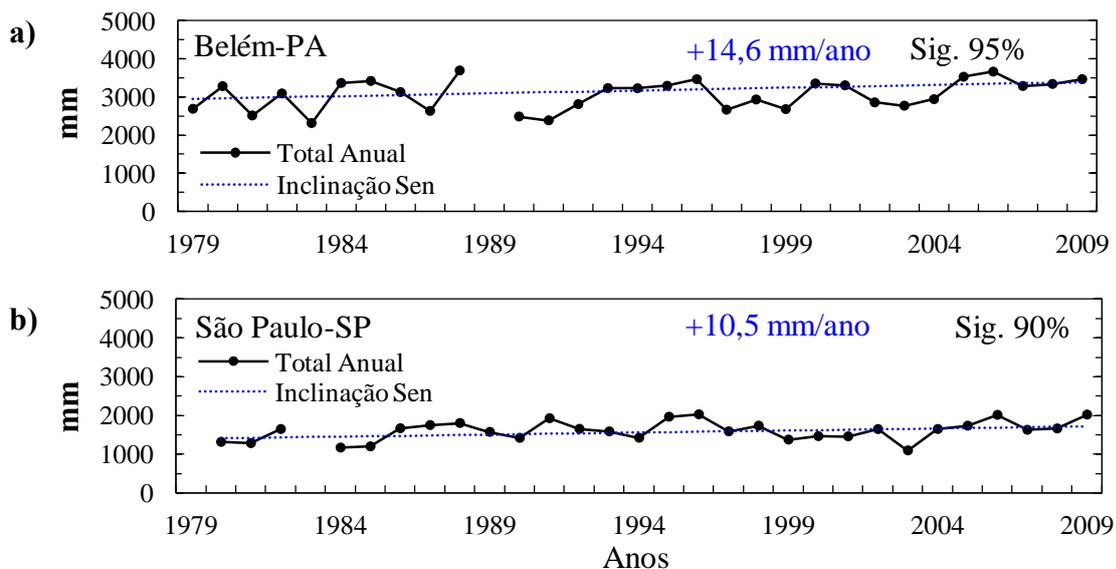


Figura 2.5 - Séries temporais de precipitação total anual de estações representativas com tendências positivas estatisticamente significativas. a) Belém-PA e b) São Paulo-SP.

Tabela 2.4 - Valores, por capital, da Precipitação média anual; de Z (tendência) e significância estatística (Sig.) de 99,9 (***), 99 (**), 95 (*) e 90% (+), resultantes do teste de Mann-Kendall (M-K); de Q (magnitude em mm/ano) e B (constante), do método Sen; e desvio da média em %, referente ao período de 1979 a 2009.

Nº	Capital-UF	Média	M-K		SEN		Desvio da Média (%)
		Anual (mm)	Z	Sig.	Q	B	
1	Rio Branco-AC	2010.7	-0.6		-4.3	2080.5	-5.6
2	Maceió-AL	1722.0	1.3		63.0	501.8	51.2
3	Manaus-AM	2304.2	0.2		0.6	2293.2	0.7
4	Macapá-AP	2516.8	0.3		2.7	2520.1	3.3
5	Salvador-BA	1868.5	1.2		11.4	1573.0	18.3
6	Fortaleza-CE	1559.0	0.6		6.2	1222.9	11.1
7	Brasília-DF	1463.0	0.7		3.3	1323.6	6.5
8	Vitória-ES	1359.0	0.4		10.4	1193.9	19.1
9	Goiânia-GO	1630.5	0.2		0.7	1652.9	1.2
10	São Luís-MA	2215.4	0.5		4.6	2259.9	6.2
11	Belo Horizonte-MG	1584.4	1.6		13.6	1279.7	24.1
12	Campo Grande-MS	1426.2	-0.2		-4.8	1559.4	-7.8
13	Cuiabá-MT	1427.1	-0.1		-1.2	1382.6	-2.2
14	Belém-PA	3060.2	2.1	*	14.6	2949.0	14.3
15	João Pessoa-PB	1891.9	0.5		10.7	1705.0	14.7
16	Recife-PE	2259.5	0.4		4.2	2255.3	5.6
17	Teresina-PI	1367.6	1.6		28.8	770.5	54.8
18	Curitiba-PR	1579.6	0.7		5.3	1406.5	8.8
19	Natal-RN	1771.4	1.3		30.4	1226.3	42.9
20	Boa Vista-RR	1737.2	1.3		0.5	125.7	35.5
21	Porto Alegre-RS	1444.6	0.0		0.0	1501.9	0.0
22	Florianópolis-SC	1854.6	-0.5		-16.8	2098.2	-23.6
23	Aracaju-SE	1252.9	0.6		3.6	1184.6	8.6
24	São Paulo-SP	1599.1	1.8	+	10.5	1401.0	19.0
25	Palmas-TO	1728.9	1.5		19.7	1329.8	30.8

Na primavera (Fig. 2.6 d), considerada a estação de transição do regime seco para o regime chuvoso na maioria das capitais, são observadas tendências de aumento na precipitação acumulada sobre as regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste do Brasil. Florianópolis-SC, Curitiba-PR e São Paulo-SP apresentaram 46,5; 39,5 e 35,1% acima da média, respectivamente e significativas tendências acima do nível de 90%,. As tendências negativas tiveram domínio sobre as capitais das regiões Norte e Nordeste, esta última com valores bastante representativos, com destaque as cidades de São Luís-MA, Teresina-PI, Fortaleza-CE e Recife-PE, com cerca de 77,4, 84,8, 106,2 e 49,9% abaixo da média (significativas acima do nível de 90% pelo teste de M-K), respectivamente.

Assim como na primavera, durante o verão (Fig. 2.6 a), as tendências de redução também se apresentaram bastantes representativas, principalmente sobre a Amazônia Oriental com Nordeste, Centro-oeste e parte da região Sul do Brasil, com destaque à cidade de Campo

grande-MS, com tendências significativas ao nível de 90% de aproximadamente 15,4% abaixo da média.

Como exemplo, na Figura 2.7 são mostradas as séries temporais de algumas cidades e estações do ano com tendências estatisticamente significativas. Nesta, é possível notar que Belém-PA durante o trimestre MAM, considerado o mais chuvoso da cidade, apresentou tendência positiva, com cerca de 9,0 mm/ano pelo método Sen, significativa ao nível de 95% pelo teste de M-K. Os valores sazonais, por cidade, do teste de M-K (Z e Sig.) e do método Sen (Q e B), assim como as tendências, representadas através do desvio da média em porcentagem, podem ser visualizados na Tabela 2.4.

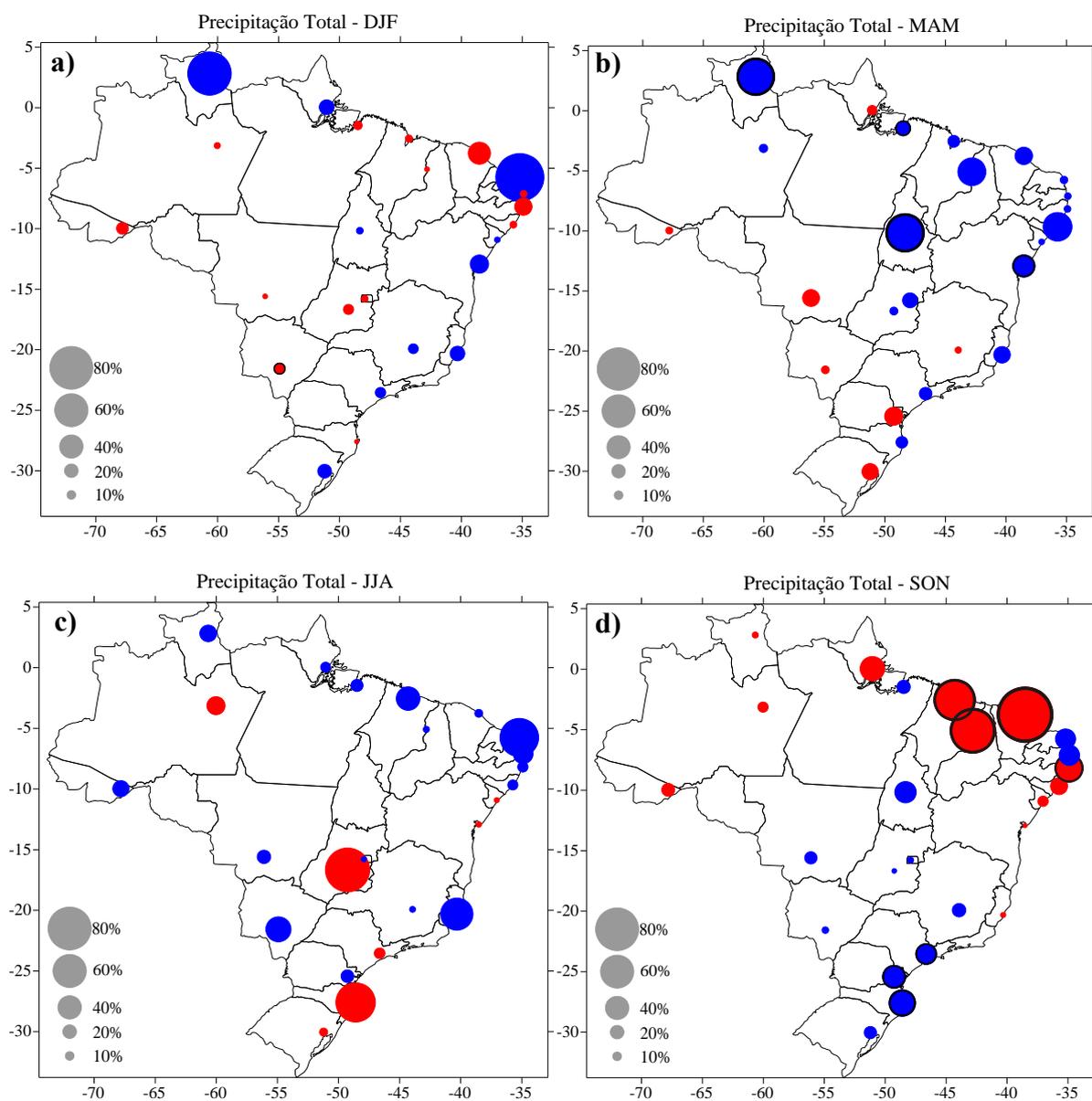


Figura 2.6 – Assim como a Fig. 2.5, porém, para as estações do ano: Verão (a), Outono (b), Inverno (c) e Primavera (d).

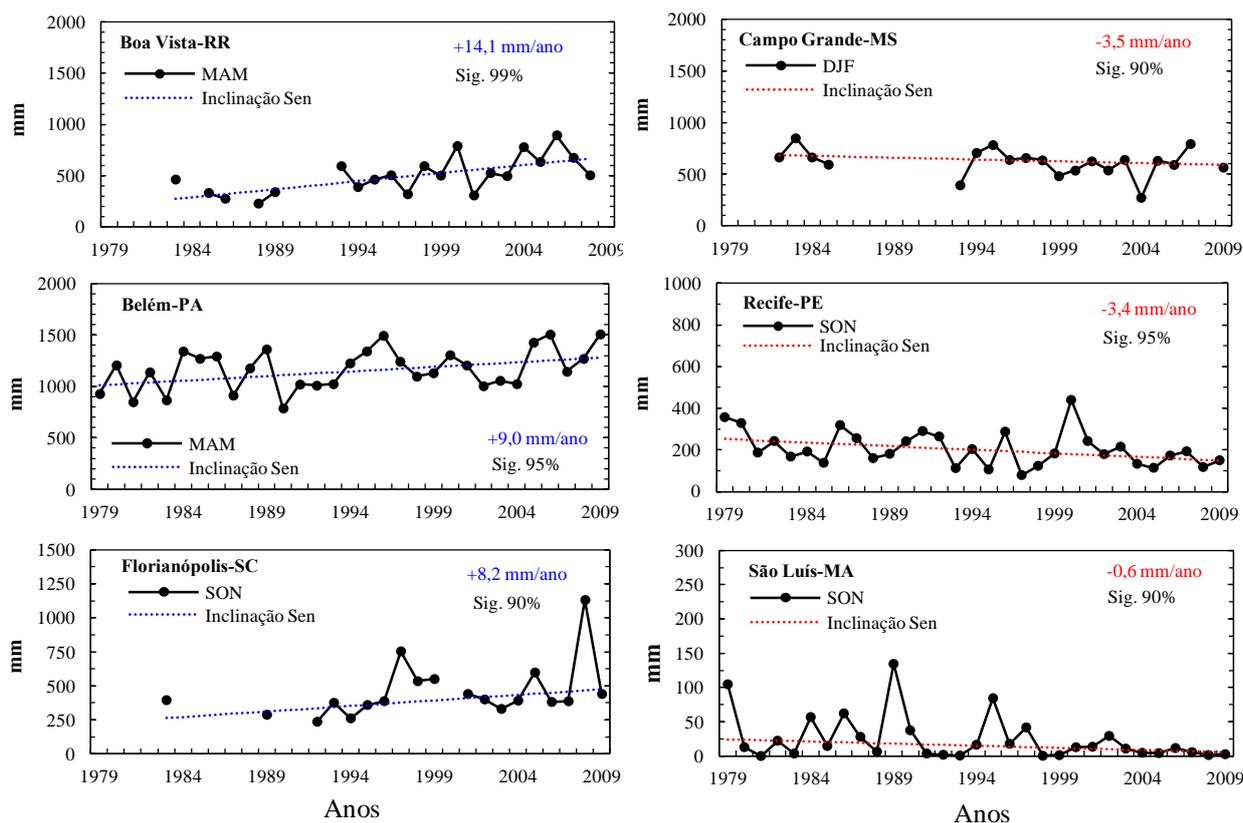


Figura 2.7 – Séries temporais de precipitação total sazonal de estações representativas com tendências positivas (esquerda) e negativas (direita) estatisticamente significativas pelo teste de Mann-Kendall.

Assim, para o período estudado, com relação aos totais anuais, das 25 estações analisadas, 20 apresentaram tendências positivas (com 2 destas significantes acima de 90% pelo teste de M-K), 4 com tendências negativas e somente 1 apresentando tendência nula. Sazonalmente, a estação outono (MAM) se destacou por apresentar um número maior de estações com tendências positivas em seus totais (cerca de 72% das cidades em estudo, destas 22% estatisticamente significantes), com um padrão semelhante ao Anual. JJA (inverno) apresentou-se como a segunda estação do ano com maior predomínio de tendências positivas (cerca de 68% das cidades estudadas), com 28% de tendências negativas, porém, nenhuma significativa, ao contrário de SON (primavera), que apresentou tendências positivas (negativas) em 52% (48%) das estações em estudo, sendo que destas, 23,1% (15%) com significância estatística, apresentando-se principalmente sobre a região sudeste (nordeste). Em DJF o padrão dominante foi o de tendências negativas, em aproximadamente 60% das cidades, destas, 6,7% com significância estatística acima do nível de 90%. Não sendo observadas tendências positivas com significância estatística nesta estação.

Tabela 2.5 – Assim como a Tabela 2.4, porém, para os valores Sazonais: DJF (verão), MAM (outono), JJA (inverno) e SON (primavera).

Nº	Capital-UF	DJF (mm)					MAM (mm)						
		Média	M-K	SEN	Desvio da	Média	M-K	SEN	Desvio da				
		DJF (mm)	Z	Sig.	Q	B	Média (%)	MAM (mm)	Z	Sig.	Q	B	Média (%)
1	Rio Branco-AC	837.1	-0.8		-5.6	918.8	-16.7	578.0	-0.8		-1.5	575.8	-6.9
2	Maceió-AL	202.9	-0.1		-0.7	170.3	-6.4	636.1	1.1		11.3	424.5	51.6
3	Manaus-AM	848.4	-0.3		-1.7	850.8	-5.0	867.0	1.0		3.2	802.0	9.6
4	Macapá-AP	780.9	1.4		6.1	642.0	22.5	1096.3	-0.8		-4.4	1141.8	-11.9
5	Salvador-BA	261.1	0.7		2.7	153.4	29.8	703.8	1.7	+	8.9	597.2	38.1
6	Fortaleza-CE	344.7	-1.3		-4.6	400.5	-37.7	913.2	1.2		8.9	784.0	28.4
7	Brasília-DF	645.3	-0.2		-1.4	673.2	-6.0	363.4	0.9		2.8	315.8	23.1
8	Vitória-ES	431.6	0.9		3.7	316.4	22.3	311.6	0.5		2.7	250.5	26.5
9	Goiânia-GO	767.8	-1.2		-3.5	953.2	-13.2	407.1	0.4		1.2	505.1	8.8
10	São Luís-MA	646.3	-0.2		-1.6	623.7	-7.1	1216.5	0.9		6.8	1093.7	16.8
11	Belo Horizonte-MG	874.5	0.4		4.0	786.7	12.5	302.7	-0.2		-0.5	309.4	-5.5
12	Campo Grande-MS	614.3	-1.7	+	-3.5	693.7	-15.4	324.6	-0.3		-0.9	348.3	-8.5
13	Cuiabá-MT	660.2	-0.1		-0.6	660.6	-2.2	386.9	-1.5		-4.2	445.1	-27.2
14	Belém-PA	1062.7	-0.6		-3.6	1100.8	-9.8	1167.6	2.1	*	9.0	1010.0	23.1
15	João Pessoa-PB	242.3	-0.1		-0.6	253.0	-6.1	763.9	0.2		1.8	648.7	6.2
16	Recife-PE	299.3	-0.7		-2.9	306.7	-27.7	810.6	0.4		1.7	772.1	6.3
17	Teresina-PI	573.0	0.0		-0.5	593.5	-2.4	690.3	1.1		12.3	396.2	49.8
18	Curitiba-PR	529.8	0.0		0.0	508.4	0.0	349.7	-0.9		-3.8	412.5	-29.7
19	Natal-RN	188.6	1.3		6.8	24.8	90.4	709.9	0.1		2.2	692.3	7.9
20	Boa Vista-RR	135.2	1.4		4.4	12.9	81.1	504.4	2.7	**	14.1	241.6	69.7
21	Porto Alegre-RS	316.9	0.7		2.4	270.4	20.4	327.3	-0.8		-3.2	373.7	-25.8
22	Florianópolis-SC	619.0	0.0		-0.1	595.8	-0.7	388.8	0.2		2.2	334.6	16.4
23	Aracaju-SE	164.8	0.1		0.2	132.0	3.9	492.6	0.1		0.7	465.6	4.3
24	São Paulo-SP	743.1	1.2		3.6	667.2	13.6	370.4	0.8		2.3	291.5	18.3
25	Palmas-TO	845.5	0.7		1.9	754.2	6.2	460.6	2.7	**	11.8	230.5	71.7

(Continua)

Tabela 2.5 –

Nº	Capital-UF	Média JJA (mm)					Média SON (mm)					
		M-K Z	Sig.	SEN Q	B	Desvio da Média (%)	M-K Z	Sig.	SEN Q	B	Desvio da Média (%)	
1	Rio Branco-AC	123.3	1.0	1.2	83.7	25.4	447.4	-1.2	-3.3	494.3	-18.9	
2	Maceió-AL	775.0	0.4	3.5	629.9	13.0	209.4	-0.2	-1.9	238.1	-27.2	
3	Manaus-AM	256.0	-1.5	-2.9	286.7	-29.4	352.1	-0.9	-1.8	369.9	-13.4	
4	Macapá-AP	526.4	1.0	2.2	458.3	12.7	125.0	-1.0	-1.8	128.3	-42.3	
5	Salvador-BA	574.7	0.0	-0.7	551.6	-3.5	307.4	0.0	-0.1	269.9	-1.1	
6	Fortaleza-CE	261.2	0.4	0.8	241.7	8.6	42.9	-2.5	*	-1.6	59.2	-106.2
7	Brasília-DF	34.6	0.2	0.0	28.5	3.5	424.4	0.1	0.7	367.4	5.2	
8	Vitória-ES	166.7	1.0	3.6	62.4	58.2	420.1	0.0	-0.5	340.7	-3.0	
9	Goiânia-GO	30.4	-1.1	-0.9	74.3	-82.3	415.6	0.2	0.3	513.3	2.1	
10	São Luís-MA	333.1	1.2	4.5	261.5	40.5	24.1	-1.8	+	-0.6	24.2	-77.4
11	Belo Horizonte-MG	34.1	0.0	0.1	31.2	4.5	389.6	0.7	2.8	339.7	19.9	
12	Campo Grande-MS	130.4	0.7	2.1	111.4	43.5	394.6	0.5	1.0	325.5	6.0	
13	Cuiabá-MT	58.0	0.3	0.4	34.1	19.8	324.7	0.8	2.0	295.6	18.5	
14	Belém-PA	474.0	1.3	2.7	441.7	17.1	376.0	1.4	2.5	328.6	19.6	
15	João Pessoa-PB	807.2	0.9	10.1	651.0	32.4	111.0	0.9	1.5	87.1	34.1	
16	Recife-PE	945.4	0.7	4.2	883.1	13.4	205.4	-2.1	*	-3.4	252.3	-49.9
17	Teresina-PI	31.6	0.0	0.1	21.0	5.1	74.1	-1.3	-2.4	127.1	-84.8	
18	Curitiba-PR	270.4	0.4	1.9	208.0	18.3	411.8	1.8	+	6.0	290.8	39.5
19	Natal-RN	773.5	1.5	21.9	296.4	70.9	93.2	0.9	1.2	48.0	33.5	
20	Boa Vista-RR	862.7	1.5	8.8	699.7	26.5	243.8	-0.1	-0.5	239.1	-4.9	
21	Porto Alegre-RS	396.9	-0.4	-1.4	420.2	-9.0	398.1	1.0	2.6	322.4	17.5	
22	Florianópolis-SC	277.4	-1.4	-7.7	423.2	-72.6	455.6	1.8	+	8.2	229.8	46.5
23	Aracaju-SE	461.0	0.0	-0.4	447.9	-2.9	169.6	-0.3	-0.8	160.1	-13.7	
24	São Paulo-SP	134.5	-0.3	-0.7	132.7	-14.2	348.1	1.9	+	4.2	269.9	35.1
25	Palmas-TO	9.7	0.0	0.0	1.2	0.0	412.2	1.6	5.1	307.0	36.1	

2.6.2 Tendências na Frequência de dias chuvosos anual e sazonal

A Figura 2.8 representa a tendência na frequência de dias chuvosos nas séries anuais e sazonais, sobre os grandes centros urbanos do Brasil, representados pelas capitais estaduais. Anualmente (Fig. 2.8-a) é possível notar uma certa heterogeneidade das tendências distribuídas sobre o território brasileiro, com valores tanto de aumento, quanto de redução e algumas significativas sobre determinadas cidades. As cidades de Fortaleza-CE, Curitiba-PR e Manaus-AM destacaram-se por apresentar tendências (desvio da média) de redução com valores de 71,8, 22,2 e 13,7% e estatisticamente significativas ao nível de 99,9, 99,9 e 95%, respectivamente. Já as cidades de Palmas-TO e Porto Alegre-RS apresentaram tendências de aumento na frequência de dias chuvosos (cerca de 28,6 e 13,9%, respectivamente), significativos acima do nível de 99 e 90%, respectivamente (Tabela 2.6).

Durante grande parte do ano, as tendências de reduções na frequência de dias chuvosos encontram-se mais representativas que as de aumento, com exceção do trimestre SON (Fig. 2.8 e), sobre as cidades localizadas na parte central, sudeste e sul, que apresentaram aumentos na frequência de dias chuvosos, porém não significativos pelo teste de M-K. Para este mesmo trimestre, foram encontradas tendências de diminuição (algumas significantes estatisticamente) sobre grande parte das capitais do Nordeste e da Amazônia. Durante o inverno (Fig. 2.8 d), partes das regiões Centro-oeste, Sul e sudeste são dominadas por tendências de diminuição, assim como nas cidades de Manaus-AM e Fortaleza-CE, com desvios variando entre 10 e 80% abaixo da média. No verão (Fig. 2.8 b), somente as cidades de Fortaleza-CE e Palmas-TO apresentaram tendências estatisticamente significativas ao nível de 99,9 e 95%, respectivamente, porém, a primeira apresentando desvio abaixo (80%) e a segunda acima (17%) da média. A cidade de Fortaleza-CE apresentou tendências de redução significativas acima do nível de 95%, durante todas as estações, principalmente na primavera (Fig. 2.5 d), com um desvio de aproximadamente 120% abaixo da média. Manaus-AM obteve tendências de reduções durante grande parte do ano, com destaque para as estações de inverno (-33,1%) e primavera (-41%). Palmas-TO apresentou um padrão inverso ao de Manaus-AM, com aumentos significativos, principalmente nas estações de verão e outono. Os valores das tendências na frequência de dias chuvosos anuais e sazonais, podem ser vistos na Tabela 2.6 e 2.7, respectivamente.

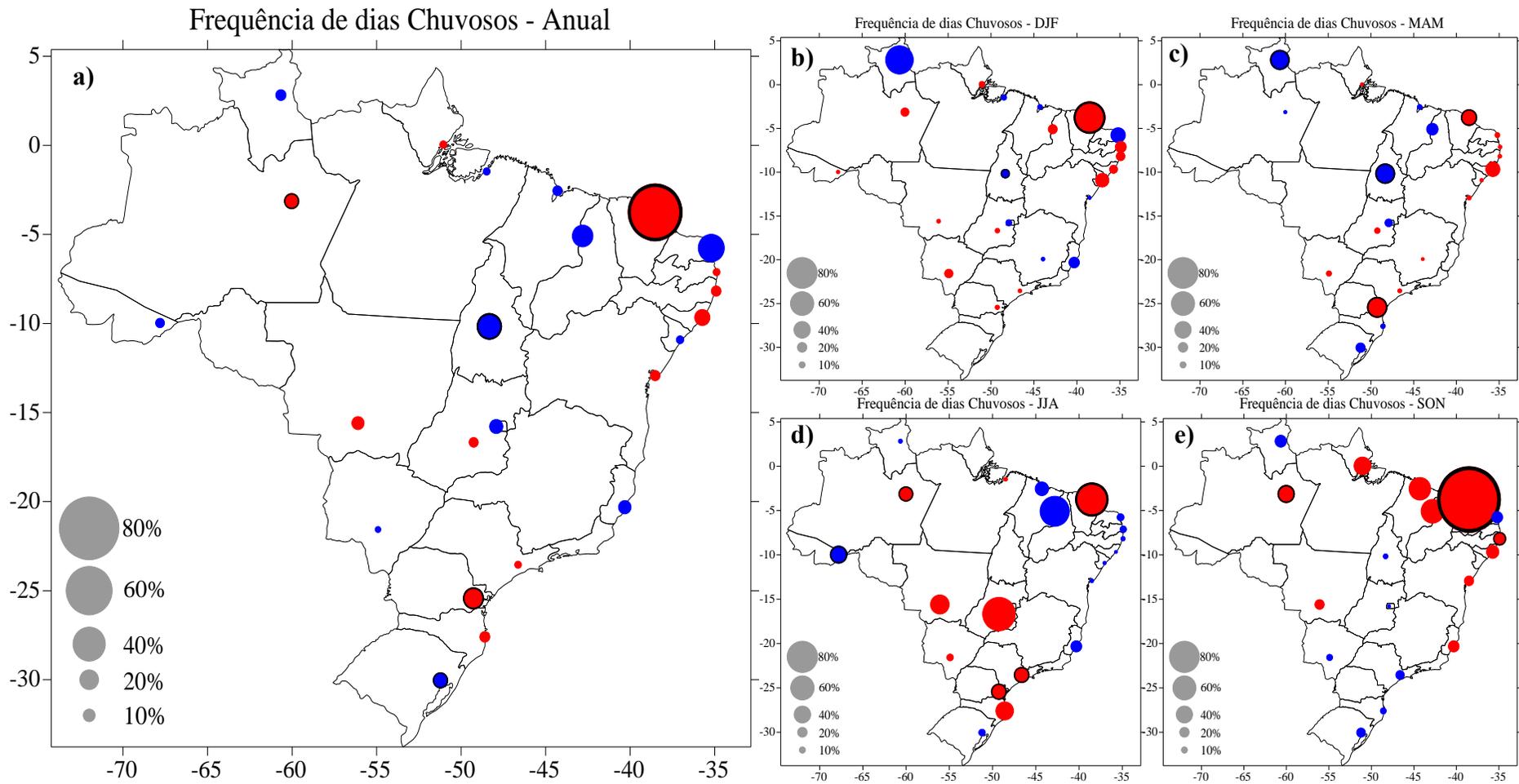


Figura 2.8 – Tendências anual e sazonal da frequência de dias chuvosos sobre as Capitais brasileiras, durante 1979 a 2009, através dos testes de M-K e Sen. Círculos representam o Desvio da média (em %), onde a cor azul (vermelho) indica aumento (diminuição). Círculos com contornos em preto indicam significância estatística do Teste M-K acima do nível de 90%.

Tabela 2.6 – Assim como a Tabela 2.4, porém, para a frequência média de dias chuvosos anual.

