



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

ANA NOELE BRITO SILVA

**ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS E TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO
ANUAL E SAZONAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

**BELÉM
2010**

ANA NOELE BRITO SILVA

**ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS E TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO
ANUAL E SAZONAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Física do Clima.

Orientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza.

**BELÉM
2010**

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

S586i Silva, Ana Noele Brito

Índices de extremos climáticos e tendências da precipitação anual e sazonal na Amazônia Oriental / Ana Noele Brito Silva; Orientador: Everaldo Barreiros de Souza – 2010
133 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi e EMBRAPA, Belém, 2010.

1. Precipitação (Meteorologia) - Amazônia. 2. Tendência. 3. Desmatamento. I. Universidade Federal do Pará II. Souza, Everaldo Barreiros de *orient.* III. Título.

CDD 20° ed.: 551.577209811

ANA NOELE BRITO SILVA

**ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS E TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO
ANUAL E SAZONAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Embrapa Amazônia Oriental, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.
Área de Concentração: Física do Clima.
Orientador: Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza.

Data da aprovação:

Banca Examinadora:

Prof. Everaldo Barreiros de Souza – Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Edson José Paulino da Rocha - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Prof. José Henrique Cattânio - Membro
Doutor em Agronomia
Universidade Federal do Pará

Prof^ª. Rita Valéria Andreoli de Souza - Membro
Doutora em Meteorologia
Universidade do Estado do Amazonas

Aos meus pais e aos meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

- À Deus e a Nossa Senhora, pela minha existência e por tudo que me concedem a cada dia.
- À minha querida família, meus pais, Valdelino Fonseca Silva e Dulcely do Socorro Brito Silva, verdadeiros exemplos de caráter e dedicação, pelo amor incondicional dispensado a mim. Aos meus queridos irmãos: Suele, Francilia, Renato e Maria, por todo companheirismo e amor.
- À amiga Venize Assunção Teixeira, por esses mais de seis anos de amizade, lealdade e companheirismo.
- Ao Prof. Dr. Galdino Viana Mota pelo incentivo ao ingresso à Pós-Graduação.
- À Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi e EMBRAPA Amazônia Oriental através do Programa de Pós – Graduação em Ciências Ambientais, pela criação e desenvolvimento do mestrado interinstitucional e multidisciplinar, por incitar a geração de pesquisa e por proporcionar a troca de conhecimento e a formação de mestres em ciências ambientais à profissionais das mais diversas áreas.
- Ao corpo docente do Programa de Pós – Graduação em Ciências Ambientais pelos conhecimentos transmitidos, em especial à professora Aurora Mota, por todo apoio concedido aos discentes, na sua então atuação na coordenação do curso.
- Ao meu orientador Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza, pela orientação e pelos ensinamentos, importantes para meu crescimento, profissional e intelectual na realização deste trabalho.
- Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento aos meus estudos através da concessão da bolsa de Mestrado (processo 557511/2008-09) através do Edital MCT/CNPq nº27/2007.

- Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a Agência Nacional de Águas (ANA) e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) pelo fornecimento de dados.
- À Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará (RPCH), financiada pela FINEP/MCT (convênio 3641/2006) pela concessão de dados e estrutura física para realização deste trabalho.
- Aos membros da banca, Prof. Dr. Edson José Paulino da Rocha, Prof. Dr. José Henrique Cattânio e Prof^a. Dr. Rita Valéria Andreoli de Souza, pelas importantes contribuições.
- À turma do Mestrado 2008, pelos conhecimentos transmitidos e pelas amizades construídas ao longo do curso.
- E a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para o prosseguimento da minha carreira acadêmica, professores, colegas do laboratório RPCH e funcionários do prédio de meteorologia.
- À todos, meus sinceros agradecimentos.

Amazônia

Tanto amor perdido no mundo
Verdadeira selva de enganos
A visão cruel e deserta
De um futuro de poucos anos
Sangue verde derramado
O solo manchado
Feridas na Selva
A lei do machado
Avalanches de desastros
Numa ambição desmedida
Absurdos contra os destinos
De tantas fontes de vida
Quanta falta de juízo
Tolices fatais
Quem desmata, mata
Não sabe o que faz
Como dormir e sonhar
Quando a fumaça no ar
Arde nos olhos de quem pode ver
Terríveis sinais de alerta, desperta pra selva viver
Amazônia, insônia do mundo
Amazônia, insônia do mundo
Todos os gigantes tombados
Deram suas folhas ao vento
Folhas são bilhetes deixados
Aos homens do nosso tempo
Quantos anjos queridos
Guerreiros de fato
De morte feridos
Caídos no mato
Como dormir e sonhar
Quando a fumaça no ar
Arde nos olhos de quem pode ver
Terríveis sinais de alerta, desperta pra selva viver
Amazônia, insônia do mundo

(Roberto Carlos e Erasmo Carlos - 1989)

RESUMO

Baseado no conjunto de dados diários de precipitação e temperatura do ar de oito estações meteorológicas sobre o Pará, pertencentes ao INMET, disponíveis no período 1961-2007, foram calculados índices de extremos climáticos através da metodologia estatística do software RClindex. Utilizando-se ainda um conjunto de dados mensais de precipitação de 134 estações pluviométricas da Amazônia oriental, provenientes da ANA e INMET, foram analisadas as tendências anual e sazonal num período de 25 a 37 anos (1970-2009), através da aplicação da estatística não-paramétrica (teste de Mann-Kendall e método de Sen). E por fim, utilizaram-se dados de desmatamento do PRODES/INPE no período 2000-2007, para analisar a possível influência do desmatamento nas tendências de precipitação anual e sazonal do Pará. Considerando os índices de extremos climáticos referentes aos dados diários de precipitação, constatou-se que a variabilidade interanual dos índices possui relações com os episódios ENOS e as fases do Dipolo do Atlântico. Para os extremos climáticos de temperatura evidenciaram-se reduções sistemáticas dos dias frios (TX10p) e aumentos sistemáticos da mínima da máxima temperatura (TXN), da percentagem de noites quentes (TX90p) e da temperatura máxima da máxima (TXX). Os resultados das tendências da precipitação anual usando os testes não-paramétricos evidenciaram que do total de 134 estações, em torno de 51% apresentam tendências positivas e 41% tendências negativas sobre a Amazônia oriental. Contudo, essas tendências anuais “mascararam” de certa forma as tendências sazonais, cujos resultados mostraram-se mais diversificados, explicando melhor os aspectos da variabilidade climática regional. Para o trimestre MAM, observaram-se 99 estações (74%) com tendências positivas, indicando que a quantidade de precipitação durante o período chuvoso principal vem aumentando sistematicamente durante a última década. Em DJF, notaram-se 45 estações (34%) com tendências positivas e 78 estações (58%) com tendências negativas. Por outro lado, nos trimestres que englobam o período seco ou menos chuvoso verificaram-se tendências sazonais predominantemente negativas, com 84 estações (62%) em JJA e 89 estações (66%) em SON. Portanto, a evidência observacional de que a precipitação do período seco encontra-se em diminuição gradativa nas últimas décadas corrobora com a hipótese de que o desmatamento associa-se com a redução da precipitação em escala regional, porém sugere-se que isso ocorra em escala de tempo sazonal.

Palavras-chave: Precipitação (Meteorologia). Amazônia. Tendência. Desmatamento.

ABSTRACT

Based on the daily precipitation and air temperature data from INMET eight meteorological stations over the Pará state, we calculated climate extremes indices through RCLIMDEX statistical methodology in the period 1961-2007. Using monthly precipitation data from 134 ANA/INMET stations in eastern Amazon, we analyzed the annual and seasonal trends in a period of 25 to 37 years (1970-2009) through the nonparametric statistics (Mann-Kendall and Sen's method). Finally, we used deforestation data from PRODES/INPE in the period 2000-2007, in order to analyze the possible influence of deforestation in the precipitation trends particularly for the Pará state. The climate extremes indices related to the daily precipitation showed that the interannual variability of the indices has close relationships with ENSO episodes and phases of the Atlantic dipole. For the temperature indices there was systematic reductions of cold days (TX10p) and systematic increases in minimum temperature of maximum (TXN), percentage of warm nights (TX90p) and the maximum temperature of maximum (TXX). The results of the annual precipitation trends using nonparametric tests showed that the total of 134 stations, about 51% show positive trends and 41% negative trends in eastern Amazon. However, these annual trends "masked" somewhat seasonal trends, which were more diverse and explain the aspects of regional climate variability. For MAM, there were 99 stations (74%) with positive trends, indicating that the amount of rainfall during the main rainy season period has been increasing consistently in the last decade. In DJF, 45 stations (34%) presented positive trends and 78 stations (58%) negative trends. Moreover, in the period comprising the dry season there were seasonal trends predominantly negative, with 84 stations (62%) in JJA and 89 stations (66%) in SON. Therefore, the observational evidence that the precipitation of the dry period is in gradual decline in recent decades supports the hypothesis that deforestation is associated with reduced rainfall on a regional scale, but it is suggested that this occurs on a seasonal time scale.

Keywords: Precipitation (Meteorology). Amazon. Trend. Deforestation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Detecção de tendências de a) precipitação total anual (+ indica tendência positiva e ○ tendência negativa) e b) percentagem de noites quentes (▲ indica tendência positiva e ▼ tendência negativa, sendo as tendências com significância estatística representadas pelos símbolos preenchidos e as tendências sem significância estatística representadas pelos símbolos sem preenchimento. O tamanho de cada símbolo representa a magnitude da tendência), as quais foram reportadas em estudos recentes.	20
Figura 2. Mapa de localização das estações (círculos) pluviométricas integradas sobre a Amazônia oriental, com o destaque da topografia, rios e estradas no mapa de fundo.	29
Figura 3. Mapa de localização das estações pluviométricas integradas sobre a Amazônia oriental. Os círculos em cores diferenciadas indicam a instituição fonte da estação, conforme legenda no canto superior. A numeração de 1 a 134 corresponde ao número de cada estação, conforme listagem detalhada na Tabela 2. As linhas cinza mostram os limites dos municípios.	33
Figura 4 – Séries temporais do índice CDD para as 8 estações do INMET. Representando a linha solida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.	45
Figura 5 – Séries temporais do índice CWD para as 8 estações do INMET. Representando a linha solida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.	49
Figura 6 – Séries temporais do índice R95p para as 8 estações do INMET. Representando a linha solida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.	53
Figura 7 – Séries temporais do índice R99p para as 8 estações do INMET. Representando a linha solida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.	57
Figura 8 – Séries temporais do índice TX10p. Representando a linha solida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.	61
Figura 9 – Séries temporais do índice TXN. Representando a linha solida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.	62

Figura 10 – Séries temporais do índice TN10p. Representando a linha solida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.	64
Figura 11 – Séries temporais do índice TNN. Representando a linha solida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.....	67
Figura 12 – Séries temporais do índice TX90p. Representando a linha solida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.	71
Figura 13 – Séries temporais do índice TXX em Marabá. Representando a linha solida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.....	72
Figura 14 – Séries temporais do índice TN90p. Representando a linha solida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.	73
Figura 15 – Séries temporais do índice TNX. Representando a linha solida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.	76
Figura 16. Amostragem (número de anos) das séries temporais das estações pluviométricas da Amazônia oriental. Os círculos em cores diferenciadas indicam a amostragem em anos. Sendo que das 134 estações, 4% possuem uma amostragem de 15 a 20 anos; 14% (21 a 25 anos); 36% (26 a 30 anos); 24% (31 a 35 anos) e 22% (> 36 anos).	78
Figura 17 – Mapa espacial dos (a) sinais de Z indicando as tendências da precipitação anual e (b) valores de Q indicando a magnitude das tendências nas estações pluviométricas da Amazônia oriental. As legendas encontram-se à direita das figuras.	82
Figura 18 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de aumento da precipitação anual. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.	84
Figura 19 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de diminuição da precipitação anual. Os pontos pretos indicam a chuva anual. A reta preta indica a inclinação da tendência negativa estimada pelo método de Sen.	86
Figura 20 – Mapa espacial dos (a) sinais de Z indicando as tendências da precipitação sazonal em MAM e (b) valores de Q indicando a magnitude das tendências nas estações pluviométricas da Amazônia oriental. As legendas encontram-se à direita das figuras.	92

Figura 21 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de aumento da precipitação sazonal em MAM. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.....	94
Figura 22 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de diminuição da precipitação sazonal em MAM. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.....	97
Figura 23 – Mapa espacial dos (a) sinais de Z indicando as tendências da precipitação sazonal em JJA e (b) valores de Q indicando a magnitude das tendências nas estações pluviométricas da Amazônia oriental. As legendas encontram-se à direita das figuras.....	100
Figura 24 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de aumento da precipitação sazonal em JJA. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.....	101
Figura 25 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de diminuição da precipitação sazonal em JJA. Os pontos pretos indicam a precipitação anual em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.	102
Figura 26 – Mapa espacial dos (a) sinais de Z indicando as tendências da precipitação sazonal em SON e (b) valores de Q indicando a magnitude das tendências nas estações pluviométricas da Amazônia oriental. As legendas encontram-se à direita das figuras.....	107
Figura 27 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de aumento da precipitação sazonal em SON. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.....	108
Figura 28 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de diminuição da precipitação sazonal em SON. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.....	109
Figura 29 – Mapa espacial dos (a) sinais de Z indicando as tendências da precipitação sazonal em DJF e (b) valores de Q indicando a magnitude das tendências nas estações pluviométricas da Amazônia oriental. As legendas encontram-se à direita das figuras.....	114

Figura 30 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de aumento da precipitação sazonal em DJF. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.....	115
Figura 31 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de diminuição da precipitação sazonal em DJF. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.....	117
Figura 32 – Mapa espacial dos sinais de z indicando as tendências da precipitação sazonal em (a) JJA, (b) SON, (c) DJF e (d) MAM com as áreas de desflorestamento no Pará (mapa de fundo com áreas em vermelho) de 2000-2008 estimadas pelo PRODES-INPE.....	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Listagem das estações meteorológicas convencionais do INMET contendo dados diários de precipitação e temperatura máxima e mínima.....	27
Tabela 2 – Listagem das estações pluviométricas sobre a Amazônia oriental com o nome, número, coordenadas de latitude e longitude, ano inicial e final com respectivo período da amostra e instituição fonte.....	30
Tabela 3 – Índices de extremos climáticos obtidos pelo RCLimindex relacionados aos dados diários de precipitação.....	35
Tabela 4 – Índices de extremos climáticos obtidos pelo RCLimindex relacionados aos dados diários de temperatura máxima e mínima.	35
Tabela 5 – Valores das tendências para os índices de extremos climáticos do RCLimindex referentes aos dados diários de precipitação. Valores em negrito indicam significância estatística ($\alpha < 0$).	41
Tabela 6 – Valores das tendências para os índices de extremos climáticos do RCLimindex referentes aos dados diários de temperatura. Valores em negrito indicam significância estatística ($\alpha < 0$).	42
Tabela 7 – Resultados do teste de Man-Kendall para a precipitação anual com os valores de Z (tendência), Q (magnitude) e significância (SIG) estatística de 99,9 (***), 99 (**), 95 (*) e 90% (+).....	81
Tabela 8 – Resultados do teste de Man-Kendall para a precipitação sazonal MAM com os valores de Z (tendência), Q (magnitude) e significância (SIG) estatística de 99,9 (***), 99 (**), 95 (*) e 90% (+).....	91
Tabela 9 – Resultados do teste de Man-Kendall para a precipitação sazonal JJA com os valores de Z (tendência), Q (magnitude) e significância (SIG) estatística de 99,9 (***), 99 (**), 95 (*) e 90% (+).	99
Tabela 10 – Resultados do teste de Man-Kendall para a precipitação sazonal SON com os valores de Z (tendência), Q (magnitude) e significância (SIG) estatística de 99,9 (***), 99 (**), 95 (*) e 90% (+).	106
Tabela 11 – Resultados do teste de Man-Kendall para a precipitação sazonal DJF com os valores de Z (tendência), Q (magnitude) e significância (SIG) estatística de 99,9 (***), 99 (**), 95 (*) e 90% (+).	113

Tabela 12 – Resultados do teste de Man-Kendall e método de Sen para as estações da Amazônia oriental, considerando a tendência anual e as tendências sazonais em DJF, MAM, JJA e SON com os valores de Z (tendência), Q (magnitude) e significância (SIG) estatística de 99,9 (***), 99 (**), 95 (*) e 90% (+). 122

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ANA** - Agência Nacional de Águas
- CDD** - Dias secos consecutivos
- CPRM** - Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais
- CQ** - Controle de Qualidade
- CWD** - Dias úmidos consecutivos
- DJF** – Dezembro, janeiro e fevereiro
- ELETRONORTE** - Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A
- ENOS** – El Niño Oscilação Sul
- ETC-CDMI** - *Expert Team on Climate Change Detection and Indices*
- GEE** - Gases do Efeito Estufa
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INMET** - Instituto Nacional de Meteorologia
- INPE** - Instituto Nacional de Pesquisas espaciais
- IPCC** - *Intergovernmental Panel on Climate Change*
- JJA** – Junho, julho e agosto
- MAM** – Março, abril e maio
- OMM** - Organização Meteorológica Mundial
- PRODES** – Projeto Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite
- Q** - Magnitude da Tendência em mm
- RPCH** - Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará
- R95p** - Dias muito úmidos
- R99p** - Dias extremamente úmidos
- SON** – Setembro, outubro e novembro
- Tn10p** - Noites frias
- Tn90p** - Noites quentes
- TNN** - Temperatura Mínima da Mínima
- TNX** - Temperatura Máxima da Mínima
- Tx10p** - Dias frios
- Tx90p** - Dias quentes
- TXN** - Temperatura Mínima da Máxima
- TXX** - Temperatura Máxima da Máxima
- Z** - Tendência

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1 CLIMATOLOGIA DA REGIÃO AMAZÔNICA.....	22
2.2 VARIABILIDADE CLIMÁTICA NATURAL.....	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 DADOS	27
3.2 MÉTODOS ESTATÍSTICOS.....	34
3.2.1 O <i>software</i> RClindex.....	34
3.2.2 Métodos não-paramétricos (Teste Mann-Kendall e Método de Sen)	37
4 RESULTADOS	41
4.1 ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS (RCLIMDEX).....	41
4.1.1 Índices de Precipitação.....	42
4.1.2 Índices de Temperatura	60
4.2 TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA ORIENTAL (TESTE DE MANN-KENDALL).....	78
4.2.1 Tendência Anual.....	79
4.2.2 Tendências Sazonais	89
4.2.3 Comparativo entre as Tendências Anual e Sazonal	120
4.2.4 Desmatamento no Pará <i>versus</i> Tendências Sazonais de Precipitação	123
5 CONCLUSÕES	125
REFERÊNCIAS	128

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o clima da Terra vem apresentando mudanças no seu comportamento através do aumento da frequência de eventos climáticos extremos, associado muito provavelmente às mudanças climáticas globais, cujo tema tornou-se popular e motivo de discussão do grande público. Esse fato tomou proporções mundiais após a divulgação do quarto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC em Fevereiro de 2007 (IPCC *Fourth Assessment Report*, 2007) e, de certa forma, ratificados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (MARENGO, 2007), os quais apontam mudanças drásticas no clima do planeta até o final do século XXI. Tais mudanças, em princípio, se devem a problemática do aquecimento global devido ao aumento significativo da concentração dos gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, desencadeado por atividades antropogênicas.

De acordo com os modelos globais do IPCC a temperatura global pode sofrer um aumento de 1,5°C para 6°C até 2100, representando um aquecimento sem precedentes. Com relação à temperatura do ar para o Brasil prevê-se um aumento sistemático que pode chegar até 4°C acima da média, o qual é consenso geral nas projeções geradas pelos modelos globais e regionais para os diversos cenários de emissão dos GEE.

Já para o maior e mais importante bioma do Brasil, a floresta tropical úmida que cobre quase metade de seu território, a Amazônia, o aquecimento pode chegar até 5°C no cenário mais pessimista. No contexto deste cenário de clima futuro mais quente, as projeções de mudança na variabilidade da precipitação não são conclusivas e as incertezas são consideráveis. Para a Amazônia, embora alguns modelos apontem para um aumento na quantidade da precipitação, a maioria indica redução drástica e generalizada do regime de chuva entre -5% e -20%.

Por causa principalmente do desmatamento¹ na Amazônia, o Brasil ocupa lugar de destaque na classificação dos países emissores de GEE. Diante das constantes modificações que vêm ocorrendo no processo de uso e ocupação da terra na região amazônica, vários estudos vêm sendo realizados a fim de avaliar quais os impactos que tais mudanças poderiam causar no clima regional.

¹ O desmatamento na Amazônia consiste basicamente em corte, derrubada e queima da floresta, produzindo degradação das áreas florestais devido a inúmeros processos de ocupação e uso da terra, particularmente as atividades de agricultura, pecuária, extrativismo mineral, dentre outros, ocorrendo principalmente ao longo das rodovias e na fronteira da Amazônia legal conhecida como “arco de desmatamento” (FEARNSIDE, 2005).

Estudos anteriores investigaram os efeitos climáticos da substituição da floresta por pastagem na Amazônia (GASH; NOBRE, 1997; NOBRE et al 1991) e reportaram em geral um aumento da temperatura do ar, redução da evapotranspiração e redução da precipitação. À medida que avança o desmatamento na Amazônia, também aumenta a intensidade das mudanças no clima regional (VOLDOIRE; ROYER, 2004). Os resultados de simulações climáticas usando modelos regionais de alta resolução espacial reportaram que o desmatamento da Amazônia não provoca uma diminuição generalizada da precipitação (COHEN et al 2007). Fatores fisiográficos locais e regionais desempenham papel importante na caracterização do clima amazônico, de tal forma que espera-se distribuição heterogênea de aumento e diminuição pluviométrica em função da topografia, características da cobertura superficial, proximidade do Oceano, etc (CORREIA et al 2005; GANDU et al 2004; RAMOS DA SILVA et al 2008).