Nº	Capital-UF	Freq. Média dias Chuv. Anual (%)	M-K		SEN		Desvio da Média (%)
			Z	Sig.	Q	B	
1	Rio Branco-AC	43.5	1.0		0.1	42.9	5.6
2	Maceió-AL	55.1	-0.7		-0.6	69.0	-14.9
3	Manaus-AM	48.7	-2.3	*	-0.3	52.0	-13.7
4	Macapá-AP	54.3	-0.6		-0.1	54.8	-2.9
5	Salvador-BA	53.8	-0.8		-0.1	55.6	-6.8
6	Fortaleza-CE	39.2	-3.9	***	-1.0	52.9	-71.8
7	Brasília-DF	36.9	1.3		0.2	33.4	12.1
8	Vitória-ES	37.9	0.7		0.2	33.4	11.0
9	Goiânia-GO	38.7	-0.7		-0.1	39.6	-6.0
10	São Luís-MA	41.2	0.7		0.1	41.8	6.2
11	Belo Horizonte-MG	30.5	0.0		0.0	29.6	0.0
12	Campo Grande-MS	33.8	0.0		0.0	33.6	0.9
13	Cuiabá-MT	33.1	-0.9		-0.1	34.1	-10.6
14	Belém-PA	72.2	0.6		0.1	72.6	2.7
15	João Pessoa-PB	53.1	-0.3		-0.1	55.4	-2.7
16	Recife-PE	60.7	-1.6		-0.1	62.3	-6.8
17	Teresina-PI	30.0	0.9		0.3	24.1	22.8
18	Curitiba-PR	48.1	-3.6	***	-0.4	54.2	-22.2
19	Natal-RN	47.1	0.8		0.3	41.8	14.5
20	Boa Vista-RR	36.2	1.3		0.1	34.7	7.6
21	Porto Alegre-RS	38.1	1.8	+	0.2	35.3	13.9
22	Florianópolis-SC	47.1	-0.4		-0.1	50.7	-7.3
23	Aracaju-SE	44.5	0.3		0.1	44.3	3.5
24	São Paulo-SP	37.1	-0.4		0.0	38.3	-2.5
25	Palmas-TO	35.5	2.8	**	0.4	27.7	28.6

Embora, no período estudado tenham se presenciado tendências, em sua maioria, de aumentos, nos totais anuais, advindo principalmente da estação outono (com destaque também para a primavera, sobre as regiões Sudeste-Sul), com relação à frequência de dias chuvosos anuais, não foi encontrado um padrão espacial semelhante aos totais anuais, com predomínio de tendências positivas (representadas pelo desvio acima da média). As tendências tanto positivas, quanto negativas, apresentaram-se em cerca de 48% das cidades em estudo, sendo que destas, 16,7 e 25%, respectivamente, com significância estatística acima do nível de 90% pelo teste de M-K. Foram observadas tendências de redução na frequência de dias chuvosos durante grande parte do ano, exceto em JJA sobre as estações do Nordeste, MAM sobre a maioria das cidades da Região Norte e parte do Nordeste e SON sobre a Região Sudeste-Sul do Brasil. Tais valores estão intimamente ligados ao período chuvoso e menos chuvoso de cada região. Em JJA 48% (36%) das cidades apresentaram tendências de aumento (redução) na frequência de dias chuvosos, sendo destas, 8,3% (44,4%) significativas acima do nível de 90%. Das estações restantes (SON, DJF e MAM), onde há o predomínio de tendências de redução, DJF destaca-se por apresentar tendências de redução em 56% das cidades em estudo, com 7,1% significativas estatisticamente.

Tabela 2.7 – Assim como a Tabela 2.6, porém, para os valores Sazonais: DJF (verão), MAM (outono), JJA (inverno) e SON (primavera).

Nº	Capital-UF	DJF (%)					MAM (%)							
		Freq. Média dias Chuv.	M-K Z	Sig.	SEN Q	Desvio da Média (%) B	Freq. Média dias Chuv.	M-K Z	Sig.	SEN Q	Desvio da Média (%) B			
1	Rio Branco-AC	67.4	-0.5		-0.1	68.2	-2.6		50.3	-0.2		0.0	52.2	0.0
2	Maceió-AL	35.8	-0.2		-0.3	40.1	-15.6		61.9	-1.4		-0.7	78.3	-33.8
3	Manaus-AM	66.6	-1.5		-0.4	73.0	-16.1		65.0	0.2		0.1	63.9	2.1
4	Macapá-AP	63.2	-1.0		-0.2	67.9	-9.3		80.5	-0.4		0.0	81.4	-1.4
5	Salvador-BA	39.6	0.0		0.0	38.8	2.0		61.9	-0.6		-0.1	62.8	-5.1
6	Fortaleza-CE	37.7	-4.2	***	-1.1	55.1	-82.4		66.9	-2.6	**	-0.9	80.8	-37.7
7	Brasília-DF	66.6	1.6		0.2	62.1	9.7		34.4	0.8		0.2	31.5	14.6
8	Vitória-ES	41.4	0.6		0.4	35.5	22.9		35.5	0.1		0.0	37.0	0.0
9	Goiânia-GO	70.4	-1.1		-0.1	72.7	-5.9		36.8	-0.7		-0.1	37.7	-8.6
10	São Luís-MA	45.6	0.4		0.1	43.8	6.4		76.4	1.0		0.2	74.2	6.6
11	Belo Horizonte-MG	54.7	0.3		0.1	53.2	3.4		27.8	-0.3		0.0	27.6	-1.4
12	Campo Grande-MS	56.2	-1.3		-0.3	61.6	-16.8		31.9	-0.3		-0.1	32.6	-7.7
13	Cuiabá-MT	60.3	-0.3		-0.1	63.3	-3.9		35.7	-0.1		0.0	35.4	0.0
14	Belém-PA	83.0	1.4		0.2	80.5	7.8		89.3	0.2		0.0	90.2	0.0
15	João Pessoa-PB	39.3	-0.9		-0.4	46.2	-24.2		64.0	-0.6		-0.1	67.6	-3.4
16	Recife-PE	45.4	-1.2		-0.3	48.2	-17.7		68.2	-0.5		-0.1	68.6	-3.4
17	Teresina-PI	46.6	-0.8		-0.3	50.4	-18.6		56.2	0.6		0.5	43.6	25.9
18	Curitiba-PR	58.1	-0.5		-0.1	60.8	-5.2		49.0	-3.8	***	-0.9	65.9	-49.9
19	Natal-RN	32.2	1.6		0.4	20.1	34.5		61.0	-0.3		-0.2	67.0	-6.8
20	Boa Vista-RR	17.4	1.6		0.5	7.5	72.5		36.7	2.7	**	0.7	23.5	47.6
21	Porto Alegre-RS	36.6	0.1		0.0	37.8	0.0		36.2	1.2		0.3	32.1	19.5
22	Florianópolis-SC	58.4	0.0		0.0	57.9	0.0		40.2	0.1		0.1	37.3	5.9
23	Aracaju-SE	27.0	-0.7		-0.3	33.8	-31.1		52.8	-0.1		0.0	53.3	-2.7
24	São Paulo-SP	56.0	-0.3		-0.1	57.2	-3.6		35.9	-0.6		-0.1	37.3	-4.2
25	Palmas-TO	60.7	2.1	*	0.4	55.1	17.2		42.0	2.6	**	0.7	29.0	48.3

Tabela 2.7 – Continuação.

Nº	Capital-UF	Freq. Média dias Chuv. JJA (%)					Freq. Média dias Chuv. SON (%)						
		M-K Z	M-K Sig.	SEN Q	SEN B	Desvio da Média (%)	M-K Z	M-K Sig.	SEN Q	SEN B	Desvio da Média (%)		
1	Rio Branco-AC	15.1	2.0	*	0.2	11.7	40.6	40.3	-0.2	0.0	40.7	0.0	
2	Maceió-AL	80.3	0.2		0.0	81.0	1.3	42.8	-0.5		49.4	-28.7	
3	Manaus-AM	32.0	-2.4	*	-0.4	37.8	-33.1	32.8	-2.3	*	-0.5	39.8	-41.0
4	Macapá-AP	58.6	-0.1		0.0	57.6	0.0	15.7	-1.4		-0.2	19.6	-41.9
5	Salvador-BA	70.8	0.4		0.1	68.1	3.2	43.4	-1.0		-0.3	49.4	-19.8
6	Fortaleza-CE	32.8	-3.1	**	-1.0	46.1	-86.1	18.3	-4.6	***	-1.2	33.3	-176.4
7	Brasília-DF	4.6	0.5		0.0	4.3	0.0	42.6	0.4		0.0	41.5	1.5
8	Vitória-ES	28.4	1.0		0.3	22.2	23.9	44.5	-0.7		-0.4	52.0	-24.0
9	Goiânia-GO	4.9	-1.9	+	-0.1	6.3	-86.2	42.7	0.0		0.0	41.4	0.0
10	São Luís-MA	36.6	1.5		0.4	33.2	31.0	6.3	-1.5		-0.1	8.4	-55.7
11	Belo Horizonte-MG	5.7	0.2		0.0	5.4	0.0	33.9	0.1		0.0	33.9	0.0
12	Campo Grande-MS	14.2	-0.4		-0.1	16.0	-11.5	34.8	1.2		0.2	33.5	10.1
13	Cuiabá-MT	6.4	-1.5		-0.1	7.7	-46.2	29.9	-1.3		-0.2	32.7	-19.8
14	Belém-PA	60.8	-0.3		-0.1	61.1	-3.4	55.9	0.0		0.0	57.1	0.0
15	João Pessoa-PB	75.5	1.3		0.3	71.0	11.1	34.8	0.0		0.0	34.1	0.0
16	Recife-PE	81.3	1.3		0.1	79.8	5.0	47.3	-2.5	*	-0.4	53.9	-28.5
17	Teresina-PI	9.5	1.4		0.3	2.8	76.6	11.1	-0.8		-0.3	17.1	-59.2
18	Curitiba-PR	37.2	-2.3	*	-0.5	45.8	-35.8	47.5	0.0		0.0	47.3	0.0
19	Natal-RN	63.5	0.9		0.3	60.2	12.6	29.5	0.7		0.3	22.5	24.2
20	Boa Vista-RR	67.4	0.4		0.1	66.7	4.4	24.4	1.1		0.2	22.0	26.0
21	Porto Alegre-RS	39.8	1.0		0.2	33.5	11.5	38.5	1.5		0.3	34.2	18.2
22	Florianópolis-SC	33.3	-1.5		-0.6	44.2	-43.3	49.7	0.5		0.2	46.0	9.8
23	Aracaju-SE	67.7	0.4		0.1	68.4	2.3	32.1	0.0		0.0	34.1	0.0
24	São Paulo-SP	19.5	-2.3	*	-0.2	22.0	-35.5	37.3	1.3		0.2	33.1	17.4
25	Palmas-TO	1.4	0.0		0.0	1.1	0.0	35.5	0.7		0.1	33.6	6.6

2.6.3 Tendências na Intensidade média de dias chuvosos anual e sazonal

Assim como a frequência de dias chuvosos, uma outra característica extremamente importante é a intensidade de dias chuvosos, onde a atuação de uma e/ou ambas podem interferir para aumentos significativos nos acumulados sazonais e/ou anuais. A Figura 2.9 representa a intensidade média de dias chuvosos anual e sazonal. Nota-se um padrão espacial semelhante às tendências nos totais anuais, onde grande parte do território brasileiro é dominado por tendências de aumento durante o ano (Fig. 2.9 a), com exceção de 6 cidades. As cidades que se destacaram por apresentar tendências de aumento significativas acima do nível de 90% foram: Natal-RN, Fortaleza-CE, São Paulo-SP e Curitiba-PR, com desvios acima da média de 28,9, 75,8, 19,4 e 24,4%, respectivamente. Rio Branco-AC, apresentou tendência de redução com cerca de 10,2% abaixo da média, significativo ao nível de 90%. Os valores anuais para todas as cidades, resultantes dos testes de M-K e Sen, encontram-se na Tabela 2.8.

Tais tendências de aumentos na intensidade média de dias chuvosos são visíveis ao longo do ano. A partir da distribuição sazonal (Fig. 2.9 b-e), é possível observar que nas estações Outono (Fig. 8-c) e Inverno (Fig. 8-d), principalmente sobre a região Nordeste e na Primavera (Fig. 8-e), sobre as Regiões Sudeste-Sul, é presenciado um domínio das tendências de aumento na intensidade média de dias chuvosos. No entanto, algumas cidades se destacaram por apresentar tendências de aumento durante todas as estações do ano, à exemplos de Fortaleza-CE, Manaus-AM, Maceió-AL, São Paulo-SP e João Pessoa-PB. A cidade de Fortaleza-CE apresentou tendências de aumento significativas acima do nível de 90% durante todas as estações do ano, a cidade de Belém-PA nas estações Outono e Primavera e Curitiba-PR nas estações de inverno e primavera. Rio Branco-AC, isoladamente, apresentou tendências de redução na intensidade média de dias chuvosos durante todas as estações do ano, porém, nenhuma significativa estatisticamente. Os valores sazonais, por cidade, das tendências na intensidade média de dias chuvosos são mostrados na Tabela 2.9.

Com isso, cerca de 76% das cidades apresentaram tendências de aumento na intensidade média de dias chuvosos anual, com 21,1% destas, significantes estatisticamente, acima do nível de 90%. A tendências negativas apareceram nos 24% das cidades restantes, com 16,7% destas significantes. Dentre as estações do ano, assim como as tendências nos totais, MAM foi o trimestre com maior predomínio de tendências positivas sobre o território brasileiro, com cerca de 76% das cidades

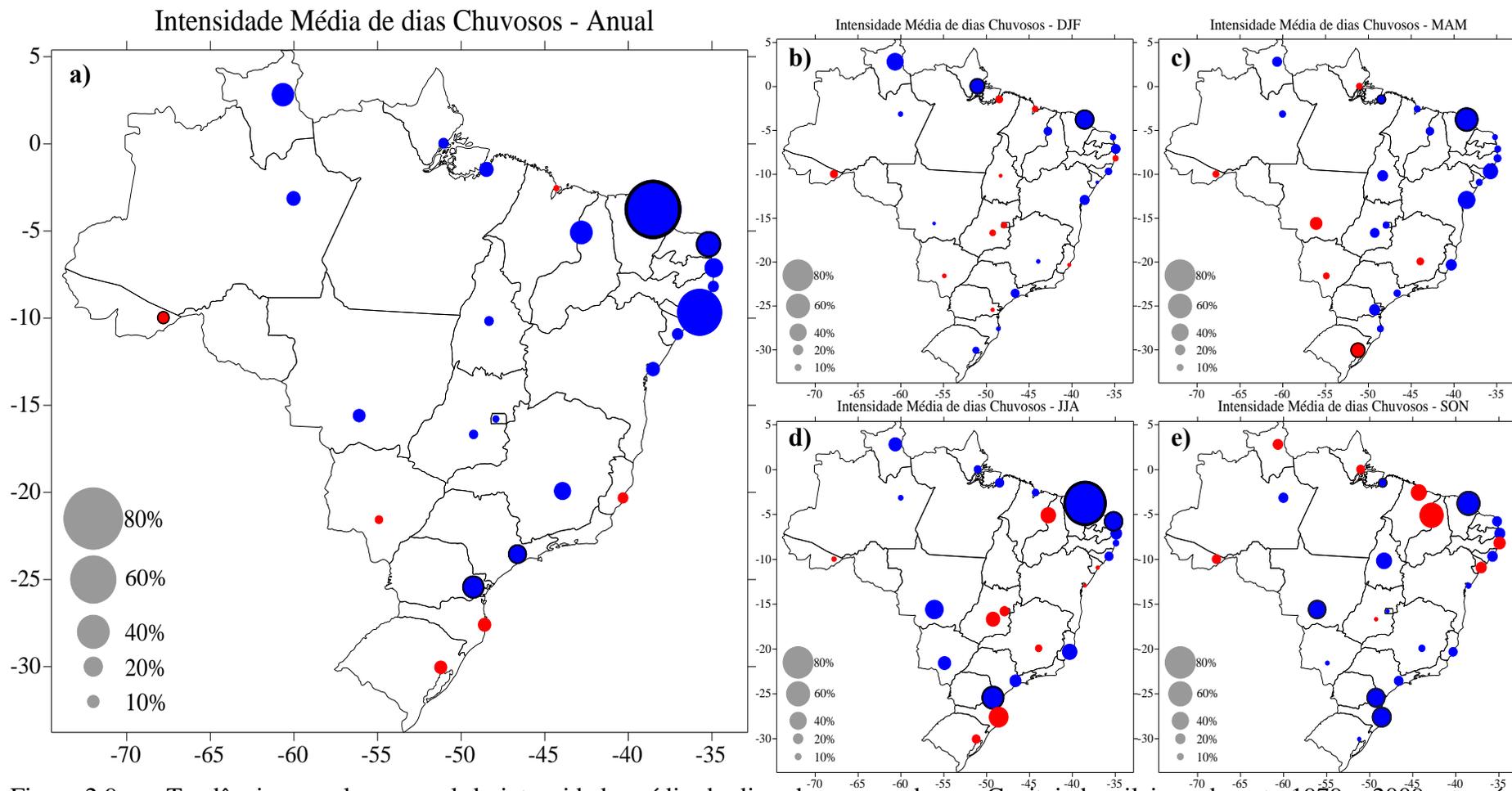


Figura 2.9 - Tendências anual e sazonal da intensidade média de dias chuvosos sobre as Capitais brasileiras, durante 1979 a 2009, através dos testes de M-K e Sen. Círculos representam o Desvio da média (em %), onde a cor azul (vermelho) indica aumento (diminuição). Círculos com contornos em preto indicam significância estatística do Teste M-K acima do nível de 90%.

com tendências positivas, concentradas principalmente sobre a região Nordeste. 10,5% destas cidades apresentaram-se significantes estatisticamente e das 24% restantes, com tendências negativas, 16,7% foram significativas acima do nível de 90% pelo teste de M-K. A estação com maiores ocorrências de tendências negativas foi o verão (com 40% do total de cidades), porém, nenhuma significativa.

Tabela 2.8 – Assim como a Tabela 2.4, porém, para a intensidade média de dias chuvosos anual.

Nº	Capital-UF	Intens. Média dias Chuv. Anual (mm)	M-K		SEN		Desvio da Média (%)
			Z	Sig.	Q	B	
1	Rio Branco-AC	12.7	-1.8	+	0.0	13.2	-10.2
2	Maceió-AL	8.6	1.4		0.4	1.2	58.5
3	Manaus-AM	13.0	1.6		0.1	11.8	12.4
4	Macapá-AP	12.7	1.1		0.0	12.5	6.7
5	Salvador-BA	9.5	1.1		0.0	8.4	11.8
6	Fortaleza-CE	11.5	4.0	***	0.3	6.7	75.8
7	Brasília-DF	10.9	0.4		0.0	10.6	1.9
8	Vitória-ES	9.7	-0.2		0.0	10.4	-7.3
9	Goiânia-GO	11.6	0.9		0.0	11.2	5.0
10	São Luís-MA	14.5	-0.1		0.0	14.9	-0.5
11	Belo Horizonte-MG	14.4	1.3		0.1	12.9	17.0
12	Campo Grande-MS	11.6	-0.4		0.0	11.9	-3.9
13	Cuiabá-MT	11.9	1.3		0.0	10.5	10.4
14	Belém-PA	11.6	1.6		0.0	10.6	12.8
15	João Pessoa-PB	9.6	1.0		0.1	8.1	19.0
16	Recife-PE	10.2	0.5		0.0	9.7	7.7
17	Teresina-PI	12.5	1.0		0.1	10.5	25.1
18	Curitiba-PR	9.0	2.0	+	0.1	7.5	24.4
19	Natal-RN	10.2	1.7	+	0.1	8.1	28.9
20	Boa Vista-RR	13.1	0.9		0.1	10.5	24.8
21	Porto Alegre-RS	10.4	-1.3		0.0	11.1	-10.6
22	Florianópolis-SC	10.7	-0.2		0.0	11.3	-11.2
23	Aracaju-SE	7.8	0.6		0.0	7.5	8.3
24	São Paulo-SP	11.8	2.5	*	0.1	10.3	19.4
25	Palmas-TO	13.4	0.6		0.0	13.1	5.5

Através da análise da frequência e da intensidade média de dias chuvosos, verificou-se que esta segunda característica apresentou, em sua maioria, tendências positivas nos seus respectivos totais anuais e sazonais. Embora algumas cidades tenham apresentado tendências de aumento, tanto na frequência, quanto na intensidade (à exemplo das cidades pertencentes à região Sudeste-Sul durante o trimestre SON), o que justifica as tendências de aumento também em seus respectivos acumulados. No entanto, uma abordagem mais detalhada é necessária para se investigar quais categorias de intensidade (fraco, moderado ou intenso) estão apresentando maior contribuição e maior representatividade para elevar os acumulados anuais e sazonais.

Tabela 2.9 – Assim como a Tabela 2.8, porém, para os valores Sazonais: DJF (verão), MAM (outono), JJA (inverno) e SON (primavera).

Nº	Capital-UF	DJF (mm)					MAM (mm)				
		Intens. Média	M-K	SEN	Desvio da	Intens. Média	M-K	SEN	Desvio da		
		dias Chuv.	Z	Q	B	dias Chuv.	Z	Q	B		
1	Rio Branco-AC	13.7	-0.8	-0.1	14.9	-13.5					
2	Maceió-AL	5.8	0.1	0.0	5.5	11.8					
3	Manaus-AM	14.1	0.4	0.0	13.2	5.7					
4	Macapá-AP	13.8	2.0	*	0.2	11.1	36.1				
5	Salvador-BA	7.1	0.7	0.0	5.6	19.0					
6	Fortaleza-CE	10.4	1.7	+	0.2	7.0	47.1				
7	Brasília-DF	10.7	-0.9	0.0	11.4	-8.5					
8	Vitória-ES	11.4	-0.1	0.0	11.5	-1.6					
9	Goiânia-GO	12.1	-0.9	0.0	12.3	-9.3					
10	São Luís-MA	15.4	-0.4	0.0	15.9	-8.5					
11	Belo Horizonte-MG	17.8	0.3	0.0	16.9	3.1					
12	Campo Grande-MS	12.1	-0.3	0.0	12.5	-3.7					
13	Cuiabá-MT	12.2	0.0	0.0	11.5	0.6					
14	Belém-PA	14.2	-1.2	-0.1	14.7	-12.5					
15	João Pessoa-PB	6.6	0.6	0.0	5.9	18.1					
16	Recife-PE	7.1	-0.3	0.0	6.7	-8.2					
17	Teresina-PI	13.8	1.0	0.1	11.7	15.1					
18	Curitiba-PR	10.2	-0.2	0.0	9.8	-2.5					
19	Natal-RN	6.2	0.1	0.0	4.6	8.8					
20	Boa Vista-RR	7.4	1.1	0.1	4.4	40.0					
21	Porto Alegre-RS	9.6	0.5	0.0	8.9	10.4					
22	Florianópolis-SC	11.6	0.0	0.0	11.2	3.7					
23	Aracaju-SE	6.6	0.1	0.0	6.1	0.6					
24	São Paulo-SP	14.8	1.1	0.1	13.4	15.8					
25	Palmas-TO	15.4	-0.1	0.0	15.4	-1.4					

Tabela 2.9 – Continuação.

Nº	Capital-UF	Intens. Média					Intens. Média						
		dias Chuv. JJA (mm)	M-K Z	Sig.	SEN Q	B	Desvio da Média (%)	dias Chuv. SON (mm)	M-K Z	Sig.	SEN Q	B	Desvio da Média (%)
1	Rio Branco-AC	8.8	-0.3		0.0	8.2	-5.6	12.3	-1.0		-0.1	13.8	-17.0
2	Maceió-AL	10.7	0.5		0.1	8.7	16.6	5.3	0.6		0.0	4.4	20.5
3	Manaus-AM	8.8	0.4		0.0	8.3	6.3	11.9	1.1		0.1	10.4	18.8
4	Macapá-AP	9.7	1.1		0.0	8.8	13.1	8.1	-0.8		0.0	8.0	-15.7
5	Salvador-BA	8.8	-0.2		0.0	8.3	-1.2	7.7	0.2		0.0	6.5	7.4
6	Fortaleza-CE	9.1	2.9	**	0.4	4.2	115.5	4.0	2.3	*	0.1	1.5	59.7
7	Brasília-DF	7.2	-0.4		0.0	7.2	-18.6	10.9	0.2		0.0	10.4	2.3
8	Vitória-ES	6.1	0.7		0.1	4.1	35.0	10.0	0.3		0.1	7.2	16.8
9	Goiânia-GO	5.9	-0.9		-0.1	5.5	-31.8	10.7	-0.1		0.0	10.8	-2.7
10	São Luís-MA	9.4	0.7		0.0	9.0	11.4	4.2	-1.3		-0.1	2.7	-36.3
11	Belo Horizonte-MG	6.2	-0.2		0.0	6.1	-11.5	12.5	1.0		0.0	11.9	10.8
12	Campo Grande-MS	10.0	0.6		0.1	8.2	28.6	12.5	0.2		0.0	12.0	3.9
13	Cuiabá-MT	12.4	1.0		0.2	5.6	44.1	12.2	1.8	+	0.2	9.1	44.1
14	Belém-PA	8.5	1.2		0.0	7.7	16.9	7.4	1.8	+	0.0	6.4	17.5
15	João Pessoa-PB	11.5	0.8		0.1	9.7	24.0	3.4	0.6		0.0	2.8	22.0
16	Recife-PE	12.6	0.6		0.0	11.9	9.4	4.7	-1.1		0.0	5.0	-25.7
17	Teresina-PI	2.9	-0.6		0.0	3.2	-35.2	8.1	-1.1		-0.2	11.3	-60.3
18	Curitiba-PR	7.9	2.0	+	0.2	4.8	56.5	9.6	2.4	*	0.2	7.3	45.4
19	Natal-RN	12.9	1.7	+	0.2	6.1	46.6	3.3	0.7		0.0	2.5	18.9
20	Boa Vista-RR	13.9	1.5		0.2	11.0	29.4	10.7	-0.5		-0.1	11.3	-20.3
21	Porto Alegre-RS	11.0	-1.2		-0.1	13.4	-15.9	11.3	0.1		0.0	11.0	2.7
22	Florianópolis-SC	8.9	-1.1		-0.2	11.6	-47.5	9.9	2.2	*	0.2	5.3	47.6
23	Aracaju-SE	7.4	-0.4		0.0	7.1	-2.2	5.5	-0.7		0.0	5.4	-22.4
24	São Paulo-SP	7.4	0.9		0.1	6.1	25.0	10.3	1.4		0.1	9.5	18.0
25	Palmas-TO	3.1	-1.0		0.0	0.4	0.0	12.7	1.5		0.2	9.4	36.4

2.6.3 Tendências da precipitação diária separada por Classes

Tendo em vista as tendências de aumento ou redução nos acumulados, frequências e intensidades médias de dias chuvosos anuais e sazonais. Aqui também são mostradas tendências em tais parâmetros, porém, separados em classes de quantidades, e nas respectivas contribuições aos totais anuais e sazonais, conforme o método O2000. Inicialmente são realizadas as análises para as séries anuais e posteriormente sazonais, tomando sempre como exemplo cidades representativas e/ou com significância estatística pelo teste de M-K.

Iniciando pela cidade de Belém-PA, que apresentou tendências de aumento tanto na frequência quanto na intensidade dos eventos diários durante o ano (como visto na Figuras 2.8 e 2.9, respectivamente). Através da Figura 2.10, nota-se que este aumento é verificado em todas as 10 classes de intensidade (Fig. 2.10 a), inclusive na Classe 10, correspondente aos eventos mais intensos, com aumentos de aproximadamente 7 mm/dia (cerca de 10% acima da média), porém, somente as Classes 2 a 4 (eventos fraco à moderado) apresentaram significância estatística acima do nível de 90% pelo teste de M-K, com desvios em torno de 15% acima da média. Mesmo que o volume seja maior nas classes superiores, os maiores desvios são encontrados nas classes de intensidade mais fracas. Ao se observar as frequências destes eventos por classes (Fig. 2.10 b) é possível notar que as maiores alterações se encontram nas classes mais fracas (Classes 1 e 2), que apresentaram desvios significativos de 10% acima e 20% abaixo da média, respectivamente. A Classe 10 apresentou tendência de redução na frequência (cerca de 5% abaixo da média, não significativo). Neste caso, os eventos com chuvas mais fortes apresentaram-se mais intensos, porém, menos frequentes durante o ano.

Do mesmo modo, para a cidade de São Paulo-SP (Fig. 2.10 c-d), são vistos aumentos na intensidade média de todas as classes, principalmente nas classes entre 2 a 7 (fraco á moderado), significativas a cima do nível de 90% pelo teste de M-K. No entanto, a classe 10 apresentou aumentos tanto na sua intensidade média quanto na sua frequência (ambos com cerca de 15% acima da média). Em outras palavras, as chuvas fracas à moderadas apresentaram-se mais intensas significativamente, porém, não muito/menos frequentes durante o ano. Já os eventos mais intensos, mesmo que não significantes estatisticamente, apresentaram-se mais frequentes e intensos anualmente.

Assim, um conjunto de aumentos e/ou reduções nas classes de intensidade e frequência pode acarretar em uma maior ou menor contribuição aos acumulados anuais e sazonais. A Figura 2.11 exibe as tendências na intensidade, frequência e contribuição ao total anual por classe, tomando como exemplo representativo as classes 6, 8 e 10. Nesta, pode-se observar, ainda para as mesmas cidades tomadas como exemplo, que Belém-PA, apresentou uma maior contribuição ao total anual através da Classe 6 (moderada), dentre as mostradas nesta Figura, devido a aumentos tanto na intensidade, quanto na frequência nesta específica Classe. A Classe 10, ainda que tenha apresentado aumentos na intensidade anual em seus eventos, devido à diminuição em suas frequências, esta apresentou tendências de redução na contribuição desta Classe aos totais anuais. Um padrão inverso é encontrado em São Paulo-SP, com a Classe 10 (constituída dos eventos mais intensos) apresentando maiores contribuições ao total anual, devido os aumentos tanto nas suas frequências, quanto intensidades.

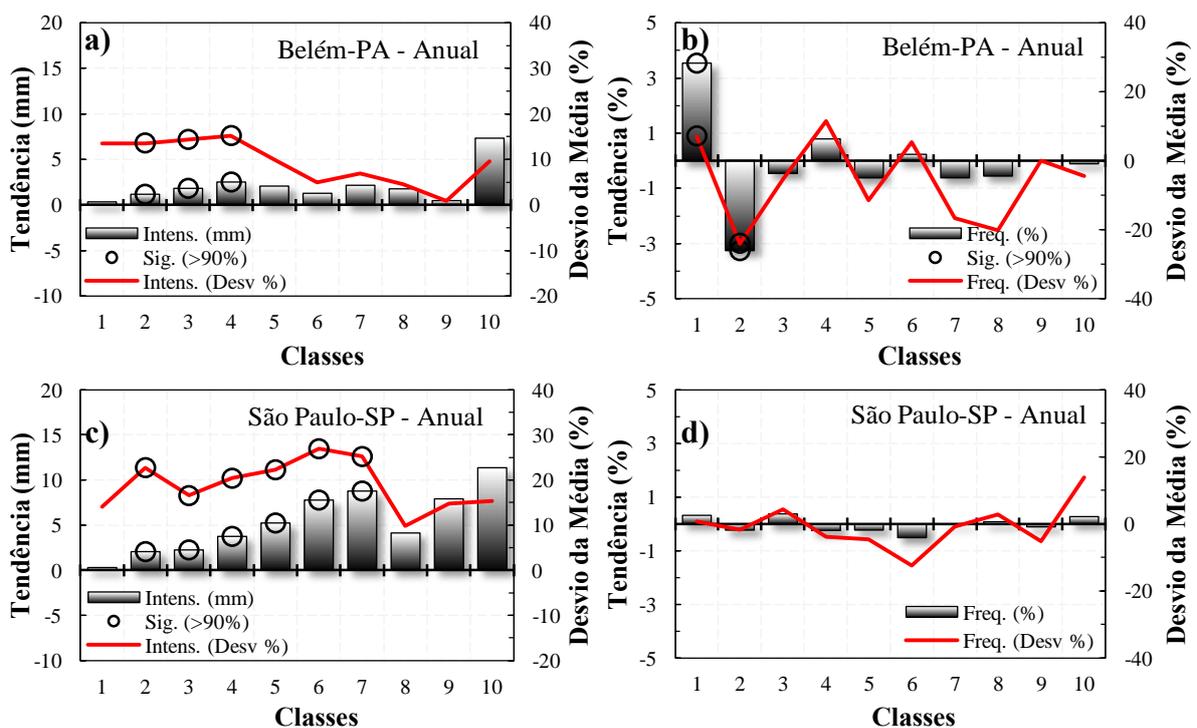


Figura 2.10 - Exemplos de tendências anuais por classe da: Intensidade média (a, c) e Frequência média (b, d), para as cidades de Belém-PA (superior) e São Paulo (inferior), durante 1979 a 2009. Barra em preto significa a magnitude da tendência (em mm para a intensidade e % para a frequência) e, linha vermelha significa o desvio da média (em %) e círculos com contornos em preto indicam significância estatística do Teste M-K acima do nível de 90%.

Sendo assim, estendendo a análise para as demais localidades, pode-se observar que a classe 10 apresentou maiores contribuições aos totais anuais sobre as cidades pertencentes às regiões Sudeste e Sul do Brasil, em sua maioria devido a aumentos tanto na intensidade quanto na

freqüência dos eventos constituem esta específica classe. Para a mesma classe, são observadas tendências de diminuição sobre quase toda a Amazônia e parte do Nordeste brasileiro. Sobre estas regiões são detectadas as maiores contribuições advindas principalmente das Classes 6 e 8, respectivamente.

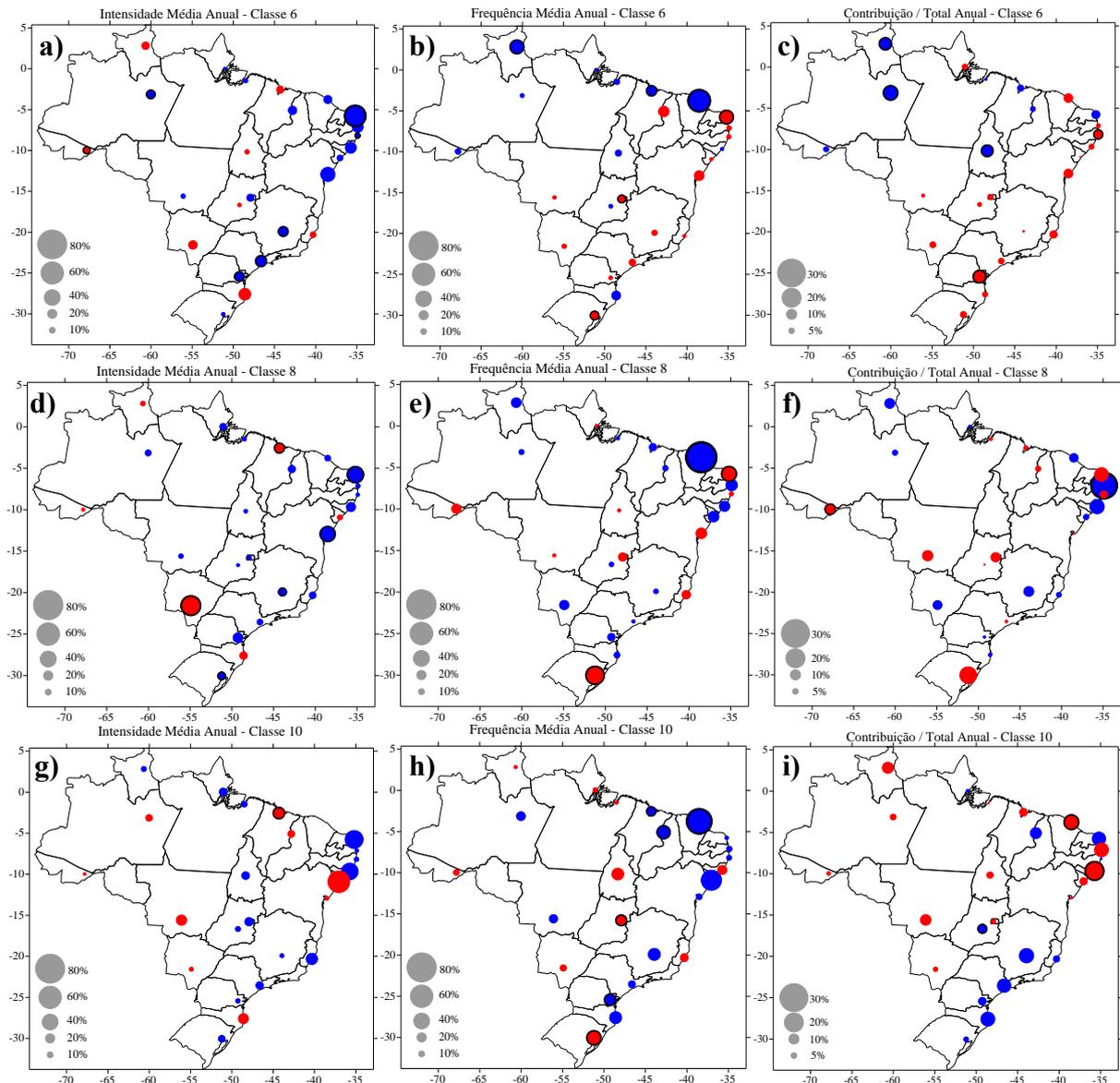


Figura 2.11 - Tendências anuais da: Intensidade média (a, d, g); Freqüência média (b, e, h) e Contribuição média aos totais anuais (c, f, i), referentes às Classes 6, 8 e 10, sobre as Capitais brasileiras, durante 1979 a 2009, através dos testes de M-K e Sen. Círculos representam o Desvio da média (em %), onde a cor azul (vermelho) indica aumento (diminuição). Círculos com contornos em preto indicam significância estatística do Teste M-K acima do nível de 90%.

Como exemplo, na Figura 2.12, são mostradas séries temporais da contribuição ao total anual, pela Classe 10, de algumas cidades representativas com tendências de aumento (São Paulo-SP e Curitiba-PR) e diminuição (Manaus-AM e Fortaleza-CE) durante o período em estudo.

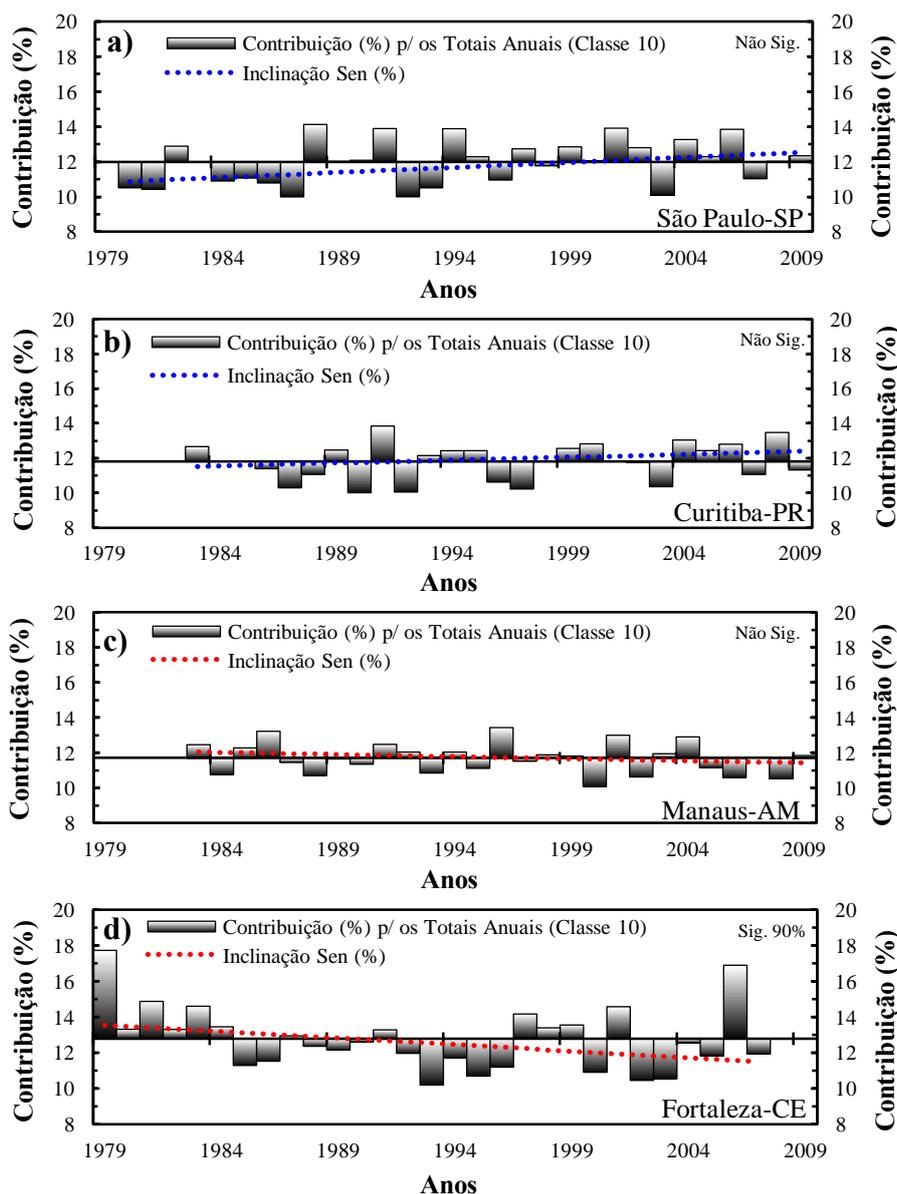


Figura 2.12 - Exemplos de estações representativas com tendências positivas (a, b) e negativas (c, d) nas séries temporais de contribuição da Classe 10 para os totais anuais.

Sazonalmente, tomando ainda como exemplo algumas das cidades representativas (Belém-PA e São Paulo-SP), na Figura 2.13, são mostradas as tendências da intensidade média sazonal para cada classe e as séries temporais de intensidade média, referente à Classe 10, para cada estação do ano, durante o período de 1979 a 2009 para as respectivas cidades.

A cidade de Belém-PA, que apresentou tendências de aumentos (alguns significativos pelo teste de M-K) em grande parte dos totais sazonais (Figura 2.6), com exceção dos trimestres DJF, pode-se notar que tais aumentos ocorreram, principalmente devido a tendências de aumento em suas intensidades médias (Figura 2.9), à exemplo da estação MAM (mais evidente, com significância estatística acima do nível de 95%). Embora todas as classes

apresentem tendências de aumento (redução, para DJF), algumas contribuindo mais que outras, no entanto, em MAM é possível notar que a classe 10, constituída dos eventos mais intensos, destaca-se das demais, por ser considerada a estação mais chuvosa, com maiores tendências (cerca de 0,76 mm/ano), porém, não significativa estatisticamente, ao contrário das classes 1, 2, 3, 6, 7 e 8. Já em JJA e SON, embora sejam caracterizados como período menos chuvoso na região, notam-se tendências significativas nas Classes advindas dos eventos moderado a intenso. Já em DJF, onde foram detectadas tendências de redução, foram observados desvios negativos sobre todas as classes, principalmente nas 7, 8 e 9, com significância estatística (Fig. 2.13 a). Em JJA as classes superiores apresentaram significativas tendências de aumento, com cerca de 0,63 mm/ano (significante ao nível de 90%) na classe 10 (Fig. 2.13 c), fazendo com que esta venha a contribuir mais para os totais deste trimestre (Fig. 2.13 e).

Já para a cidade de São Paulo-SP, a partir da Figura 2.13 b, nota-se que as classes advindas dos eventos fracos à moderado apresentam tendências de aumento durante todas as estações do ano. No entanto em JJA e DJF, são observadas redução na intensidade média dos eventos que constituem, principalmente a classe 10, porém, não significantes estatisticamente, ao contrário de MAM e SON, que apresentaram desvios com cerca de 40% acima da média, significantes estatisticamente e com aumentos de aproximadamente 0,89 e 0,67 mm/ano, respectivamente (Fig. 2.13 d), referente a classe 10. Em ambos os trimestres foram verificados aumentos em todas as classes, com algumas significativas.

Assim, com as tendências de aumento significativos na intensidade média da classe 10, nos trimestres MAM e SON, para a cidade de São Paulo-SP, nota-se que, em ocorrência disto, há tendências de aumento na contribuição desta classe para os totais, das referidas estações citadas, com destaque para MAM, que apresentou maior inclinação (Fig. 2.13 e).

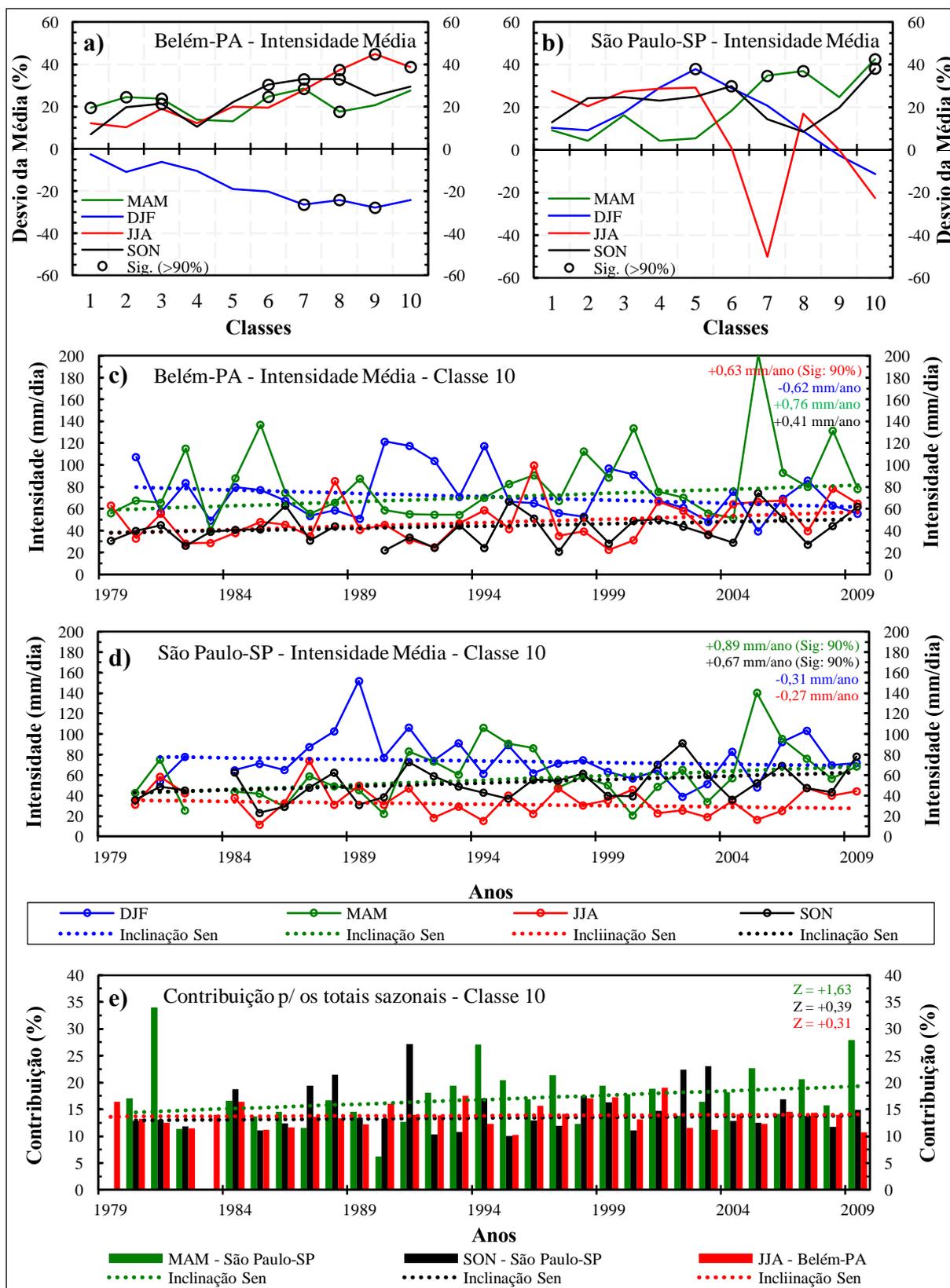


Figura 2.13 - Exemplos representativos de tendências sazonais, durante 1979 a 2009 da intensidade média de dias chuvosos separada por Classes (a, b) e suas respectivas séries temporais de intensidade médias, referente à Classe 10 (c, d) e contribuição da Classe 10 para os significativos totais sazonais (e). Valores obtidos através do teste de M-K e método Sen.

2.7 Discussões

Durante o período de 1979 a 2009 os grandes centros urbanos (representados aqui pelas capitais) das regiões Norte e Nordeste do Brasil apresentaram, na maioria, tendências de aumento nos totais acumulados anuais, principalmente advindo da estação MAM. Na estação SON verificou-se um predomínio de tendências negativas distribuídas ao longo das regiões Norte e Nordeste e positivos sobre as cidades das regiões Sudeste e Sul. Embora, durante o inverno tenha se presenciado aumentos tanto nas intensidades quanto nas freqüências médias diárias da precipitação, em geral, tais tendências de aumento nos totais apresentaram-se mais ligados à intensidade, que por sua vez, dependendo da estação do ano e/ou localidade, tais aumentos podem se apresentar em uma classe específica (principalmente a classe 10) ou de várias categorias de intensidade de precipitação (Figuras 2.14 e 2.15).

A Figura 2.14, exibe o domínio das tendências positivas ou negativas, referente às 3 características da precipitação (precipitação total, freqüência e intensidade média de dias chuvosos) aqui estudadas, detectadas sobre todas as capitais em estudo sobre o território brasileiro. Em síntese, pode-se notar que, acima de 80% das cidades em estudo apresentaram tendências de aumento na precipitação total anual, provindo principalmente da intensidade média de dias chuvosos (com aumentos em cerca de 75% das cidades). A freqüência de dias chuvosos anual não apresentou uma distribuição com preferências de sinais positivos ou negativos. Em MAM foram detectados os maiores números de cidades com tendências positivas, tanto nos totais quanto nas intensidades, seguido de JJA, que obteve a maior porcentagem de tendências positivas na freqüências de dias chuvosos, comparado às demais estações.

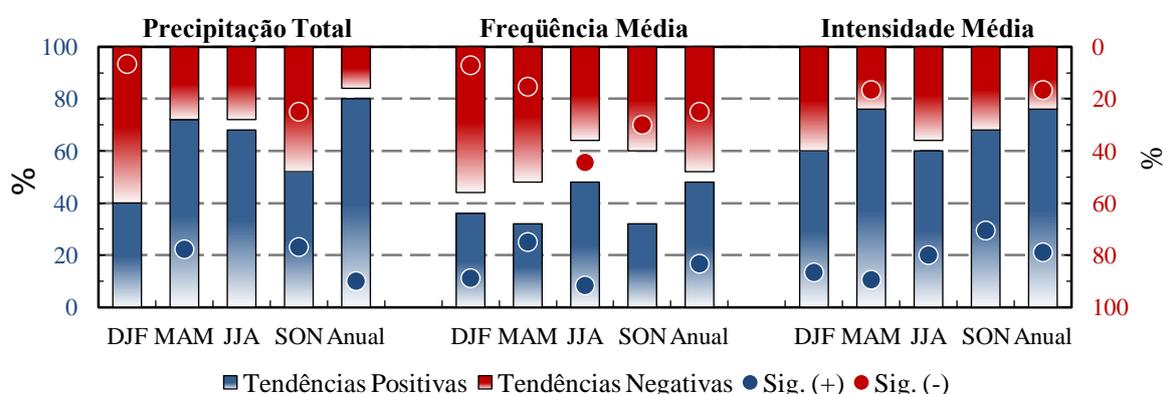


Figura 2.14 - Porcentagem anual e sazonal das tendências positivas (azul) e negativas (vermelho) e suas respectivas significâncias estatística pelo método M-K (círculos), referentes às três características da precipitação, para todas as cidades estudadas.

Em geral, assim como em [Silva \(2010\)](#) e [Satyamurty et al. \(2010\)](#), para a Amazônia Oriental, evidenciou-se que os sinais das tendências anuais, encontradas aqui, possuem uma ou mais estações sazonais preferenciais de atuação (à exemplo de MAM, para as capitais pertencentes à Região Nordeste e SON, para o Sudeste-Sul do Brasil). Além disso, há estações em que o sinal de tendência anual mascara o sinal significativo de tendência sazonal, ou seja, não foram encontrados números expressivos de tendências anuais com significância estatística, entretanto alguns trimestres apresentaram tendências sazonais estatisticamente significantes, como por exemplo a cidade de Manaus-AM, que apresentou uma leve tendência de aumento nos totais anuais, devido unicamente, ao trimestre MAM, considerado chuvoso na região. As demais estações do ano para esta localidade apresentaram tendências de redução.

Sobre algumas localidades foram detectadas diferenças importantes na magnitude e sazonalidade principalmente dos eventos intensos, conforme sugerido por [IPCC \(2007\)](#). Assim como, inversões de sinais entre estações do ano, tanto para os totais, quanto para as suas intensidades e frequências médias de dias chuvosos, afetando também suas tendências anuais.

Embora haja, visivelmente, um padrão com predomínio de tendências de aumento na intensidade média, em comparação a frequência média, de dias chuvosos, através da Figura 2.15, pode-se observar que a classe 10 apresentou tendências de aumentos na intensidade e frequência média em cerca de 60% e 55% das cidades, no entanto, somente cerca de 45% apresentaram tendências na contribuição desta classe para os totais anuais. A Classe que obteve maior representatividade foi a Classe 7, que experimentou uma das maiores tendências de aumento, tanto na intensidade, quanto na frequência média, resultando em maiores contribuições.

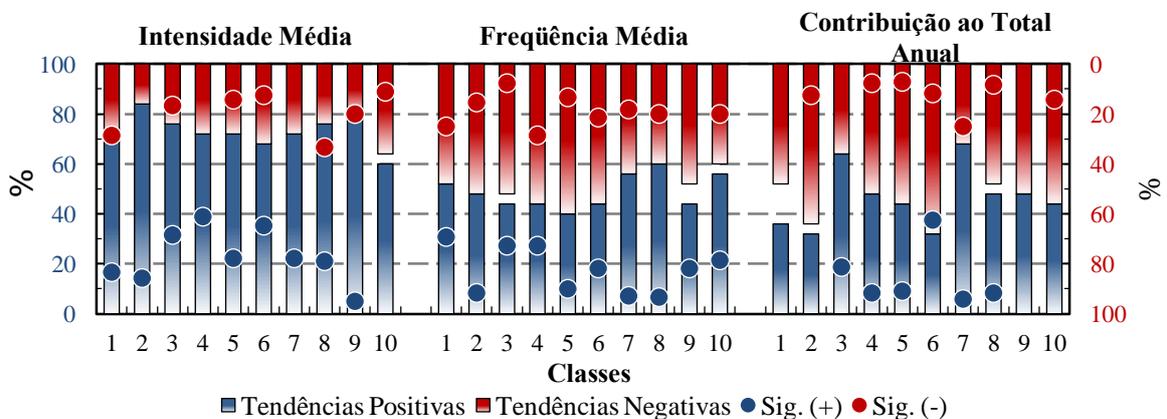


Figura 2.15 - Assim como a Fig. 2.14, porém, para valores anuais referente às Classes de Intensidade e Frequência média de dias chuvosos e contribuição ao total anual.

No entanto, esta parte do trabalho não tem como objetivo identificar as causas físicas das tendências encontradas sobre as cidades e sim detectar tais tendências através das metodologias estatísticas aqui aplicadas. Porém, existem diversos estudos com este intuito, realizados sobre a América do Sul, Brasil e alguns com foco somente sobre algumas regiões e/ou estados, podem corroborar no entendimento das possíveis causas das tendências encontradas neste estudo.

As tendências encontradas nas últimas décadas sobre o Brasil (em grande parte de aumento), nos totais, frequência e intensidade anuais e sazonais, mesmo com uma distribuição espacial voltada a padrões regionais de resposta à forçantes climáticas de grande escala, apresentaram tendências bastante expressivas sobre grande parte das cidades em estudo, principalmente sobre às regiões sul-sudeste, mostrando-se de acordo com diversos estudos, dentre eles os de [Obregón \(2003\)](#); [Obregón e Marengo \(2007\)](#); [Barros et al. \(2000 e 2008\)](#); [Liebmann et al. \(2004\)](#); [Groissman et al. \(2005\)](#); [Haylock et al. \(2006\)](#); [Marengo et al. \(2004 e 2007\)](#); [Re e Barros \(2009\)](#) e [Satyamurty et al. \(2010\)](#).

[Xavier et. al. \(1992\)](#), para o Estado de São Paulo (1933-1986), encontraram tendências de aumentos, principalmente nos meses fevereiro à maio e que para a cidade de São Paulo é possível que o efeito urbano tenha contribuído significativamente para a mudança na distribuição da intensidade da precipitação. Também para o Estado de São Paulo, porém, para o período de 1950-1999, [Dufek e Ambrizzi \(2007\)](#) analisando índices extremos de precipitação, sugerem que o aumento da precipitação total anual está associado ao aumento na intensidade da precipitação. No entanto, é comprovado através deste estudo que além dos totais anuais, os sazonais também recebem uma maior contribuição dos eventos advindos da Classe 10 (mais intensos), devido não somente à intensidade, mas à frequência destes, principalmente durante as estações de outono e primavera, sobre grande parte das regiões Sudeste-Sul do Brasil.

Segundo [Oliveira \(1986\)](#), os sistemas frontais são os principais sistemas precipitantes sobre a região, tendo como a primavera uma das estações de preferências para atuação. Assim como a frequência de sistemas convectivos também mostra-se intensa na primavera, como mostrado por [Velasco e Fritsch \(1987\)](#). Para este mesmo trimestre sobre a região Sul-Sudeste, [Nascimento \(2008\)](#) encontrou os maiores valores acumulados de precipitação durante a atuação do jato do tipo Não Eventos de Jato do Chaco (NCJE). Indicando que a frequência de casos de sistemas frontais e convectivos influi diretamente no posicionamento da saída do jato

NCJE e na intensificação e formação dos principais sistemas geradores de precipitação sobre a região.

Sobre a Região Sul do Brasil, segundo [Fontana e Berlato \(1997\)](#), durante a fase quente do fenômeno (El Niño) são observadas ocorrência de precipitação acima da média climatológica durante quase todo o ano no Rio Grande do Sul, porém, principalmente na primavera (do ano de início do fenômeno), especialmente nos meses de outubro e novembro, com um retorno no final do outono do ano seguinte, em maio e junho. Semelhante ao encontrado por [Grimm et al. \(1997\)](#), que durante esta fase do ENSO, os impactos são maiores em boa parte do Rio Grande do Sul (parte noroeste do Estado), ocorrendo aumentos médios de precipitação de 40 a mais de 60 mm e que durante a primavera as regiões mais influenciadas pelo fenômeno são o sudoeste e o litoral do Estado do Paraná. Tais Resultados ajudam a entender melhor o comportamento das tendências encontradas neste estudo para as regiões Sudeste-Sul, durante a primavera (SON).

[Santos e Manzi \(2011\)](#) observaram que, sobre o Estado do Ceará, encontraram, assim como neste estudo, tendências de diminuição na frequência de dias chuvosos e nos eventos de precipitação extremas e que estes apresentaram correlações negativas com as anomalias de TSM nas regiões do Pacífico do Atlântico Tropical Norte e positivas com a região do Atlântico Tropical Sul. [Silva \(2010\)](#), para o estado do Pará, constatou que os índices de precipitação extrema, ocorridos sobre a estação de Belém e grande parte do Estado, associam-se com os episódios de ENOS no Oceano Pacífico e com anos da fase fria ou quente do Gradiente do Atlântico. Segundo [Satyamurty et al. \(2010\)](#), sobre a Amazônia como um todo, algumas regiões mostram tendências positivas e outras negativas da precipitação acumulada durante as estações chuvosa e seca, durante as últimas 8 décadas. No entanto as cidades de Belém-PA e Manaus-AM (inclusas neste estudo) vêm experimentando tendências positivas significantes, principalmente nas últimas décadas.