No contexto científico da temática de mudanças climáticas ainda há um longo caminho a trilhar no que concerne ao desenvolvimento de modelos climáticos e ambientais que possam representar de maneira realística o comportamento do clima presente, bem como gerar previsões de possíveis cenários de clima futuro. Não obstante, torna-se extremamente importante gerar conhecimento científico sobre o comportamento do clima presente através das análises estatísticas de dados observacionais e talvez seja este o melhor “modelo” para visualizar se já estamos enfrentando o processo de mudança climática em função das alterações antropogênicas e da modulação dos mecanismos de variabilidade natural (De Souza, 2009²).

Estudos recentes abordaram análises observacionais sobre as tendências de longo prazo na Amazônia. Haylock et al (2006) aplicou a metodologia do software RCLimindex (ZHANG; YANG, 2004), que calcula índices de extremos climáticos, para investigar as tendências anuais, calculadas pelo teste não-paramétrico de Kendall, presente nos dados de precipitação de 54 estações do Brasil (apenas 2 na Amazônia: Manaus e Belém) durante o período de 1960 a 2000. Seus resultados mostraram tendência de aumento dos totais de chuva anual no Brasil, inclusive em pontos esparsos da Amazônia, conforme mostra a Figura 1a. Usando esta mesma metodologia, Vincent et al (2005) demonstraram a existência de tendências de aumento significativo nos dados de temperaturas diárias no território brasileiro, sendo que tal aquecimento deve-se principalmente pelo aumento da frequência de noites quentes durante as últimas décadas, conforme ilustra a Figura 1b.

² DE SOUZA, E. B. Comunicação pessoal na disciplina Climatologia Geral, PPGCA, UFPA, 2009.

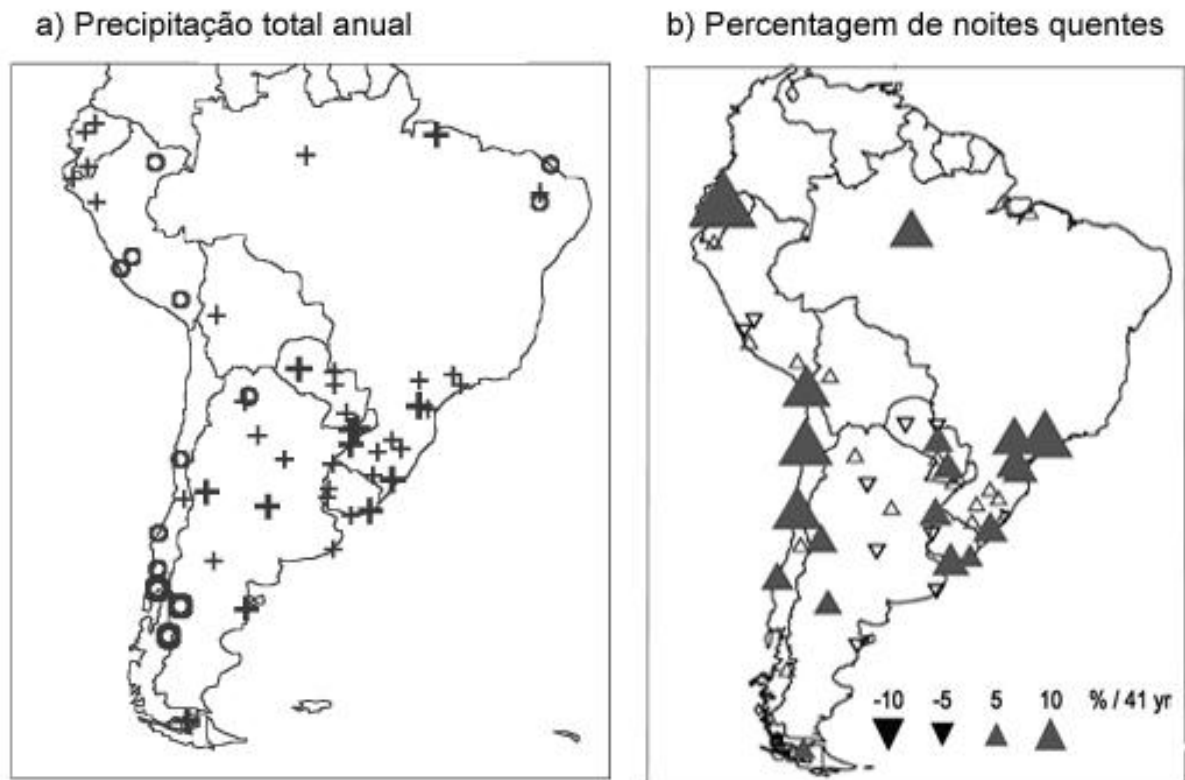


Figura 1. Detecção de tendências de a) precipitação total anual (+ indica tendência positiva e o tendência negativa) e b) porcentagem de noites quentes (▲ indica tendência positiva e ▼ tendência negativa, sendo as tendências com significância estatística representadas pelos símbolos preenchidos e as tendências sem significância estatística representadas pelos símbolos sem preenchimento. O tamanho de cada símbolo representa a magnitude da tendência), as quais foram reportadas em estudos recentes.

Fonte: Haylock et al (2006) e Vincent et al (2005).

Marengo (2009) estabeleceu dois índices de precipitação representativos do setor norte e sul da Amazônia, cuja metodologia encontra-se descrita em Marengo (2004), e suas análises observacionais indicaram que ao invés de tendências lineares a hidrometeorologia da Amazônia apresenta ciclos de variabilidade nas escalas de variabilidade interanual a inter-decadal. Tais resultados são similares aos encontrados por Costa e Foley (1999) que reportaram condições estáveis de precipitação num período de 20 anos (1976-1996), baseado numa abordagem do ciclo hidrológico considerando a bacia amazônica como um todo.

Portanto, particularmente para a Amazônia não há muitos estudos sobre detecção de tendências de longo prazo, devido à escassez de dados provenientes das estações meteorológicas, conforme mencionado por Marengo et al (2007), o qual destacou ainda que a inclusão de maior quantidade de dados de estações meteorológicas melhoraria bastante os estudos dos índices de extremos climáticos.

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise observacional sobre o comportamento e variabilidade de índices de extremos climáticos calculados com base na metodologia estatística do software RCLimindex aplicada em séries temporais de dados diários do estado do Pará. Assim como, identificar e caracterizar os aspectos regionais dos sinais de tendência anual e sazonal presente nos dados de precipitação da Amazônia oriental, durante as últimas décadas, através da aplicação de metodologia estatística não-paramétrica e utilizando um banco de dados mais completo possível. Os sinais das tendências de chuva regional foram analisados nas áreas com desmatamento no estado do Pará, visando à investigação das relações entre as mudanças na cobertura superficial e as tendências do clima regional.

Diante do que foi mencionado, este trabalho teve como objetivos específicos:

- 1) Organizar a base de dados diários e mensais de precipitação e dados diários de temperatura registrados pela rede de estações meteorológicas da Amazônia oriental;
- 2) Aplicar metodologias estatísticas na base de dados para identificar o comportamento dos índices de extremos climáticos sobre a Amazônia oriental durante as últimas décadas;
- 3) Aplicar metodologias estatísticas para investigar a tendência sazonal e anual da precipitação na Amazônia oriental durante as últimas décadas;
- 4) Investigar a possível influência do desmatamento nas tendências de aumento ou redução da precipitação na Amazônia oriental durante as últimas décadas.

No tópico 2, apresenta-se o referencial teórico, no qual é abordado, de maneira genérica, a climatologia da região amazônica, os sistemas atmosféricos que influenciam na distribuição de precipitação, algumas características da Amazônia e os aspectos da variabilidade climática natural.

No tópico 3, apresentam-se as séries de dados utilizados e a metodologia aplicada para alcançar os objetivos propostos. Também se apresenta a localização das estações de estudo.

No tópico 4, analisam-se o comportamento dos índices de extremos climáticos referentes aos dados diários de precipitação e temperatura, oriundos do software RCLimindex e as tendências anuais e sazonais da precipitação, resultantes do teste de Mann-Kendall e método Sen de estimativa. O tópico 4 contempla ainda as análises da possível influência do desmatamento nas tendências anuais e sazonais na Amazônia oriental.

Por fim, as conclusões são apresentadas no tópico 5, seguida das sugestões pertinentes ao desenvolvimento de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No presente tópico, inicialmente ressaltam-se algumas características gerais da Amazônia com a finalidade de melhor situar a região de estudo. Levando-se em consideração que não há registros de estudos voltados para cada uma das estações analisadas neste trabalho, fez-se um referencial teórico considerando a Região Amazônica como um todo, no que tange a precipitação anual, trimestre mais chuvoso, menos chuvoso, etc., sendo abordados ainda os sistemas que influenciam a variabilidade espacial e temporal da região amazônica e os aspectos da variabilidade climática natural.

2.1 CLIMATOLOGIA DA REGIÃO AMAZÔNICA

A Amazônia abrange nove países da América do Sul: Brasil, Peru, Bolívia, Venezuela, Colômbia, Equador, Guiana, Suriname e Guiana Francesa. Sendo que apenas a Amazônia Brasileira ou Amazônia Legal, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), possui uma área de 5.032.925 km², compreendidos pelos estados do Pará, Amazonas, Rondônia, Roraima, Acre e Amapá e parte dos estados do Tocantins, Mato Grosso e Maranhão. Já a área da bacia amazônica é estimada de 6,3 milhões de quilômetros quadrados, sendo aproximadamente 5 milhões em território brasileiro.

Devido a sua localização, situada na região equatorial do globo, a Amazônia recebe uma grande quantidade de energia solar, fazendo com que o comportamento da temperatura do ar apresente uma exígua variação ao longo do ano. A amplitude térmica sazonal exibe valores da ordem de 1-2°C, sendo que os valores médios de temperaturas encontram-se entre 24° e 26°C. Para fins de exemplificação, em Belém, capital paraense, a temperatura apresenta uma média mensal máxima de 26,5°C em Novembro e a média mensal mínima de 25,4°C em Março.

Por outro lado, a precipitação, minuciosamente estudada na Amazônia por Figueroa e Nobre (1990) e por Marengo (1995), é a variável meteorológica de maior relevância na região tropical, sendo a mesma a que melhor caracteriza a variabilidade climática nesta região (MARENGO, 1992). O ciclo anual das chuvas é marcado pelo movimento migratório latitudinal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o Atlântico Equatorial (FISCH et al 1998; HASTENRATH; HELLER, 1977). Contudo, além da ZCIT, há outros

sistemas que definem o clima da região, os chamados sistemas transientes, a exemplo dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs) (MOHR; ZIPSER, 1996; MOTA, 2003; SILVA, 2003), dentre os quais as Linhas de Instabilidade (Lis) (COHEN, 1995) são as que produzem intensas precipitações na região. O regime de precipitação da Amazônia é ainda determinado, pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e pela Alta da Bolívia (AB).

O valor de precipitação anual para a Amazônia é de aproximadamente 2300 mm, com áreas apresentando valores superiores a 3000 mm nos setores oeste, noroeste e no litoral norte; nas sub-regiões entre esses máximos há mínimos de 1600 mm (FIGUEROA; NOBRE, 1990). Apresentando em seu curso sazonal médio duas estações bem distintas, a estação de estiagem durante o inverno Junho, Julho e Agosto (JJA) e primavera Setembro, Outubro e Novembro (SON) do Hemisfério Sul (HS), com valores de precipitações inferiores a 100 mm/mês, e a estação chuvosa durante o verão Dezembro, Janeiro e Fevereiro (DJF) e outono Março, Abril e Maio (M/A/M) do HS, valores de precipitações superiores a 200 mm/mês.

Sendo a origem de toda essa precipitação sobre a Amazônia uma composição da quantidade de água evaporada localmente (evapotranspiração) adicionada de uma contribuição de água advinda do Oceano Atlântico, segundo estudo de Salati et al (1979), o qual foi realizado através do balanço de vapor d'água em toda a região amazônica, foi possível estimar que 50% do vapor d'água que precipita pelas chuvas é gerado localmente (pela evapotranspiração) e o restante importado para a região pelo fluxo atmosférico proveniente do Oceano Atlântico. Todavia acredita-se que a porcentagem de água reciclada dentro da bacia Amazônica esteja entre 20 e 30% (LEAN et al 1996), e não mais a tradicional estimativa de 50% (SALATI; VOSE, 1984). De qualquer maneira é irrefutável o papel que os ecossistemas amazônicos possuem na contribuição e manutenção das chuvas locais, regionais e devido a sua grande extensão nas regiões do centro-sul, sudeste e sul do Brasil a partir da transferência de vapor d'água através dos ventos alísios que agem do sentido de leste para oeste transportando vapor d'água dos oceanos e da floresta para essas regiões.

2.2 VARIABILIDADE CLIMÁTICA NATURAL

Sendo os oceanos a condição de contorno inferior mais importante para a atmosfera e para o clima global, o clima da Amazônia é grandemente influenciado pela variabilidade climática natural que ocorre nos oceanos Pacífico e Atlântico.

Acerca da influência do oceano Pacífico na variabilidade climática natural há estudos de caráter intrasazonal e interanual. Estudos de variabilidade intrasazonal foram realizados por Madden e Julian (1971), os quais a partir da descoberta do período de 40-50 dias, observados através do espectro da componente zonal do vento na baixa troposfera, no oeste do oceano Pacífico Tropical, detectaram oscilações denominadas de Oscilações de Madden e Julian (OMJ) ou Oscilação 30 – 60 Dias. A OMJ é um fenômeno que se caracteriza por um deslocamento de oeste para leste de uma célula zonal de grande escala termicamente direta que causa variações na convecção tropical (KAYANO; KOUSKY, 1992). Ainda sobre a OMJ, outros estudos foram realizados por Lau e Chan (1983) e por Kousky e Kayano (1994), os quais apontam a influencia desse modo de variabilidade na região tropical. Com relação à amplitude dessas oscilações, elas são mais intensas nos meses de dezembro e fevereiro, e entre junho e agosto e estão associadas com a migração sazonal da convecção associada à ZCIT.

Uma vez estando associada à convecção, a OMJ faz com que os fenômenos meteorológicos se intensifiquem ou enfraqueçam durante a sua atuação, podendo influenciar no regime pluviométrico, por exemplo, da região amazônica. Como pode ser detectado por Souza e Ambrizzi (2006), os quais através das análises de Wavelet, EOF e técnicas de composição, aplicadas em dados diários de 15 anos (1987-2001), observaram picos de precipitação significativa, centrado em cerca de 30-70 dias, particularmente para o sudeste e nordeste da Amazônia Oriental, sugerindo que a passagem da OMJ pela América Sul contribui eficazmente para uma fração considerável do total de precipitação regional.

Além da variabilidade intrasazonal, o Oceano Pacífico influencia a variabilidade da precipitação amazônica interanualmente através do fenômeno denominado El Niño-Oscilação Sul (ENOS), o qual é um fenômeno de grande escala resultante de duas componentes, uma oceânica (aquecimento ou resfriamento das águas no Oceano Pacífico Tropical) e outra atmosférica (alteração da circulação atmosférica e deslocamento da região de máxima atividade convectiva). Na fase quente do ENOS (El Niño) o deslocamento da região de máxima atividade convectiva se dá do Pacífico Oeste para o Central, e na fase fria (La Niña) este deslocamento é para oeste. Os eventos mais intensos de El Niño foram os ocorridos nos anos de 1982, 1987 e 1998, destacando o El Niño ocorrido entre os anos de 1997/98, o qual foi considerado o evento mais intenso do século passado, produzindo anomalias de temperatura do ar de cerca de 0,8°C e o La Niña de 1984/85, um resfriamento de – 0,5°C (CHRISTY; SPENCER, 2003).

Em estudo sobre a importância da variabilidade inter eventos do sinal do ENOS, conforme reportado por Souza e Ambrizzi (2002), sobre a América do Sul, as teleconexões da fase quente do ENOS (El Niño) indicam déficit de precipitação sobre a região amazônica e nordeste do brasileiro.

Em particular para a Amazônia, episódios de El Niño e de La Niña exercem diferentes impactos na precipitação da região, fazendo com que alguns episódios, da fase quente ou da fase fria do ENOS, muito intensos afetem tanto a qualidade quanto o início da estação chuvosa na região Amazônica (NOGUEIRA, 2008). Em adição este autor faz considerações da ocorrência e impactos gerados por El Niños e La Ninãs em diferentes períodos. O autor cita os eventos de El Niño fortes (1925-26, de 1982-83 e de 1997-98), os quais foram associados à secas intensas e a incêndios na floresta Amazônica. Todavia, o El Niño intenso de 1972-73 foi associado à chuva acima da média climatológica. O El Niño de 1982-83 (La Niña de 1988-89) prorrogou a estação seca (chuvosa) na Amazônia Central e na Foz do Rio Amazonas. Sendo o ENOS, responsável por alterações no clima do planeta, este fenômeno climático é suscetível às mudanças no clima e portanto poderá ser influenciado pelo efeito estufa, todavia ainda é difícil prever qual será a sua resposta à esse aquecimento (COBB et al 2003).

Além da influência da variabilidade interanual que ocorre no oceano Pacífico através do ENOS, a que se considerar a variabilidade interanual que ocorre no Oceano Atlântico Tropical, conhecida como Dipolo do Atlântico, identificado por estudos realizados por Hastenrath e Heller (1977), através de análises observacionais e estatísticas, os quais mostraram um padrão de anomalias da TSM sobre o oceano Atlântico Tropical. Sendo a precipitação modulada a partir desses padrões anômalos de TSM no Oceano Atlântico Tropical Norte e Sul. Sendo sua configuração espacial representada por anomalias de TSM de sinais opostos sobre a Bacia Norte e Sul do Atlântico Tropical.

O Dipolo do Atlântico possui duas fases, uma fase quente e uma fase fria. Sendo a fase quente caracterizada por águas mais quentes no Atlântico Tropical Norte e águas mais frias no Atlântico Equatorial e Tropical Sul. Já a fase fria é caracterizada por águas mais frias no Atlântico Tropical Norte e águas mais quentes no Atlântico Tropical Sul.

Sendo possível identificar as consequências das fases quente/fria para o leste da Amazônia e litoral norte brasileiro, os quais durante a fase positiva/negativa do dipolo apresentam diminuição/aumento dos índices pluviométricos, pois na fase quente/fria existem movimentos descendentes/ascendentes que inibem/favorecem a formação de nuvens naquelas regiões.

Segundo De Souza (1997): “a manifestação do modo de Dipolo no Atlântico, agindo em conjunto com os padrões anômalos de pressão ao nível médio do mar (PNM) e vento superficial constituem os principais fatores dinâmicos e termodinâmicos que modulam a intensidade e o posicionamento da ZCIT no Atlântico Equatorial”.

Estudos acerca desse modo de variabilidade climática foram realizados para a Amazônia por cientistas como Moura e Shukla (1981) e por Souza et al (2000). Além da variabilidade climática de curto prazo (ENOS) há uma importante variabilidade oceânica de longo prazo que ocorre no Oceano Pacífico, a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), a qual foi descrita por Mantua et al (1997). Estas oscilações são mudanças nas circulações oceânicas de escala global, da ordem de décadas que persistem por 20 a 30 anos, apresentando duas fases: a fase fria, a qual é caracterizada por anomalias negativas de Temperatura na Superfície do Mar (TSM) no Pacífico Tropical e, simultaneamente, anomalias de TSM positivas no Pacífico Extratropical. Por outro lado, a fase quente apresenta anomalias de TSM positivas no Pacífico Tropical e negativas no Pacífico Extratropical, sendo que as duas últimas fases quentes ocorreram nos períodos de 1925-1946 e 1977-1998. Atualmente a ODP encontra-se em sua fase fria, a qual teve início no ano de 1999. Estudos realizados por Sousa et al. (2008) acerca da influência da ODP sobre a costa leste do NEB, concluíram que esta região sofre grande influencia da ODP, os quais observaram uma redução nos totais anuais, mensais, desvio padrão anual no período e até nos dias chuvosos na fase fria em relação à fase quente da ODP. Já para a Amazônia Oriental, estudos realizados por Oliveira et al (2005) mostraram que, durante a última fase fria da ODP, embora reduzidos de cerca de 15% em média, os totais pluviométricos foram mais bem distribuídos ao longo do ciclo anual e a frequência de anos de secas severas menor que no período 1977 a 1998.

Em última análise acerca das variabilidades climáticas naturais de curto (ENOS) e longo prazo (ODP) que ocorrem no Oceano Pacífico, a que se considerar que estas podem interagir em conjunto, conforme reportado por Molion (2005), o qual observou uma maior frequência e intensidade dos episódios de eventos de La Niña entre os anos de 1947-1976 e nos episódios de eventos de El Niño entre os anos de 1977-1998, períodos em que ocorreu uma fase fria/fase quente da ODP, respectivamente, assim como uma redução/aumento na temperatura média global durante aqueles períodos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DADOS

Neste trabalho utilizam-se dois conjuntos de dados. Um conjunto contendo dados **diários** sobre o Estado do Pará e outro conjunto contendo dados **mensais** cobrindo a região da Amazônia oriental.

O conjunto de dados diários de precipitação pluviométrica e de temperatura do ar, máxima e mínima, é derivado da rede de estações convencionais pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponíveis para o período variável de 1961 a 2007. Estes dados compreendem os registros de precipitação, temperatura máxima e mínima extraídas de 8 estações meteorológicas convencionais (Tabela 1) para o Estado do Pará, nos quais foram aplicados a metodologia estatística de detecção de índices extremos com base no software RCLimdex.