Assim, as condições oceânicas e atmosféricas do Atlântico e Pacífico influenciam fortemente na variabilidade do clima (precipitação) sobre as Américas, comprovados através de diversos estudos, desde observacionais e teóricos, além de resultados de modelos de circulação geral da atmosfera ([HASTENRATH e HELLER, 1977](#); [MOURA e SHUKLA, 1988](#); [NOBRE e SHUKLA, 1996](#); [SOUZA et al., 2005](#); [OBREGÓN, 2003](#)).

3 - IMPACTO DO DESMATAMENTO NA PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA LEGAL

3.1 Revisão bibliográfica

3.1.1 Desmatamento na Amazônia

Embora a floresta Amazônica seja desmatada por inúmeras razões, as principais causas do desmatamento na Amazônia se relacionam à conversão da floresta em pastagens para cultivos anuais de agricultura familiar, implantação de grandes áreas de cultivos de grãos e para a criação de gado, sendo esta última a mais predominante (MATTOS e UHL, 1994; MARGULIS, 2003; CASTRO, 2004; FEARNSIDE, 2005).

Porém, a extração madeireira vem se mostrando como o fator que mais afeta o desflorestamento nos últimos tempos na Amazônia, apesar de não ser identificada sua origem (ÂNGELO e SÁ, 2007), localizando-se não somente ao longo das principais rodovias e em áreas pioneiras de desflorestamento (ALVES, 2002), mas também, em grande parte, sob vias de acesso consideradas não-oficiais e até mesmo em áreas protegidas (BRANDÃO JÚNIOR et al., 2007; VITEL et al. 2009). Atualmente, segundo Becker (2004, 2005), definiu-se um novo padrão de desmatamento, sob “novas fronteiras”, com uma maior diversidade de participantes e diferentes motivações econômicas: terra, soja, pecuária e exploração madeireira. Segundo Laurance (1999) e Fearnside (2006), este desmatamento vem sofrendo variações no decorrer dos anos, devido a vários fatores, de acordo com as mudanças relacionadas às forças econômicas e políticas.

Todavia, o avanço do desmatamento, sendo este através de qualquer prática, pode acarretar em diversas conseqüências e/ou impactos, diretos e indiretos à população, que vão desde perdas de vários ecossistemas da Amazônia, redução da precipitação em escala regional (SILVA DIAS et al., 2002) e regiões remotas (OLIVEIRA, 2008), como também a diminuição de chuvas no sudeste brasileiro (FEARNSIDE, 2003), até a extensiva savanização (NOBRE et al., 1996), e tendo em vista que o desmatamento, também, contribui para emissões de CO₂, representando atualmente cerca de 75% das emissões brasileiras (HOUGHTON et al., 2000).

Sendo assim, faz-se necessário monitorar o desmatamento sobre a Amazônia, que atualmente é realizado através de vários projetos, como por exemplo, o Projeto PRODES e o Projeto de

Detecção de Áreas Desflorestadas em Tempo Real (DETER), ambos desenvolvidos pelo INPE, que utilizam técnicas digitais através de sensoriamento remoto.

Segundo estimativas do PRODES, entre 2000 e 2001 foram desflorestados 18.165 km², este valor subiu para 26.130 km² em 2003/2004, este índice é tido como o segundo maior da série histórica, inferior apenas a 1994/1995 quando foram desmatados 29.059 km². Desde então, ano a ano, estas taxas passaram a diminuir, e somente entre os anos de 2008/2009 houve uma redução de aproximadamente 40% do desmatamento, ou seja, cerca de 7.464 km² foi desmatado, sobre toda a Amazônia Legal. (PRODES/INPE, 2010).

Em grande parte, estas elevadas taxas de desmatamento estão concentradas ao longo do Arco do Desmatamento, que se estende entre o sudeste do Maranhão, o norte do Tocantins, sul do Pará, norte de Mato Grosso, Rondônia, sul do Amazonas e o sudeste do Acre. Os estados mais afetados são Mato Grosso, Pará e Rondônia. Com isto, tais regiões, têm sido palcos principais de diversos estudos, com o enfoque nos impactos causados pelo desmatamento, em suas diversas formas.

3.1.2 Impactos do desmatamento na precipitação sobre a Amazônia

Diversos estudos e técnicas vêm sendo realizados com o intuito de descobrir a relação do desmatamento com o clima na Amazônia, especificamente no impacto causado pelo desmatamento e uso do solo sobre ciclo hidrológico e conseqüentemente na precipitação, a níveis de escalas local (a ex. de GASH et al., 1996, NEGRI et al., 2004, KNOX et al., 2010), regional (CHU et al., 1994; CUTRIM et al., 1995; DURIEUX et al., 2003; MACHADO et al., 2004; WANG et al., 2009) e global (SHUKLA et al. 1990; FEARNSIDE, 1996).

Inicialmente, Cutrim et al (1995), mostraram que o tipo de vegetação têm um impacto significativo na convecção diurna sobre Rondônia e que nas regiões desmatadas da Amazônia, durante a estação seca, apresentam maiores quantidades de nuvens cumulus do que nas regiões de florestas, pois na pastagem, devido ao aquecimento adiabático, parece forçar a convecção durante esta estação, já durante a estação chuvosa a convecção é forçada sobre floresta, principalmente onde a floresta está em contato com região de pastagem. Com isso, a remoção/substituição de floresta por pastagem pode ter impacto significativo na formação de nuvens e, conseqüentemente, na precipitação sobre a Amazônia.

Dias de Paiva e Clarke (1995), para um período de 15 anos, a partir de registros de precipitação de 48 estações sobre a Amazônia, observou mudanças na precipitação mensal, em grande parte tendências negativas, principalmente em regiões Oeste e Central da Amazônia, por outro lado, na parte sul da Amazônia, onde o desmatamento é mais intenso, a atividade convectiva não apresentou grande variação nas décadas estudadas, e que as poucas tendências positivas isoladas (por exemplo sobre a cidade de Manaus), podem estar associadas a baixa densidade de pluviômetros sobre estas localidades. Porém, em geral, as tendências negativas encontradas não apresentaram significância estatística.

Durieux et al. (2003), com base em 10 anos de produtos de imagens de satélites, compararam áreas de 2,5° x 2,5° cobertas por floresta, denominadas de “Referências”, com áreas desmatadas de topografias semelhantes, na região do “Arco do Desmatamento” sobre a Amazônia Legal (Figura 3.1). Suas análises, em geral, sugeriram tendências na cobertura de nuvens sobre grande parte das áreas desmatadas, tais mudanças apresentaram-se mais significativas variações sazonais e diurnas. Durante a estação seca (à tarde), foram encontradas mais nuvens cumulus sobre as regiões com desmatamento e menos convecção durante à noite. Já na estação chuvosa foram encontradas mais nuvens do tipo cumulonimbus, sobre as mesmas, o que sugere uma maior quantidade de chuva em regiões com desmatamento, concordando assim com as simulações numéricas de Silva Dias et al. (2002), que sugerem aumentos na precipitação (porém não tanto pronunciado) durante a estação chuvosa na presença de desmatamento.

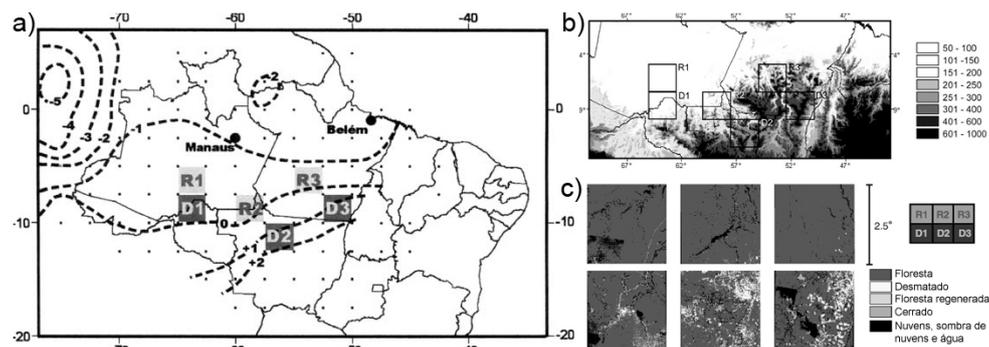


Figura 3.1 - Áreas de estudo em Durieux et al. (2009). (a) sobreposta à tendência de OLR (em 10^{-1} W/m²/ano), Chu et al., 1994); (b) sobreposta na topografia (m); e (c) sobre o mapa de vegetação através do TRFIC.

Fonte: Adaptado de Durieux et al. (2003).

Machado et al. (2004), verificam-se marcantes variações sazonal e diária nos parâmetros termodinâmicos sobre regiões de savanas. Já em regiões de florestas, esta variação sazonal apresenta-se pouco pronunciada. As diferenças regionais no regime de precipitação apresentaram-se mais marcantes durante o período seco e o período com eventos mais

intensos é evidenciado durante a transição entre os períodos seco e o chuvoso. [Negri et al. \(2004\)](#), concluem que durante a estação seca sobre a Amazônia, a nebulosidade do tipo cumulus rasos e por convecção profunda (cumulonimbus) e a ocorrência de precipitação são maiores em regiões desflorestadas e savanas, que sobre áreas de florestas densas.

Em alguns dos resultados de [Chagnon e Bras \(2005\)](#) foram observadas mudanças nos padrões climatológicos de precipitação causada pelo desmatamento, que houve uma diminuição na precipitação acumulada no final da estação chuvosa e aumento no final da estação seca. Estas conclusões implicam que o desmatamento atual na Amazônia já alterou o clima regional, reforçando descobertas anteriores de aumento da nebulosidade rasas de áreas desmatadas ([DURIEUX et al., 2003](#); [NEGRI et al., 2004](#); [CHAGNON et al., 2004](#)).

[Rosolem \(2005\)](#), por meio de um experimento numérico de simulação atmosférica, num caso para a rodovia Cuiabá-Santarém, sob um cenário de desmatamento empírico para o ano de 2026, estudou o impacto do desmatamento no ciclo hidrológico e, em especial, na precipitação. Em um de seus resultados, houve uma redução de cerca de 7% da precipitação média, distribuída na área em que foi desmatada, devido à formação de nuvens convectivas sobre o local. Às proximidades, devido à formação de uma circulação, observaram-se anomalias positivas de precipitação, relacionadas aos ramos descendentes das células. Segundo [Silva Dias et al. \(2006\)](#), o efeito deste tipo de circulação, gerado pela mudança de cobertura do solo, possui influência direta sobre a formação de nebulosidade.

[D'Almeida et al. \(2007\)](#), através do levantamento de diversos estudos realizados anteriormente, com uso de técnicas observacionais, modelagem, entre outros, discutiram como os impactos do desmatamento no ciclo hidrológico se alteram em função da escala considerada. Em síntese, os autores sugerem que um cenário de desmatamento em grande escala ($> 10^5 \text{ km}^2$) na Amazônia acarretaria uma forte diminuição da evapotranspiração e conseqüentemente na precipitação. Por outro lado, um desmatamento em escala regional ($10^2 - 10^5 \text{ km}^2$) impactaria na circulação, fortalecendo a convecção, aumentando da precipitação. Já um desmatamento em escala local ($< 10^2 \text{ km}^2$) não foram observadas alterações significativas na precipitação, embora este tenha aumentado o escoamento superficial e diminuído a evapotranspiração.

[Wang et al. \(2009\)](#), através da comparação de sondagens entre duas superfícies com coberturas distintas, uma sobre área de floresta e a outra sobre área desmatada, durante o

RBLE-3 (Rondonian Boundary Layer Experiment), juntamente com imagens dos canais visíveis e infravermelho do satélite Geostacionário NOAA (GOES-7 e GOES-8), sobre o estado de Rondônia, detectaram um maior predomínio de nebulosidade sobre as áreas desmatadas, em grande parte com um padrão de nuvens rasas, concordando com os estudos teóricos e numéricos.

Mais recentemente, também para Rondônia, [Knox et al. \(2010\)](#), utilizando as estimativas de precipitação do algoritmo 2A25 do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), entre 1998 e 2007, juntamente com o mapa de cobertura de floresta MOD44B ([HANSEN et al., 2003](#)), investigaram a ocorrência de precipitação em áreas de floresta, desmatadas e na transição floresta e desmatamento sobre o estado. Em síntese, como mostrado na Figura 3.2, as regiões de floresta apresentaram-se com maior fração de precipitação do que em áreas desmatadas. Porém, a área de transição floresta e desmatada foi a que apresentou maior fração de precipitação. Entre as áreas de transição, a desmatada apresentou maior fração do que a floresta. Tais resultados evidenciaram o efeito da circulação de mesoescala na precipitação, sobre diferentes coberturas de solo.

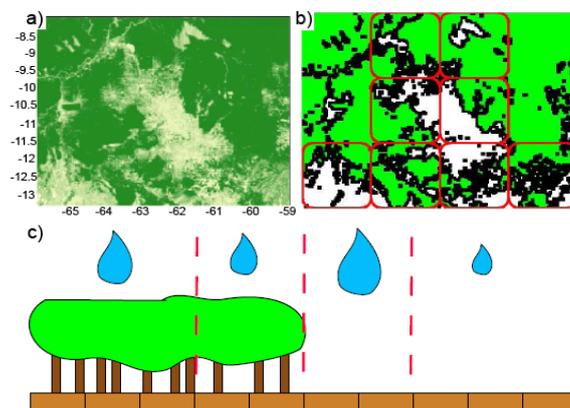


Figura 3.2 – a) Localização da área em estudo e b) classificação do mapa de cobertura do solo. c) Contraste entre a fração de precipitação sobre as áreas de floresta, desmatadas e transição floresta/desmatada (cada retângulo marrom na horizontal representa 4 km).
Fonte: Adaptado de [Knox et al. \(2010\)](#).

3.2 Objetivos

Investigar o impacto de áreas com elevadas taxas anuais de desmatamento, na Amazônia Legal, no comportamento das três características da precipitação (acumulada, intensidade e frequência média de dias chuvosos), também separadas por classes (assim como no Capítulo 2) e suas possíveis tendências e/ou mudanças nos últimos 12 anos (1998 a 2009).

3.3 Dados

Neste capítulo foram utilizados 3 (três) conjuntos de dados: (i) precipitação, (ii) desmatamento e (iii) topografia. Com relação à precipitação, foram utilizados os acumulados diários a cada pixel de $0,25 \times 0,25^\circ$ de latitude e longitude, de 1998 a 2009 do algoritmo 3B42_V6 do satélite TRMM. Para análise do desmatamento, foram utilizadas as estimativas anuais de desmatamento do projeto PRODES Digital, na resolução de 1 km sobre toda a Amazônia Legal, para o período de 2000 a 2009, tendo como base o desmatamento ocorrido até 1997 (Uma breve descrição destas fontes de dados encontra-se no Apêndice A). Por último, para a verificação da topografia do terreno, foram utilizados os dados provenientes do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), que possui uma resolução espacial de 90×90 metros sobre toda a América do Sul (RODRIGUEZ et al., 2005).

3.4 Metodologia

3.4.1 Critérios para seleção das áreas em estudo

Inicialmente, a partir dos dados do PRODES Digital, foi feito um levantamento ano a ano do desmatamento sobre toda a Amazônia Legal, detectando as principais áreas com elevadas taxas de desmatamento durante o período de 2000 a 2009, tendo como base o desmatamento ocorrido até 1997 e a topografia da região, com base nos dados do STRM.

Sendo assim, tendo em vista a gama de dados a serem utilizados e com base nas metodologias empregadas em estudos anteriores, foram selecionadas 4 (quatro) áreas apresentando elevadas taxas de desmatamento durante o período de estudo (últimos 10 anos) e sobre regiões com diferentes elevações, assim como em Durieux, et al. (2003), cada área apresentando uma topografia aproximadamente homogênea, com $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ de latitude e longitude, localizadas sobre a região do “arco do desmatamento” e em regiões consideradas por Becker, 2004 e 2005, como novas fronteiras do desmatamento da Amazônia (vistas na Figura 3.3).

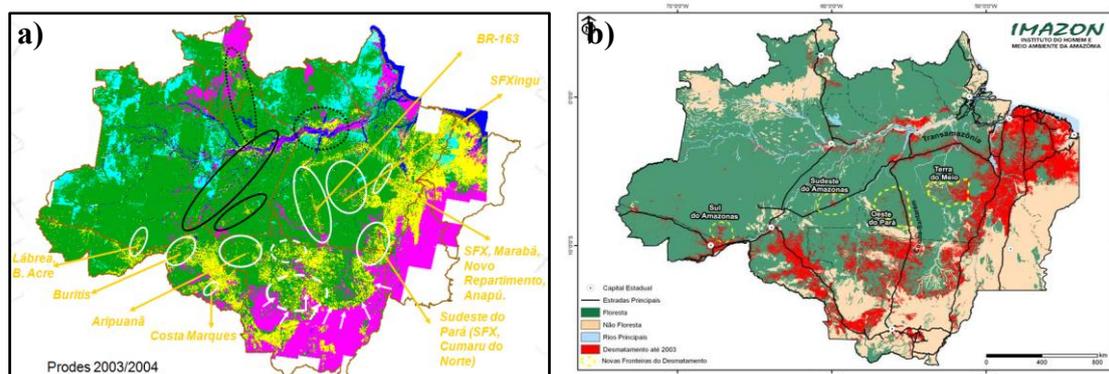


Figura 3.3 – Desmatamento na Amazônia Legal e suas novas fronteiras, segundo a) Becker, 2004; 2005 e b) IMAZON (Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia).

Fonte: Adaptado de DPI/INPE/GEOMA, 2005 e IMAZON.

Dentro de cada uma das quatro áreas foram selecionados sub-áreas (com $0,5^\circ \times 0,5^\circ$), relativamente próximos e de acordo com os seguintes critérios:

- **Topografia:** Fator determinante para a seleção, tanto das áreas, quanto das suas sub-áreas em estudo, tendo em vista que a elevação do terreno desempenha um papel chave na formação de nuvens e, conseqüentemente de precipitação. As sub-áreas selecionadas apresentando topografias aproximadamente homogêneas entre si e, relativamente, distante de localidades bastante elevadas.
- **Vegetação (cobertura do solo):** Como idéia principal, as sub-áreas selecionadas deveriam apresentar uma das seguintes características: (i) Floresta, por apresentar um predomínio de áreas florestadas, representadas pela cor verde; (ii) Desmatada e em atividade, com um desmatamento acumulado até o ano de 2009 (cor vermelha) (Fig. 3.6).
 - Somente sobre a Área 2, foi realizado um teste, considerando 3 sub-áreas (áreas de $0,25 \times 0,25^\circ$) com coberturas distintas: (i) Floresta, como descrito anteriormente; (ii) Desmatada, com um desmatamento ocorrido até o ano de 1997 (na cor amarelo); e (iii) em desmatamento (ou Desflorestada, conforme a nomenclatura PRODES), caracterizada por apresentar polígonos de desmatamento durante o período de 2000 a 2009, solo em atividade, onde ocorre a substituição de floresta por pastagem (cor vermelha).
- **Regime de chuva (ciclo anual):** O ciclo médio anual de cada sub-área sendo representativo de suas respectivas Áreas, com seus períodos secos e chuvosos semelhantes. Para isto, assim como em Machado et al. (2004), foi adotado o seguinte critério: para cada Área em estudo, a estação chuvosa (seca) foi definida como o mês

quando precipitação acumulada é maior (menor) do que a média menos (mais) o desvio padrão do período, com suas respectivas sub-áreas devendo apresentar seus mesmos padrões. Utilizou-se a seguinte relação para determinar o desvio normalizado (DN): $DN = (\text{Valor observado} - \text{Média climatológica}) / \text{Desvio Padrão}$. A Figura 3.12 exibe esta relação.

As Figuras 3.4 a 3.6 mostram as localizações das 4 (quatro) áreas e suas respectivas sub-áreas em estudo, sob o mapa de desmatamento e topografia.

3.4.2 Investigação das características e tendências da precipitação

Através das estimativas do algoritmo 3B42_V6, com o período entre janeiro de 1998 à dezembro de 2009, inicialmente, buscou-se investigar as características médias do comportamento da precipitação, tais como: ciclo médio anual, precipitação média anual e sazonal e suas respectivas intensidades diárias, sobre toda a Amazônia, com foco nas distintas áreas e pixels em estudo, avaliando “qualitativamente” o desempenho deste em comparação à literatura existente.

Em seguida, assim como no Capítulo 2, foi aplicada a técnica de [Osborn et al. \(2000\)](#), sobre áreas e pixels em estudo. Buscando comparar e identificar tendências ou mudanças na distribuição da precipitação diária, tais como suas intensidades, números, frequências de dias chuvosos e suas contribuições para os totais anuais e sazonais. Para isto, também foram aplicados o teste de significância Mann-Kendall e as estimativas de inclinação pelo método Sen, segundo [Salmi et al. \(2002\)](#).

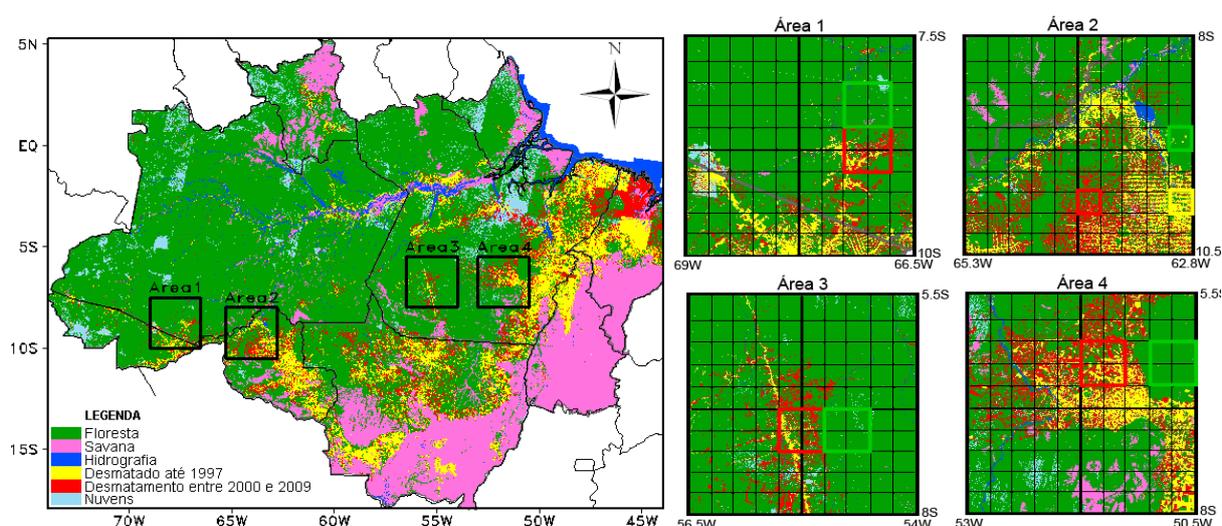


Figura 3.4 – Localização das Áreas (a) e sub-áreas (b) em estudo na Amazônia, sobrepostas ao mapa de desmatamento PRODES.

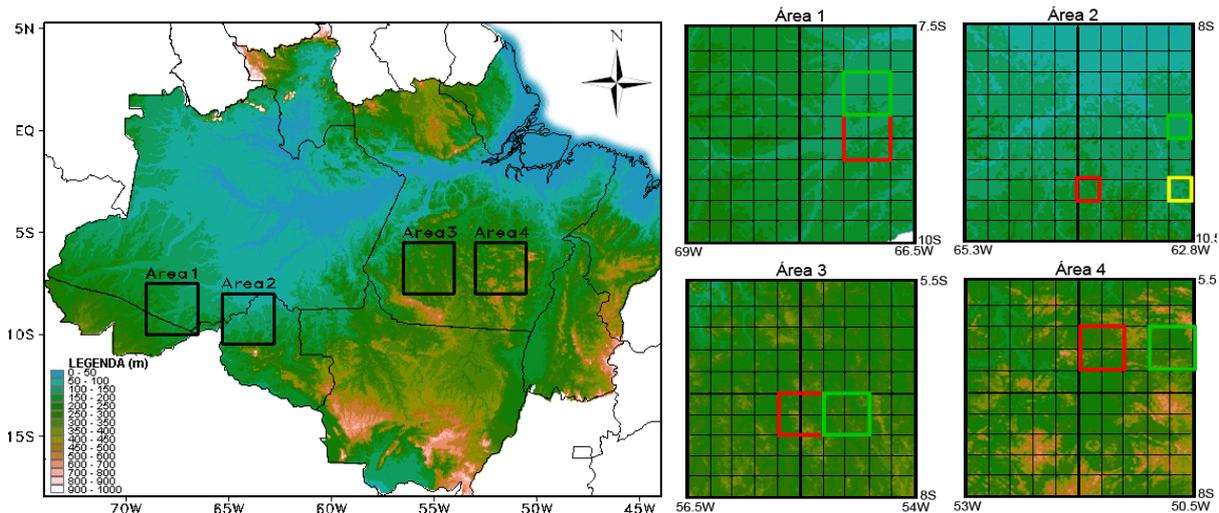


Figura 3.5 – Assim como na Fig. 5.7, porém, sobrepostas ao mapa de topografia SRTM.

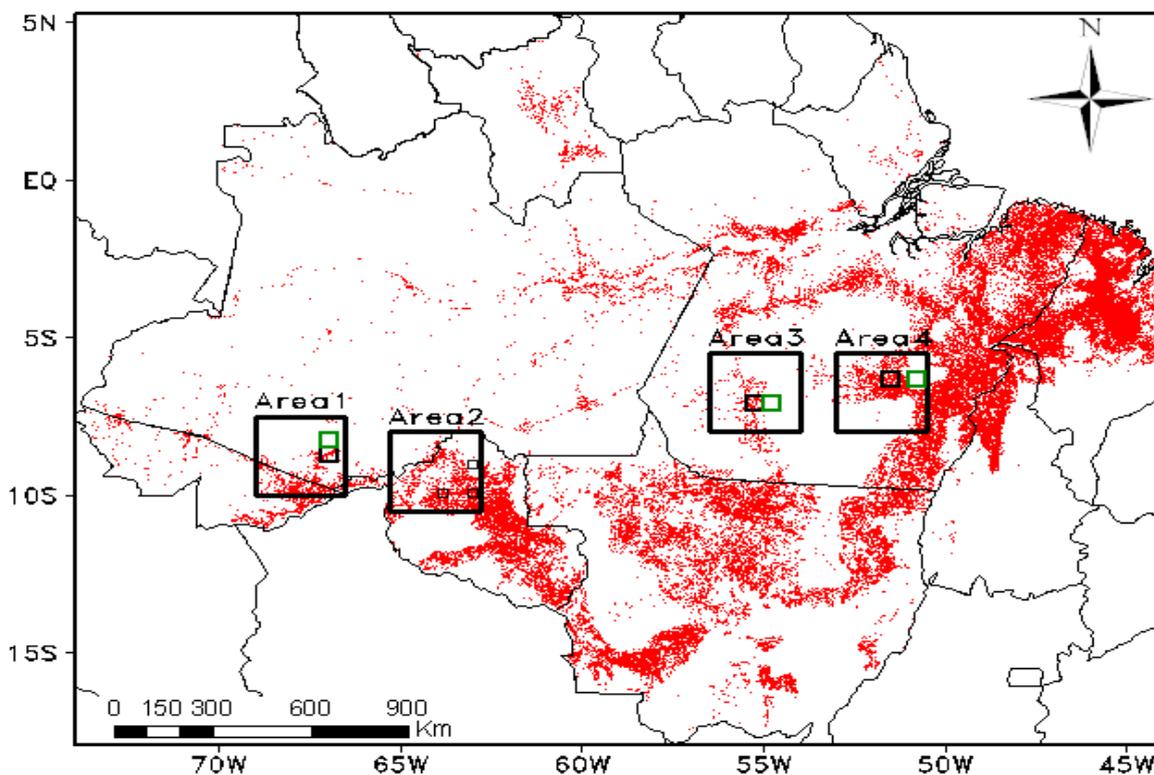


Figura 3.6 – Localização das Áreas e sub-áreas em estudo, sobrepostas ao mapa de desmatamento (total, até o ano de 2009) PRODES, sobre toda a Amazônia Legal.

3.4.3 Avaliação do desempenho do algoritmo 3B42

A Figura 3.7 representa a distribuição espacial e a variabilidade temporal da correlação através do algoritmo 3B42 na versão Real Time (RT) e os dados pluviométricos (neste caso o CPC- Climate Prediction Center) sazonalmente (março de 2009 a fevereiro de 2010) para toda a América do Sul. Em geral, sobre toda a América do Sul, os maiores valores de correlação

(COR) foram observados no modelo 3B42RT seguido pelo CMORPH (CPC Morphing Technique), com os melhores desempenhos detectados no inverno, principalmente nas regiões sul e sudeste do Brasil e Uruguai. Nesta estação do ano também são observadas as menores correlações, principalmente no nordeste do Brasil, para todos os modelos. Tal desempenho pode estar associado ao tipo de chuva que ocorre sobre a região e à limitações de determinados modelos em não detectar precipitação do tipo estratiforme, já que eles têm como principal característica estimar chuvas convectivas. O 3B42 utiliza frequências em microondas, onde o princípio do método é a interação da radiação eletromagnética com a partícula por espalhamento, calculando a precipitação para nuvens com gelo e gotas grandes.

Sobre a Amazônia, mesmo que não apresentando uma distribuição espacial uniforme, devido ao baixo número de observações de superfícies, o 3B42 apresentou desempenhos constantes de COR durante grande parte do ano, sendo visivelmente notada a superioridade de desempenho do modelo 3B42RT sobre os demais, com valores de correlação em torno de 0,6, ao longo do tempo.