Tabela 1 – Listagem das estações meteorológicas convencionais do INMET contendo dados diários de precipitação e temperatura máxima e mínima

Estação convencional do INMET	Lat.	Lon.	Ano inicial	Ano final
Belém	1°27'S	48°30'W	1961	2007
Belterra	2°38'S	54°56'W	1972	2006
Breves	1°40'S	50°28'W	1969	1999
Cametá	2°14'S	49°29'W	1971	2005
Marabá	5°22'S	49°07'W	1973	2006
Monte Alegre	2°00'S	54°04'W	1975	2006
Soure	0°43'S	48°31'W	1961	2005
Tucuruí	3°45'S	49°40'W	1971	2003

Usa-se também o conjunto de dados mensais de precipitação pluviométrica, o qual foi compilado a partir do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), cuja rede hidrometeorológica observacional é operada na Amazônia em conjunto com a Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM) e Centrais Elétricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE). Os dados pluviométricos da ANA foram juntados com os dados do

INMET para formar um novo conjunto de dados integrados de precipitação da Amazônia oriental, que faz parte do Projeto da Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará – RPCH (DE SOUZA et al 2007). Com a finalidade de checar a consistência dos dados e verificar a presença de dados errados ou faltantes, os mesmos foram submetidos a procedimentos de controle de qualidade, que segundo descritos em Lopes (2009) e De Souza et al (2009), foram realizados de acordo com os critérios apresentados em Higgins et al (2000), empregando-se técnicas que permitiram rejeitar as informações que continham erros ou que não constavam, levando-se em consideração o desvio padrão superior a três vezes o valor médio. A partir desse controle de qualidades foram selecionadas apenas as estações contendo menos do que 5% de dados mensais faltantes. Essas eventuais falhas foram preenchidas por interpolação de dados das estações vizinhas. Empregou-se a interpolação espacial (utilizando o método do inverso das distâncias ao quadrado) dos dados coletados de estações meteorológicas/hidrometeorológicas para uma grade regular com resolução de 0.27° latitude \times 0.27° longitude. Ao final foram selecionadas 134 estações pluviométricas com observações mensais entre os anos de 1972 e 2009, cujas localizações encontram-se na Figura 2.

Ressalta-se que algumas áreas do noroeste e sul do Pará, onde há topografia relativamente acentuada, condições de difícil acesso e/ou com reservas indígenas, a densidade de estações é relativamente mais baixa. Percebe-se ainda no mapa das estações, outra característica da rede observacional da Amazônia, que é a localização das estações preferencialmente ao longo dos rios e estradas.

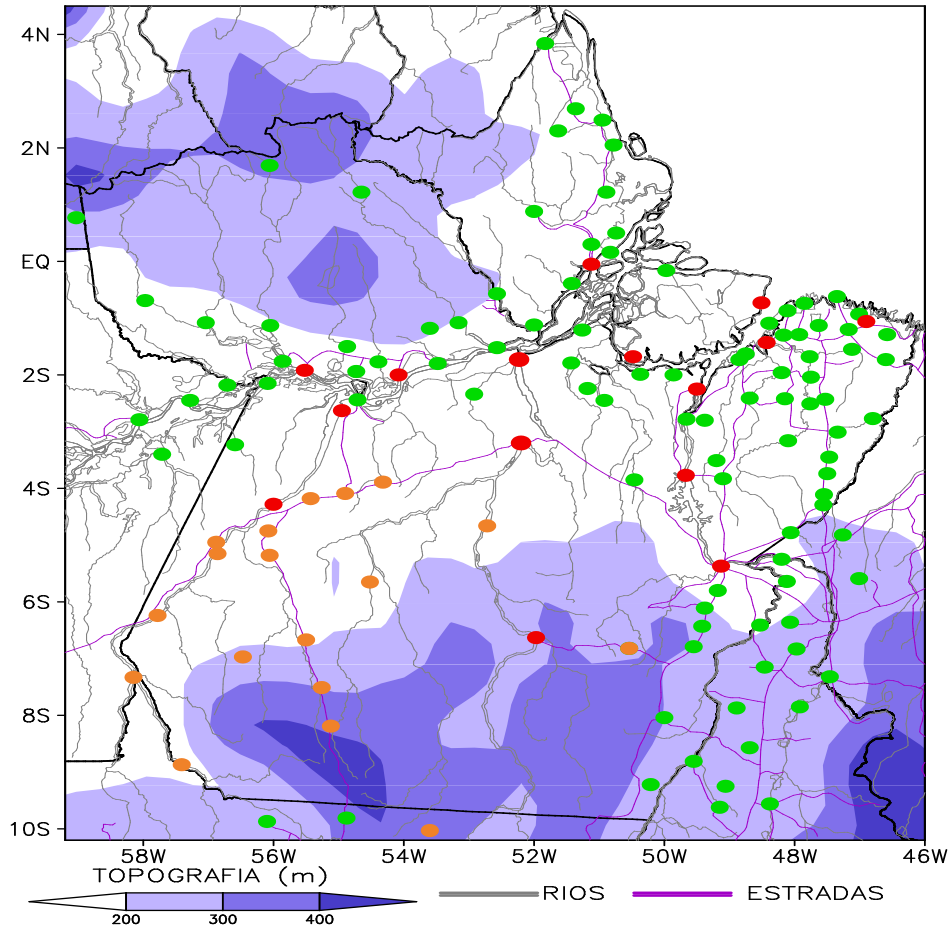


Figura 2. Mapa de localização das estações (círculos) pluviométricas integradas sobre a Amazônia oriental, com o destaque da topografia, rios e estradas no mapa de fundo.

A Tabela 2 mostra a listagem das estações, com os detalhes de cada uma, ou seja, nome da estação, numeração, localização geográfica, anos iniciais e finais das séries de dados e a instituição fonte. Com base nessa série de estações, foi empregada a metodologia estatística de detecção das tendências anuais e sazonais sobre a Amazônia oriental, nas quais se usou a numeração das estações de 1 a 134 para descrever as análises dos mapas espaciais. Sendo que das 134 estações, 5 estações (3,7%) apresentam uma amostragem de até 20 anos, 19 estações (14, 2%) apresentam uma amostragem de até 25 anos, 49 estações (36, 6%) apresentam uma amostragem de até 30 anos, 32 estações (23, 9%) apresentam uma amostragem de até 35 anos e 29 estações (21, 6%) apresentam uma amostragem a partir de 36 anos. A Figura 3 também ilustra a numeração de cada estação no mapa de localização sobre a Amazônia oriental.

Tabela 2 – Listagem das estações pluviométricas sobre a Amazônia oriental com o nome, número, coordenadas de latitude e longitude, ano inicial e final com respectivo período da amostra e instituição fonte.

Nome da Estação	Nº	Lon	Lat	Ano Inicial	Ano Final	Amostra	Fonte
Abaetetuba	1	-48,85	-1,73	1981	2009	29	CPRM
Abreulândia	2	-49,15	-9,62	1974	2009	36	CPRM
Acampamento IBDF	3	-51,43	-1,79	1981	2009	29	CPRM
Acará	4	-48,20	-1,96	1981	2009	29	CPRM
Aldeia Wai-Wai	5	-57,97	-0,69	1978	2009	32	CPRM
Alenquer	6	-54,73	-1,94	1990	2009	20	CPRM
Almeirim	7	-52,57	-1,52	1983	2009	27	CPRM
Alta Floresta	8	-56,10	-9,87	1979	2009	31	CPRM
Amapá	9	-50,78	2,05	1978	2009	32	CPRM
Ananás	10	-48,07	-6,36	1975	2009	35	CPRM
Apalai	11	-54,65	1,22	1981	2009	29	CPRM
Aporema	12	-50,89	1,22	1976	2009	34	CPRM
Araguacema	13	-49,55	-8,81	1974	2009	36	CPRM
Araguatins	14	-48,12	-5,64	1975	2009	35	CPRM
Arapari	15	-54,39	-1,77	1973	2009	37	CPRM
Areias	16	-51,26	-1,21	1982	2009	28	CPRM
Badajós	17	-47,76	-2,51	1973	2009	37	CPRM
Baião	18	-49,66	-2,78	1984	2009	26	CPRM
Barra São Manuel	19	-58,15	-7,33	1976	2009	34	ELETRONORTE
Barreira do Campo	20	-50,21	-9,22	1978	2009	32	CPRM
Barreirinha	21	-58,06	-2,79	1983	2009	27	CPRM
Belém	22	-48,43	-1,43	1973	2009	37	INMET
Belterra	23	-54,95	-2,63	1973	2009	37	INMET
Boca do Inferno	24	-54,87	-1,50	1976	2009	34	CPRM
Breves	25	-50,48	-1,68	1973	2009	37	INMET
Buritirama	26	-47,01	-5,59	1982	2009	28	CPRM
Cachimbo	27	-54,88	-9,81	1985	2009	25	CPRM
Cachoeira da Porteira	28	-57,04	-1,08	1976	2009	34	CPRM
Cachoeira Tramcabeua	29	-49,20	-3,51	1983	2009	27	CPRM
Cafezal	30	-46,80	-2,77	1985	2009	25	CPRM
Cajueiro	31	-54,52	-5,65	1976	2009	34	ELETRONORTE
Calçoene	32	-50,95	2,49	1975	2009	35	CPRM
Cametá	33	-49,50	-2,25	1973	2009	37	INMET
Capanema	34	-47,17	-1,20	1973	2009	37	CPRM
Carmo	35	-50,74	0,50	1985	2009	25	CPRM
Carolina	36	-47,46	-7,32	1973	2009	37	CPRM
Castanhal	37	-47,93	-1,29	1973	2009	37	CPRM
Chaves	38	-49,97	-0,16	1978	2009	32	CPRM
Colônia	39	-48,89	-7,87	1974	2009	36	CPRM
Cunani	40	-51,36	2,69	1984	2009	26	CPRM
Cupari	41	-55,43	-4,18	1978	2009	32	ELETRONORTE
Curuçá	42	-47,85	-0,74	1980	2009	30	CPRM
Dois Irmãos	43	-49,06	-9,25	1974	2009	36	CPRM
Eldorado	44	-49,38	-6,11	1986	2009	24	CPRM
Emborai	45	-46,58	-1,29	1986	2009	24	CPRM
Faz. Bela Vista	46	-53,16	-1,08	1985	2009	25	CPRM
Faz. Caçara	47	-50,54	-6,82	1985	2009	25	CPRM
Faz. Estrela do Norte	48	-50,46	-3,85	1978	2009	32	CPRM
Faz. Jauará	49	-47,75	-2,04	1983	2009	27	CPRM
Faz. Maringá	50	-48,10	-3,16	1983	2009	27	CPRM

(continuação)

Nome da Estação	N°	Lon	Lat	Ano Inicial	Ano Final	Amostra	Fonte
Faz. Planalto	51	-47,47	-3,45	1982	2009	28	CPRM
Faz. Santa Elisa	52	-49,55	-6,79	1984	2009	26	CPRM
Faz. São Raimundo	53	-47,53	-2,43	1983	2009	27	CPRM
Faz. Sta. Emília	54	-53,60	-10,53	1977	2009	33	ELETRONORTE
Faz. Surubim	55	-49,42	-6,43	1984	2009	26	CPRM
Faz. Urucure	56	-48,69	-2,41	1982	2009	28	CPRM
Garimpo do Patrocínio	57	-56,47	-6,97	1986	2009	24	ELETRONORTE
Goianesia	58	-49,10	-3,83	1985	2009	25	CPRM
Guariba	59	-56,59	-3,23	1986	2009	24	CPRM
Gurupizinho	60	-47,50	-3,74	1981	2009	29	CPRM
Igarapé-Açu	61	-47,63	-1,13	1980	2009	30	CPRM
Irapuru	62	-50,92	-2,45	1986	2009	24	CPRM
Itaituba	63	-56,00	-4,28	1975	2009	35	INMET
Itapeuá do Pará	64	-52,92	-2,34	1986	2009	24	CPRM
Itaporã	65	-48,69	-8,57	1974	2009	36	CPRM
Itaubal	66	-50,83	0,16	1985	2009	25	CPRM
Jacareacanga	67	-57,78	-6,24	1982	2009	28	ELETRONORTE
Jarilândia	68	-52,00	-1,12	1981	2009	29	CPRM
Jatobá	69	-56,86	-5,15	1973	2009	37	ELETRONORTE
Jurutí	70	-56,09	-2,15	1984	2009	26	CPRM
Km 1027 Br - 163	71	-55,26	-7,51	1982	2009	28	ELETRONORTE
Km 1130 Br - 163	72	-55,50	-6,67	1987	2009	23	ELETRONORTE
Km 1326 Br - 163	73	-56,06	-5,18	1980	2009	30	ELETRONORTE
Km 1342 Transamazônica	74	-56,88	-4,95	1990	2009	20	ELETRONORTE
Km 1385 Br - 163	75	-56,08	-4,75	1980	2009	30	ELETRONORTE
Km 60 PA - 150	76	-49,18	-5,80	1988	2009	22	CPRM
Km 947 Br - 163	77	-55,12	-8,19	1978	2009	32	ELETRONORTE
Km Zero PA - 70	78	-47,56	-4,29	1982	2009	28	CPRM
Kuxaré	79	-56,06	1,69	1978	2009	32	CPRM
Ligação do Pará	80	-47,55	-4,11	1990	2009	20	CPRM
Lourenço	81	-51,63	2,30	1990	2009	20	CPRM
Macapá	82	-51,12	-0,05	1973	2009	37	INMET
Marabá	83	-49,13	-5,37	1973	2009	37	INMET
Maracacuera Florestal	84	-51,18	-2,24	1978	2009	32	CPRM
Maués	85	-57,71	-3,40	1981	2009	29	CPRM
Miracema	86	-48,38	-9,56	1973	2009	37	CPRM
Monte Alegre	87	-54,08	-2,00	1975	2009	35	INMET
Monte Alegre do Xingu	88	-52,72	-4,66	1977	2009	33	ELETRONORTE
Mosqueiro	89	-48,39	-1,09	1983	2009	27	CPRM
Muricilândia	90	-48,46	-7,15	1975	2009	35	CPRM
Navio	91	-51,42	-0,39	1981	2009	29	CPRM
Nhamundá	92	-56,71	-2,18	1984	2009	26	CPRM
Obidos	93	-55,52	-1,92	1973	2009	37	INMET
Oeiras do Pará	94	-49,86	-2,00	1983	2009	27	CPRM
Oiapoque	95	-51,83	3,84	1981	2009	29	CPRM
Oriximina	96	-55,86	-1,76	1973	2009	37	CPRM
Ourém	97	-47,12	-1,55	1988	2009	22	CPRM
Palmeirante	98	-47,92	-7,85	1984	2009	26	CPRM
Paragominas	99	-47,34	-3,01	1982	2009	28	CPRM
Parintins (Mocambo)	100	-57,28	-2,45	1989	2009	21	CPRM

(conclusão)

Nome da Estação	Nº	Lon	Lat	Ano Inicial	Ano Final	Amostra	Fonte
Porto Ariri	101	-51,12	0,30	1985	2009	25	CPRM
Prainha	102	-53,48	-1,80	1981	2009	29	CPRM
Primavera	103	-47,01	-0,93	1981	2009	29	CPRM
Proj. Tucumã	104	-50,54	-6,82	1983	2009	27	ELETRONORTE
Redenção	105	-50,00	-8,04	1983	2009	27	CPRM
Reta Km32	106	-47,26	-4,82	1985	2009	25	CPRM
Rondon do Pará	107	-48,06	-4,78	1979	2009	31	CPRM
Ruropolis Pte. Medici	108	-54,90	-4,09	1983	2009	27	ELETRONORTE
S. Sebastião do TO	109	-48,20	-5,25	1984	2009	26	CPRM
Salinópolis	110	-47,35	-0,62	1978	2009	32	CPRM
Santa Cruz	111	-53,60	-1,18	1983	2009	27	CPRM
Santa Isabel do Pará	112	-48,17	-1,30	1973	2009	37	CPRM
Santarém	113	-54,71	-2,44	1973	2009	37	CPRM
São Domingos do Capim	114	-47,77	-1,68	1976	2009	34	CPRM
São Felix do Xingu	115	-51,97	-6,63	1973	2009	37	INMET
São Francisco	116	-52,57	-0,57	1973	2009	37	CPRM
Serra Navio	117	-52,00	0,88	1973	2009	37	CPRM
Sítio São Pedro	118	-54,32	-3,89	1978	2009	32	ELETRONORTE
Sítio Sta. Maria	119	-59,03	0,77	1990	2009	20	CPRM
Soure	120	-48,51	-0,73	1976	2009	34	INMET
Sta. Rosa	121	-57,41	-8,87	1982	2009	28	ELETRONORTE
Tararua-Ponte	122	-46,60	-1,73	1973	2009	37	CPRM
Tomé-Açu	123	-48,15	-2,42	1984	2009	26	CPRM
Tracuateua	124	-46,90	-1,06	1973	2009	37	INMET
Tucuruí	125	-49,67	-3,77	1973	2009	37	INMET
Vigia	126	-48,11	-0,87	1982	2009	28	CPRM
Vila do Conde	127	-48,75	-1,63	1981	2009	29	CPRM
Vila Elim	128	-49,38	-2,80	1981	2009	29	CPRM
Vila São Benedito	129	-50,37	-1,99	1983	2009	27	CPRM
Vista Alegre Conj. 2	130	-56,05	-1,13	1978	2009	32	CPRM
Wanderlândia	131	-47,97	-6,83	1974	2009	36	CPRM
Xambioá	132	-48,53	-6,41	1973	2009	37	CPRM
Altamira	133	-52,20	-3,20	1973	2009	37	INMET
Porto de Moz	134	-52,23	-1,73	1978	2009	32	INMET

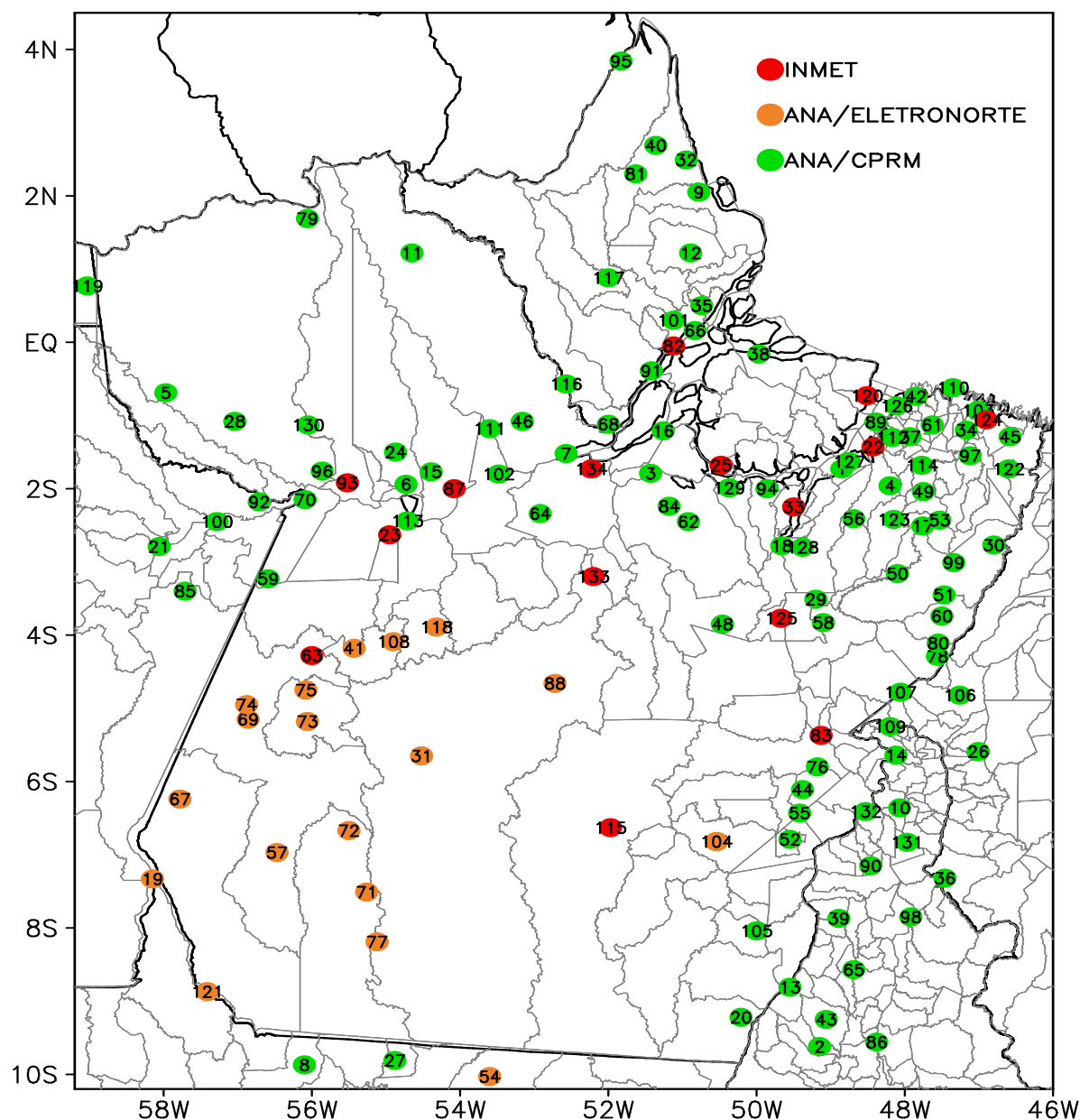


Figura 3. Mapa de localização das estações pluviométricas integradas sobre a Amazônia oriental. Os círculos em cores diferenciadas indicam a instituição fonte da estação, conforme legenda no canto superior. A numeração de 1 a 134 corresponde ao número de cada estação, conforme listagem detalhada na Tabela 2. As linhas cinza mostram os limites dos municípios.

Além dos dados observacionais mencionados acima, utilizam-se também os dados de desmatamento correspondentes ao período de 2000 a 2008 do Programa de Monitoramento do Desmatamento Através de Sensoriamento Remoto (PRODES) realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com a finalidade de se averiguar uma possível relação entre o aumento do desmatamento no Pará e a conseqüente tendência de aumento ou redução da precipitação na região.

3.2 MÉTODOS ESTATÍSTICOS

3.2.1 O software RClindex

A metodologia estatística de detecção dos índices de extremos climáticos é baseada no software RClindex, desenvolvido por Zhang e Yang (2004), conforme definições do *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETC-CDMI) e recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM). Através dessa ferramenta empregou-se o cálculo de 12 índices de extremos climáticos, dos quais 4 referem-se aos dados de precipitação e 8 índices aos dados de temperatura. Para o cálculo desses índices, através do RClindex, é necessário dispor de dados diários. Assim sendo, tais índices foram obtidos com base somente nos dados diários de precipitação e temperatura máxima e mínima das 9 estações do INMET (Tabela 1). Para a utilização deste software foi necessário a instalação do software estatístico computacional RClindex. A execução do RClindex requer inicialmente a realização de um controle de qualidade (CQ) dos dados diários, cujos procedimentos consistem de: (1) dispor os dados em arquivo de texto ASCII, composto de seis colunas correspondentes ao ano, mês, dia, precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima (separados por um ou mais espaços) e em ordem cronológica; (2) os dados faltantes são codificados como -99.9.

As Tabelas 3 e 4 mostram os detalhes do índices de extremos climáticos referentes aos dados de precipitação e temperatura, respectivamente, com as informações de sigla, nome, definição e unidade. Optou-se por manter as siglas em inglês em cada índice, para efeito de comparação com os trabalhos anteriores.

Tabela 3 – Índices de extremos climáticos obtidos pelo RCLimindex relacionados aos dados diários de precipitação.

Sigla	Nome do Índice	Definição	Unidade
CDD	Dias secos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos com $RR < 1\text{mm}$	dias
CWD	Dias chuvosos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos com $RR > 1\text{mm}$	dias
R95p	Dias muito chuvosos	Prcp anual total em que $RR > 95$ percentil	mm
R99p	Dias extremamente chuvosos	Prcp anual total em que $RR > 99$ percentil	mm

Tabela 4 – Índices de extremos climáticos obtidos pelo RCLimindex relacionados aos dados diários de temperatura máxima e mínima.

Sigla	Nome do Índice	Definição	Unidade
Tn10p	Noites Frias	Porcentagem de dias quando $T_n < 10$ percentil	%
Tx10p	Dias Frios	Porcentagem de dias quando $T_x < 10$ percentil	%
Tn90p	Noites Quentes	Porcentagem de dias quando $T_n > 90$ percentil	%
Tx90p	Dias Quentes	Porcentagem de dias quando $T_x > 90$ percentil	%
TXn	Temperatura mínima da máxima	Valor mensal mínimo de T_x diária	°C
TXx	Temperatura máxima da máxima	Valor mensal máxima de T_x diária	°C
TNn	Temperatura mínima da mínima	Valor mensal mínimo de T_n diária	°C
TNx	Temperatura máxima da mínima	Valor mensal máxima de T_n diária	°C

As definições e fórmulas estatísticas usadas nos cálculos de cada índice são mencionadas abaixo.

Dias secos consecutivos (**CDD**): Seja RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i do período j . O índice CDD indica o número de dias consecutivos em que a precipitação foi inferior a 1 mm no período j .

Dias úmidos consecutivos (**CWD**): Seja RR_{ij} a quantidade de precipitação diária no dia i do período j . O índice CWD indica o número de dias consecutivos em que a precipitação foi superior ou igual a 1 mm no período j .

Dias muito úmidos (**R95p**): Considerando que RR_{wj} é a quantidade de precipitação diária em um dia chuvoso w (com $RR \geq 1.0$ mm) no período j e RR_{wn95} é o percentil 95 da precipitação em dias úmidos representativo de todo o período de anos da série de dados. Então, se W representa o número de dias chuvosos, logo:

$$R95p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \quad \text{onde} \quad RR_{wj} > RR_{wn95}$$

Dias extremamente úmidos (**R99p**): Considerando que RR_{wj} é a quantidade de precipitação diária em um dia úmido w (com $RR \geq 1.0$ mm) no período j e RR_{wn99} é o percentil 99 da precipitação em dias úmidos representativo de todo o período de anos da série de dados. Então, se W representa o número de dias chuvosos, logo:

$$R99p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \quad \text{onde} \quad RR_{wj} > RR_{wn99}$$

Noites frias (**Tn10p**): Considerando que Tn_{ij} é a temperatura mínima no dia i e período j e sendo Tn_{in10} o percentil 10 centrado numa média de 5 dias, logo a percentagem do tempo é determinada tal que $Tn_{ij} < Tn_{in10}$

Dias frios (**Tx10p**): Considerando que Tx_{ij} é a temperatura máxima no dia i e período j e sendo Tx_{in10} o percentil 10 centrado numa média de 5 dias, logo a percentagem do tempo é determinada tal que $Tx_{ij} < Tx_{in10}$

Noites quentes (**Tn90p**): Considerando que Tn_{ij} é a temperatura mínima no dia i e período j e sendo Tn_{in90} o percentil 90 centrado numa média de 5 dias, logo a percentagem do tempo é determinada tal que $Tn_{ij} < Tn_{in90}$

Dias quentes (**Tx90p**): Considerando que Tx_{ij} é a temperatura máxima no dia i e período j e sendo Tx_{in90} o percentil 90 centrado numa média de 5 dias, logo a percentagem do tempo é determinada tal que $Tx_{ij} < Tx_{in90}$

Temperatura Máxima da Máxima (**TXX**): Seja $T_{x_{kj}}$ a temperatura máxima diária no mês k e no período j . A máxima temperatura da máxima diária de cada mês é $TX_{x_{kj}} = \max(T_{x_{kj}})$

Temperatura Máxima da Mínima (**TNX**): Seja $T_{n_{kj}}$ a temperatura mínima diária no mês k , período j . A máxima temperatura da mínima diária de cada mês é $TN_{x_{kj}} = \max(T_{n_{kj}})$

Temperatura Mínima da Máxima (**TXN**): Seja $T_{x_{kj}}$ a temperatura máxima diária no mês k , período j . A mínima temperatura da máxima diária de cada mês é $TX_{n_{kj}} = \min(T_{x_{kj}})$

Temperatura Mínima da Mínima (**TNN**): Seja $T_{n_{kj}}$ a temperatura da mínima diária no mês k , período j . A mínima temperatura da mínima diária em cada mês é $TN_{n_{kj}} = \min(T_{n_{kj}})$

3.2.2 Métodos não-paramétricos (Teste Mann-Kendall e Método de Sen)

A metodologia estatística de detecção das tendências anuais e sazonais nos dados de precipitação das estações sobre a Amazônia oriental é baseada no teste não-paramétrico de Mann-Kendall que descreve a tendência de uma série temporal de dados e é adequado para casos em que a tendência pode ser assumida como sendo monotônica e, portanto, não sazonal ou referente a qualquer outro ciclo presente nos dados. O teste de Mann-Kendall, proposto inicialmente por Sneyers (1975), considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples). Goossens e Berger (1986) afirmam que 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.

A seguir, apresenta-se uma breve descrição do teste não-paramétrico de Mann-Kendall e do Método de Sen, conforme formulações de Gilbert (1987) e Saimi et al (2002).

O teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall é aplicável nos casos em que os valores dos dados x_i de uma série temporal pode ser assumido da seguinte forma:

$$x_i = f(t_i) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Sendo $f(t)$ é uma função temporal contínua monotônica crescente ou decrescente e o resíduo ε_i possui a mesma distribuição com média zero, assumindo que a variância da distribuição é constante no tempo.

Queremos 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. Neste caso, usa-se o teste estatístico S para as séries temporais contendo menos de 10 amostras e a aproximação normal (teste estatístico Z) para séries contendo amostras maiores do que 10 pontos.

O número de valores anuais ou sazonais da série de dados é denotado por n . São permitidos valores faltantes e, assim, n pode ser menor do que o número de anos da série temporal.

O teste estatístico S de Mann-Kendall é calculado através da seguinte fórmula:

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

Sendo x_j e x_k os valores anuais ou sazonais nos anos j e k , $j > k$, respectivamente, e

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{se } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{se } x_j - x_k < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Se n é menor do que 9, o valor absoluto de S é comparado diretamente com a distribuição teórica de S , determinada por Mann e Kendall (GILBERT, 1987). Utiliza-se um teste de significância bicaudal considerando quatro níveis de significância α : 0,1, 0,05, 0,01 e 0,001. Num determinado nível de probabilidade a hipótese H_0 é rejeitada em favor de H_1 se o valor absoluto de S for maior ou igual ao valor especificado de $S_{\alpha/2}$, sendo que $S_{\alpha/2}$ é o menor S que tem a probabilidade menor do que $\alpha/2$ a aparecer em caso de não tendência. Um valor positivo (negativo) de S indica um aumento (redução) da tendência.

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.

No caso de n ser maior que 10, utiliza-se a aproximação normal, ou seja, o teste Z . Neste caso, primeiro calcula-se a variância de S como:

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (4)$$

Sendo q o número de grupos vinculados e t_p é o número de valores de dados no grupo p^{th} . Os valores de S e $VAR(S)$ são usados para calcular o teste Z , da seguinte forma:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

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 de hipótese 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 $Z_{1-\alpha/2}$, sendo que $Z_{1-\alpha/2}$ é obtido da tabela de distribuição normal. Os níveis de significância α testados foram 0,001; 0,01; 0,05 e 0,1.

O método de Sen

A estimativa da magnitude das tendências é determinada pelo método desenvolvido por Sen (1968) e Hirsch et al (1982), o qual baseia-se na combinação de todas as possíveis inclinações da reta de tendência da série temporal. O método não-paramétrico de Sen é usado para estimar a inclinação verdadeira da tendência linear existente numa série temporal. Para isto usa-se a função:

$$f(t) = Q_t + B \quad (6)$$

Sendo Q a inclinação e B uma constante. Para se obter a inclinação Q , primeiro calculam-se as inclinações de todos os pares de dados:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad \text{sendo } j > k \quad (7)$$

Se existem n valores x_j na série temporal obtêm-se $N=n(n-1)/2$ estimativas de inclinação Q_i . Assim o método de Sen calcula a inclinação da tendência pela média destes N valores de Q_i , sendo que os N valores de Q_i são classificados do menor para o maior, tal que:

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

ou

$$Q = \frac{1}{2} (Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}) \quad \text{se } N \text{ é par} \quad (8)$$

O intervalo de confiança 100 (1- α)% sobre a estimativa da inclinação é obtido por técnica não-paramétrica baseada na distribuição normal. Neste caso, calcula-se o intervalo de confiança em dois níveis de significância estatística, $\alpha = 0,01$ e $\alpha = 0,05$. Inicialmente calcula-se:

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{VAR}(S)} \quad (9)$$

Sendo VAR (S) obtido pela equação (4) e $Z_{1-\alpha/2}$ obtido a partir da distribuição normal. A seguir, calcula-se $M_1 = (N-C_\alpha)/2$ e $M_2 = (N+C_\alpha)/2$. Os limites inferiores e superiores do intervalo de confiança, Q_{\min} e Q_{\max} , são o maior M_1^{th} e o maior $(M_2 + 1)^{\text{th}}$ de N inclinações ordenadas de Q_i . Se M_1 não é um número inteiro, o limite inferior é interpolado. Correspondentemente, se M_2 não é um número inteiro, o limite superior é interpolado. A estimativa de B na equação (6) é obtido pelos n valores das diferenças $x_i - Q_{t_i}$. A média desses valores proporciona uma estimativa de B, sendo que as estimativas para a constante B das linhas dos intervalos de confiança de 99% e 95% são calculadas por um procedimento similar.

4 RESULTADOS

4.1 ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS (RCLIMDEX)

Nesta secção apresentam-se os resultados obtidos pelo software RCLimdex concernente aos índices de extremos climáticos referentes aos dados diários de precipitação (índices CDD, CWD, R95p e R99p) e de temperatura máxima e mínima (índices TX10p, TN10p, TXN, TNN, TX90p, TN90p, TXX e TNX) para as 8 estações do INMET (Belém, Belterra, Breves, Cametá, Marabá, Monte Alegre, Soure e Tucuruí, mencionadas na Tabela 1).

As Tabelas 5 e 6 mostram os valores das tendências para os índices de extremos climáticos obtidos pelo RCLimdex com os dados diários de precipitação e temperatura, respectivamente. Ressalta-se que, uma vez que apenas o índice que representa os dias muito chuvosos (úmidos) (R95p) obteve significância estatística e apenas para a estação de Belém, serão apresentados os resultados de variabilidade de todos os índices referentes à precipitação para as 8 estações do INMET, conforme Tabela 5. Em seguida, apresentam-se os resultados de variabilidade dos índices referentes à temperatura apenas para as estações que obtiveram significância estatística, conforme Tabela 6.

Tabela 5 – Valores das tendências para os índices de extremos climáticos do RCLimdex referentes aos dados diários de precipitação. Valores em negrito indicam significância estatística ($\alpha < 0$).

	CDD	CWD	R95p	R99p
Belém	0,93	0,68	0,02	0,28
Belterra	0,08	0,49	0,28	0,83
Monte Alegre	0,81	0,08	0,66	0,91
Breves	0,33	0,07	0,47	0,41
Soure	0,08	0,60	0,22	0,49
Cametá	0,95	0,86	0,70	0,09
Marabá	0,17	0,59	0,21	0,09
Tucuruí	0,88	0,32	0,90	0,68

Tabela 6 – Valores das tendências para os índices de extremos climáticos do RCLimindex referentes aos dados diários de temperatura. Valores em negrito indicam significância estatística ($\alpha < 0$).

	Tx10	Tn10	TXn	TNn	Tx90	Tn90	TXx	Tnx
Belém	0,04	0,00	0,03	0,01	0,12	0,00	0,15	0,01
Belterra	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94	0,57
Monte Alegre	0,11	0,00	0,09	0,00	0,14	0,00	0,29	0,03
Breves	0,46	0,00	0,59	0,00	0,01	0,00	0,23	0,06
Soure	0,25	0,00	0,01	0,03	0,66	0,00	0,37	0,00
Cametá	0,18	0,33	0,14	0,03	0,02	0,01	0,88	0,15
Marabá	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tucuruí	0,15	0,00	0,10	0,00	0,12	0,00	0,74	0,00

4.1.1 Índices de Precipitação

A variabilidade dos índices de precipitação: CDD, CWD, R95p e R99p, oriundos do software RCLimindex, apresentaram-se moduladas pelos oceanos Pacífico e Atlântico, para alguns dos anos estudados. Os valores mais expressivos ou menos expressivos de CDD, por exemplo, estiveram concernentes com episódios de ENOS, tanto na sua fase quente (El Niño), quanto na sua fase fria (La Niña). Observou-se também, que em alguns casos ocorreram episódios de ENOS conjuntamente com a fase positiva ou negativa do Gradiente do Atlântico. E ainda que em alguns casos a variabilidade dos índices foi modulada apenas pelo Gradiente do Atlântico em sua fase quente ou em sua fase fria. Em seguida está à análise para cada índice individualmente e as associações com o ENOS e com o Gradiente do Atlântico.

Dias Secos Consecutivos (CDD)

A Figura 4 mostra as séries temporais do índice CDD para as estações do INMET. O CDD apresentou alta variabilidade para as estações de Monte Alegre, a qual foi a estação que apresentou os maiores valores com máximos acima dos 100 dias e mínimos em torno dos 20 dias. O ano mais expressivo para a estação de Monte Alegre (c) foi 1982 com valor de 112 dias e o ano menos expressivo foi 1993 com valor de 19 dias. Estes foram anos em que se configuraram episódios El Niño que exerce forte influência sobre a circulação geral da atmosfera, inibindo a precipitação em determinadas áreas da Amazônia oriental, sendo que além dos registros de um forte episódio El Niño no ano de 1982, o qual influenciou a quantidade de dias secos consecutivos naquela estação, houve também no mesmo período,

conjuntamente com o El Niño, o Gradiente do Atlântico em sua fase negativa. Por outro lado, ocorreu um El Niño mais fraco e prolongado no ano de 1993, justificando com isso aquela quantidade bastante reduzida de CDD para o ano de 1993, quando comparada ao número de CDD em que o ENOS em sua fase quente de 1982, se apresentou muito mais marcante.

Seguida da estação de Monte Alegre, as estações de Belterra (b), Marabá (g) e Soure (e) foram as que apresentaram altos valores de CDD, com máximos em torno ou superiores a 80 dias e mínimos em torno ou inferiores a 20 dias. Os anos mais expressivos/menos expressivos foram 2004/1985, 1982/1973, 1980/1977 com valores de 79/13 dias, 87/20 dias, 87/18 dias, para as estações de Belterra, Marabá e Soure, respectivamente. Também se observou que, o valor menos expressivo de CDD com 13 dias para o ano de 1985 para a estação de Belterra, pode está associado ao Gradiente Negativo do Atlântico Tropical, o qual produz chuvas acima da média com a presença de águas anormalmente quentes no Oceano Atlântico Sul, ou seja, os dias secos convectivos são reduzidos a partir da produção de chuvas acima da média.

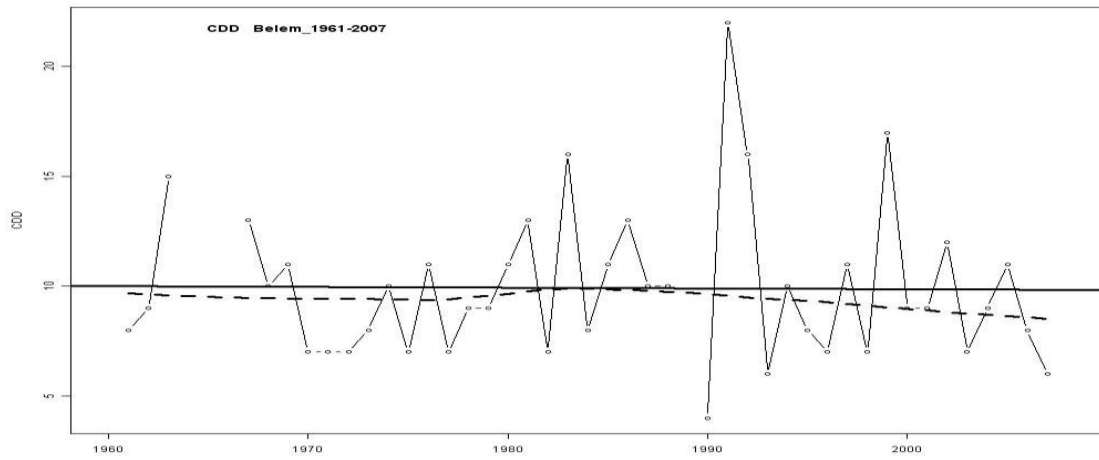
Observou-se ainda que o ano mais expressivo de CDD para a estação de Marabá foi o ano de 1982 com 87 dias, devendo-se, provavelmente, ao fato do oceano Pacífico ter apresentado naquele ano anomalias de TSM positiva, ou seja, as águas do oceano Pacífico Equatorial estavam mais aquecidas, o que representou um cenário desfavorável para a geração de chuva para aquele ano, induzindo assim a maior quantidade de dias secos consecutivos para o ano de 1982. Por outro lado, observou-se que apesar do cenário desfavorável do oceano Pacífico Equatorial, o oceano Atlântico Tropical apresentava um cenário favorável na produção de chuvas acima da média, uma vez que naquele ano, ocorreu simultaneamente a fase quente do ENOS, a fase fria do Gradiente do Atlântico Tropical, todavia a modulação do oceano Pacífico sobre a precipitação naquele ano foi predominante sobre o mecanismo de modulação do oceano Atlântico, possivelmente pelo fato da atuação do modo de variabilidade de longo prazo, Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), encontrar-se em sua fase quente, o que além de favorecer a inibição da precipitação, favoreceu no ano de 1982 a intensificação de um dos episódios mais fortes de El Niño de que se têm registros na história.

Já para o ano mais expressivo da quantidade de CDD para a estação de Soure, se observou, que os 87 dias de CDD ocorridos nos anos de 1980, foram influenciados pelo modo de variabilidade do oceano Atlântico Tropical, o qual estava em sua fase quente, portanto modulou a maior quantidade de dias secos consecutivos, uma vez que esse modo de variabilidade influencia a quantidade de precipitação sobre a Amazônia (MOURA; SHUKLA, 1981; SOUZA et al 2000).