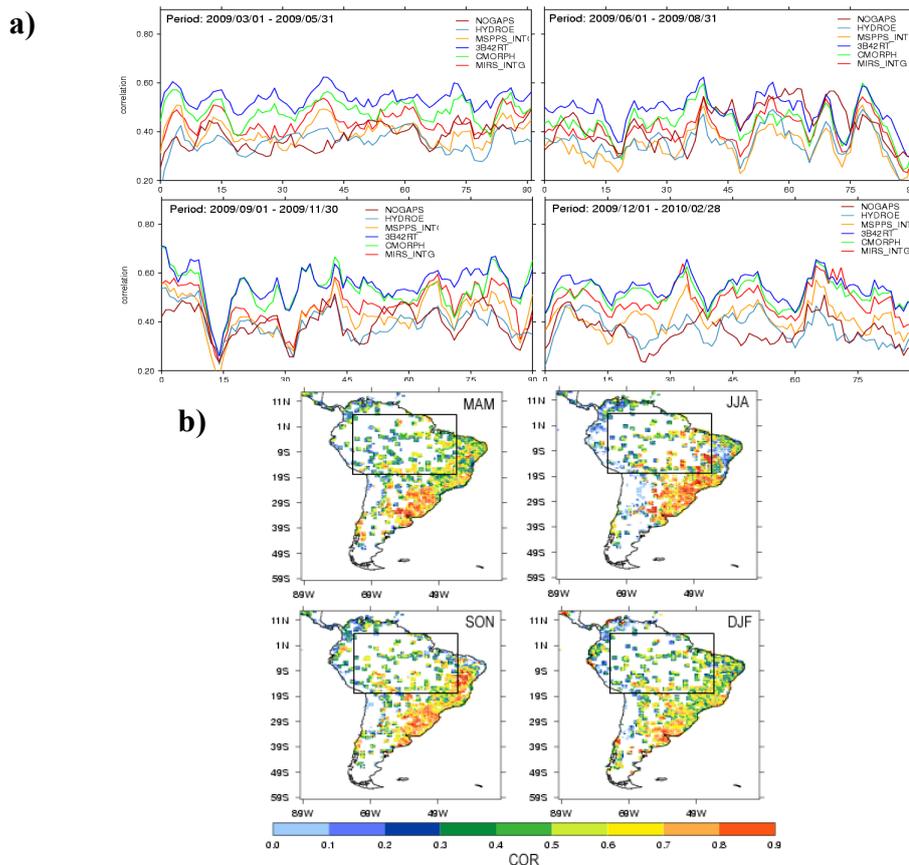


Figura 3.7 – Variabilidade temporal da correlação de diversos produtos de precipitação (a) e distribuição espacial da correlação entre a precipitação observada e a estimada pelo 3B42, para as estações entre o período de março de 2009 à fevereiro de 2010.

Fonte: Adaptado de [CICS \(Cooperative Institute for Climate Studies\)](#).

Uma outra forma de avaliar o desempenho do algoritmo 3B42_V6, juntamente aos demais produtos, foi através da comparação de limiares de chuva calculados sobre percentis (a cada 10%) sobre toda a América do Sul. Os limiares correspondentes ao percentil 10 representando as chuvas mais fracas até os limiares do percentil 90 com as chuvas mais fortes. Como exemplo, a Figura 3.8 mostra os valores obtidos pelo 3B42_V6 e GPCP_1DD (Global Precipitation Climatology Project 1 Daily Degree) comparados aos do CPC, para os percentis 10, 50 e 90 (chuvas fraca, fraca-moderada e forte, respectivamente). Em geral nota-se que ambos produtos representam bem as regiões mais e menos chuvosas sobre a América do Sul, no entanto, o 3B42_V6 mostrou-se mais coerente que o GPCP_1DD em comparação ao CPC. O GPCP_1DD mostrou valores superestimados, principalmente nas chuvas moderadas (percentil 50).

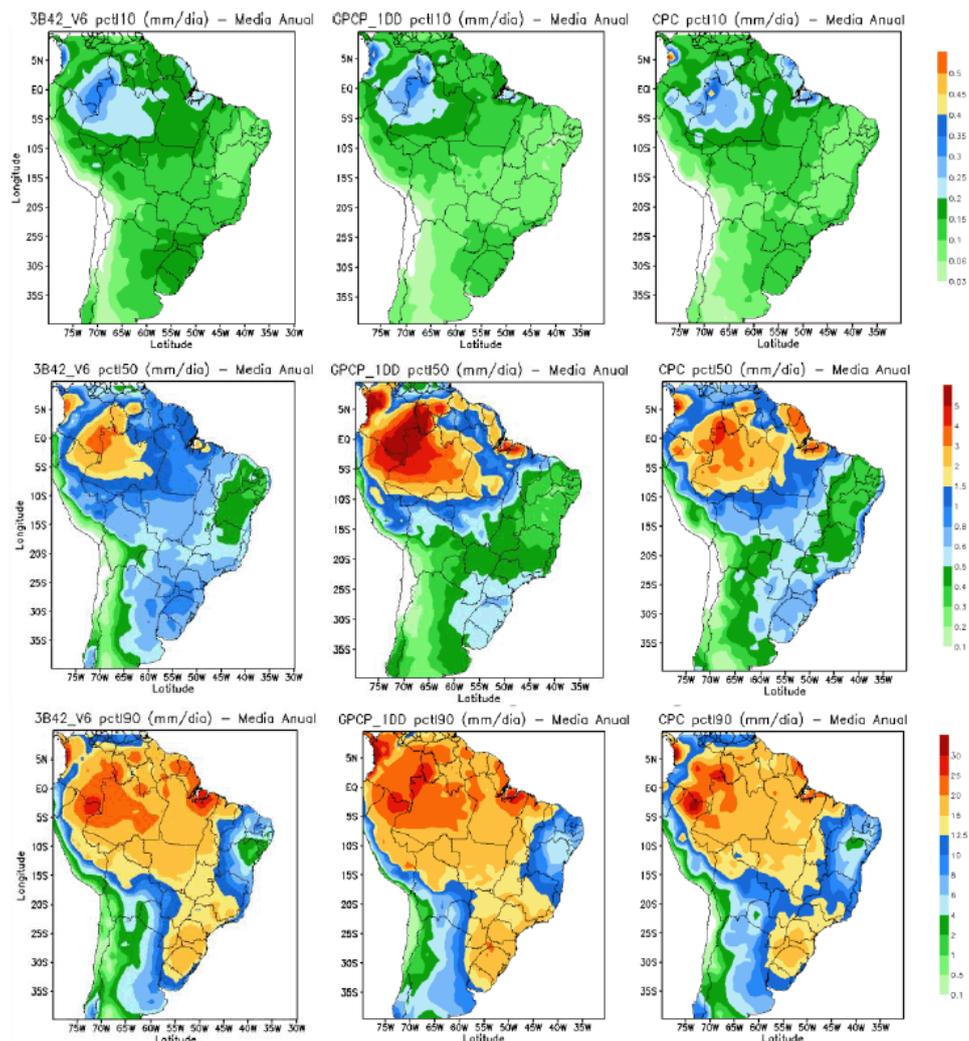


Figura 3.8 – Comparação da distribuição espacial média anual entre os produtos 3B42_V6, GPCP_1DD e CPC para os percentis 10, 50 e 90, referentes às chuvas fraca, moderada e forte, respectivamente.

3.5 Resultados

Inicialmente são mostradas as características e desempenho da precipitação através do algoritmo 3B42_V6 sobre toda a Amazônia Legal. Em seguida são mostradas as tendências da precipitação (acumulada, frequência, intensidade diária e separada por classes), para as Áreas e sub-áreas em estudo. Para exemplificar e mostrar o contraste entre as diferentes características de tendências entre as sub-áreas desmatadas e floresta, são mostradas as séries temporais de algumas sub-áreas e estações do ano específicas com representatividade e/ou significância estatística. E mesmo sabendo que todas as classes possuem iguais importâncias, será dada uma atenção especial à Classe 10, que provem dos eventos mais intensos.

3.5.1 Características espaço-temporal da precipitação pelo 3B42_V6 sobre a Amazônia Legal

A Amazônia apresenta alta pluviosidade distribuída diferentemente ao longo do ano e com características regionais distintas. A Figura 3.9, mostra a distribuição espacial média anual e o ciclo médio anual da precipitação, através das estimativas do 3B42_V6, entre o período de janeiro de 1998 e dezembro de 2009 sobre toda a Amazônia Legal, com ênfase nas 4 Áreas em estudo.

Assim como em [Figuroa e Nobre \(1990\)](#), observam-se que os maiores valores de precipitação (em torno de 3000 mm/ano) ocorrem sobre: a) a região costeira da Amazônia, desde o Amapá até o nordeste paraense, associados principalmente à atuação de Linhas de Instabilidade ao longo da região costeira e com a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) ([COHEN, SILVA DIAS e NOBRE, 1995](#)) e, b) a porção noroeste da Amazônia, associada à umidade trazida pela ZCIT, que é condensada devido ao efeito dos Andes ([NOBRE, 1983](#)). Já os menores valores anuais são encontrados a nordeste e sul da Amazônia Legal. Notam-se, no decorrer do ano, que as Áreas em estudo apresentam ciclos semelhantes, com valores máximos mensais distribuídos entre dezembro e março (época chuvosa), fato que é justificado pela intensificação dos efeitos locais associados à presença da ZCIT e ZCAS, que segundo [Souza e Ambrizzi \(2003\)](#) a manifestação conjunta desses dois sistemas contribui diretamente para ocorrências dos anuais de chuva na maior parte do território brasileiro. Os mínimos ocorrem principalmente entre os meses de junho a agosto (época menos chuvosa), onde predominam as chuvas de caráter convectivo.

Sazonalmente (Figura 3.10 a-d), observa-se que os trimestres dezembro-janeiro-fevereiro (DJF) e março-abril-maio (MAM) apresentam elevadas taxas de chuva, contribuindo com aproximadamente 50%, nas porções sul e na faixa litorânea (nordeste e noroeste), respectivamente. Em junho-julho-agosto (JJA) é o período que contribui menos para os totais anuais, principalmente nas porções central e sul da Amazônia, que não ultrapassam os 10%. Por fim, setembro-outubro-novembro (SON) pode ser considerado o período de transição, o qual os valores de precipitação começam a aumentar, principalmente no setor sul e oeste, associado principalmente aos primeiros episódios da Zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e à convecção local.

Com relação às sub-áreas, comparado as suas respectivas Áreas em estudo, embora hajam variações, é possível observar características sazonais semelhantes e dentro do padrão, com os trimestres DJF, em seguida de MAM, apresentando maiores contribuições, com cerca de 70% juntos. JJA é tido como o trimestre mais seco, contribuindo em média com aproximadamente 5%. SON, considerado como transição, representa em média cerca de 20% da precipitação média anual para as localidades em estudo.

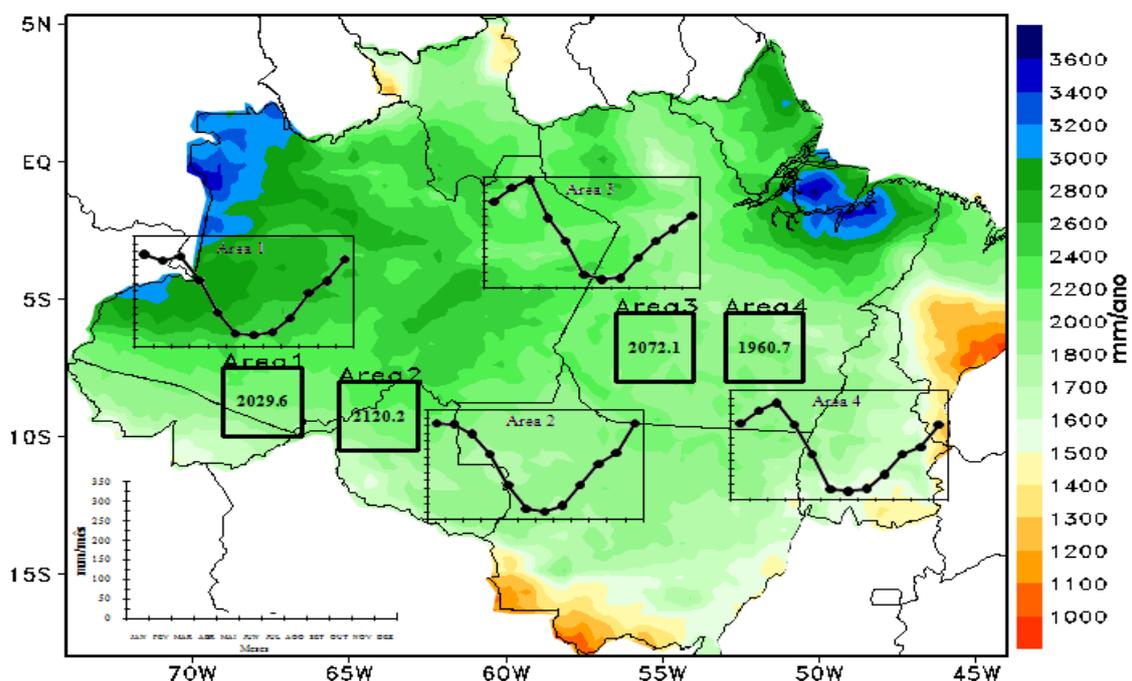


Figura 3.9 – Distribuição espacial da precipitação média anual em mm/ano sobre toda a Amazônia Legal, com destaque às Áreas em estudo e ciclo médio anual da precipitação das Áreas 1 a 4 em mm/mês, através do 3B42_V6, para o período de 1998 a 2009.

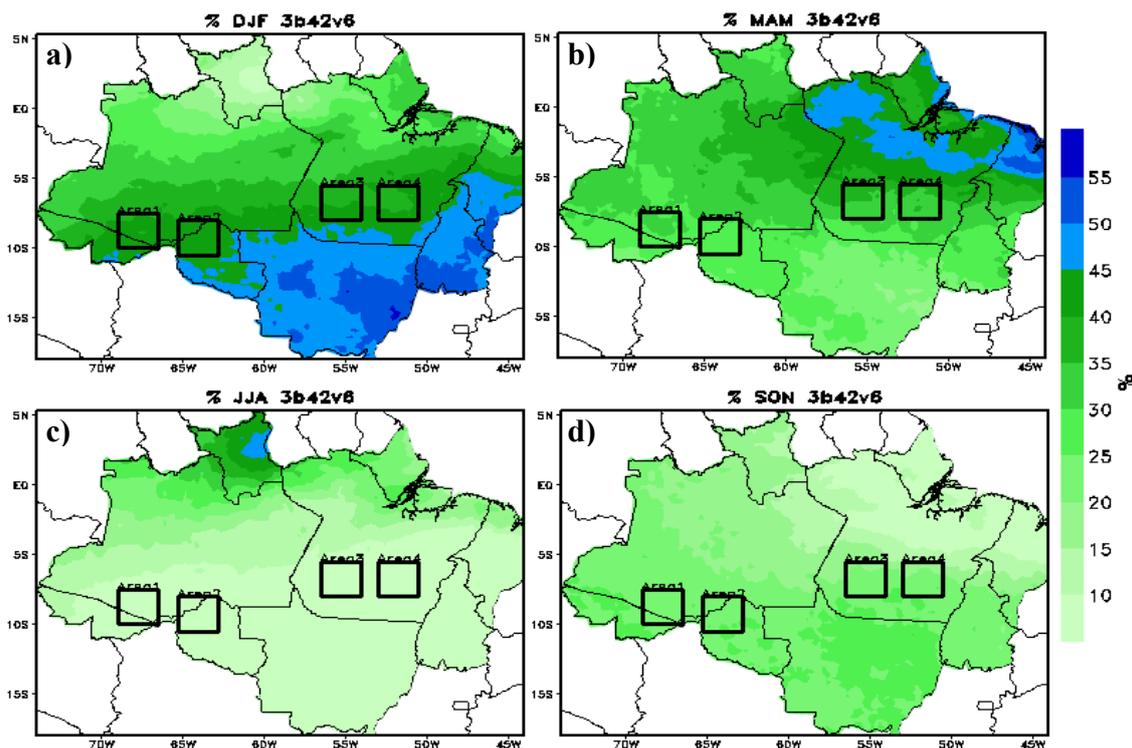


Figura 3.10 – Distribuição espacial da precipitação média sazonal em % sobre toda a Amazônia Legal, com destaque às 4 Áreas em estudo, através do 3B42_V6, para o período de 1998 a 2009.

A Figura 3.11 mostra a distribuição média diária da precipitação anual (de 1998 à 2009), pelo algoritmo 3B42_V6 sobre a Amazônia Legal. Os máximos valores são observados sobre o seu extremo oeste e também sobre o litoral nordeste (aos redores das Mesoregiões Metropolitana de Belém e Ilha do Marajó), com cerca de 9-10 mm/dia no ano. Os mínimos encontram-se principalmente sobre o Nordeste e Sul da Amazônia Legal, com valores chegando entre 2 e 3 mm/dia. Sobre as Áreas em estudo, nota-se um predomínio de valores médios anual entre 5 e 6 mm/dia.

Na distribuição média diária sazonal (FIGURA. 3.12 a-d), observa-se o deslocamento dos núcleos de precipitação máxima ao longo das estações. Evidenciando algumas características espaciais, tais como os altos valores diários associados a sistemas como ZCIT e Linhas de Instabilidade (nordeste da Amazônia, principalmente durante MAM, com cerca de 12 a 15 mm/dia) e também à episódios de ZCAS e à convecção local (resultando valores entre 9 e 11 mm/dia em DJF sobre o sudeste da Amazônia).

Os valores diários, anuais e sazonais encontrados através do algoritmo 3B42_V6 mostram-se coerentes aos valores encontrados por Obregón e Marengo (2007), através de pluviômetros interpolados, durante o período de 1981-2000, Espinoza Villar et al. (2008), através de 756

estações espalhadas sobre a bacia Amazônica, durante um período de 1975 à 2003 e [Silva et al. \(2007\)](#), através do produto *CPC (Climate Prediction Center)*, baseado em pluviômetros interpolados, durante 1979-2009 sobre a América do Sul.

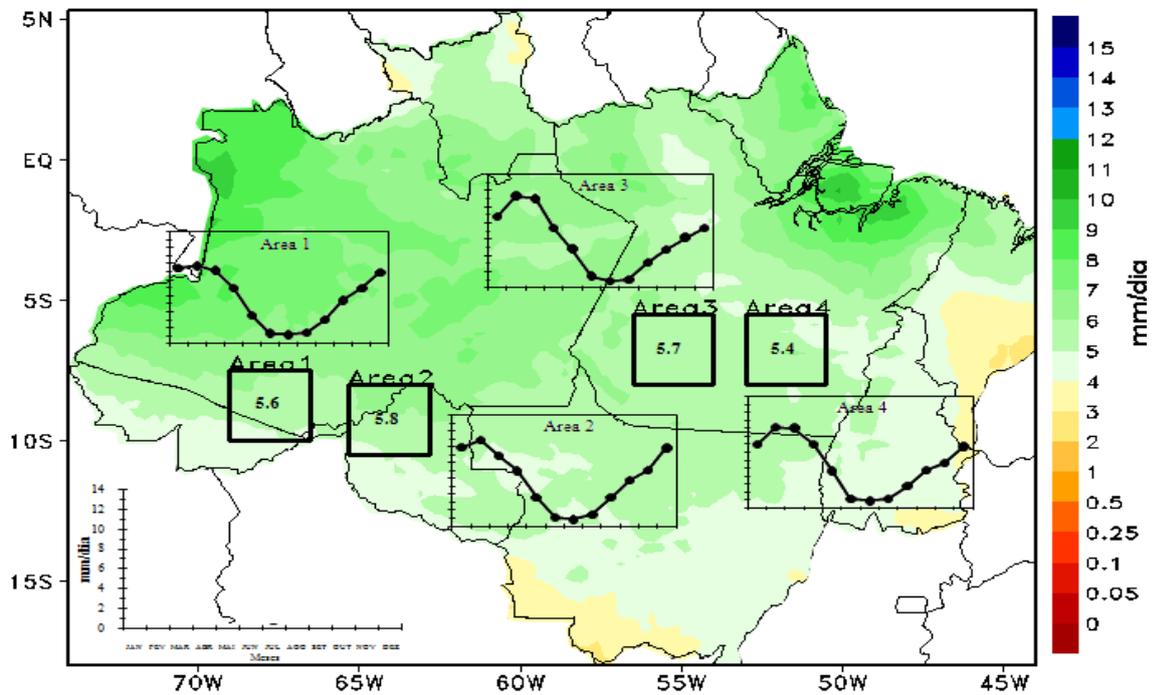


Figura 3.11 – Assim como na Fig. 3.9, porém, referente à intensidade média em mm/dia.

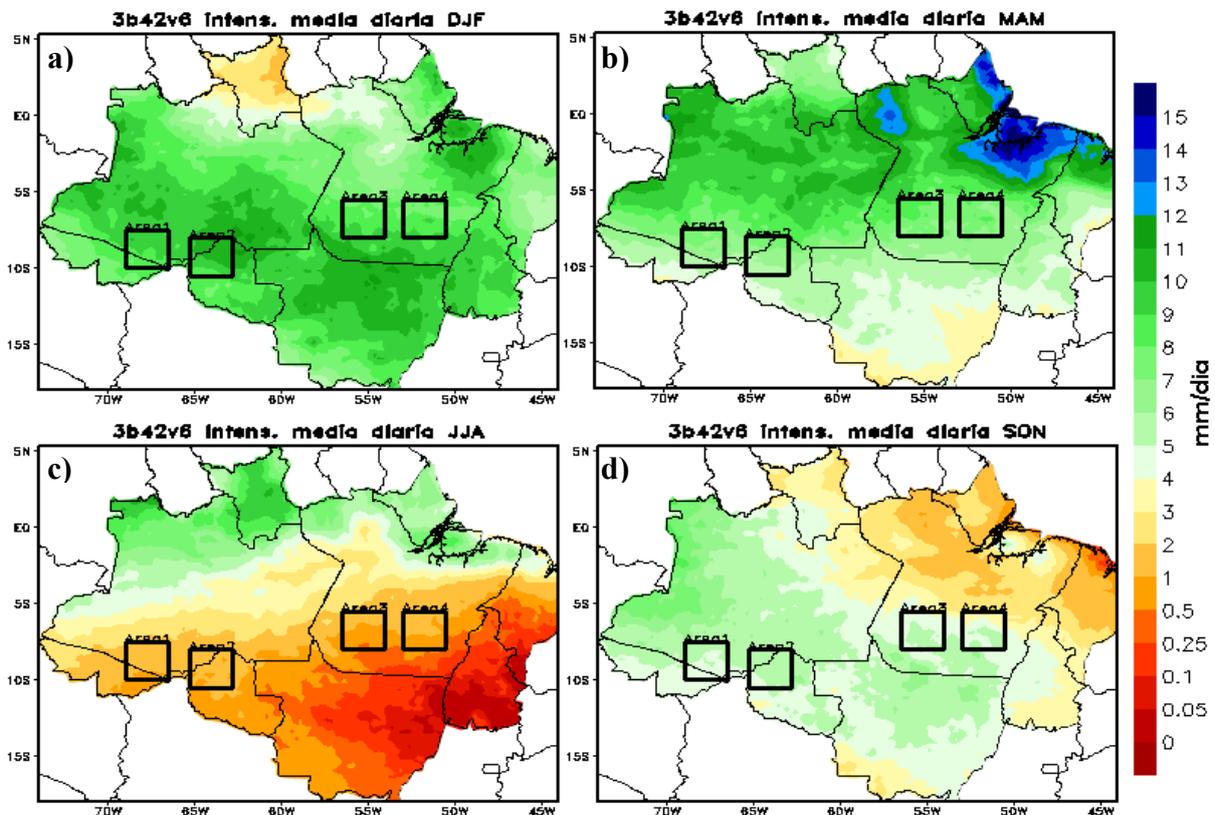


Figura 3.12 – Assim como na Fig. 3.11, porém, para a precipitação média total sazonal.

Ao comparar o ciclo anual médio de cada Área e suas respectivas sub-áreas em estudo (Figura 3.13), é possível notar que as características são bastante semelhantes. As Áreas 2 e 4 são as que mais se destacam das demais, principalmente durante o período transição seco-chuvoso (SON). Tal fato pode estar associado não só com sua topografia, considerada um dos fatores predominantes (NEGRI et al., 2003) e à suas proximidades, mas também com quantidade de Áreas já desmatadas e desflorestadas durante o período em estudo. A Área 4 apresenta maiores diferenças de elevações e também é considerada uma das mais desmatadas, em comparação com as demais (ver Figuras 3.4 e 3.5).

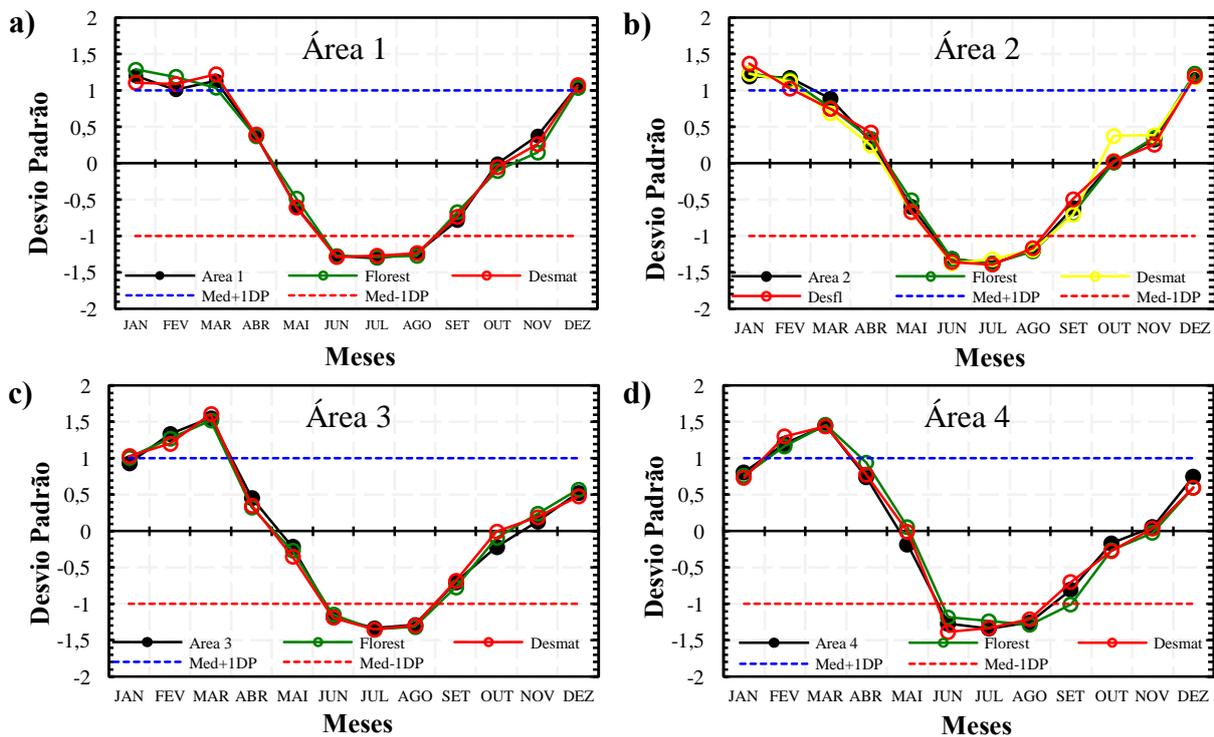


Figura 3.13 – Desvio padrão normalizado do ciclo médio anual da precipitação para as 4 Áreas e suas respectivas sub-áreas em estudo.

3.5.2 Tendências anuais e sazonais da precipitação

Em geral, observou-se características marcantes de variabilidade no decorrer dos 12 anos em estudo. As 4 Áreas apresentam um comportamento semelhante, relacionado ao efeito de grande escala, na maioria com tendências de aumento na precipitação total anual, através das estimativas de inclinação pelo método Sen, através do algoritmo 3B42_V6 (como mostram as Figura 3.14 e 3.16). Segundo [Marengo et al. \(2004\)](#), desde finais de 1920 a precipitação sobre grande parte da Amazônia apresenta leves tendências positivas, porém, não significativas estatisticamente. A Área 3 foi a que exibiu maior tendência, com aproximadamente 39,3 mm/ano, um aumento de cerca de 20,9% (significante estatisticamente ao nível de 99%). Em seguida, a Área 4 apresentou tendências positivas em torno de 31,4 mm/ano (desvio de 17,6%), com significância acima de 90% pelo método de M-K e por último, a Área 2 apresentando pequenas tendências de aumento, com 7,7 mm/ano (4%). Embora com padrões semelhantes as demais, a Área 1 apresentou tendências de diminuição (não significativas), com -1,8 mm/ano (-1%).

Também é possível identificar valores bem menores no ano de 1998, sobre todas as Áreas em estudo, associados ao fenômeno El Niño, que teve forte atuação, principalmente durante o início deste ano, afetando os acumulados anuais, principalmente da Área 4 ([OLIVEIRA e SATYAMURTY, 1998](#); [SILVA et al., 2007](#)). Outra característica bastante marcante, foi a seca de 2005, que afetou grande parte da Amazônia, principalmente as regiões mais à oeste (Áreas 1 e 2) ([ARAGÃO et al., 2007](#) e [MARENGO et al., 2008](#)).