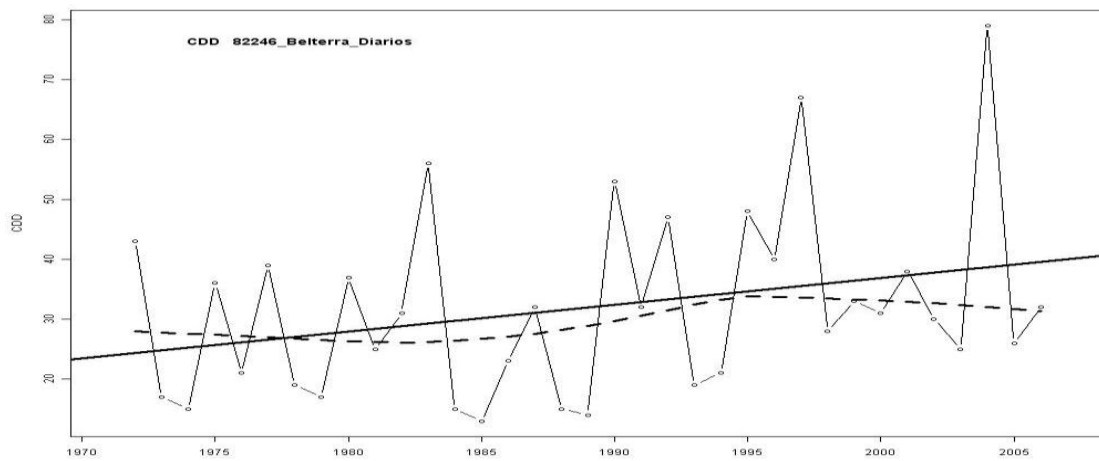
Já as estações de Breves (d), Tucuruí (h), Cametá (f) e Belém (a) foram as estações que apresentaram os valores menos expressivos de dias secos consecutivos, apontando máximos/mínimos nos anos de 1969/1971, 1972, 1976, 1977, 1982, 1979/1984, 1981, 1982/1983 e 1991/1990, com valores de 46/9 dias, 28/18, 35/9 e 22/4, respectivamente. Para estas estações se observou que os anos mais/menos expressivos de CDD ocorreram em anos de episódios El Niño/La Niña, associados em alguns casos com a fase quente do Gradiente do Atlântico Tropical e em alguns casos, associados com o a fase fria do Gradiente do Atlântico Tropical. Observou-se também, que em alguns casos os anos mais expressivos e menos expressivos ocorreram em anos de eventos extremos isolados no oceano Atlântico Tropical, como o Gradiente em sua fase quente ou em sua fase fria.

Para a estação de Breves o ano mais expressivo de CDD, ocorreu em 1969, ano este de ocorrência do Gradiente do oceano Atlântico Tropical, na sua fase quente, o qual provocou o déficit de precipitação para aquela estação. Já para a estação de Tucuruí os altos valores de CDD para o ano de 1977 esteve associado à fase quente do Gradiente do Atlântico Tropical e o ano menos expressivo ocorrido em 1984 esteve associado à fase fria do ENOS (La Niña) e a fase fria do Gradiente agindo, as quais agindo simultaneamente representaram, cenários favoráveis de precipitação naquele ano, e dessa forma menor quantidade de dias secos consecutivos. Para a estação de Cametá o ano mais/menos expressivo de CDD ocorridos em 1981/1983 esteve associado às fases quente/fria do Gradiente do Atlântico Tropical. E para a estação de Belém o ano mais expressivo do índice CDD ocorreu no ano de 1991, ano que apresentou cenários desfavoráveis de precipitação tanto no oceano Pacífico Equatorial quanto no oceano Atlântico Tropical, pois tanto o ENOS quanto o Gradiente estavam em sua fase quente, o que contribui para redução acentuada de precipitação e conseqüentemente para o aumento de dias secos consecutivos.

a) Belém



b) Belterra



c) Monte Alegre

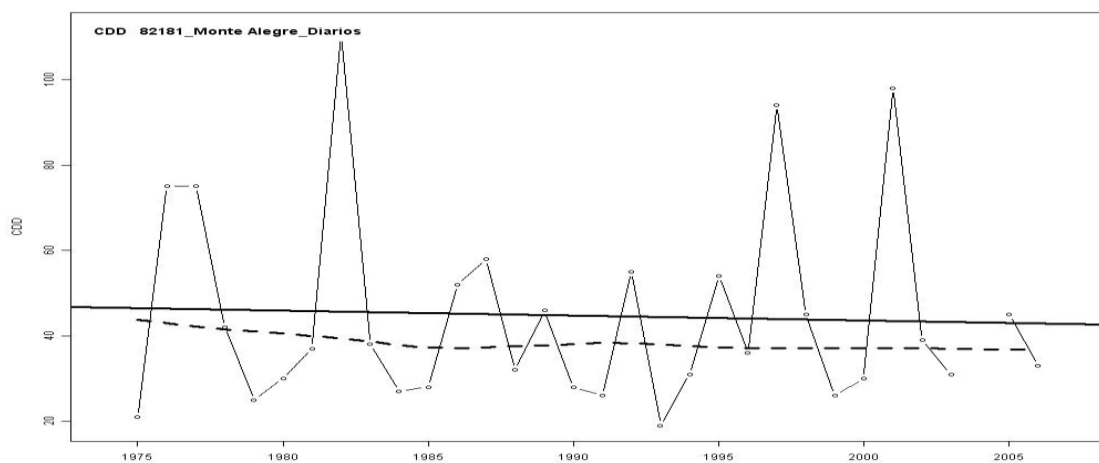
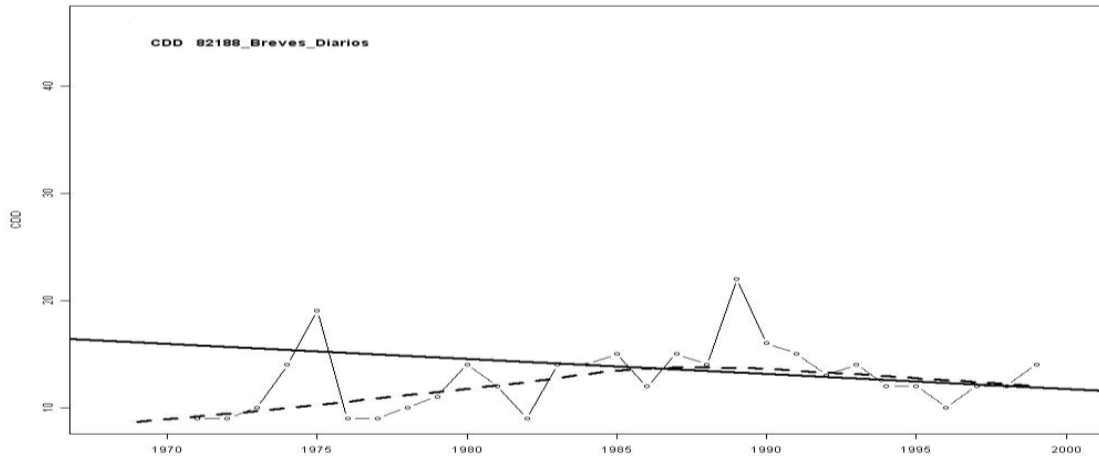
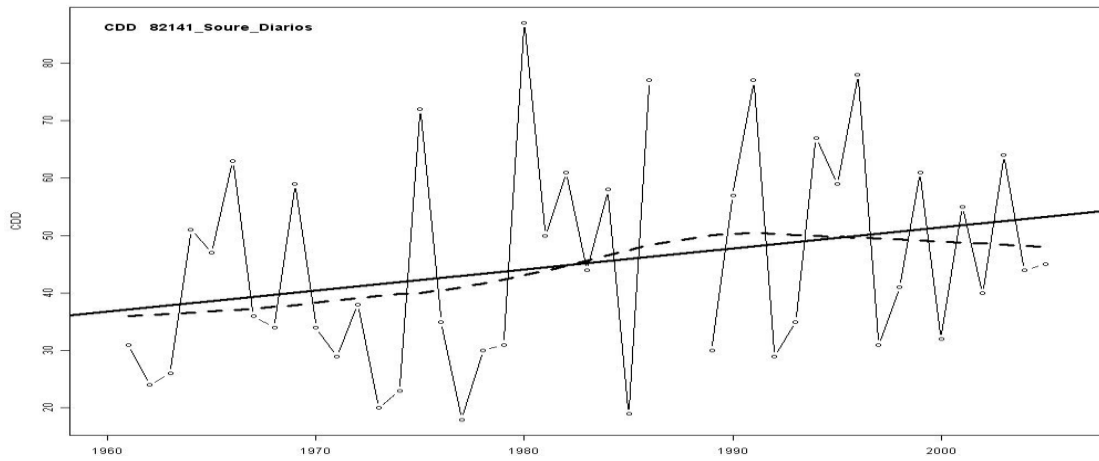


Figura 4 – Séries temporais do índice CDD para as 8 estações do INMET. Representando a linha sólida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.

d) Breves



e) Soure



f) Cametá

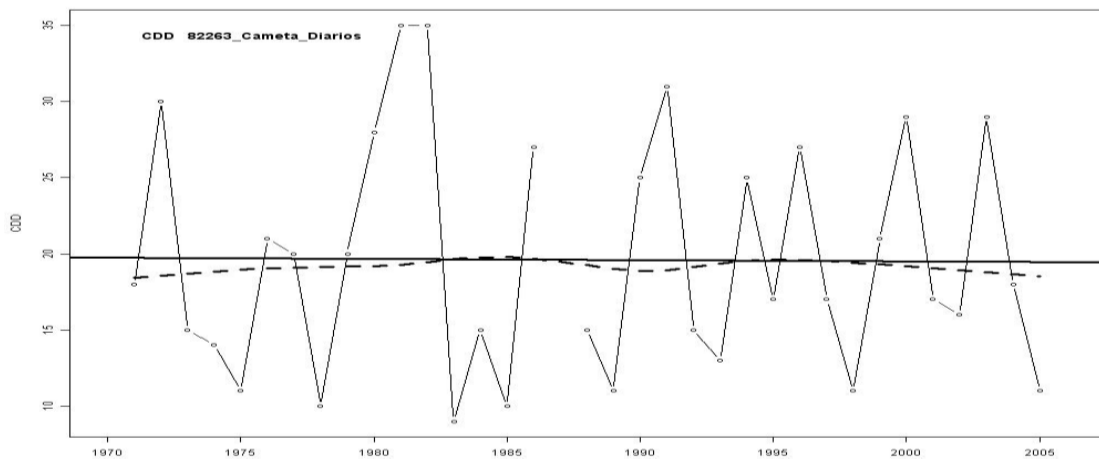
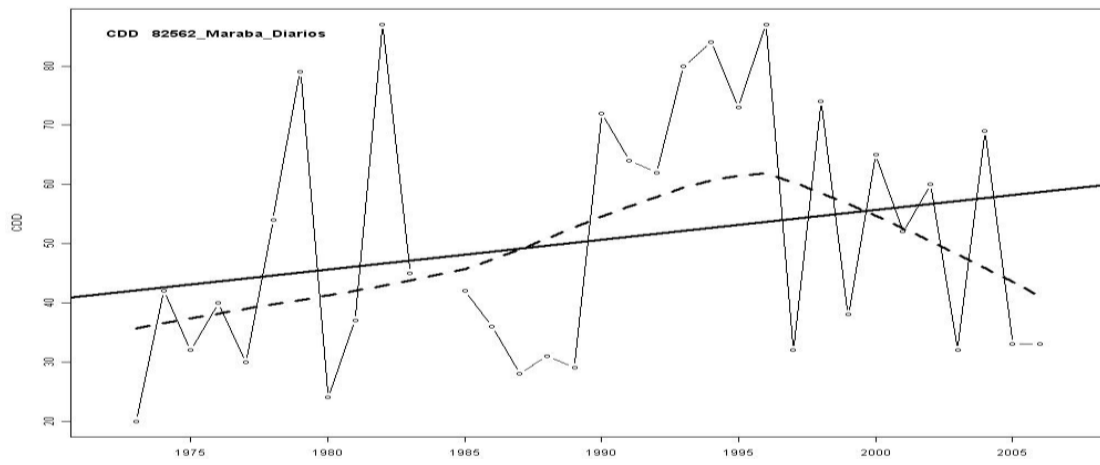


Figura 4 – CDD (continuação).

g) Marabá



h) Tucuruí

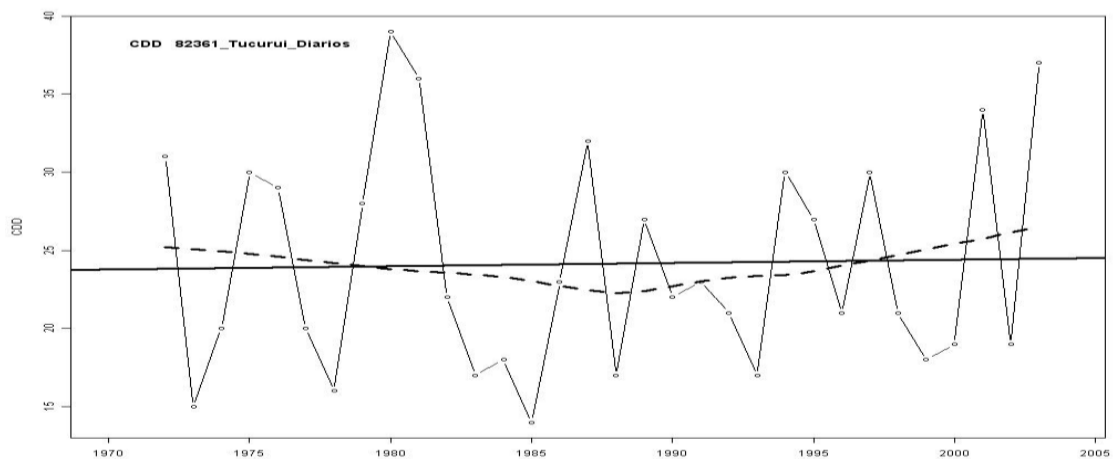


Figura 4 – CDD (continuação).

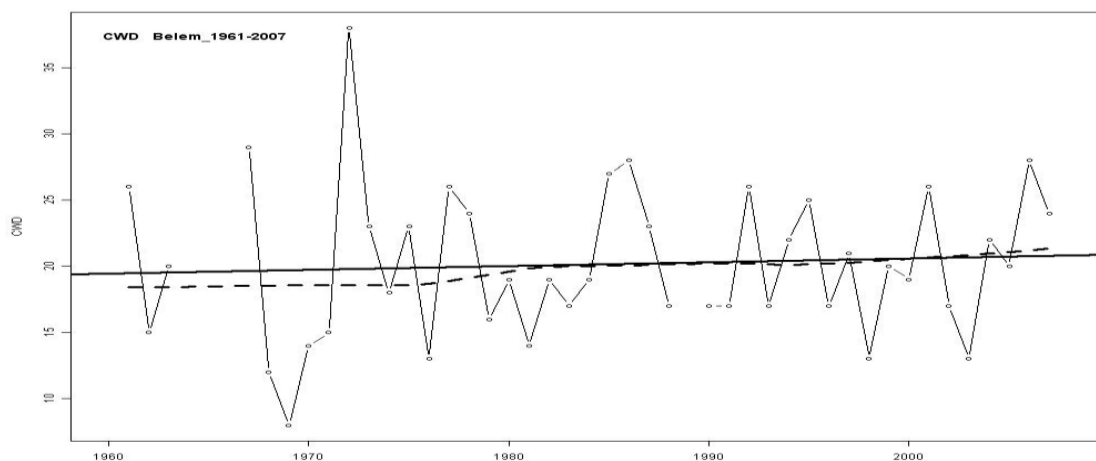
Dias Chuvosos Consecutivos (CWD)

A Figura 5 mostra as séries temporais do índice CWD para as estações do INMET. Inversamente ao CDD o índice CWD indica os dias chuvosos consecutivos. Observou-se que as estações de Belém (a), Belterra (b) e Monte Alegre (c), apresentaram valores mais/menos expressivos de CWD de 38/8 dias, 36/14 dias e 14/4 dias, respectivamente, e que esse valores ocorreram, nos de 1972/1969, 1992/1991 e 2001/1981.

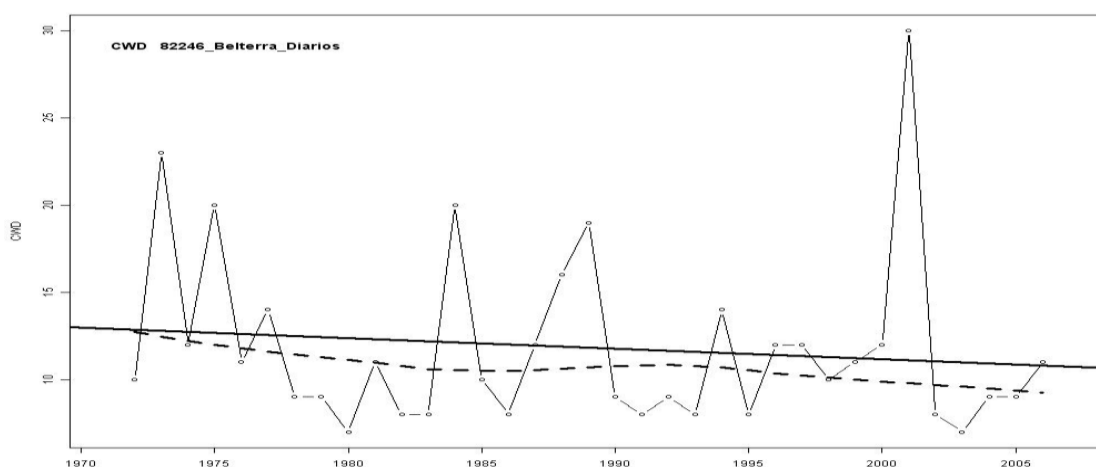
Observou-se ainda que os valores menos expressivos das estações de Belém e Monte Alegre ocorreram e anos de Gradiente do Atlântico Tropical na sua fase quente, o que pode está associado com os baixos valores de dias chuvosos consecutivos, uma vez que com a presença de águas anormalmente quentes no Oceano Atlântico Norte e águas anormalmente frias no Oceano Atlântico Sul, se configura um cenário desfavorável para a precipitação, ocorrendo assim redução de chuvas, ou seja, os dias chuvosos consecutivos são reduzidos a partir das anomalias de TSM positivas/negativas no oceano Atlântico Tropical Norte/Sul. Também para a estação de Belterra se observou que o valor menos expressivo ocorreu em ano da fase quente do ENOS, porém simultaneamente com a ocorrência do Gradiente em sua fase quente, o que configurou cenários desfavoráveis de precipitação tanto no oceano Pacífico quanto no oceano Atlântico. As estações de Breves (d), Soure (e) e Cametá (f), apresentaram valores mais/menos expressivos de CWD de 30/7 dias, 38/10 e 26/7 dias, nos anos de 2001/(1980,2003), 1978/1970 e 1974, (2004/1980), respectivamente. Observou-se que os valores menos expressivos de CWD para as estações de Breves e Cametá do ano de 1980, ocorreram em ano Gradiente do Atlântico na sua fase quente, o que pode ter influenciado na menor quantidade de dias chuvosos consecutivos para aquelas estações.

Já para as estações de Marabá (g) e Tucuruí (h), os valores mais/menos expressivos do índice CWD foram 18/14 dias e 33/7 dias, os anos de 1982/1992 e 1983/1990, respectivamente. Observou-se para a estação de Tucuruí que o ano mais expressivo de CWD, ocorreu em ano do Gradiente Negativo do Atlântico Tropical, o qual produz chuvas acima da média com a presença de águas anormalmente quentes no Oceano Atlântico Sul, ou seja, ocorreu aumento dos dias chuvosos consecutivos a partir da produção de chuvas acima da média para aquele ano.

a) Belém



b) Belterra



c) Monte Alegre

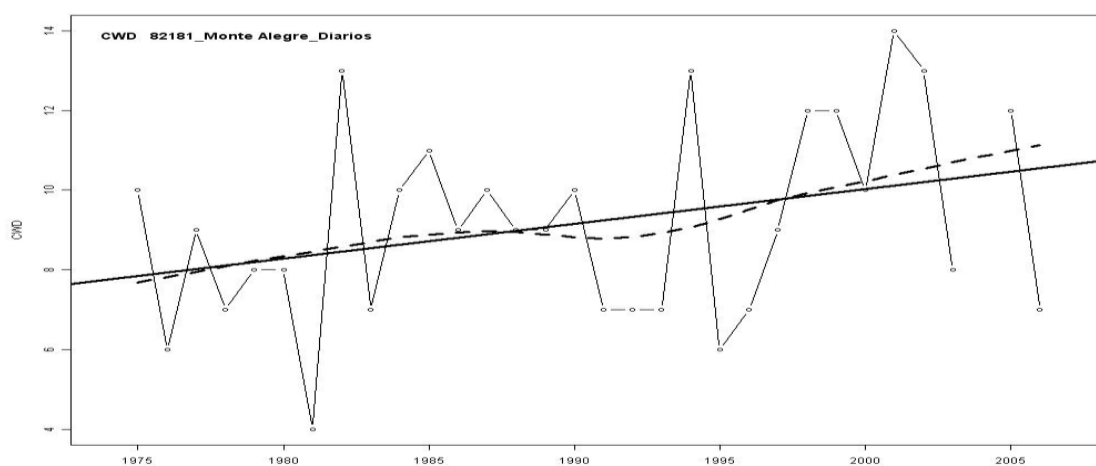
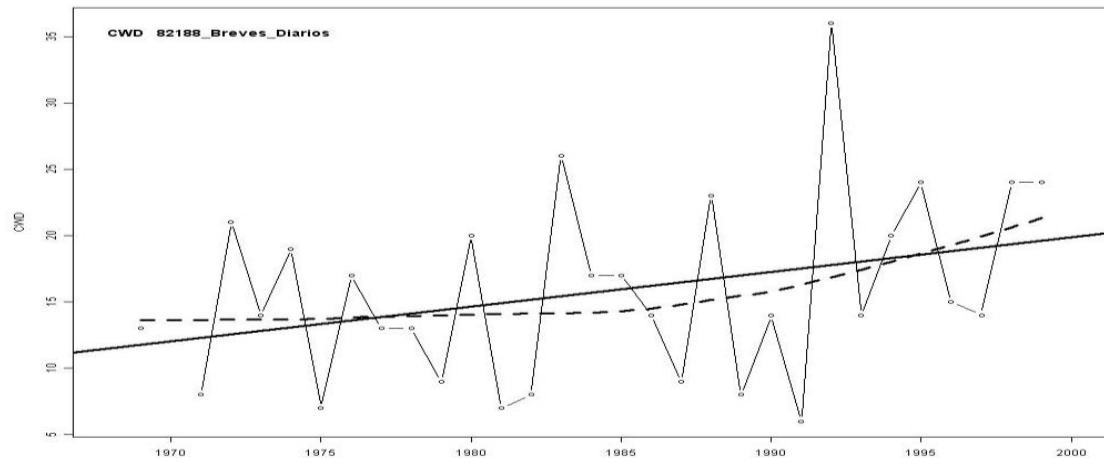
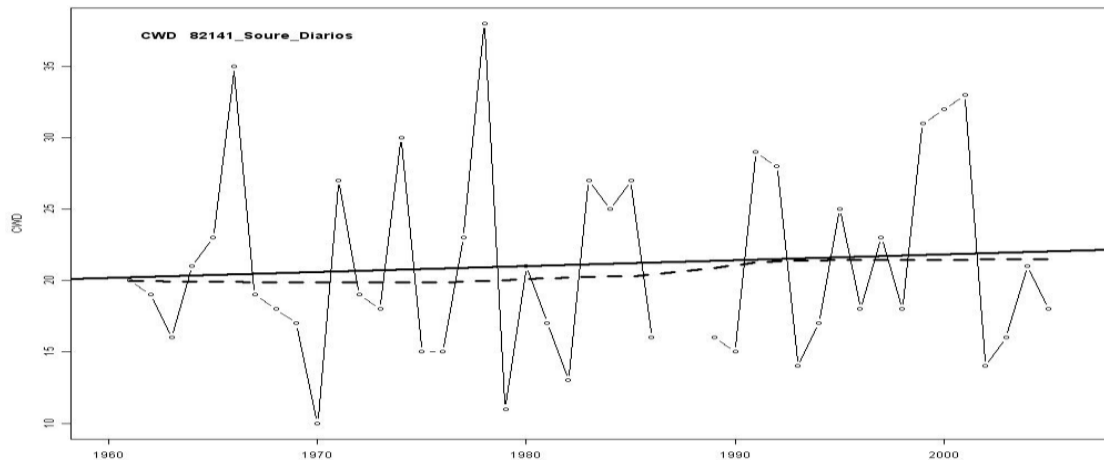


Figura 5 – Séries temporais do índice CWD para as 8 estações do INMET. Representando a linha sólida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.

d) Breves



e) Soure



f) Cametá

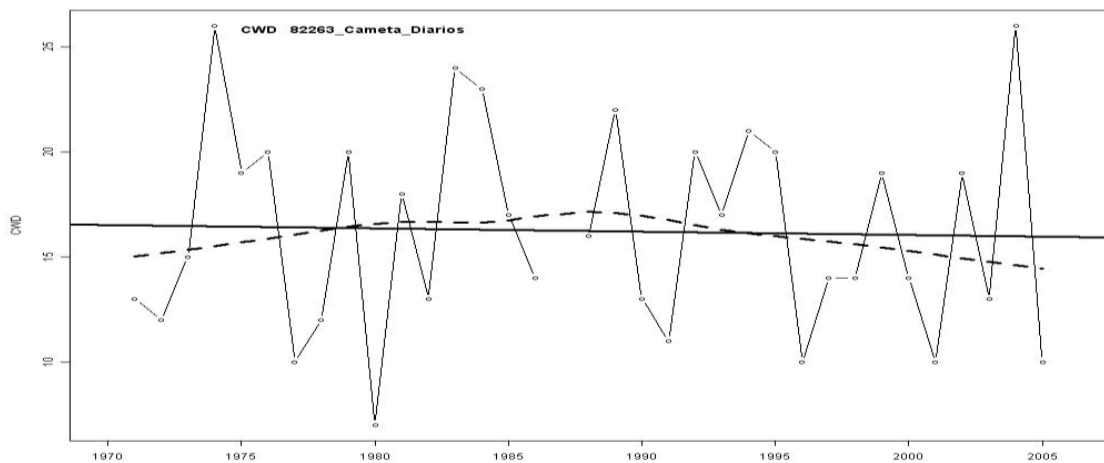
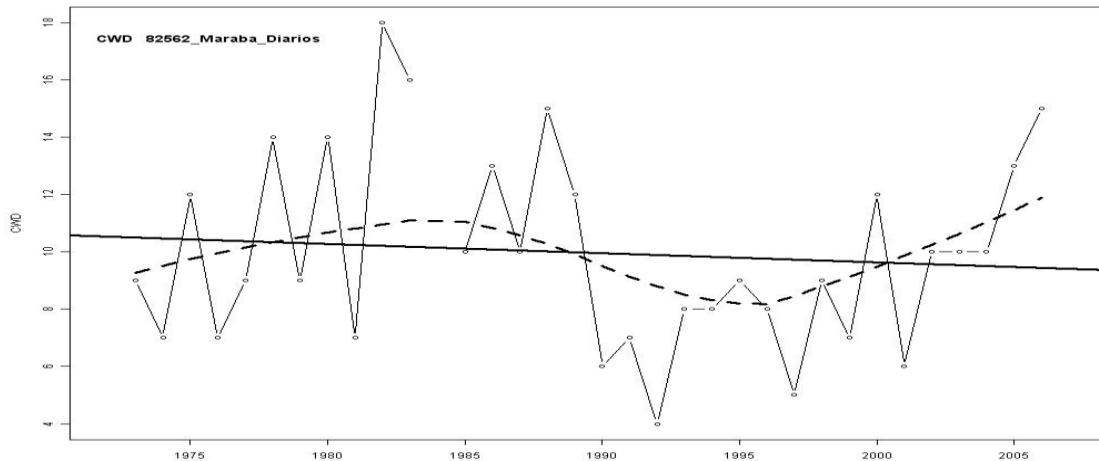


Figura 5 – CWD (continuação).

g) Marabá



h) Tucuruí

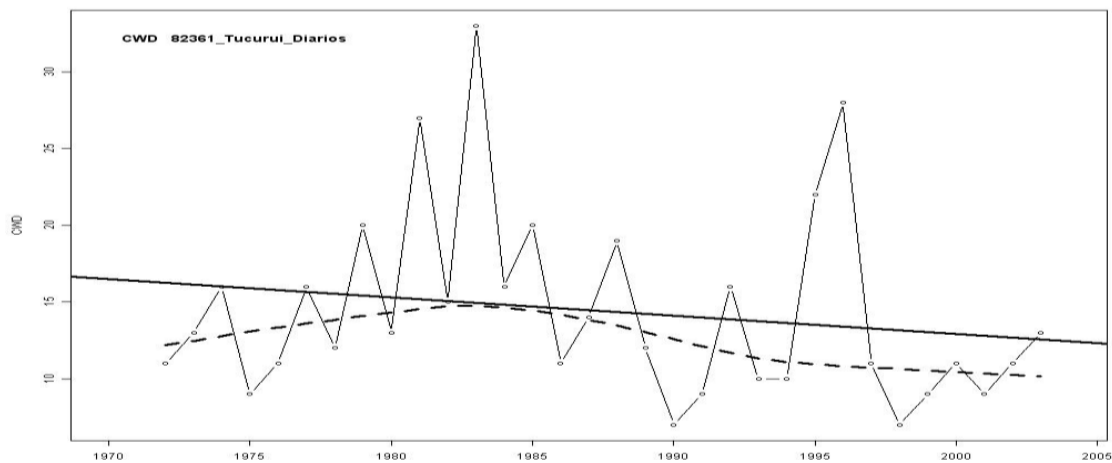


Figura 5 – CWD (continuação).

A partir dos resultados observados da quantidade de dias chuvosos consecutivos (Figura 5) notou-se que os dias secos consecutivos (Figura 4) foram bastante superiores aos dias chuvosos consecutivos principalmente nas estações de Monte Alegre e Tracuateua, em que se observaram valores de CDD superiores a 100 dias para ambas as estações e valores de CWD em torno de 14 dias para a estação de Monte Alegre e valores em torno de 35 dias para a estação de Tracuateua. Também as estações de Belterra, Marabá e Soure, os valores de CDD foram superiores aos de CWD. Verificaram-se valores de CDD em torno dos 80 dias para as três estações e valores de CWD em torno dos 30 dias, 18 dias e 35 dias para as estações de Belterra, Marabá e Soure, respectivamente. Com isso, concluiu-se que estas estações juntamente com as estações de Monte Alegre e Tracuateua experimentaram maior

quantidade de dias secos consecutivos do que de dias chuvosos consecutivos nos últimos 30 e 40 anos.

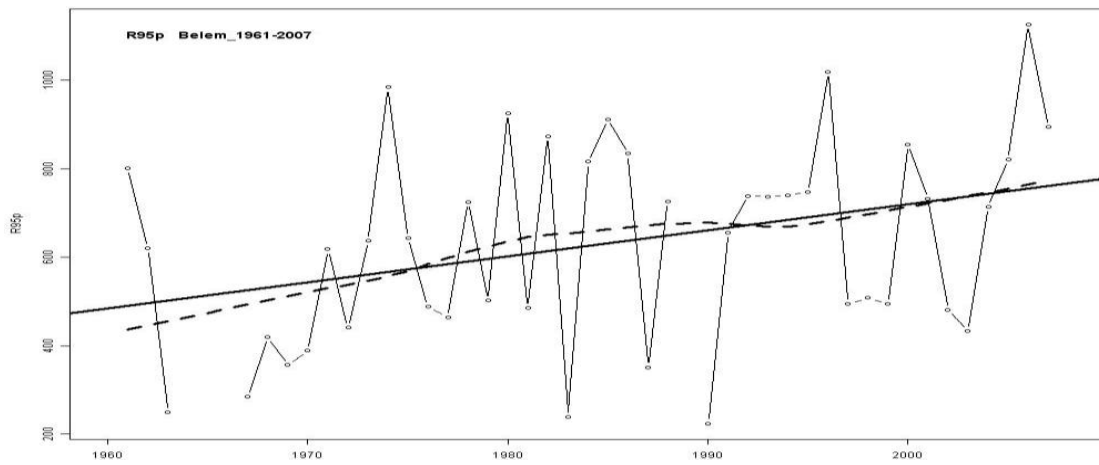
Dias Muito Chuvosos (R95p)

A Figura 6 mostra as séries temporais do índice R95p para as estações do INMET. Observou-se para as estações de Belém (a), Belterra (b), Monte Alegre (c), Breves (d), Soure (e), Cametá (f), Marabá (g) e Tucuruí (h), que os valores máximos/mínimos dos dias muito chuvosos foram 1126,4/223,8 mm, 1020,9/102,9 mm, 1051,7/120,8 mm, 404,1/108 mm, 2341/269 mm, 1051/257,6 mm, 937/129,3 mm e 1239,6/202,3 mm, os quais ocorreram nos anos de 1972/1969, 1992/1991, 2001/1981, 2001/(1980,2003), 1978/1970, (1974,2004)/1980, 1982/1992 e 1983/1990, respectivamente.

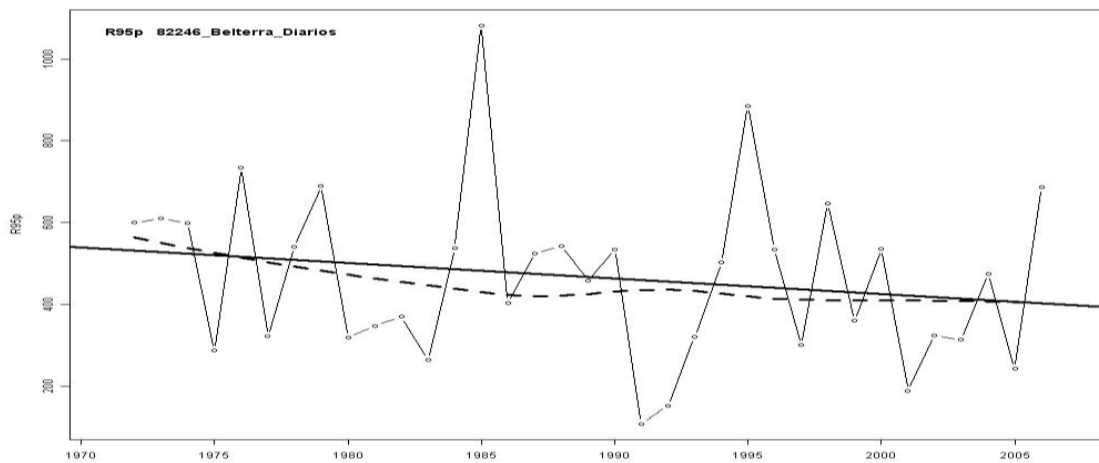
Verificou-se que os valores menos expressivos do índice R95p, para as estações de Belém, Monte Alegre, Breves e Cametá, para os anos de 1969, 1981, 1980 e 1980, respectivamente, ocorreram em ano da fase quente do Gradiente do Atlântico Tropical, o qual pode ter influenciado na redução de dias muito chuvosos para aquelas estações. Já para a estação de Belterra o valor menos expressivo de R95p ocorrido do ano de 1991, esteve associado às anomalias positivas de TSM dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropical Norte, os quais apresentaram a fase quente do ENOS (El Niño) e a fase quente do Gradiente do Atlântico Tropical, respectivamente, os quais agindo simultaneamente representaram, cenários desfavoráveis de precipitação naquele ano, e por conseguinte redução dos dias muito chuvosos.

Por outro lado, o valor mais expressivo de R95p para a estação de Tucuruí ocorrido no ano de 1983, esteve associado ao Gradiente Negativo do Atlântico Tropical, o qual produz chuvas acima da média com a presença de águas anormalmente quentes no Oceano Atlântico Sul, ou seja, ocorreu um aumento dos dias muito chuvosos a partir da produção de chuvas acima da média.

a) Belém



b) Belterra



c) Monte Alegre

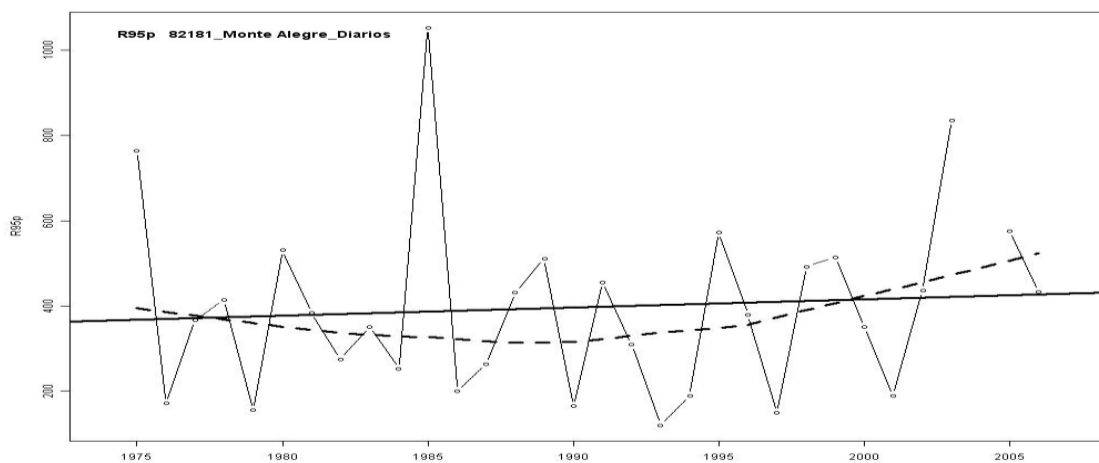
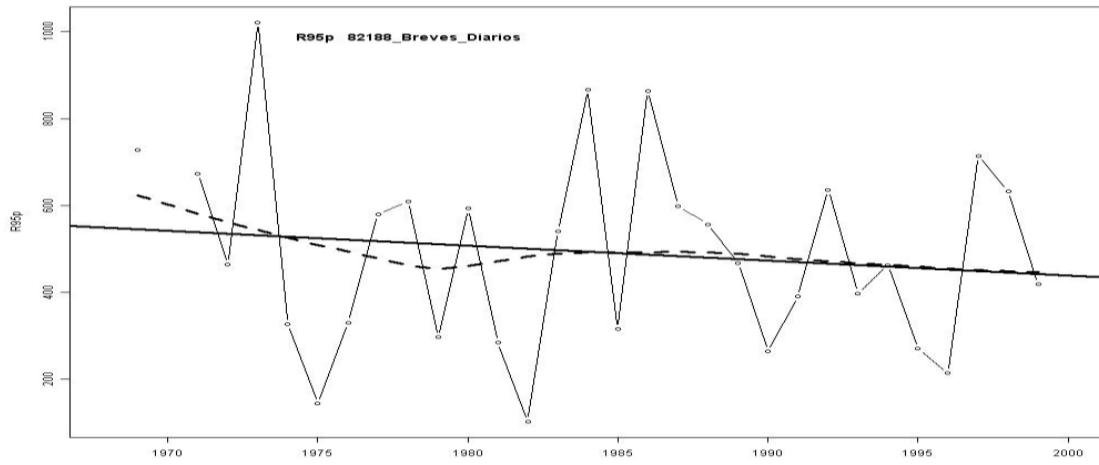
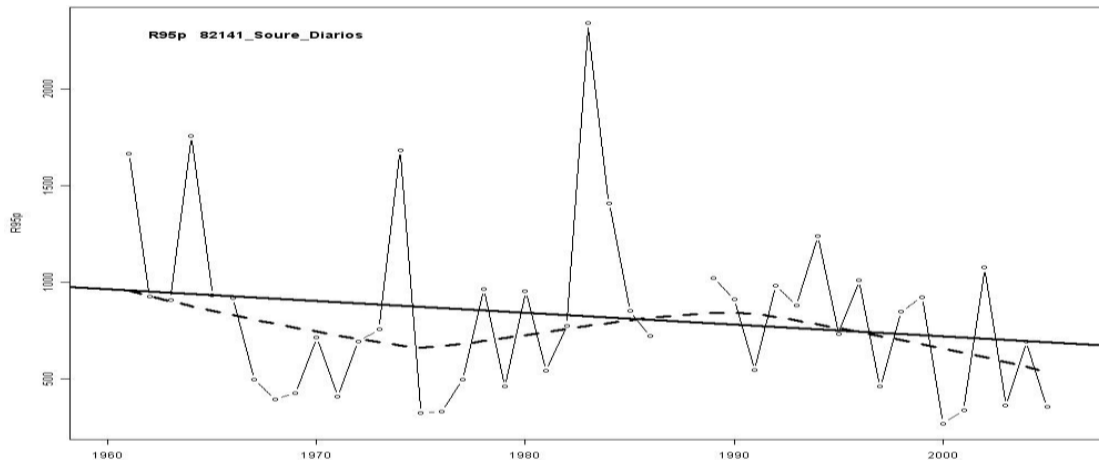


Figura 6 – Séries temporais do índice R95p para as 8 estações do INMET. Representando a linha sólida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.

d) Breves



e) Soure



f) Cametá

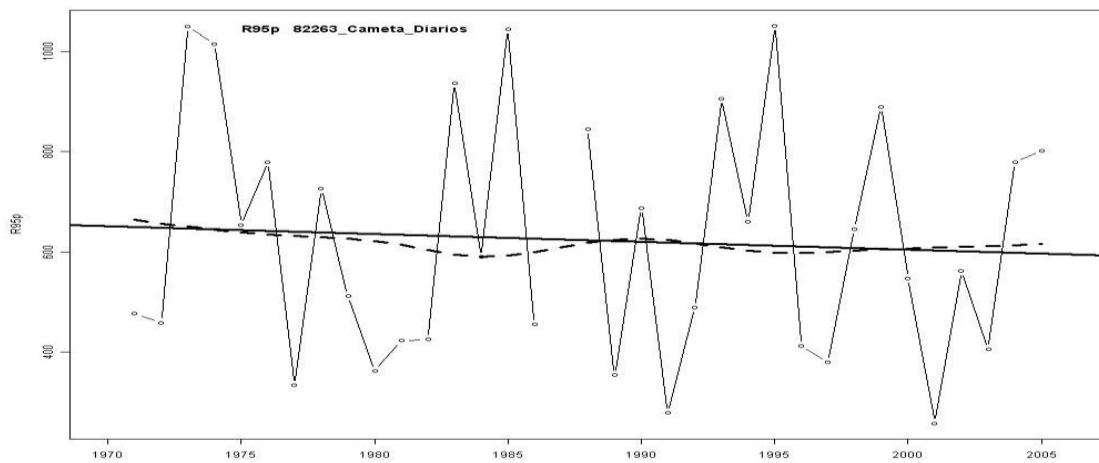
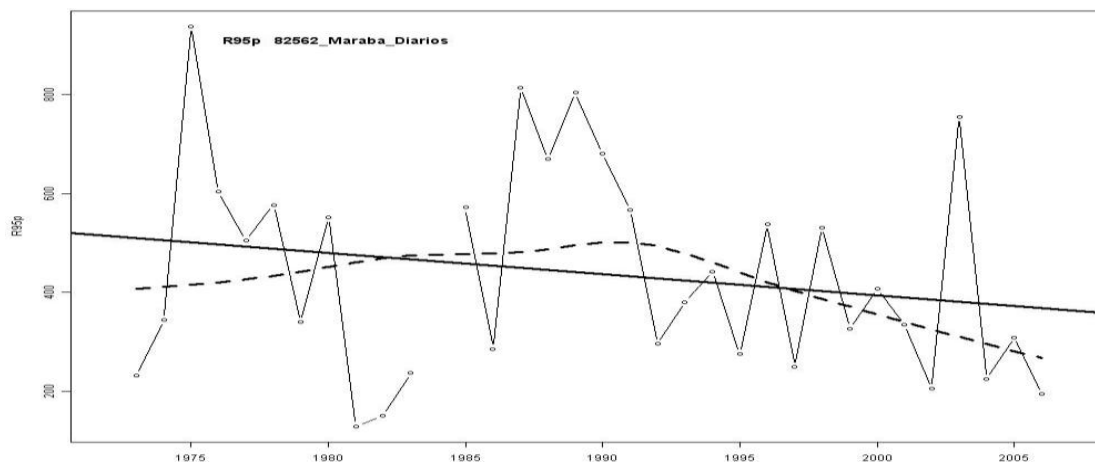


Figura 6 – R95p (continuação).

g) Marabá



h) Tucuruí

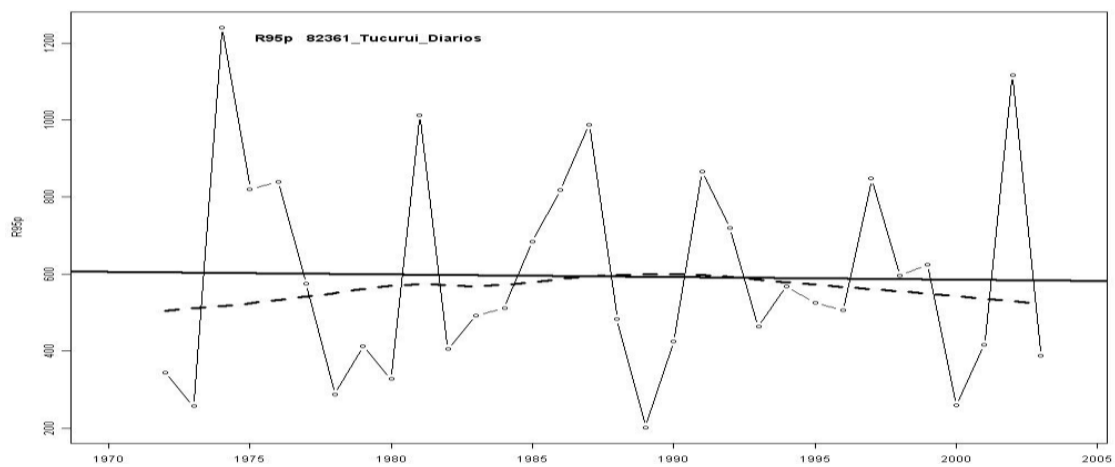


Figura 6 – R95p (continuação).