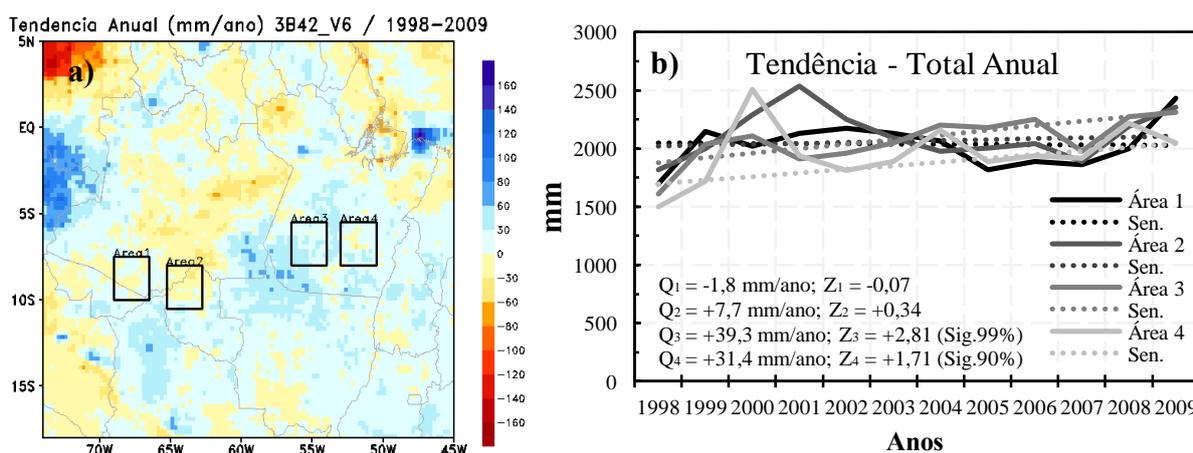


Figura 3.14 – Tendência da precipitação total anual. a) sobre toda a Amazônia Legal, com ênfase às 4 Áreas em estudo e b) séries temporais de precipitação total anual referente às 4 Áreas em estudo. De 1998 a 2009, através do 3B42_V6. Valores obtidos pelo método de inclinação Sen e teste de M-K. O eixo y representa a precipitação em mm/ano.

No entanto, através do algoritmo 3B42_V6, notam-se que o predomínio das tendências positivas durante o ano sobre toda a Amazônia Legal, principalmente sobre a parte central, se dão devido aos aumentos, principalmente nos trimestres mais chuvosos DJF (parte central e extremo oeste) e MAM (Amazônia Oriental e central), embora em DJF grande parte da região leste (sudeste do Pará, Maranhão e Tocantins) e em MAM na parte Oeste da Amazônia sofram com tendências de diminuições. As estações caracterizadas como menos chuvosas sobre a região apresentaram na grande parte tendências de redução, embora em SON as tendências positivas ao sul já começam a surgir, evidenciando o início do período chuvoso (Figura 3.15). No entanto, assim como nos resultados de [Marengo et al. \(2004\)](#), grande parte da Amazônia, região central sobre o estado do Amazonas e noroeste do Pará, assim como parte nordeste, apresentaram tendências negativas, encontradas durante grande parte do ano, exceto da estação DJF.

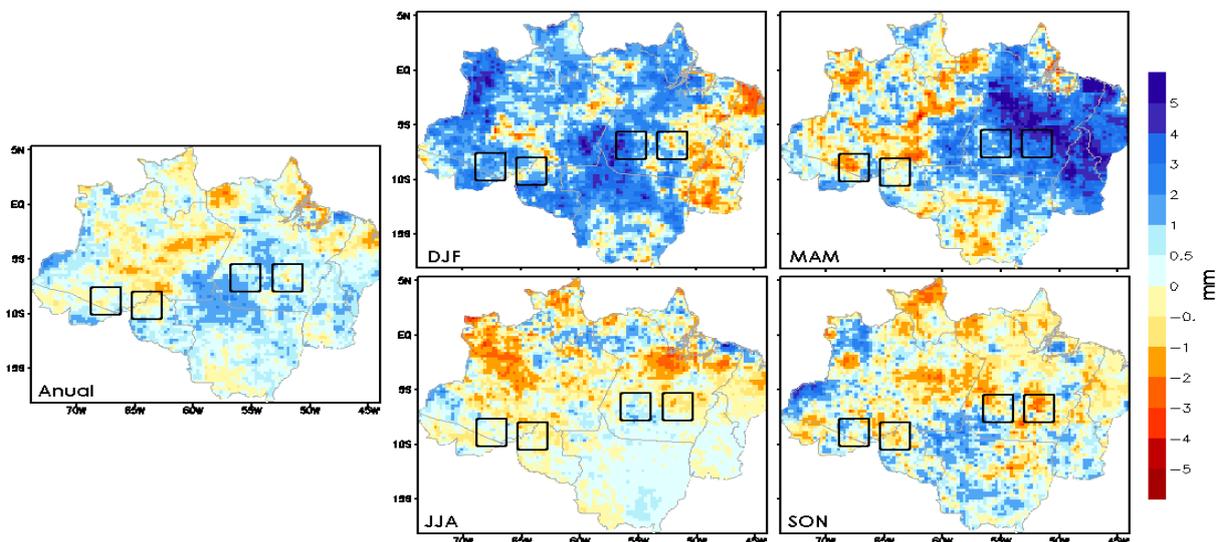


Figura 3.15 – Tendência da precipitação diária (mm) durante o período de 1998 à 2009 pelo 3B42_V6, sobre a Amazônia Legal.

Com relação às áreas em estudo, em geral foram detectadas as maiores e mais significantes tendências sobre as áreas localizadas mais a Leste (áreas 3 e 4). Assim como os totais anuais, os totais sazonais das Áreas 1 a 4, apresentaram, em grande parte, um comportamento semelhante no decorrer dos últimos 12 anos. O trimestre MAM (SON) se destacou, apresentando tendências positivas (negativas) sobre todas as Áreas, principalmente sobre as áreas 3 e 4, localizadas mais a leste, próximas ao setor leste do arco do desmatamento. Em MAM, considerado por apresentar tendências de aumento da precipitação sobre grande parte da Amazônia Oriental (visto na Fig. 3.15), as áreas 3 e 4 apresentaram aumentos de 40 mm/ano (desvio de 30.3%) e a 30 mm/ano (51.9%), respectivamente, não necessariamente sobre as sub-áreas desmatada e/ou floresta, porém, foram encontradas as maiores tendências

sobre as sub-áreas de floresta, o que pode estar associado com a localização (mais a leste do que as desmatadas) destas dentro da área. Já em SON, onde as tendências de redução estão mais distribuídas sobre todo o território e os efeitos locais exercem são mais marcantes em comparação as estações mais chuvosas, as características mais marcantes, entre as diferentes sub-áreas, foram as tendências de redução encontradas durante o período este período. Notaram-se que, durante este trimestre (SON) a maioria das áreas (exceto Área 1) apresentaram tendências de redução, com maiores sinais sobre as sub-áreas desmatadas, em comparação com as de florestas. No entanto, conforme a área 2, dentre as áreas já desmatadas (até 1997), floresta e em desmatamento/em atividade (desmatado durante o período de 2000 a 2009), este último apresentou maiores reduções, significativo estatisticamente (Figura 3.16).

Assim, o fato de os totais anuais apresentarem tendências superiores sobre as sub-áreas de floresta, com relação às desmatadas, está ligado não só devido às tendências de aumento sobre às sub-áreas desmatadas inferiores no trimestre MAM com relação às sub-áreas de floresta, mas também devido ao contraste sazonal mais marcante sobre a sub-área desmatada, com maiores reduções (em SON) e aumentos (MAM).

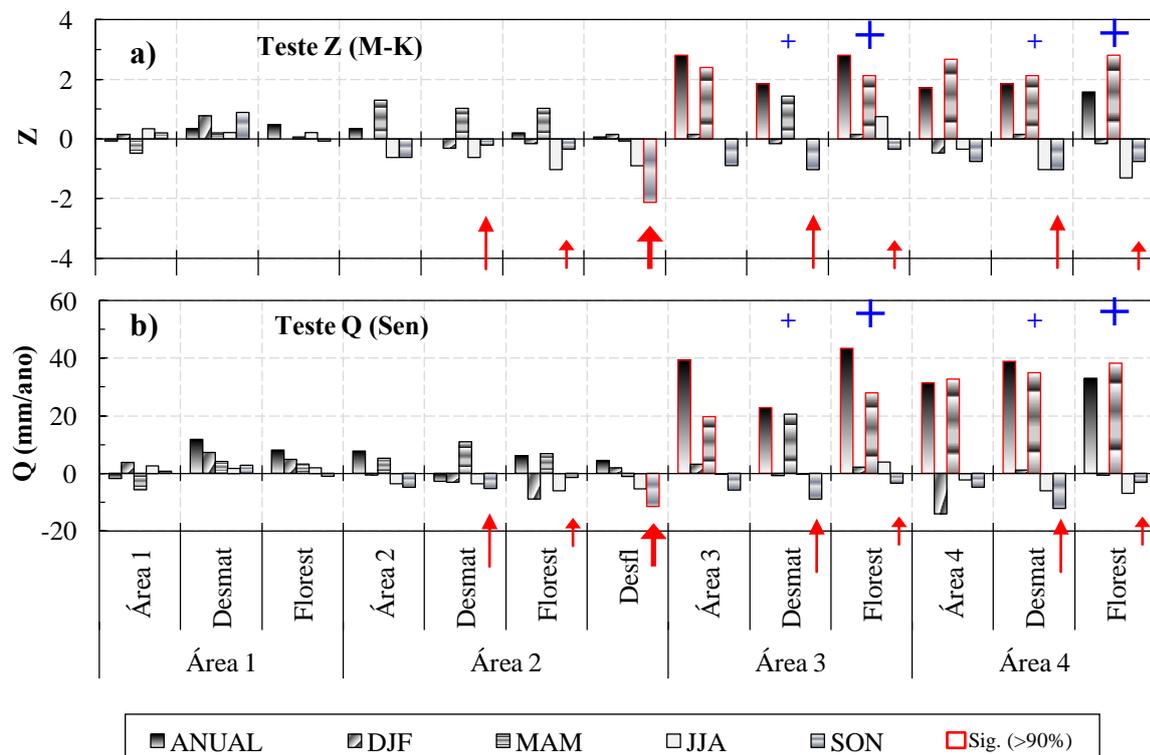


Figura 3.16 – Tendência nos totais anual e sazonais mostrados através dos parâmetros Z (a) e Q (b), dos testes de Mann-Kendall e Sen, respectivamente, correspondentes às Áreas e suas respectivas sub-áreas em estudo, através do algoritmo 3B42_V6 durante o período de 1998 a 2009.

3.5.3 Tendências na frequência e intensidade diárias separadas por classes

Através da Figura 3.17, que representa a tendência, para as 4 áreas em estudo, da frequência e intensidade da precipitação diária separada por classes, desde os eventos mais leves (classe 1) aos mais fortes (classe 10). Em geral, pode-se notar que os eventos moderados à intensos apresentaram tendências de aumento para todas as áreas, em algumas significativas estatisticamente. Quanto à intensidade, os eventos moderados a intensos sofreram tendências de redução, sobre a maioria das áreas, mais evidente sobre as áreas 1 e 2. As intensidades dos eventos das classes mais fracas sobre as Áreas 3 e 4 apresentaram tendências de aumento, estatisticamente significantes acima do nível de 95% (Fig. 2.10 b). A classe 10 apresentou tendência de redução em suas intensidades, sobre todas as Áreas, porém, de aumento em suas frequências. Já as classes fracas à moderada apresentaram tendências, significantes estatisticamente, de aumento em suas intensidades somente nas classes 3 e 4. Mesmo que o volume seja maior nas classes superiores, os maiores desvios de intensidades são encontrados nas classes de intensidade mais fracas. Assim, sugere-se que as tendências de aumento encontradas (mais evidentes sobre as Áreas 3 e 4), estão ligadas a aumentos nas intensidades dos eventos mais fracos e a frequência dos eventos mais intensos (mesmo que menos intensos).

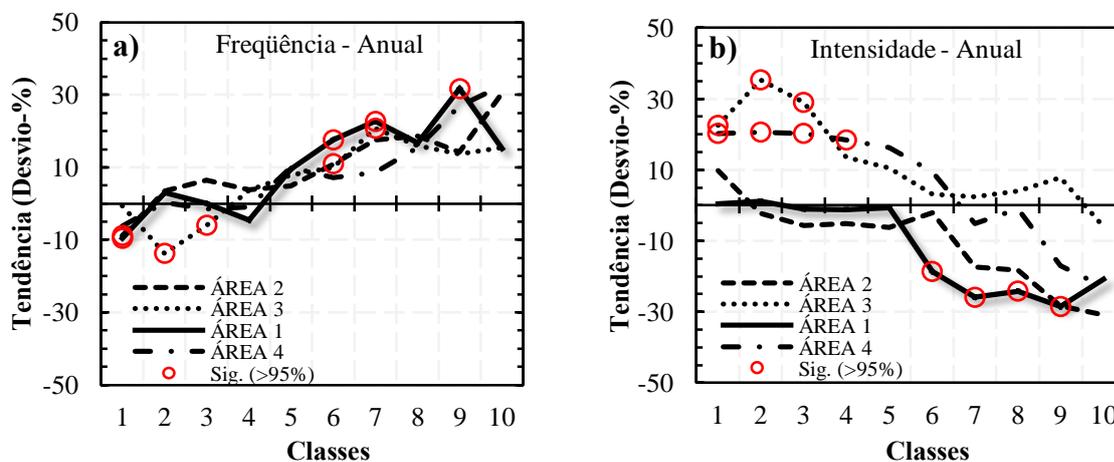


Figura 3.17 – Tendências anuais nas frequências (a) e intensidades (b) da precipitação diária separada por classes, para as 4 Áreas em estudo. A Classe 1 representa os eventos diários mais fracos, por outro lado, a Classe 10 representa os eventos mais intensos. O eixo y à esquerda representa a tendência através do desvio da média (em %). O eixo x representa as classes.

Como exemplo representativo, as Áreas 1 e 4 (Figuras 3.18 e 3.19), que apresentaram padrões distintos quanto as suas tendências acumuladas e principalmente suas intensidades (visto nas Figuras 3.16 e 3.17), verificou-se que as sub-áreas desmatadas (florestas) apresentaram comportamentos semelhantes (distintos) aos de suas Áreas e entre si, quanto as suas

intensidades e frequências divididas por classes, principalmente sobre as classes mais fortes (Figs 3.18 e 3.19 a-b). Mesmo sabendo que a grande escala tem domínio sobre a escala local, durante grande parte do ano, tal comportamento, evidencia uma possível influência das sub-áreas desmatadas sobre à Área ao qual está inserida. Outra característica marcante são as tendências de aumento na contribuição das classes superiores (à ex. Classes 9 e/ou 10), para os totais anuais, superiores sobre as sub-áreas desmatadas (Figs. 3.18 c e 3.19 c), notável sobre todas as estações do ano (Fig. 3.18 d-e).

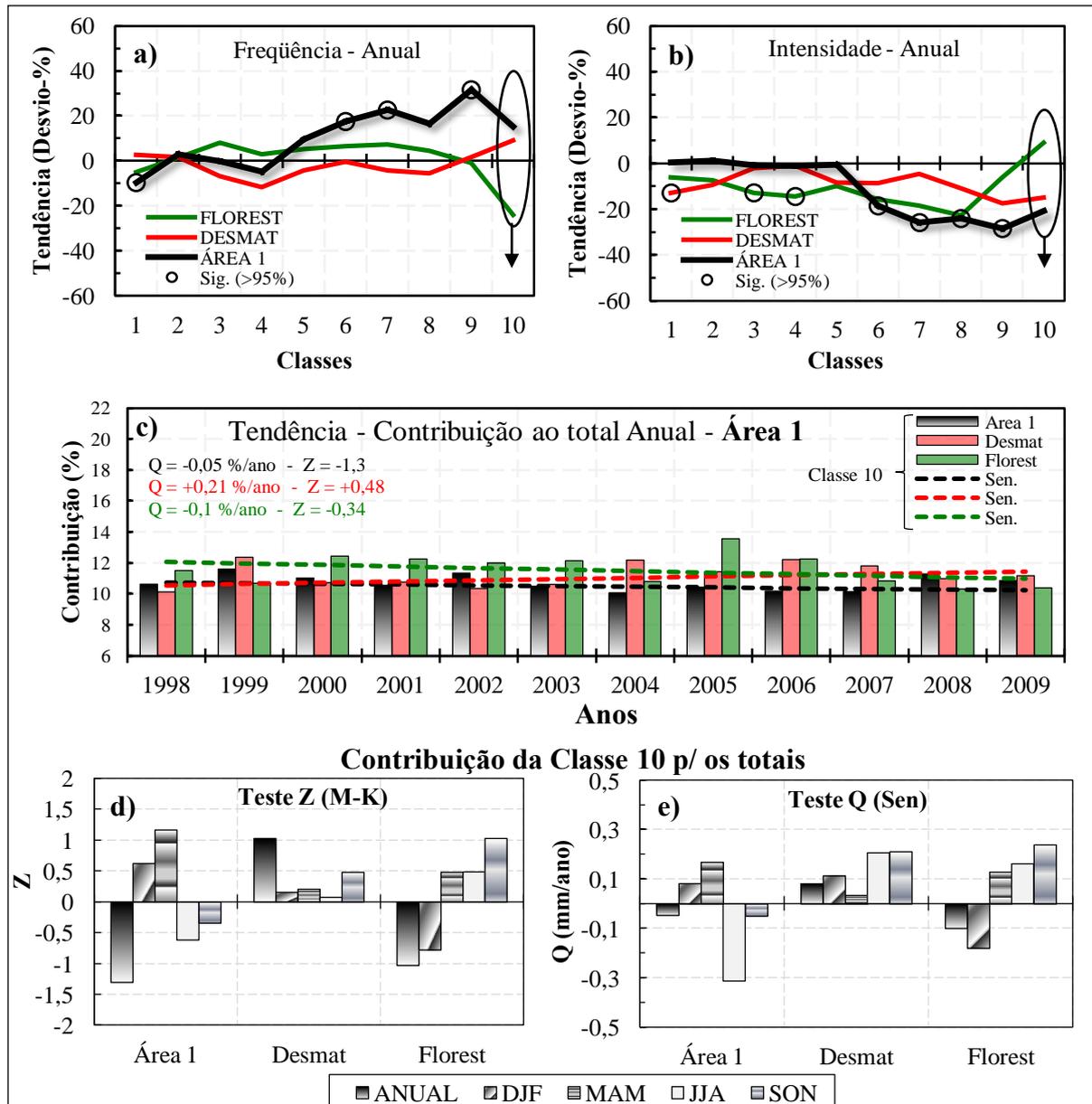


Figura 3.18 – Tendência na frequência (a), intensidade (b) por Classe e contribuição da classe 10 para os totais anuais e sazonais (d, e), referentes à Área 1 e suas distintas sub-áreas.

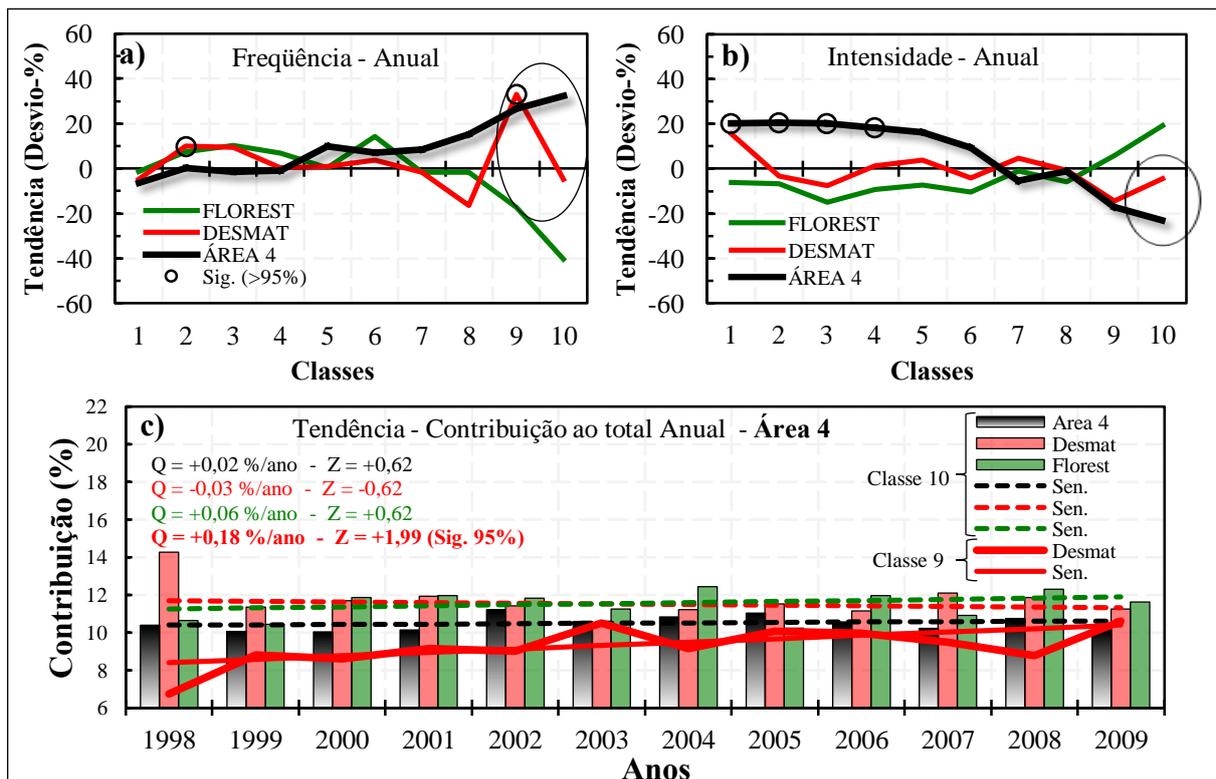


Figura 3.19 – Tendência na freqüência (a), intensidade (b) por Classe e contribuição das classes mais intensas para os totais anuais (c), referentes á Área 4 e sub-áreas Desmatada e Floresta.

Como exemplo das causas das tendências de redução (aumento) em SON (MAM), encontradas principalmente sobre as sub-áreas desmatadas (florestas), pode ser visto na Figura 3.20 (Figura 3.21), para a Área 4. A sub-área floresta apresentou tendências de redução na intensidade sobre todas as classes, assim como na Área ao qual pertence, na subárea de floresta também foram observadas tendências de redução, porém, a classe 10 apresentou tendências de aumento, com cerca de 50% acima da média. Com relação as suas freqüências, não foram presenciados padrões em destaque, exceto para a classe 10 sobre a área desmatada, que apresentou tendências de aumento (desvio de 20%), significante estatisticamente ao nível de 95%. No entanto, mesmo com as tendências de redução durante o trimestre SON, presenciaram-se tendências de aumento na contribuição da Classe 10 para os totais deste trimestre, com destaque a sub-ária desmatada, com significância estatística ao nível de 90%.

Em MAM, foi encontrado um padrão exatamente oposto ao de SON, com tendências de aumento na intensidade média em todas as classes (principalmente as mais fracas), no entanto, embora estes sejam maiores na sub-área desmatada em comparação com a de floresta, nesta ultima presenciaram-se também tendências de aumento na freqüência, justificando as maiores tendências encontradas nos totais deste trimestre. A Classe 10

apresentou tendências de aumento tanto na frequência quanto nas intensidades sobre todas as áreas (Fig. 3.21 a, b). Embora a Área 4 tenha apresentado tendências de redução na contribuição da Classe 10 para os totais de MAM, as sub-áreas floresta e desmatadas apresentaram tendências de aumento, porém, principalmente na Classe 9 (Fig. 3.21 c).

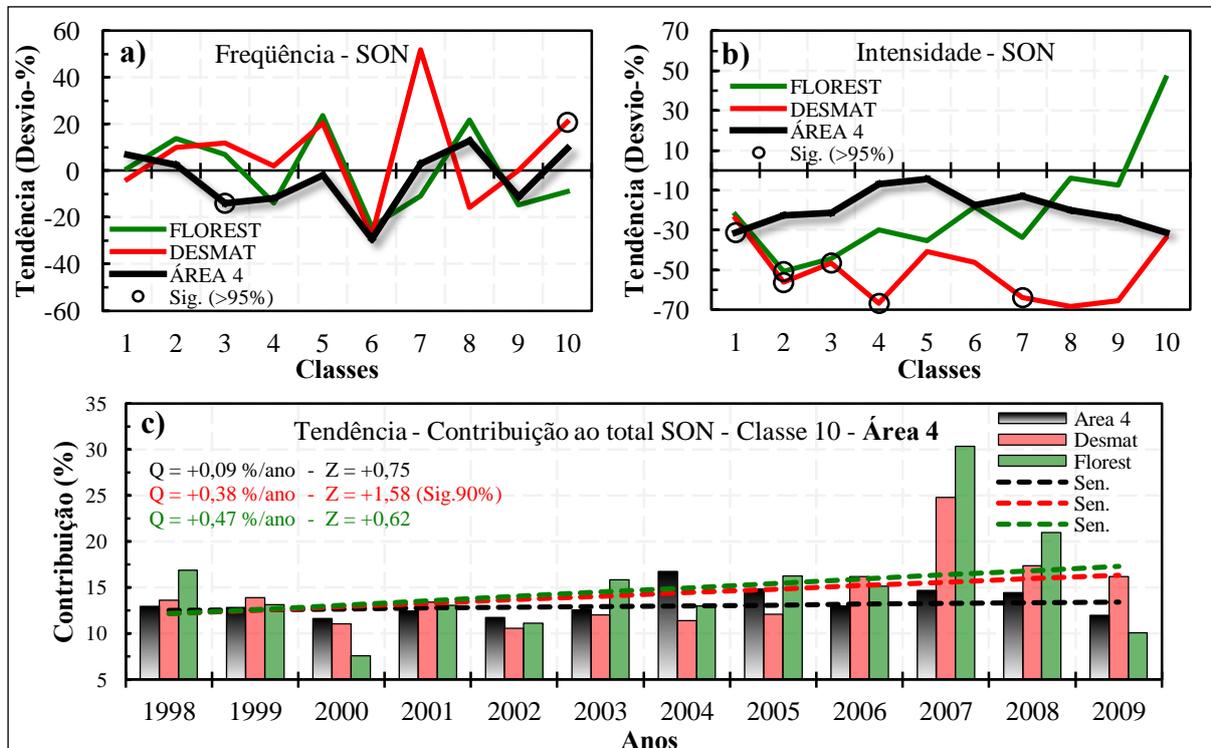


Figura 3.20 – Tendência na frequência (a), intensidade (b) por Classe e contribuição da classe 10 para os totais de SON, referentes á Área 4 e sub-áreas Desmatada e Floresta.

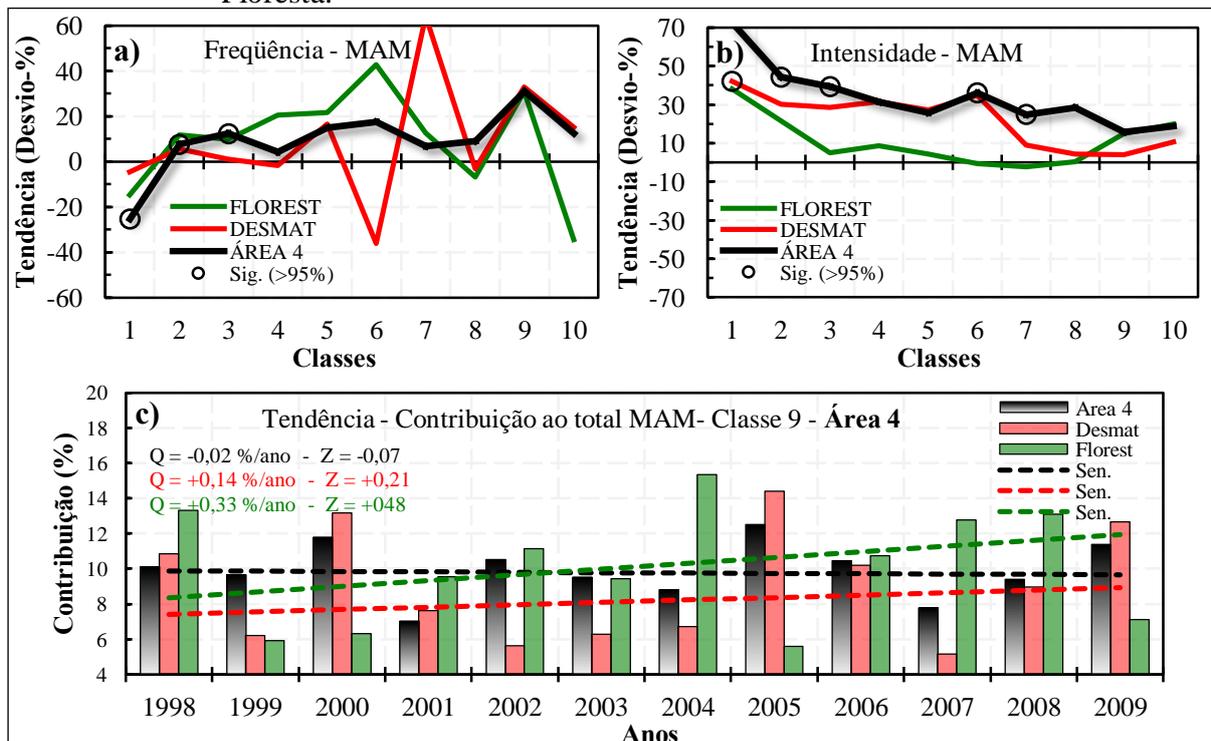


Figura 3.21 – Assim como a Fig. 3.18, porém, para o trimestre MAM.

3.6 Discussões

Conforme reportado em [D'Almeida et al. \(2007\)](#), dependendo da escala em consideração, o desmatamento pode causar impactos em diversas variáveis meteorológicas, em especial na precipitação. Ao se considerar padrões reais de desmatamento, proporcionado pelo sensoriamento remoto e técnicas observacionais, a precipitação pode apresentar padrões de comportamento distintos entre diferentes tipos de coberturas e/ou mais regionalizados ([TAYLOR et al., 2002](#); [LAUWAET et al., 2009](#)).