Dias Extremamente Chuvosos (R99p)

A Figura 7 mostra as séries temporais do índice R99p para as estações do INMET. Verificou-se que as estações de Belém (a), Breves (d), Belterra (b), Cametá (f), Marabá (g), Monte Alegre (c), Soure (e) e Tucuruí (h), apresentaram valores máximos/mínimos de 515,1/0, 533,3/0, 454,9/0, 794,2/0, 868,4/0, 466,4/0, 937/0 e 577,9/0, sendo possível notar que todas as estações não apresentaram em vários anos eventos extremamente chuvosos, ou seja, apresentaram valores mínimos nulos de R99p. Já os valores mais expressivos ocorreram nos anos de 1996, 1985, 1985, 1973, 1983, 1978, 1975 e 1987 para aquelas estações, respectivamente. Verificou-se ainda que exceto para a estação de Cametá, as demais estações apresentaram seus maiores valores em anos em que ocorreram episódios de La Niña, em anos em que houve a fase fria do Gradiente do Atlântico ou ainda em anos em que esses episódios ocorreram simultaneamente.

Para a estação de Marabá, verificou-se que o valor mais expressivo de R99p ocorrido em 1975, esteve associado às anomalias negativas de TSM do oceano Pacífico, o qual naquele ano experimentava a fase fria do evento ENOS (La Niña), o qual influenciou no aumento de precipitação e, por conseguinte nos altos valores de dias extremamente chuvosos.

Por outro lado, para as estações de Belterra, Monte Alegre, Soure e Tucuruí, os valores mais expressivos ocorreram nos anos de 1985, 1985, 1983 e 1987, os quais estiveram associados ao modo de variabilidade do oceano Atlântico, o qual apresentou naqueles anos a fase fria de seu Gradiente, o qual representa um cenário favorável na produção de chuvas acima da média, dessa forma induzindo a elevados valores para o índice que representa os dias extremamente chuvosos.

Já para a estação de Breves ocorreu à atuação conjunta dos oceanos Pacífico e Atlântico na produção dos altos valores de R99p no ano de 1973, no qual ocorreu a fase fria tanto do evento ENOS quanto do Gradiente do Atlântico, favorecendo assim as chuvas acima da média naquele ano para a estação de Breves.

Para a estação de Belém, observou que o valor mais expressivo de dias extremamente chuvosos, ocorreu no ano de 1996, ano este que o oceano Pacífico apresentava um cenário favorável a produção de chuvas acima da média, pois o mesmo experimentava um episódio de La Niña, contudo simultaneamente a fase fria do ENOS, estava ocorrendo a fase quente do Gradiente do Atlântico, o qual possui conseqüências contrárias aquelas da fase fria do ENOS, ou seja, inibe a formação de precipitação, porém o que se observou para a estação de Belém naquele ano foi um alto valor de R99p, o que nos leva a concluir mais uma vez, que

semelhante ao que ocorreu para a estação de Marabá no ano de 1982 para o índice CDD, a modulação do oceano Pacífico sobre a precipitação para a estação de Belém foi predominante sobre o mecanismo de modulação do Atlântico.

Em última análise, se observou que os anos que apresentaram valores nulos de R99p, ora estão associados a episódios de El Niño e/ou a fase quente do Gradiente do Atlântico, como foi o caso da estação de Belterra no ano de 1991, ano este que esses eventos ocorreram simultaneamente, o que nesses casos, aqueles valores nulos apresentaram coerência, ora estão associados a episódios de La Niña e/ou a fase fria do Gradiente do Atlântico, como foi o caso da estação de Monte Alegre no ano de 1988, ano este que esses eventos ocorreram simultaneamente, o que nesses casos não foi possível se estabelecer uma relação daqueles valores nulos com esses episódios, sugerindo que a variabilidade do índice de dias extremamente chuvosos, para aquela estação no ano de 1988, não esteve modulada por padrões de variabilidade de curto prazo, como são os casos do ENOS e do Gradiente do Atlântico, mais sim, a variabilidade de longo prazo ocorrida no oceano Pacífico, a ODP, a qual estava em sua fase quente.

a) Belém

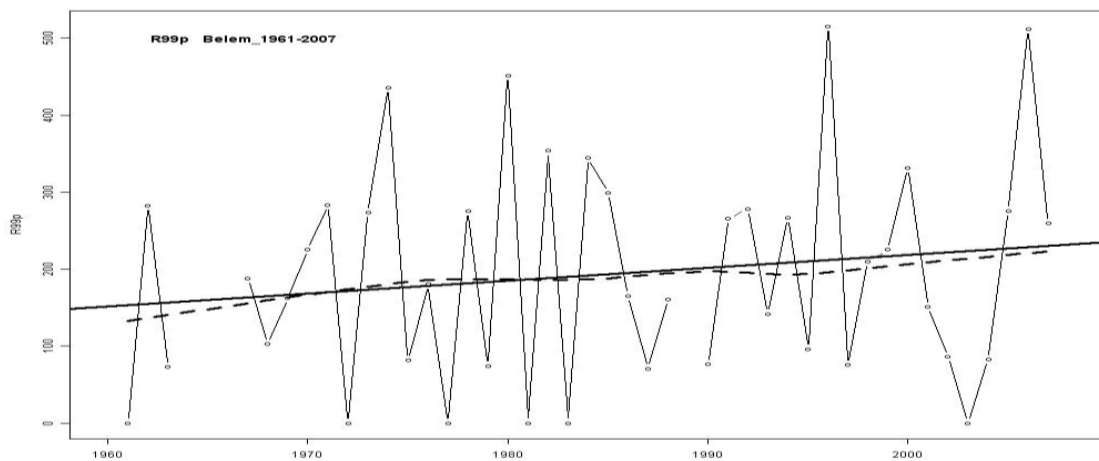
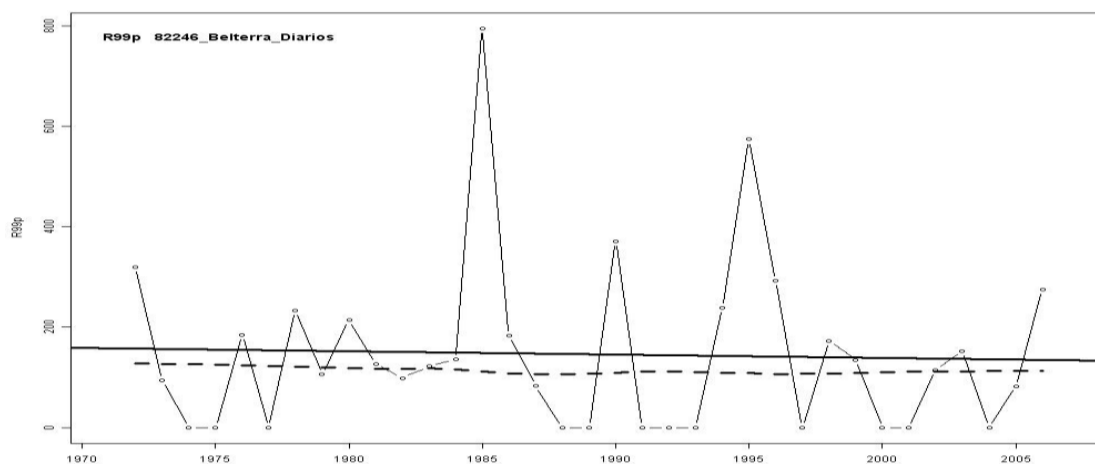
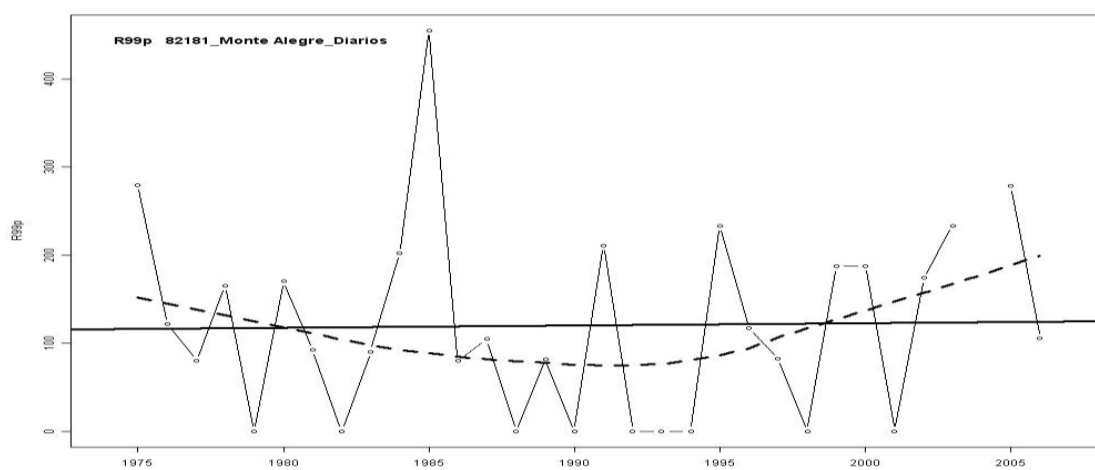


Figura 7 – Séries temporais do índice R99p para as 8 estações do INMET. Representando a linha sólida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.

b) Belterra



c) Monte Alegre



d) Breves

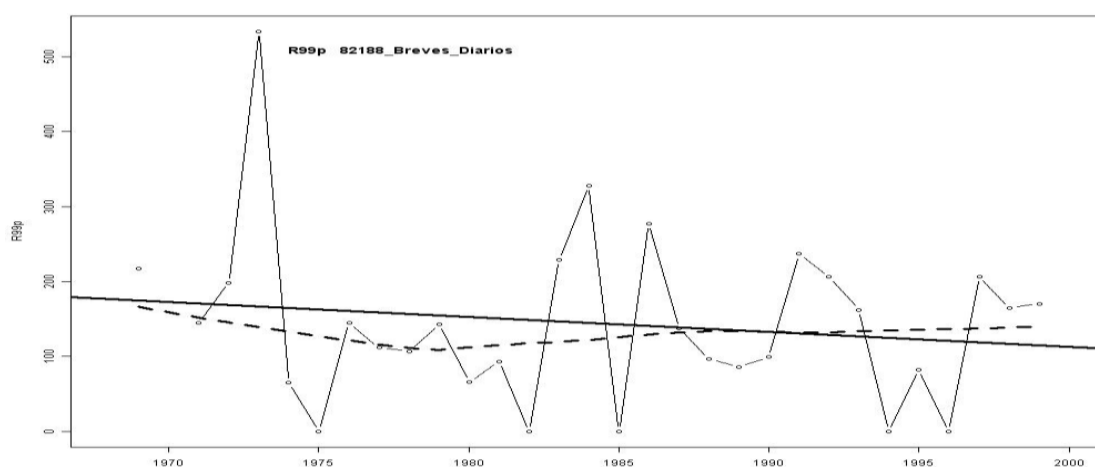
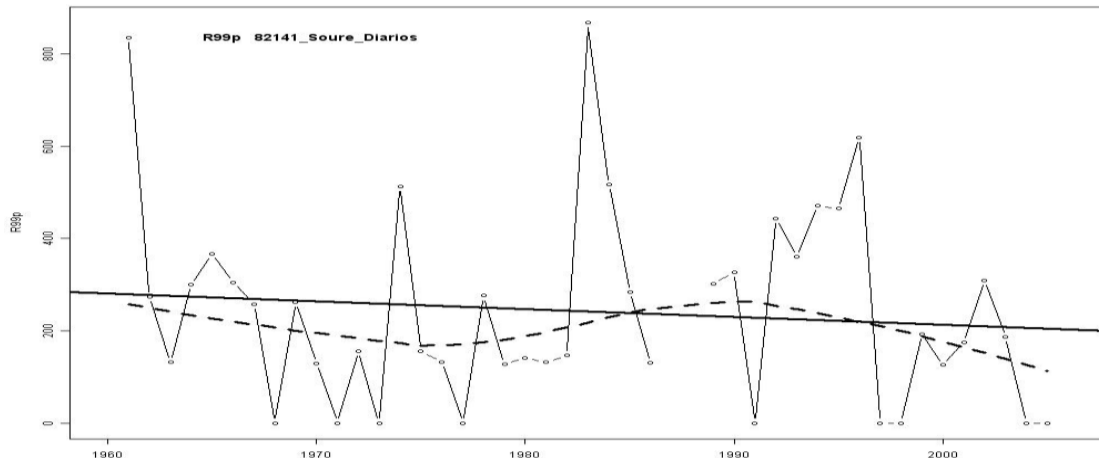
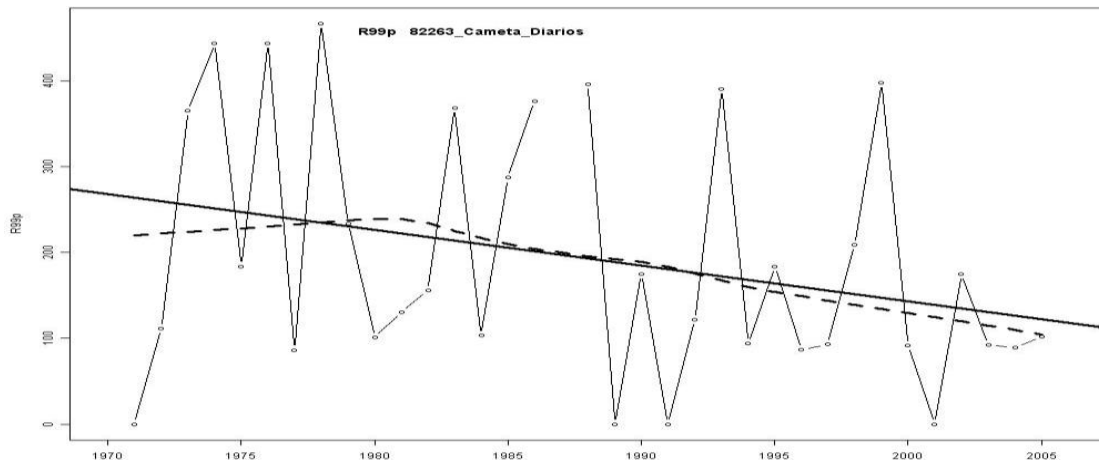


Figura 7 – R99p (continuação).

e) Soure



f) Cametá



g) Marabá

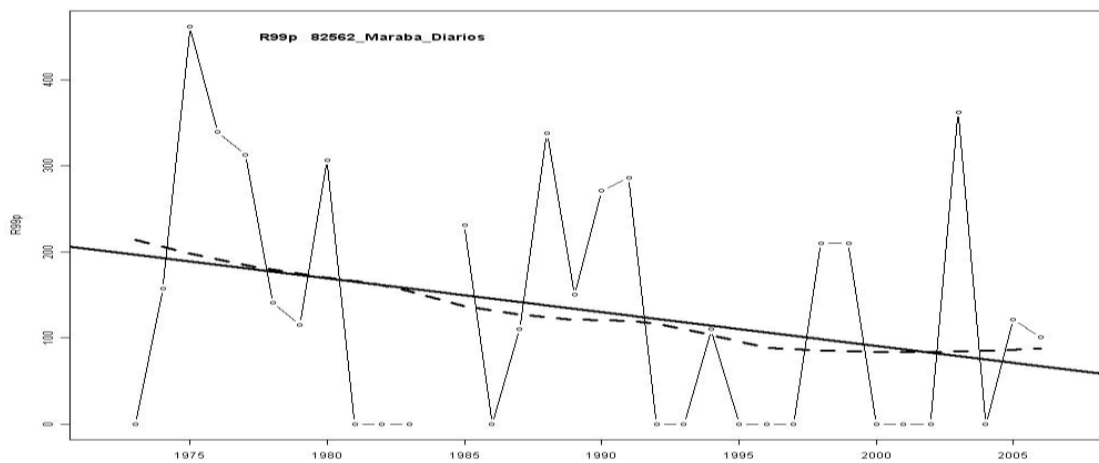


Figura 7 – R99p (continuação).

h) Tucuruí

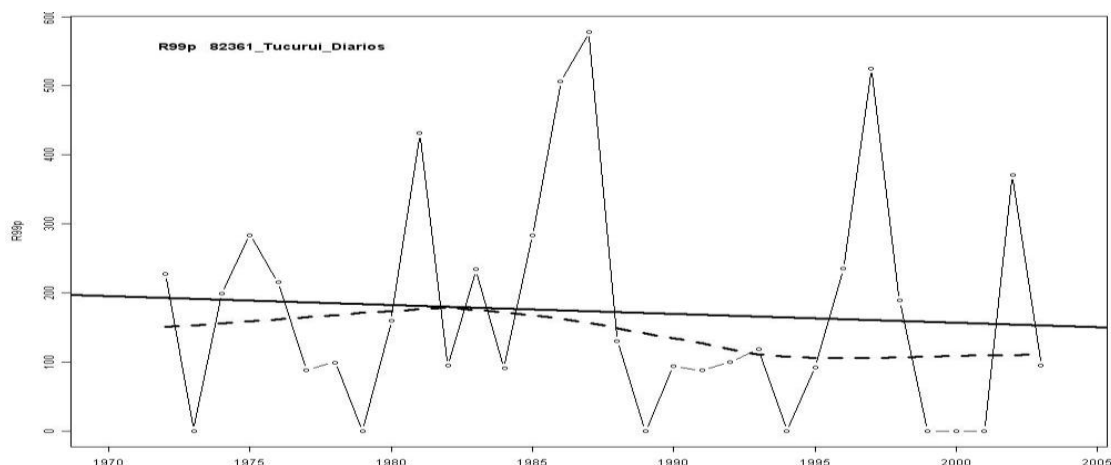


Figura 7 – R99p (continuação).

4.1.2 Índices de Temperatura

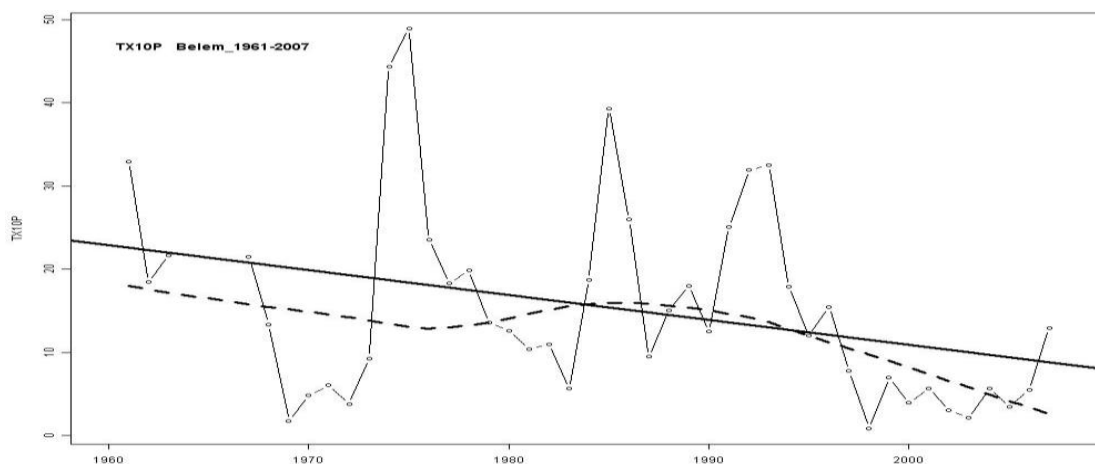
Índices de Extremos Frios (TX10p, TXN, TN10p e TNN)

A Figura 8 mostra as séries temporais do índice TX10p somente para as estações que apresentaram significância estatística, as quais foram somente cinco estações do total de oito estações estudadas.