Neste trabalho, de caráter observacional e com uso de dados de sensoriamento remoto, centrado na escala regional e para um período entre 1998 a 2009 sobre a Amazônia Legal foi mostrado que os maiores contrastes de tendências da precipitação estão localizados na parte mais a leste da Amazônia, bastante afetada pelo desmatamento. Foram observadas tendências de aumento da precipitação durante o período chuvoso (menos pronunciado na área desmatada) em MAM e de reduções durante o período seco (mais intenso na área desmatada) em SON, afetando seus totais anuais (maior nas áreas de florestas em comparação com as desmatadas), concordando com [Silva \(2010\)](#), com dados de estações sobre a região.

Tais resultados também estão de acordo com diversos outros estudos, dentre eles [Durieux \(2003\)](#), [Machado et al. \(2004\)](#) e [Oliveira et al. \(2007\)](#). Em [Durieux et al. \(2003\)](#) foram observados menores valores de precipitação durante a estação seca nas regiões parcialmente desmatadas, e maior precipitação na estação chuvosa (gerada pelo aumento da convecção), o que levou aos autores a sugerir que o desmatamento pode levar ao aumento da sazonalidade. [Machado et al. \(2004\)](#) detectaram tendências com maiores contrastes sazonais e durante o dia, apresentando-se mais marcantes sobre as áreas desmatadas. Em [Oliveira et al. \(2007\)](#) foram detectadas tendências de reduções na precipitação sobre as regiões mais a leste da Amazônia e maiores durante o trimestre agosto-setembro-outubro.

Esta diminuição da precipitação encontrada em SON (período seco para chuvosos), principalmente sobre a sub-área desmatada e mais acentuada sobre a sub-área em desmatamento (caso da Área 2), pode estar ligada, segundo [Rosenfeld \(1999\)](#), à presença elevada de aerossóis favorecendo a diminuição de precipitação em nuvens quentes. No entanto, além deste, diversos outros tópicos podem ser levado em consideração ao tentar explicar as possíveis influências e/ou causas das tendências de aumento e redução da precipitação sobre a Amazônia, fatores que vão desde a escala local à grande escala.

A precipitação sobre a Amazônia é influenciada por efeitos combinados de eventos ENOS e de gradientes inter-hemisféricos de Temperaturas da Superfície do Mar (TSM) no oceano Atlântico (SOUZA et al, 2000; PEZZI e CAVALCANTI, 2001; RONCHAIL et al, 2002). Onde a ocorrência combinada de um evento El Niño, com um gradiente inter-hemisférico de TSM (Atlântico), é a composição que promove a maior diminuição da precipitação sobre a Amazônia. Como exemplo a seca de 2005 (MARENGO et al, 2008; GOMES Jr., 2009).

Segundo Liebmann e Marengo (2001) existe boa, correlação linear entre a variabilidade interanual da precipitação sazonal e a TSM dos Oceanos Atlântico e Pacífico em determinadas estações do ano, sobre a Amazônia, porém, os padrões de precipitação são mais associados a fatores regionais. Verificaram que a TSM do Atlântico Equatorial apresenta correlações positivas com a precipitação sobre o leste da Amazônia entre o outono e a primavera, ao contrário de DJF. No entanto, segundo Marengo (2004), a variabilidade decenal exerce um papel de maior importância que as tendências na distribuição de chuva na região. Marengo (2004) identificou sobre a bacia Amazônica uma fraca tendência positiva de chuva, com tendências negativa e positiva nas seções norte e sul da bacia, respectivamente.

Outra escala a ser considerada e que possui bastante influência sobre as regiões sudeste e nordeste da Amazônia Oriental, contribuindo eficazmente para uma fração considerável do total de precipitação regional, é a intrasazonal ou Oscilação Madden Julian (OMJ), que está associada à convecção e intensificação e/ou enfraquecimento de fenômenos meteorológicos durante a sua atuação (KAYANO; KOUSKY, 1999; SOUZA e AMBRIZZI, 2009).

Foram também detectadas neste estudo, tendências de aumento na frequência sobre todas as Áreas selecionadas principalmente dos eventos mais intensos (Classes 9 e 10), acarretado, para grande parte dos casos, em tendências de aumento em suas contribuições para os totais sazonais/anuais mais evidentes sobre as áreas desmatadas. Segundo o Relatório do Clima (INPE); IPCC (2007), Marengo et al. (2007), Ambrizzi et al. (2007), são estimados para a Amazônia até os finais do Século XXI (pelo cenário mais otimista, que considera baixas emissões), aumentos de cerca de 5°C da temperatura, acompanhados de uma redução na chuva de 5 a 15%, mais eventos extremos de chuva e secas, baixos níveis dos rios, dentre outros.

4 - CONCLUSÕES

Este trabalho é de caráter observacional, onde na primeira parte, analisaram-se as tendências, durante o período de 1979 a 2009, nas três características da precipitação (acumulada, frequência e intensidade média), separadas por classes, conforme o método de [Osborn et al. \(2000\)](#). Analisou-se a variabilidade anual e sazonal, sobre os grandes centros urbanos do Brasil, representados pelas capitais estaduais. São utilizados os testes de significância estatística de Mann-Kendall e as estimativas de tendência através da inclinação da tendência linear através do método de Sen.

Na maioria das cidades, foram detectadas tendências de aumento nos totais acumulados anuais (em cerca de 80% das cidades em estudo), principalmente na estação outono (MAM). Na estação Primavera (SON) obteve-se um predomínio de tendências negativas distribuídas ao longo das regiões Norte-Nordeste e tendências positivas sobre as cidades pertencentes às regiões Sudeste-Sul.

Durante o inverno e a primavera, para as regiões nordeste e sudeste-sul, respectivamente, foram presenciados aumentos tanto nas intensidades quanto nas frequências médias diárias da precipitação. No entanto, em geral, tais tendências de aumento nos totais apresentaram-se mais ligados à intensidade (com aumentos em cerca de 75% das cidades), que por sua vez apresentou tendências de aumentos em uma categoria específica (classe 10) ou até várias categorias, desde a fraca até mais intensa.

A frequência de dias chuvosos anual não apresentou uma distribuição com preferências de sinais positivos ou negativos. Em MAM foram detectados os maiores números de cidades com tendências positivas, tanto nos totais quanto nas intensidades, seguido de JJA, que obteve a maior porcentagem de tendências positivas na frequência de dias chuvosos, comparado às demais estações.

Em geral, evidenciou-se que os sinais das tendências anuais, possuem uma ou mais estações sazonais preferenciais de atuação (à exemplo de MAM, para as capitais pertencentes à Região Nordeste e SON, para o Sudeste-Sul do Brasil). Sobre algumas estações os sinais de tendência anual mascaram o sinal significativo de tendência sazonal, ou seja, foram encontradas tendências (Significativas ou não) de aumento durante uma estação do ano e em outra de redução, como exemplo a cidade de Manaus-AM, que apresentou uma leve tendência de aumento nos totais anuais (ou nula), devido unicamente, ao trimestre MAM, considerado

chuvoso na região. As demais estações do ano para esta localidade apresentaram tendências de redução.

Sobre algumas localidades foram detectadas diferenças importantes na intensidade e sazonalidade principalmente dos eventos mais fortes, conforme sugerido pelo IPCC (2007). Assim como inversões de sinais entre estações do ano, tanto para os totais, quanto para as suas intensidades e frequências médias de dias chuvosos, afetando suas tendências anuais.

A classe 10 apresentou tendências de aumentos na intensidade e frequência média em cerca de 60% e 55% das cidades, respectivamente. Cerca de 45% das cidades apresentaram tendências na contribuição desta classe para os totais anuais, indicando que não só os eventos mais fortes estão sendo mais representativos aos totais. A classe que obteve maior representatividade estatística espacial foi a classe 7 (eventos moderados), devido a aumentos tanto nas suas intensidades quanto nas suas frequências médias, resultando numa maior contribuição desta aos totais anuais.

Na segunda parte do trabalho são investigadas as possíveis associações entre o desmatamento, através das estimativas do projeto PRODES, e a precipitação, através das estimativas do satélite TRMM (3B42_V6), sobre a Amazônia Legal durante o período de 1998 a 2009. As análises (regionais) são focadas sobre Áreas, com elevadas taxas anuais de desmatamento, onde são analisadas as características da precipitação e suas possíveis tendências e/ou mudanças (através do mesmo método aplicado na Parte I). É dada também uma atenção especial para a classe 10.

Foi mostrado que os maiores contrastes de tendências da precipitação estão localizados na parte mais a leste da Amazônia, bastante afetada pelo desmatamento. Foram observadas tendências de aumento da precipitação durante o período chuvoso (menos pronunciado na área desmatada), principalmente no trimestre MAM e de reduções durante o período seco (mais intenso na área desmatada) em SON, afetando seus totais anuais (maior nas áreas de florestas em comparação com as desmatadas).

Foram detectadas sobre todas as Áreas neste estudo tendências de aumento na frequência, principalmente de eventos mais intensos, representados pelas classes 9 e 10. Para grande parte dos casos, essas classes, apresentaram tendências de aumento na contribuição para os totais sazonais e anuais, sendo mais evidentes sobre as áreas desmatadas.

Assim, os dados do algoritmo 3B42_V6 mostraram-se consistentes não só em representar o comportamento da precipitação, mas também as tendências e suas características sobre áreas de intenso desmatamento e, especificamente o contraste entre áreas de floresta versus as áreas desmatadas, mostrados através dos dados do Projeto PRODES, sobre a Amazônia Legal.

4.1 Sugestões para trabalhos futuros

Os resultados obtidos neste trabalho levam a sugerir alguns trabalhos futuros.

- Estender a análise para dados mensais e com um número maior de estações meteorológicas e séries históricas mais longas sobre todo o Brasil. Possibilitando uma investigação espaço-temporal mais detalhada e a identificação dos padrões regionais de tais tendências e/ou variabilidade;
- Comparar os dados observacionais com outras fontes provinda, por exemplo de estimativas de precipitação por satélite (CMORPH, PERSIAN, Hidroestimador, entre outros), sobre todo o Brasil;
- Investigar, em associação com desmatamento sobre a Amazônia Legal, o comportamento das tendências da precipitação, quanto as suas intensidade, frequência e contribuição dos eventos de categorias fraco à intenso (por exemplo a classe 10), sobre um período maior (por exemplo desde 1988 à atual - período do PRODES Analógico mais Digital);
- Averiguar através de técnicas de modelagem e simulações numéricas a níveis regionais, se estas conseguem reproduzir o comportamento das tendências anuais e sazonais detectadas neste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, L. V. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **J. Geophys. Res.**, v. 111, 2006. D05109, doi:10.1029/2005JD006290.

ALLEY et al. Summary for policymakers. In: **Climate change 2007**. The physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press: United Kingdom and New York, 2007. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

ALVES, D.S. An analysis of the geographical patterns of deforestation in the Brazilian Amazon in the period 1991-1996. In: WOOD, C.H.; PORRO, R. (eds). **Deforestation and land use in the Amazon**. Gainesville: University Press of Florida, p. 95 -106. 2002a.

AMBRIZZI, T.; ROCHA, R.; MARENGO J.; PISNITCHENKO, A. I.; ALVES, L.; FERNANDEZ, J. P. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI**: projeções de clima usando três modelos regionais. Relatório 3. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI, 2007.

ANGELIS, C. F.; MCGREGOR, G. R.; KIDD, C. Diurnal cycle of rainfall over the Brazilian Amazon. **Climate Research**, Europa, v. 26, n. 2, p. 139-149. 2004.

ANGELIS, C. F.; MCGREGOR, G. R.; KIDD, C. A three year climatology of rainfall characteristics over tropical and subtropical South America based on TRMM-PR data. **Int. J. of Climatology**, England, v. 24, n. 3, 2004,p. 385-399.

ÂNGELO, H.; SÁ, S. P. P. O desflorestamento na Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p.217-227. 2007.

ARAGÃO, L. E. O. C., MALHI, Y., ROMAN-CUESTA, R. M., SAATCHI, S., ANDERSON, L. O. & SHIMABUKURO, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophys. Res. Lett.** 34. 2007. L07701. doi:10.1029/2006GL028946.

ARYA, S. P. **Introduction to micrometeorology**. San Diego: Academic Press, 2001. 420p.

- BARBOSA, R. L., OYAMA, M. D., MACHADO, L. A. Climatologia das perturbações convectivas iniciadas na costa norte do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n 1, p.107-117, 2006.
- BARROS, V.; CASTEÑEDA, M. E.; DOYLE, M. Recent precipitation trends in southern South America east of the Andes: An indication of climatic variability. In: Smolka, P. P.; Volkheimer, W. (eds.). **Southern Hemisphere paleo and neo-climates**. Berlin: Springer-Verlag, 187–206. 2000.
- BECKER, B. **Amazônia: geopolítica na virada do III milênio**. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, São Paulo: v.19, n. 53, p. 71-86, 2005.
- BRANDÃO JÚNIOR, A. O.; SOUZA JÚNIOR, C. M.; RIBEIRO, J. G. F.; SALES, M. H. R. Desmatamento e estradas não-oficiais da Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2357-2364.
- BRUNETTI, M.; MAUGERI, M.; NANNI, T.; NAVARRA, A. Droughts and extreme events in regional daily Italian precipitation series. **Int. Journal. Climatology**, v.22. p.543–558. 2002.
- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, v.15, p.2377–2394. 2002.
- CASTRO, C. P. **Plantio de grãos em áreas de fronteira, ação antrópica e desmatamento**. G.T.6- Agricultura, risco e conflitos ambientais. Campinas, [s.n], 2004. 20p.
- CAVALCANTI, I. F. A. Episódios El Niño/ Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil. **Climanálise Especial** – Edição comemorativa de 10 Anos. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Ministério de Ciência e Tecnologia. 1996.

- CHAGNON, F. J. F.; BRAS, R. L. Contemporary climate change in the Amazon. **Geophysical Research Letters**, v.32. 2005. doi:10.1029/2005GL022722.
- CHAGNON, F. J. F.; BRAS, R. L.; WANG, J. Climatic shift in patterns of shallow clouds over the Amazon. **Geophysical Research Letters**, v.31, 2004. doi: 10.1029/2004GL021188.
- CHU, P-S, YU, Z-P, HASTENRATH, S. Detecting climate change concurrent with deforestation in the Amazon basin: Which way has it gone? **Bull. Amer. Meteorol. Soc.**, v.75, p.579–583. 1994
- Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática, Janeiro, CPTEC/INPE. 1998.
- COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. **Mon. Wea. Rev.**, v.123, p.3163-3174. 1995.
- CUTRIM, E.; MARTIN, D.W.; RABIN, R. Enhancement of cumulus clouds over deforested lands in Amazonia. **Bulletin of American Meteorological Society**, v.76, n.10, p.1801-1805, 1995.
- DAI, A.; FUNG, I. Y.; DEL GENIO, A. D. 1997. Surface observed global land precipitation variations during 1900-1988. **J. Climate**, v.10, p.2943-2962, 1997.
- D'ALMEIDA C., VOROSMARTY C. J., HURTT G. C., MARENGO J. A., DINGMAN S. L., KEIME B. D., The effects of deforestation on the hydrological cycle in Amazonia: a review on scale and resolution. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 633. 2007.
- DEL RÍO, S.; HERRERO, L.; FRAILEB, R.; PENASA. A. Spatial distribution of recent rainfall trends in Spain (1961–2006). **Int. J. Climatol.** v.31, p.656–667. 2011.
- DUFEK, A. S., AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v.93, p.167-178, 2008.
- DURIEUX, L, MACHADO, L. A. T., LAURENT, H. The impact of deforestation on cloud cover over the Amazon arc of deforestation. **Remote Sensing of Environment**, v.86, p.132-140. 2003.

- ESPINOZA VILLAR, J. C., RONCHAIL, J., GUYOT, J. L., COCHONNEAU, G., NAZIANO, F., LAVADO, W., DE OLIVEIRA, E., POMBOSA, R. AND VAUCHEL, P. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador). **International Journal of Climatology**, v.29, p.1574–1594. doi: 10.1002/joc.1791. 2009.
- FAN, X.; WANG, M. Change trends of air temperature and precipitation over Shanxi Province, China. **Theor Appl Climatol**. v.103, p.519–531. 2011.
- FEARNSIDE, P. M. Amazonian deforestation and global warming: Carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. **Forest Ecol Manage**, v.80, p.21–34. 1996.
- FEARNSIDE, P. M. **A Floresta Amazônica nas mudanças globais**. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa), 2003, 134 p.
- FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e conseqüências. **Megadiversidade**, v.1, n.1. p.113-123. 2005.
- FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazonica**. v. 36. n. 3, p.395–400, 2006.
- FERRAZ, S. E. T. **Variabilidade intrasazonal no Brasil e Sul da América do Sul**. São Paulo, (Dissertação (Mestrado) - Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, 2000. 157p.
- FERREIRA, D. B. S. **Eventos extremos da Zona de Convergência Intertropical Sobre o Atlântico durante o período chuvoso da Amazônia Oriental**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – UFPA, Belém, 2008.
- FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C. A. Precipitation distribution over Central and Western tropical South America. **Climanálise**, v. 5, n.6 p. 36-44, Jun, 1990.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Influência do El Niño: oscilação sul sobre a precipitação pluvial do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.127-132, 1997.
- FRICH, P., et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Res.**, v.19, p.193–212. 2002.

GASH, J. H. C., NOBRE, C. A., ROBERTS, J. M., VICTORIA, R. L. In: Gash, J.H.C; Nobre, C.A.; Roberts, J.M.; Reynaldo, L. **Amazonian deforestation and climate**. Oxford: Univ Press, 1996, p 1–14.

GILBERT, R.O. **Statistical methods for environmental pollution monitoring**. New York: Van Nostrand Rienhold Company, Inc., 1987. 320 p.

GOMES, N. V. **Estudo comparativo da distribuição espaço-temporal da precipitação na Amazônia oriental**. Dissertação)Mestrado em Ciências Ambientais) – UFPA, Belém, 2008. 110p.

GOMES JUNIOR, J. G. **Impacto de sondagens atmosféricas sobre o Atlântico tropical no balanço de umidade da Amazônia**. 2009. 140 p. (INPE-15775-TDI/1518). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/03.19.14.53>>. Acesso em: 09 dez. 2011.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, Berlin, v.4, n.B4, p.385-400, 1986.

GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E., Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. **J. Climate**, v.13, p.35–58. 2000.

GRIMM, A. M., FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **J. Climate**, v.11, p.2863–2880. 1998.

GRIMM, A. M.; GUETTER, A. K.; CARAMORI, P. H. **El Niño no Paraná: o que se pode esperar em cada região - uma análise científica**. Curitiba: SIMEPAR, 1997. Informativo, n. 1.

GROISMAN, P. Y., KARL, T. R., EASTERLING, D. R. ET AL. Changes in the probability of heavy precipitation: important indicators of climate change. **Climate Change**, v.42, p.243–283. 1999.

GROISMAN, P. Y.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; KARL, T. R.; HEGERL, G. C.; RAZUVAEV, V. N. Trends in Intense Precipitation in the Climate Record. **Journal of Climate**. v.18. p.1326-1350. 2005.

HASTENRATH, S.; L. HELLER, Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quart. J. Roy. Meteor. Soc.**,v.102, p.77-92. 1977.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Projeto PRODES:** monitoramento da floresta Amazônica Brasileira por satélite. Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/prodes/> >. Acesso em: 14 Mar. 2010.

HANSEN, M. C.; DEFRIES, R. S.; TOWNSHEND, J. R. G.; CARROLL, M.; DIMICELI, C.; SOHLBERG, R. A. Global percent tree cover at a spatial resolution of 500 meters: First results of the MODIS vegetation continuous fields algorithm. **Earth Interactions**, v.7, p.1-15, 2003.

HAYLOCK, M. AND NICHOLLS, N. Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910-1998. **Int. J. Climatol.**, v.20, p.1533-1541. 2000.

HAYLOCK, M. R. et al. Trends in total and extreme South America rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, v.19, p.1490-1512, 2006.

HENNESSY, K. J., SUPPIAH, R. AND PAGE, C. M. Australian rainfall changes, 1910–1995. **Australian Meteorological Magazine**, v.48, p.1–13. 1999.

HOUGHTON, J. T.; MEIRA FILHO, L. C.; CALLANDER, B. A.; HARRIS, N.; KATTERBERG, A.; MASKELL, K. (Ed.). **Climate change 1995:** the science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge (Inglaterra) : Cambridge University Press, 1996. 584 p.

HOUGHTON, R. A. et al. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, v.403, p.301-304, 2000.

RAMOS, A. M.; SANTOS, L. A. R; FORTES, L. T. G. (Coords.). **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990.** Ed. rev e ampl. Brasília, DF: INMET, 2009. 465 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC. Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability Summary for Policymakers, 2007. 23p.

KARL, T., et al. Indices of Climate Change for the United States. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v.77, p. 279-292. 1996.

KARL, T. R.; KNIGHT, R. W. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.79, p.231- 241, 1998.

KARL, T. R., KNIGHT, R. W.; PLUMMER, N. Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century. **Nature**, v.377, p. 217–220, 1995.

KAYANO, M.T.; KOUSKY, V.E. Intraseasonal (30-60 day) variability in the tropics: principal modes and their evolution. **Tellus**, v.51A, p. 373-386, 1999.

KENDALL, M.G. **Rank correlation methods**. 4 ed. London: Charles Griffin, 1975.

KNOX, R.; BISHT, G.; WANG, J.; BRAS, R. Precipitation tendencies over forested and non-forested Amazonian landscapes.: **Geophysical Research Letters**, 2010. Submetido.

KOUSKY, V. E., KAGANO, M. T.; CAVALCANTI, I. F. A review of the Southern Oscillation: oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, v.364, p.490-504. 1984.

KUNKEL, K.E. North American trends in extreme precipitation. **Natural Hazards**, v.29, p.291-305. 2003.

LAURANCE, W. F. Reflections on Tropical Deforestation crisis. **Biological Conservation**, v.91, p.109-117. 1999.

LAWAET, D.; VAN LIPZIG, N. P. M.; DE RIDDER, E. K. The effect of vegetation changes on precipitation and mesoscale convective systems in the Sahel. **Climate Dynamics**. v.33, n.4, p.521-534, 2009.

LIEBMANN, B.; MARENGO, J. A. Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **J. Climate**, v.14, p.4308–4318. 2001.

LIEBMANN, B.; VERA, C.; CARVALHO, L.; CAMILLONI, I.; HOERLING, M. P.; ALLURED, D.; BARROS, V.; BAEZ, J.; BIDEGAIN, M. An Observed Trend in Central South American Precipitation. **Journal of Climate**. v.17, p.4357–4367. 2004.

- LIU, B.; XU, M.; HENDERSON, M.; QI, Y. Observed trends of precipitation amount, frequency, and intensity in China, 1960–2000. **J. Geophys. Res.**, v.110. 10p. 2005. D08103, doi:10.1029/2004JD004864.
- MACHADO, L.A.T.; LAURENT, H.; DESSAY, N.; MIRANDA, I. Seasonal and diurnal variability of convection over the Amazonia: a comparison of different vegetation types and large scale forcing. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, n. 1-3, p. 61-77, 2004.
- MARAUN, D.; OSBORN, T. J.; GILLETT, N. P. United Kingdom daily precipitation intensity: improved early data, error estimates and an update from 2000 to 2006. **Int. J. Climatol.** v.28, p.833–842. 2008.
- MARENGO, J. A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. **Theor. Appl. Climatol.** v.78, p.79–96. 2004. DOI 10.1007/s00704-004-0045-8.
- MARENGO J. **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: Ministério do Meio Ambiente, 2007. v.1. p.214.
- MARENGO, J.; CAMARGO, C. G. C. Trends in Extreme air temperatures in Southern Brazil, **Int. J. Climatology**. 2007. Accepted.
- MARENGO et al. The drought of Amazonia in 2005. **J. Clim.** v.21, p.495-516, 2008.
- MARENGO et al. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Clim Dyn.** v.35, n.6, p.1073-1097, 2009. DOI: 10.1007/s00382-009-0721-6
- MANN, H.B. Non-parametric tests against trend. **Econometrica**, 1945, 13p.
- MARGULIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia Brasileira.** 1. ed. Brasília, 2003. 100p.
- MASON, S. J., et al. Changes in extreme rainfall events in South Africa. **Clim. Change**, v.41, p.249– 257. 1999.

MATTOS, M. M.; UHL, C. Economic and ecological perspectives on ranching in the Eastern Amazon. **World Development**, v.22, n.2, p.145-158.1994.

MOTA, G. V. **Characteristics of rainfall and precipitation features defined by the tropical rainfall measuring mission over South America**. 2003. 201 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - University of Utah, Utah, 2003.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: observations, theory, and numerical experiments with a general circulation model. **Journal of Atmospheric Sciences**, v.38, p.2653-2675, 1981.

NASCIMENTO, M. G. **Análise dos impactos dos jatos de baixos níveis sobre a Bacia do Prata**. 2008. 210 p. (INPE-15240-TDI/1327). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/02.26.18.30>>. Acesso em: 09 dez. 2011.

NEGRI, A. J.; ADLER, R. F. A TRMM-calibrated infrared rainfall algorithm applied over Brazil. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.107, n.D20, p.8048–8058, 2002.

NEGRI, A. J.; ADLER, R. F., XU, L.; SURRATT, J. The impact of Amazonian deforestation on dry season rainfall. **J. Clim.**, v.17, p.1306–1319. 2004.

NOBRE, C.A. **Tropical heat sources and their associated large-scale atmospheric circulation**, (Phd. Thesis) - Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1983. 297p.

NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D.; SAMPAIO, G. O.; MARENGO, J. A.; SALATI, E. Impact of climate change scenarios for 2100 on the biomes of South America. In: INTERNATIONAL CLIVAR SCIENCE CONFERENCE, 1., 2004, Baltimore, MD USA. **Proceedings...** (INPE-11861-PRE/7208). Disponível em: <[http://www.clivar2004.org/electronic% @affiliation CPTEC-INPE-Cachoeira Paulista-12630-000-SP-Brasil](http://www.clivar2004.org/electronic%20affiliation%20CPTEC-INPE-Cachoeira%20Paulista-12630-000-SP-Brasil)>. Acesso em: 09 dez. 2011.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the Tropical Atlantic and South America. **Journal Climate**, v. 9, p. 2464-2479, 1996.

NOBRE, C. A.; GASH, J. H. C.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. "CONCLUSIONS FROM ABRAÇOS". EM GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. R. e VICTORIA, R. L. (eds.). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester: John Wiley and Sons, 1996.

OBREGÓN PÁRRAGA, G. O. O. **Dinâmica da variabilidade climática da precipitação sobre a América do Sul**. 2003. (INPE-8604-TDI/789). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/marciana/2003/03.24.07.14>>. Acesso em: 09 dez. 2011.

OBREGON, G., MARENGO J, A. **Caracterização do clima do Século XX no Brasil: Tendências de chuvas e temperaturas médias e extremas. Relatório 2**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, Secretaria de Biodiversidade E Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Sub-projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI, 2007.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas frontais na America do Sul e a convecção na Amazônia**. 1986. 134 p. (INPE-4008-TDL/239). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.22.13.12>>. Acesso em: 09 dez. 2011.

OLIVEIRA, G. S. **Conseqüências climáticas da substituição gradual da floresta tropical amazônica por pastagem degradada ou por plantação de soja: um estudo de modelagem**. 2008. 417 p. (INPE-15263-TDI/1346). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/02.28.17.17>>. Acesso em: 09 dez. 2011.

OLIVEIRA, G. S; SATYAMURTY, P. O El Nino de 1997/98: Evolução e impactos no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília, DF. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998. CD-ROM.

OSBORN, T. J.; HULME, M. Evidence for trends in heavy rainfall events over the UK. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, London A 360: 1313–1325. 2002.

OSBORN, T. J.; HULME, M.; JONES, P. D.; BASNETT, T. A. Observed trends in the daily intensity of United Kingdom precipitation. **Int. J. Climatol.**, v.20, p.347-364. 2000.

PEREIRA, L. G. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; PEREIRA FILHO, A. J.; MATSUO, P. T. Caracterização do início da convecção diurna na estação chuvosa em Rondônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2000. 2044-2052.

PEZZI, L.P.; CAVALCANTI, I.F.A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic SST anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. **Clim. Dynamics**, v.17, p.205-212. 2001.

PRODES, 2010. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/>. Acesso em: 04 de maio de 2010.

RE, M.; BARROS, V. R. Extreme rainfalls in SE South America. **Climatic Change** v.96, p.119–136. 2009. DOI 10.1007/s10584-009-9619-x.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 185-204, 2010.

RELATÓRIO do Clima, INPE. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/prod_probio/Relatorio_4.pdf. Acesso em: 10 de junho de 2011.

RODRIGUEZ, E.; MORRIS, C. S.; BELZ, J. E.; CHAPIN, E. C.; MARTIN, J. M.; DAFFER, W.; HENSLEY, S. **An assessment of the SRTM topographic products**. [S.l.]: Jet Propulsion Laboratory, 2005. Technical Report JPL D-31639.

RONCHAIL, J., G. COCHONNEAU, M. MOLINIER, J. L. GUYOT, A. GORRETI DE MIRANDA CHAVES, V. GUIMARÃES, AND E. DE OLIVEIRA, Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. **Int. J. Climatol.**, v.22, p.1663–1686. 2002.

ROSENFELD, D. TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall. *Geophysical Research Letters*, V.26, n.20, p.3150-3108, 1999.

ROSOLEM, R. **O Impacto do desmatamento no ciclo hidrológico**: um estudo de caso para a rodovia Cuiabá-Santarém. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – USP, Piracicaba, 2005.

SALMI, T.; MÄÄTTÄ, A.; ANTTILA, P.; RUOHO-AIROLA, T.; AMNELL, T. **Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates** – the Excel template application MAKESENS. Helsinki, 2002. (Publications on Air Quality No. 31, Report code FMI-AQ-31).

SANTOS, C. A. C.; MANZI, A. O. Eventos Extremos de Precipitação no Estado do Ceará e suas Relações com a Temperatura dos Oceanos Tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.1, 157 - 165, 2011.

SATYAMURTY, P.; CASTRO, A. A.; TOTA, J.; GULARTE, L. E. S.; MANZI, A. O. Rainfall trends in the Brazilian Amazon Basin in the past eight decades. **Theor. Appl. Climatol.** v.99, p.139–148. 2010. DOI 10.1007/s00704-009-0133-x.

SEN, P.K., Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **J. Am. Stat. Assoc.**, v.63, p.1379-1389. 1968.

SHUKLA J, NOBRE C, SELLERS P. Amazon deforestation and climate change. **Science**, v. 247, p.1322–1325. 1990.

SILVA, A. N. B. **Índices de extremos climáticos e tendências da precipitação anual e sazonal na Amazônia Oriental**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – UFPA, Belém, 2010. 115p.

SILVA, V. B. S.; KOUSKY, V. E.; SHI, W., HIGGINS, R. W. An Improved Gridded Historical Daily Precipitation Analysis for Brazil. **Journal of Hydrometeorology**. v.8, p.847-861. 2007.

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

SILVA DIAS, P. L.; CAPLAN, P.; KOUSKY, E. V. As Chuvas Intensas de Fevereiro de 1988: Circulação Global e Previsibilidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 5., 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 1988. p.6-10.

- SILVA DIAS, M. A. F.; PETERSEN, W.; SILVA DIAS, P.; CIFELLI, R.; BETTS, A. K.; GOMES, A. M.; FISCHI, G. F.; LIMA, M. A.; LONGO (IC), M.; ANTONIO, M. A.; ALBRECHT, R. I. A case study of the organization of convection into precipitating convective lines in the Southwest Amazon. **J. Geophys. Res.** v.107 , p.46.1-43.23. 2002.
- 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 Amazônica**, v. 30, n. 2, p. 305-318. 2000.
- SOUZA, E. B., AMBRIZZI, T. Pentad precipitation climatology over Brazil and the associated atmospheric mechanisms. **Climanálise** (CPTEC/INPE), 2003.
- SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden–Julian oscillation. **Int. J. Climatol.** v.26, p.1759–1776. 2006.
- SOUZA, E.B.; KAYANO, M.T.; AMBRIZZI, T. The regional precipitation over the eastern Amazon/northeast Brazil modulated by tropical Pacific and Atlantic SST anomalies on weekly timescale. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n. 2, p. 113–122, 2004.
- TAYLOR, C. M.; LAMBIN, E. F.; STEPHENNE, N.; HARDING, R. J.; ESSERY, R. L. H. The influence of land use change on climate in the Sahel. **Journal of Climate**. v. 15, p. 3615-3629, 2002.
- TORRES, R. R.; FERREIRA, N. J. Case studies of easterly wave disturbances over Northeast Brazil using the Eta Model. **Weather and Forecasting**, v. 26, p. 225-235, 2011.
- VALERIANO, D. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V.; ANDERSON, L. O.; ESPÍRITO-SANTO, F. D. B.; ARAI, E.; MAURANO, L. E.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, R. M.; AULICINO, L. Detecção do desflorestamento da Amazônia Legal em tempo real - Projeto DETER. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3403-3410. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. (INPE-12727-PRE/8017). Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.11.29>>. Acesso em: 09 dez. 2011.
- VELASCO, I.; FRITSCH, J. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. **J. Geoph. Res.** v.92, n.D8, p.9591-9613. 1987.

VILA, D. A., GONCALVES, L.; TOLL, D.; ROZANTE, J. R. Statistical Evaluation of Combined Daily Gauge Observations and Rainfall Satellite Estimates over Continental South America J. Hydrometeorology, v.10, n. 2, p. 533-543, 2009. DOI- 10.1175/2008JHM1048.1.

VITEL, C. S. M. N.; FEARNSSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. Análise da inibição do desmatamento pelas áreas protegidas na parte sudoeste do Arco de desmatamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** . São José dos Campos: INPE. 2009. p. 6377-6384.

WANG, J.; CHAGNON, F. J. F.; WILLIAMS, E. R.; BETTS, A. K.; RENNO, N. O.; MACHADO, L. A. T.; BISHT, G.; KNOX, R.; BRAS, R. L. Impact of deforestation in the Amazon basin on cloud climatology. **PNAS**, v.106, p.3670-3674. 2009.

XAVIER, T.M.B.S, A.F.S.XAVIER e M.A.F.SILVA DIAS: Evolução da precipitação diária num ambiente urbano: o caso da cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.9, n.5, p.44-53, 1994.

APÊNDICE A - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DAS FONTES DE DADOS

A.1 O Satélite TRMM e seus produtos

O satélite TRMM, lançado em 28 de Novembro de 1997 no Japão, é um projeto que resultou de uma parceria entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*), com o objetivo de realizar medições de chuva nas regiões tropicais e subtropicais do globo (Kawanishi et al, 2000). As estimativas de precipitação são realizadas para todas as regiões compreendidas entre 50° N e 50° S do globo. Os dados são disponibilizados, em geral, para um período de três horas ou acumulados mensais (NASA, 2010).

São diversos os produtos de estimativa de chuva proveniente da missão TRMM (KUMMEROW et al., 1998), que são processados pelo *TRMM Science Data and Information System (TSDIS)* e disponibilizados operacionalmente pelo *Gooddard Distributed Active Archive System (DAAC)*. Alguns destes são: os algoritmos 3A12, 3A25, 3B42 e o 3B43 (descritos na Tabela A.1). Tais estimativas de chuva podem ser fornecidas com resolução espacial de até 0,25°, sobre a banda de latitude 50°N-S, com resolução temporal das mais variadas. Esses produtos utilizam combinações de diferentes fontes com a finalidade de obter estimativas mais precisas de chuva.

Os instrumentos de medição de chuva a bordo do satélite TRMM incluem o *Precipitation Radar (PR)*, um radar de varredura eletrônica operando em 13.8 GHz; *TRMM Microwave Image (TMI)*, um radiômetro de nove canais de microondas passivo e o *Visible and Infrared Scanner (VIRS)*, um radiômetro de 5 canais no visível e infravermelho.

Tabela A1 – Exemplo e descrição de alguns algoritmos estimadores de precipitação do satélite TRMM: 3A12, 3A25, 3B42 e 3B43.

Algoritmo	Descrição	Data inicial
3A12	Estimativa de precipitação mensal por microondas, pelo TMI, com resolução de 0,5° x 0,5°.	01/12/1997
3A25	Estimativa de chuva mensal pelo PR, com resolução espacial de 5° x 5° ou 0,5° x 0,5°, para a banda de latitude 40° N-S.	01/01/1998
3B42	Combinação de estimativas de precipitação do canal de microondas provenientes do TMI, SSM/I, AMSR-E, AMSU-B com aquelas do canal infravermelho. Taxa de chuva global a cada 3 horas para grades de 0,25° x 0,25°.	01/01/1998
3B43	Taxa de chuva global mensal, resultantes da combinação entre o algoritmo 3B42 com as estimativas mensais de precipitação do GPCC, disponíveis em grades de 0,25° x 0,25°.	01/01/1998

Fonte: NASA (2010).

A.1.1 Algoritmo 3B42_V6

A precipitação através do algoritmo 3B42_V6 é obtida a partir da Técnica *TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA)* (HUFFMAN et al., 1997; HUFFMAN, et al., 2004). Tal algoritmo é resultado de uma combinação de estimativas de precipitação do canal de microondas provenientes do *TRMM Microwave Imager (TMI)*, *Special Sensor Microwave Imager (SSM/I)*, *Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR-E)*, *Advanced Microwave Sounding Radiometer (AMSU-B)* e com aqueles do canal infravermelho (HUFFMAN et al., 1995). Em geral, o 3B42 foi desenvolvido com o objetivo de ajustar as estimativas de precipitação no canal infravermelho.

Os dados possuem uma cobertura de 50° S a 50° N de latitude e 180°O a 180°E de longitude, disponíveis numa resolução espaço-temporal 0,25 x 0,25° de latitude x longitude (grade de 25 x 25 km) a cada 3 horas (a chuva estimada a cada 3 horas equivale à média no intervalo de 1,5 horas antes e 1,5 horas depois da hora cheia), disponíveis desde janeiro de 1998 até o presente. Na Figura A.1 pode-se visualizar um exemplo da saída do algoritmo 3B42_V6 do TRMM e sua representatividade sobre o Brasil.

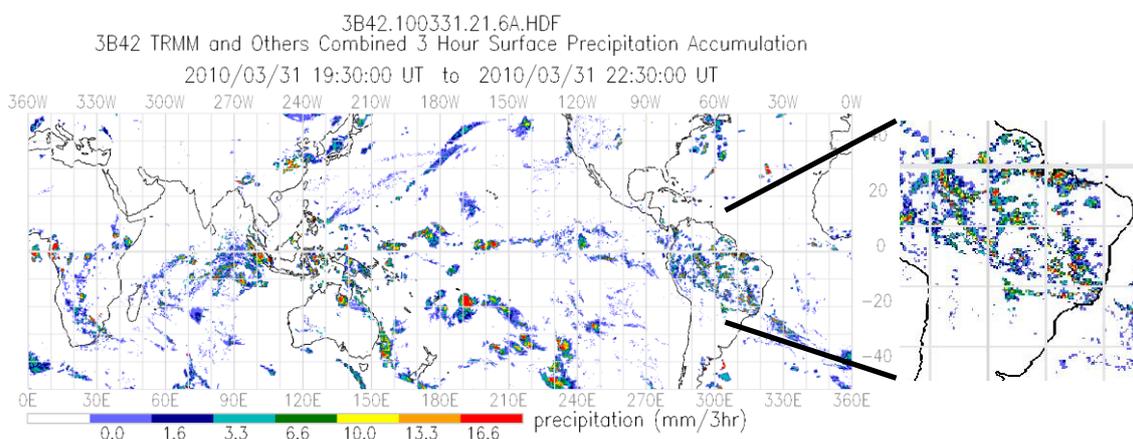


Figura A.1 – Exemplo do algoritmo estimador de precipitação 3B42 do satélite TRMM para toda sua região de domínio e com destaque sobre o Brasil (à direita).
Fonte: Adaptado de NASA (2010).

A.2 PRODES

O PRODES, considerado o maior projeto de monitoramento de florestas do mundo utilizando técnicas de sensoriamento remoto por satélite, com suporte de um sistema de informações geográficas (MELLO et al., 2002), segundo CÂMARA et al., 2006, consiste de uma metodologia desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que desde 1988, vem gerando resultados anualmente, relacionados ao mapeamento e à estimativa de desflorestamento sobre a Amazônia Legal (Figura A.2).

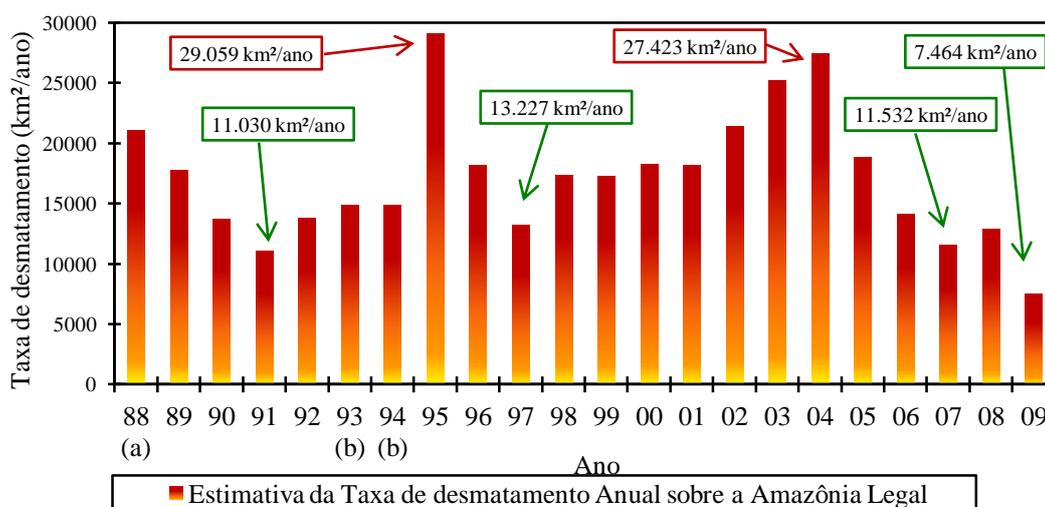


Figura A.2 – Taxas e estimativas de desmatamento (km²/ano) para toda a Amazônia Legal, para o período de 1988 à 2009, pelo Projeto PRODES. (a) Média entre 1977 e 1988; (b) Taxas Anuais Consolidadas, entre 1993 e 1994. Fonte: PRODES (2010).

Esta estimativa é baseada no mapeamento anual, através da interpretação de imagens do Sensor TM (Thematic Mapper) do satélite Americano Landsat, de áreas desflorestadas por corte raso (estágio extremo do desmatamento, em que o padrão observado através de uma imagem apresenta-se com tonalidades magenta ou verde muito claro, no que representa a retirada completa da vegetação original, ou seja, predomínio de solo exposto ou pastagem em formação) e superiores a 6,25 ha (Figura A.3), estimando a extensão do desmatamento bruto, ou seja, o valor acumulado, referente a uma data base. Utiliza, aproximadamente, 230 imagens dos satélites LANDSAT/CBERS (Figura A.4), com resolução de espacial 30 m, utilizando somente uma data de cada imagem por ano para calcular a taxa e extensão (CÂMARA et al., 2006 e VALERIANO et al., 2008).

Entretanto, o uso de dados de sensoriamento remoto óptico em extensas áreas de floresta tropical tem uma importante limitação devido à intensa cobertura por nuvens, o

que vem a ser uma das principais fontes de incertezas no cálculo das taxas anuais de desflorestamento na Amazônia. Segundo [ASNER, 2001](#), em algumas regiões da Floresta Amazônica, a probabilidade de obtenção de imagens Landsat TM (ou de outro sistema óptico similar) livres, ou com mínima cobertura por nuvens, é inferior a 10% durante quase todo o ano. (Figura A.5). De acordo com [CÂMARA et al, 2005](#), em áreas não-observadas, o incremento do desflorestamento é estimado, supondo que a proporção de incremento de desmatamento nesta, é a mesma da área florestada (sem nuvem) observada na imagem.

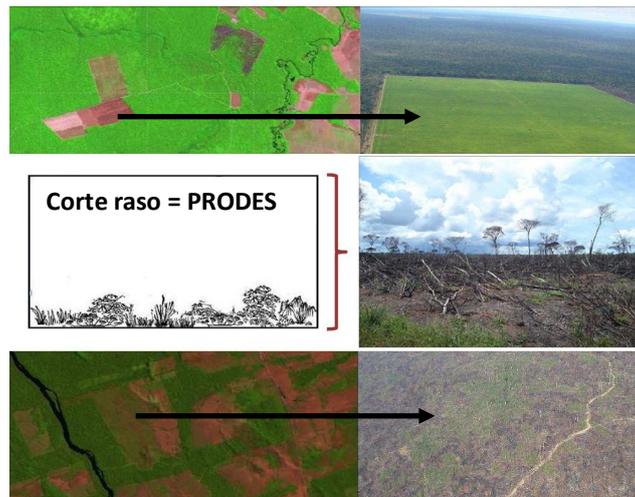


Figura A.3 – Exemplo de corte raso reconhecido pelo PRODES.

Fonte: Adaptado de [Barlow e Peres \(2008\)](#) e [PRODES \(2008\)](#).

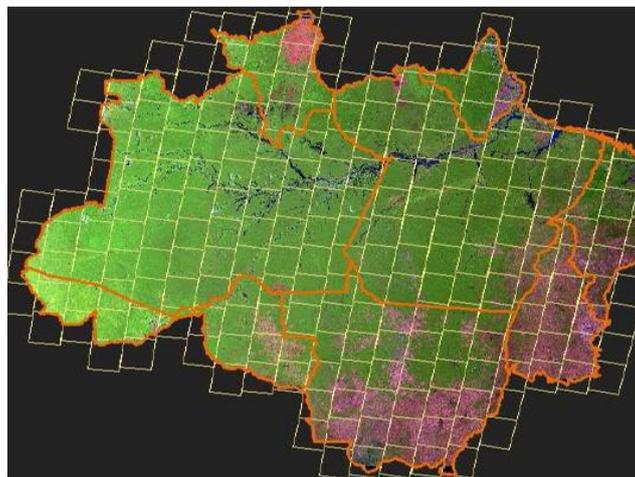


Figura A.4 – Imagens Landsat (aprox. 230 cenas/ano) necessárias para o PRODES.

Fonte: [PRODES \(2010\)](#).

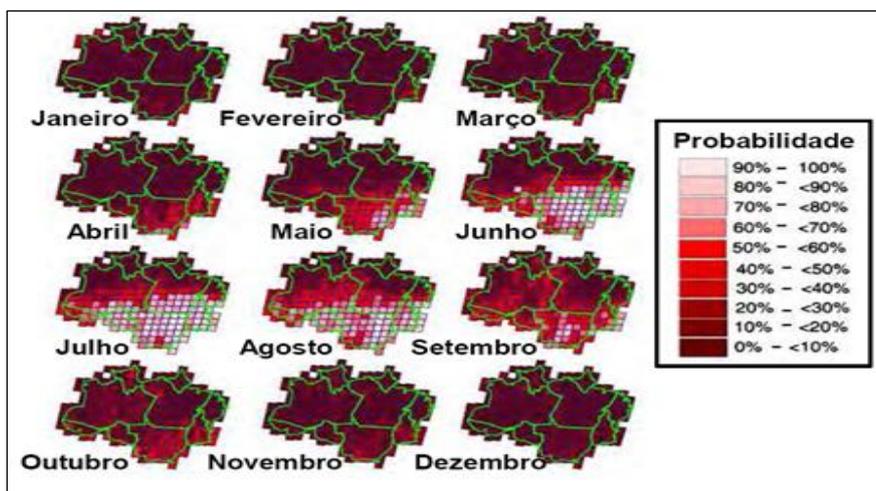


Figura A.5 – Probabilidades mensais de obtenção de cenas Landsat TM com 30%, ou menos, de cobertura por nuvens.
 Fonte: Modificado de [Asner \(2001\)](#).

Até o ano de 2002, a interpretação das imagens era feita por interpretação visual de imagens de satélite impressas em papel fotográfico para a identificação do desflorestamento (o PRODES Analógico), logo, era divulgado a taxa anual do desmatamento e a extensão do desmatamento bruto. A partir de 2003, houve a adequação da metodologia para o uso computadorizado das imagens de satélite digitais, e o programa passou a ser chamado de PRODES Digital, com a divulgação na internet do banco de dados digital, com Imagens, mapas vetoriais de desmatamento e estatísticas (tabelas), sendo gerados continuamente a partir de uma metodologia que constantemente vem sendo melhorada.

O Projeto PRODES é financiado pelo MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia), através da Ação “Monitoramento Ambiental da Amazônia” e conta com a colaboração do Ministério do Meio Ambiente e do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis). Mais sobre o Projeto PRODES (Analógico e Digital) pode ser encontrado através do site: <http://www.obt.inpe.br/prodes/> e [CÂMARA et al. \(2006\)](#).

A2.1 PRODES Digital

O PRODES Digital, como falado anteriormente, consiste num método de processamento computacional de imagens, o período de seus produtos disponíveis é de 2000 até o presente (Figura A.6), possuindo uma resolução temporal de 1 ano e espacial de 60 m por 60 m (exceto o ano de 2007 que possui resolução de 120 x 120 m), sendo estes são encontrados nos formatos: shapes (.shp); spring (.srp); ou no formato geotiff

(.tif), para toda a Amazônia Legal, por órbita/ponto (segundo a grade Landsat TM), por Estado/Região ou por Município.

Para efeitos de processamento e comparação, foram utilizados nesta pesquisa os dados do PRODES Digital, tal como, o arquivo *.shp* referente ao período 2000 à 2008, para toda a Amazônia Legal, este formato agrupa em um único arquivo todos os polígonos de desmatamento detectados pelo PRODES desde 2000 a 2008 (tendo como base o ano de 1997, ou seja, o que foi desmatado até o ano de 1997) identificados ano a ano, obtendo assim toda a série histórica em um único dado. Um exemplo da saída PRODES Digital (agregado entre 2000 e 2005), para toda Amazônia Legal, pode ser visto na Figura A.7.

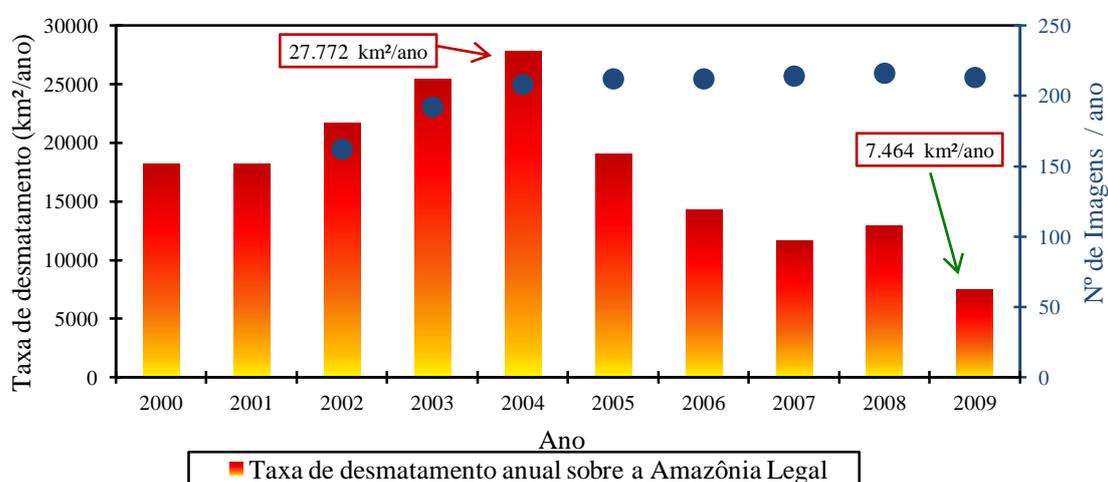


Figura A.6 – Taxas de desmatamento efetuadas a partir do PRODES Digital (eixo vertical esquerdo) Vs. O Número de imagens utilizadas por ano (eixo vertical direito), para o período de 2000 à 2009. (d) representa a taxa estimada.

Fonte: PRODES (2010).

Em síntese, os resultados do PRODES Digital, até o ano de 2005, eram obtidos através da seleção de imagens Landsat TM, no período de julho a setembro (estação seca - período de menor ocorrência de nuvens); dos registros das imagens, tendo como referência as cartas topográficas com escala 1:100.000 ou 1:250.000; aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) para estimar nos pixels das imagens a proporção da fração-vegetação, fração-solo e fração-sombra; da segmentação e classificação não supervisionada das imagens fração-sombra e fração-solo, subsequentemente; da conversão de raster para vetor; da redefinição de classes através de fotointerpretação e suporte dos dados históricos de classificação; cálculo da

estimativa de desmatamento em porções de regiões com cobertura de nuvens; cálculo da taxa anual estimada de desmatamento; geração de mosaicos nas escalas 1:2.500.000, para a Amazônia Legal e 1:500.000 para os Estados; e disponibilização dos resultados na Internet: mapas digitais por cenas Landsat e mosaicos por Estados e planilha com informação dos cálculos em cada cena.

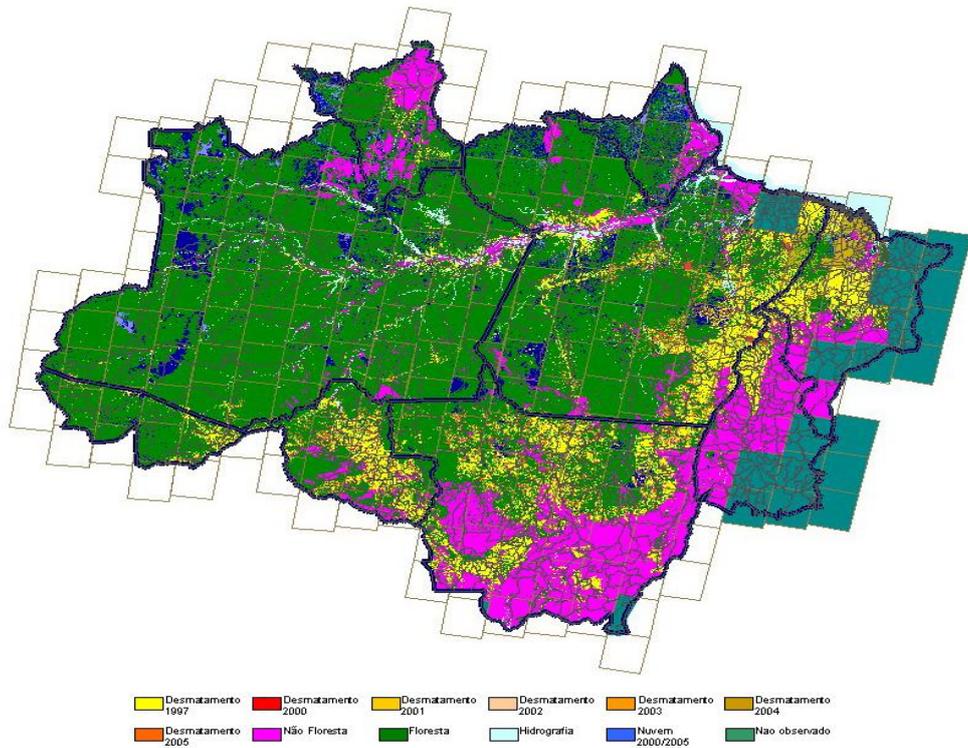


Figura A.7 – Agregado do Mosaico do PRODES Digital 2000 a 2005, para toda a Amazônia Legal.
Fonte: PRODES (2010).

A partir de 2005, para minimizar a freqüente falta de informação causada pela ocorrência de nuvens em parte das imagens Landsat, passaram a ser utilizadas imagens de outras plataformas, caso do CBERS, e também a utilização de imagens MrSid ortorretificadas como referência na etapa de registro.

Os dados PRODES Digital, atualmente, também vem servindo para outros fins, como por exemplo, de entrada para modelos, é o caso do Projeto PROVEG (<http://proveg.cptec.inpe.br/>), que tem como objetivo a melhoria/atualização da máscara vegetação, utilizada pelos modelos de previsão de tempo e clima utilizados no CPTEC (Centro de Previsão de tempo e Estudos Climáticos) (SESTINI, 2002).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASNER, G. P. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v.22, n. 18, p. 3855-3862. 2001.

BARLOW, J.; C.A. PERES Fire-mediated dieback and a compositional cascade in Amazonian forests. **Phil. Trans. R. Soc. B** 363: 1787-1794. 2008.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D.M.; SOARES, J.V. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006. 24 p. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes>>.

HUFFMAN GJ, ADLER RF, ARKIN P, CHANG A, FERRARO R, GRUBER A, JANOWIAK J, MCNAB A, RUDOLF B, SCHNEIDER U. The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) combined precipitation dataset. **Bulletin of the American Meteorological Society** v.78, p. 5–20. 1997.

HUFFMAN, G.; ADLER, R.; BOLVIN, D.; NELKIN, E. Uncertainty in finescale MPA precipitation estimates and implications for hydrometeorological analysis and forecasting. In: CONFERENCE ON HYDROLOGY, 18., 2004, Seattle, WA. **Proceedings...** [S.l.]: AMS, 2004.

HUFFMAN G. J.; ADLER R. F.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER., U.; KEEHN, P. R. Global precipitation estimates based on a technique for combining satellite-based estimates, rain gauge analysis, and NWP model precipitation information. **Journal of Climate**, v. 8, n. 5, p. 1284- 1295, May. 1995.

KAWANISHI, T., and Coauthors, TRMM precipitation radar. **Remote Sens. Appl.: Earth Atmos. Oceans**, v.25, p. 969–972, 2000.

KUMMEROW, C.; BARNES W.; KOZU T.; SHIUE J.; SIMPSON J. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, Boston, v.15, n. 3, p. 809–816, June, 1998.

MELLO, E. M. K; MOREIRA, J. C.; SANTOS; J. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V.; SOUZA, I. M.; BARBOSA, C. C.; SOUZA, R. C. M.; PAIVA, J. A. C.

NASA. Disponível em <<http://lake.nascom.nasa.gov/data/dataset/TRMM/>>. Acesso em julho de 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **PRODES Digital** - Experiência Brasileira no mapeamento automatizado do Desflorestamento da Amazônia. 2002.

_____. **Projeto PRODES** - monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/>. Acesso em: 04 maio de 2010.

SESTINI ET AL. Integration and update of cartographic information of Legal Amazon land cover. In: CONFERÊNCIA CIENTÍFICA INTERNACIONAL DO EXPERIMENTO LBA, 2., 2002, Manaus, Manaus-Brasil. 2002. Group 14, Poster 24.

Tropical Rainfall Mission Mission (TRMM). **Mission overview**. Disponível em; <<http://trmm.gsfc.nasa.gov>>. Acesso em; junho de 2010.

VALERIANO, D. M.; PARADELLA, W. R.; OLIVEIRA, C. G.; ALMEIDA, C. A.; AMARAL, S. ALOS PALSAR data assimilation in INPE's Brazilian Amazon Deforestation Monitoring Program (PRODES and DETER). In: ALOS K&C 10th SCIENCE TEAM MEETINGS, 2008, Tokyo. RESTEC/Tokyo, 2008.