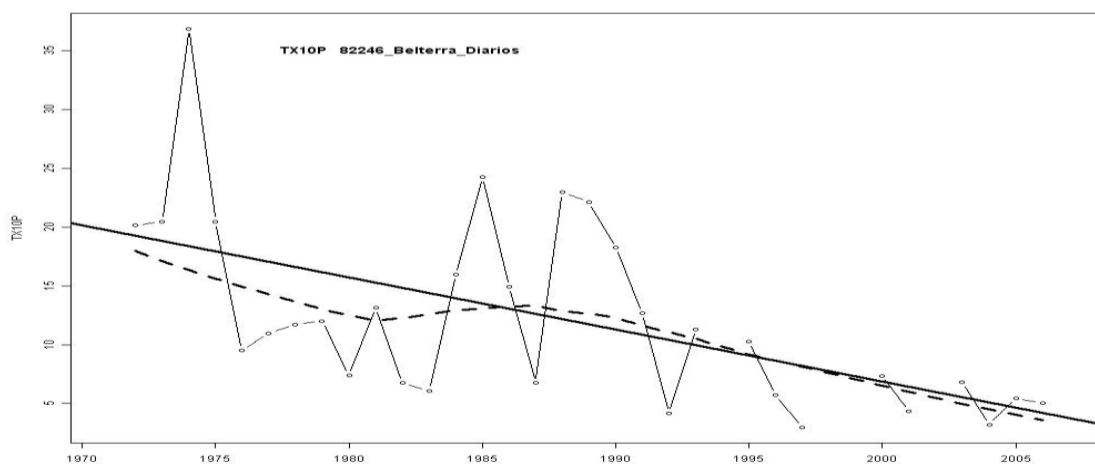
Verificou-se para a estação de Belém (a) que a década de 1970 foi a que apresentou nos anos de 1974 e 1975 os anos mais expressivos do índice TX10p com valores superiores a 40%, seguido do ano de 1985 que apresentou valor bem próximo dos 40% e dos anos de 1961, 1992 e 1993 que apresentaram valores em torno dos 30%. As mínimas percentagens desse índice foram observadas nos anos de 1998 que não chegou a atingir 1%, seguido pelo ano de 1969 que ficou em torno dos 2% e dos anos de 1970, 1972, 2000, 2002, 2003 e 2005, os quais não atingiram a percentagem de 5% de TX10p. Para as estações de Belterra (b) e Marabá (c) a década de 1970 nos anos de 1974 e 1979, respectivamente foram os anos que apresentaram as máximas percentagens com valores em torno de 35% para a estação de Belterra e valor em torno de 25% para a estação Marabá.

Verifica-se que a partir da década de 1970, nas décadas seguintes 1980, 1990 e 2000 houve redução na percentagem de dias frios, apontando os menores percentuais no ano de 1997 para a estação de Belterra com valor aproximadamente de 3% e no ano de 2004 para a estação de Marabá com valor em torno de 2%.

a) Belém



b) Belterra



c) Marabá

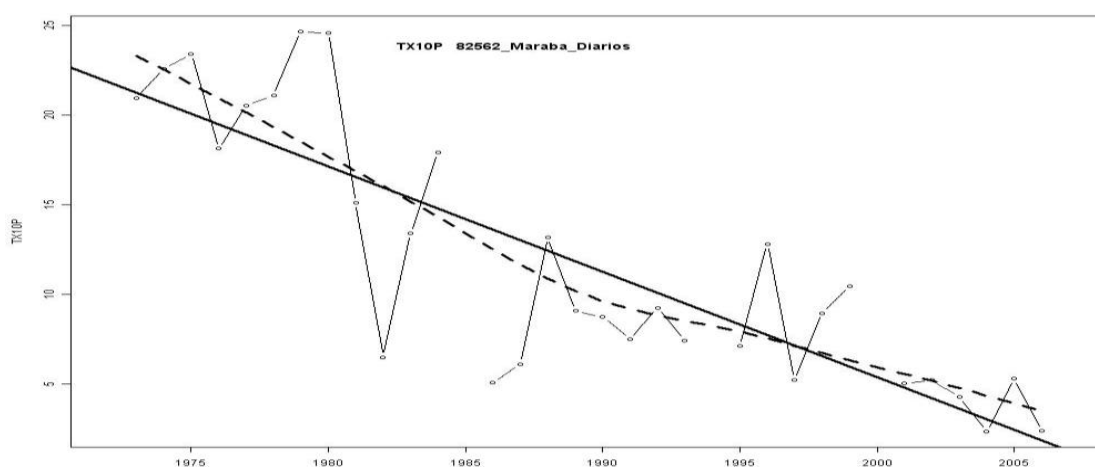


Figura 8 – Séries temporais do índice TX10p. Representando a linha sólida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.

A Figura 9 mostra as séries temporais do índice TXN nas estações que apresentaram resultados estatisticamente significantes. Das quatro estações que apresentaram significância estatística para o índice TX10p (Figura 8), excetuando-se a estação de Soure, as estações de Belém (a), Belterra (b) e Marabá (c) apresentaram significância estatística para o índice TXN, o qual representa a temperatura mínima da máxima. Observou-se que os padrões de variabilidade do índice TXN está coerente com os padrões de variabilidade do índice TX10p, ou seja, enquanto o índice TX10p apresentou redução a partir da década de 1970 até os anos 2000, o índice TXN apresentou aumento a partir da década de 1970 até os anos de 2000. Verificou-se, por exemplo, que o ano de 1998 que apresentou a menor percentagem de TX10p para a estação de Belém foi o ano que apresentou o máximo de TXN com valor em torno de 28°C. Ainda de maneira similar a estação anterior, a estação de Marabá apresentou a percentagem máxima de TXN no ano de 2004 com valor em torno de 28°C, mesmo ano que apresentou o valor mínimo de TX10p. Já a estação de Belterra apresentou no ano de 2005 o máximo de TXN com valor em torno de 27°C, correspondendo este ano a um dos que revelaram uma das menores percentagens de TX10p.

a) Belém

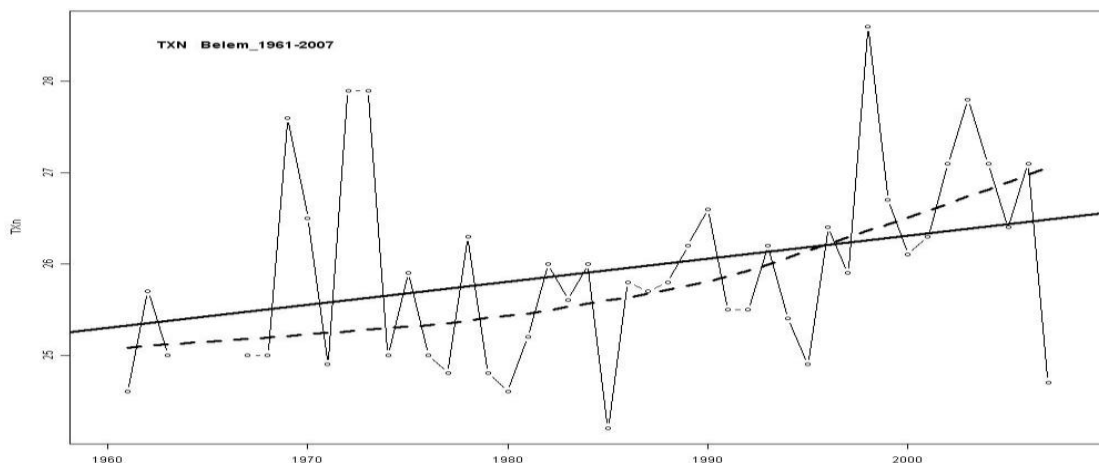
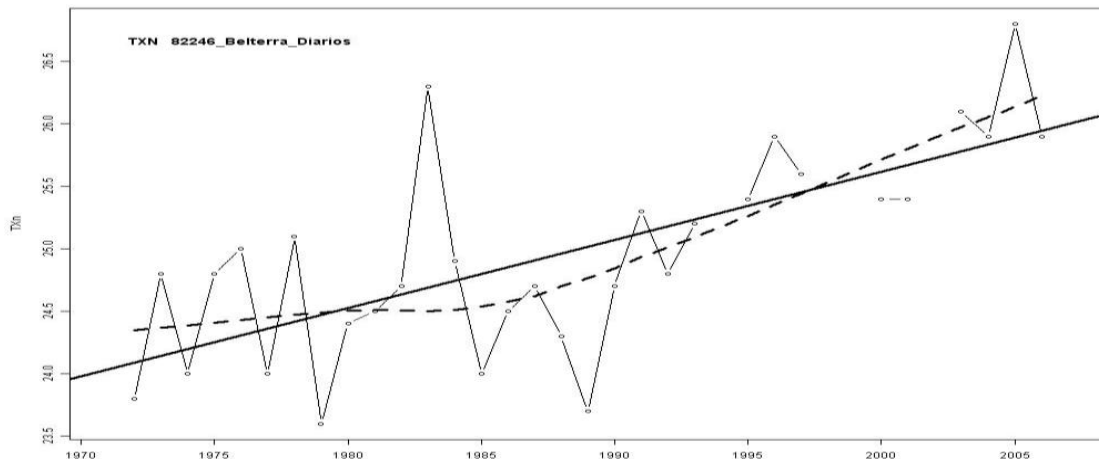


Figura 9 – Séries temporais do índice TXN. Representando a linha sólida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.

b) Belterra



c) Marabá

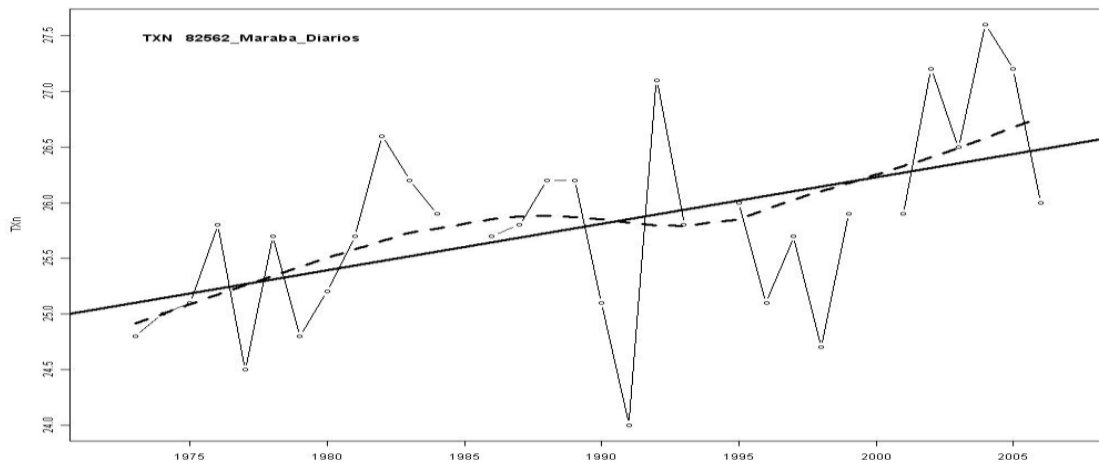


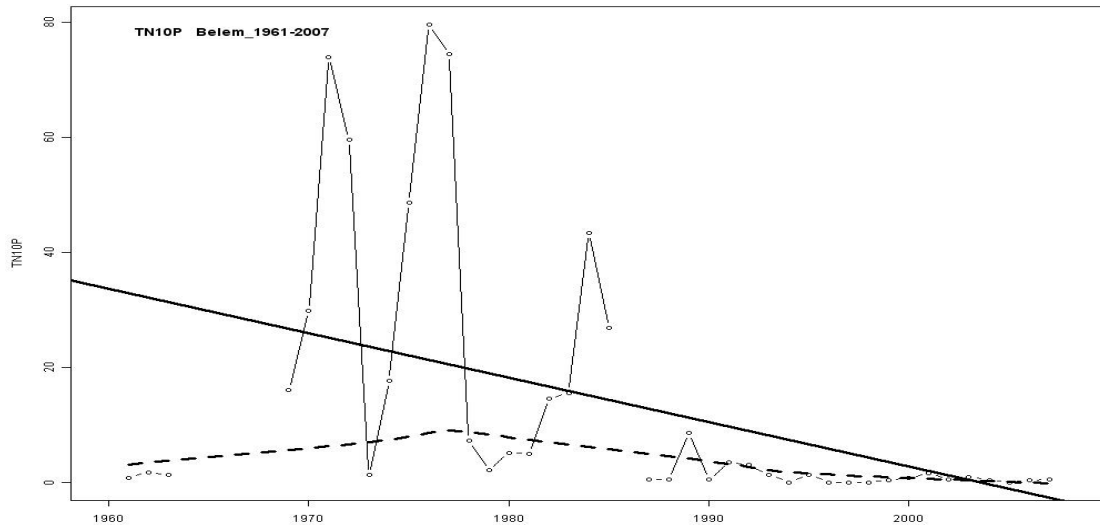
Figura 9 – TN10p (continuação).

A Figura 10 mostra as séries temporais do índice TN10p nas estações com significância estatística. De maneira semelhante ao índice TX10p (Figura 8), o índice Noites Frias (TN10p) apresentou na década de 1970 os maiores percentuais de TN10p, nas estações de Belém (a), Belterra (b), Monte Alegre (c), Breves (d), Soure (e), Marabá (f) e Tucuruí (g).

Para a estação de Belém os anos mais expressivos foram 1971, 1976 e 1977, com valores de TN10p em torno de 80%. Para a estação de Belterra os anos mais expressivos foram 1976 e 1977, com valores em torno de 70% e para a estação de Breves foram os anos 1972 e 1974, com valores em torno de 60%. As décadas de 1980, 1990 e 2000 apresentaram baixos percentuais do índice TN10p para todas as estações, indicando que as noites frias vem sofrendo diminuição ao longo das últimas três décadas para as sete estações analisadas que apresentaram significância estatística. Já para as estações de Monte Alegre, Soure, Marabá e

Tucuruí, foram os anos de 1977, 1995, 1973 e 1974, com valores em torno de 35%, 70%, 80% e 80%, respectivamente.

a) Belém



b) Belterra

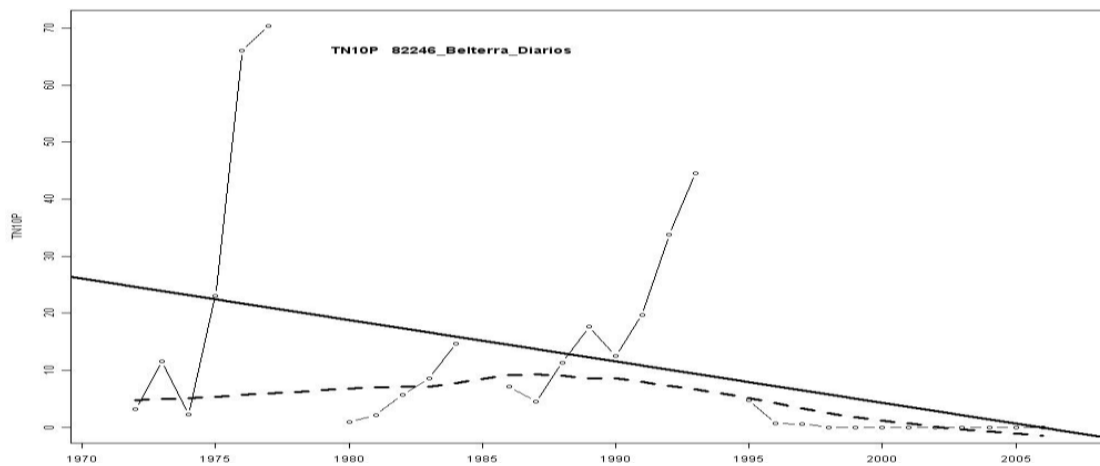
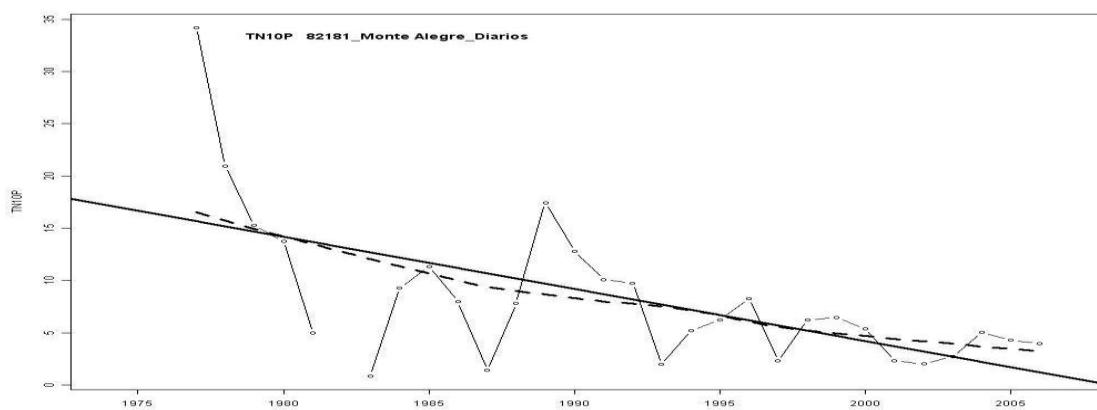
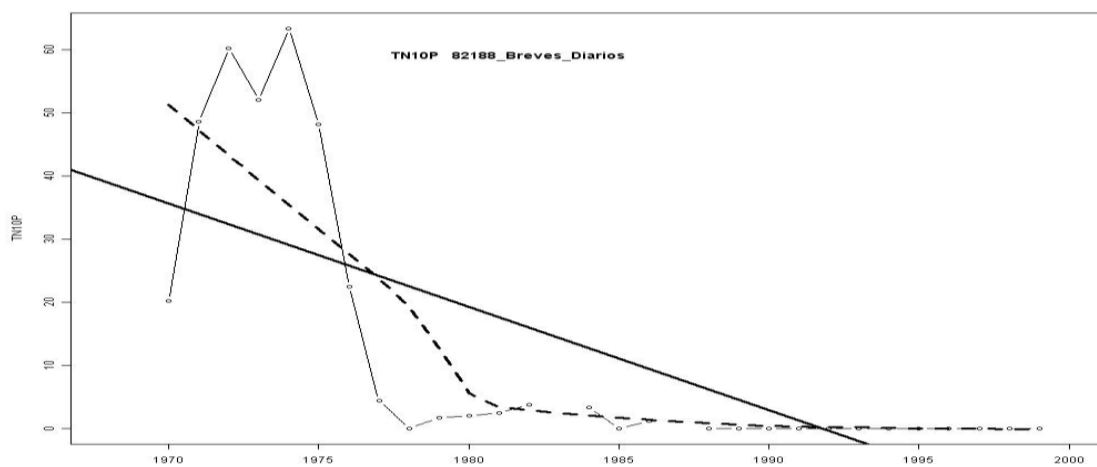


Figura 10 – Séries temporais do índice TN10p. Representando a linha sólida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.

c) Monte Alegre



d) Breves



e) Soure

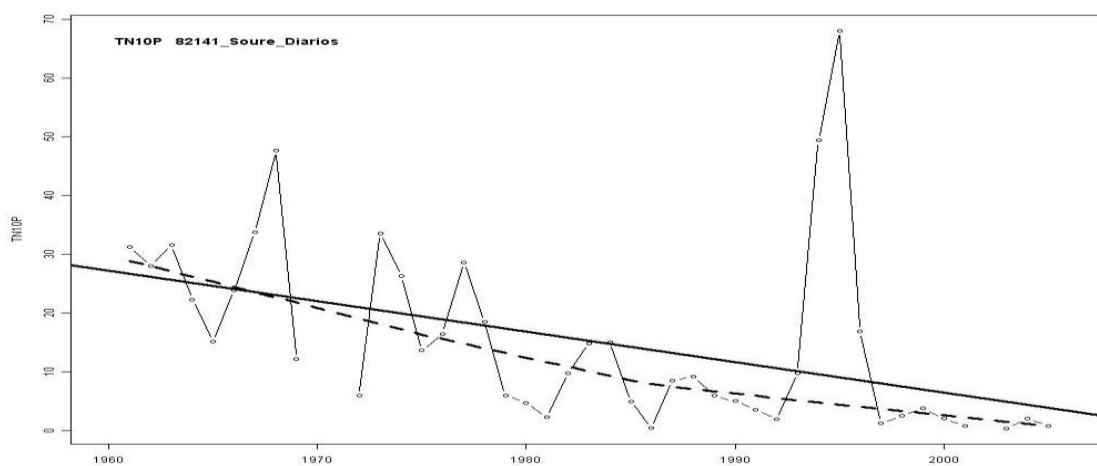
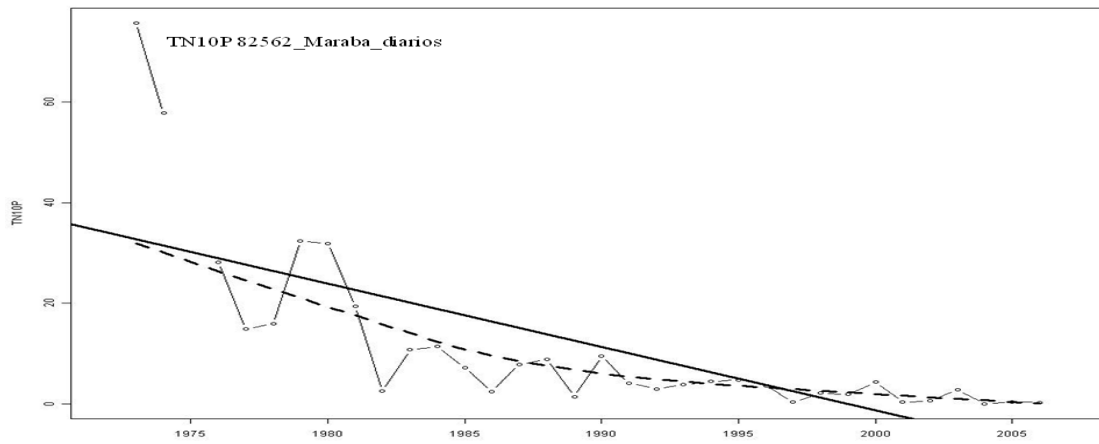


Figura 10 – TN10p (continuação).

f) Marabá



g) Tucuruí

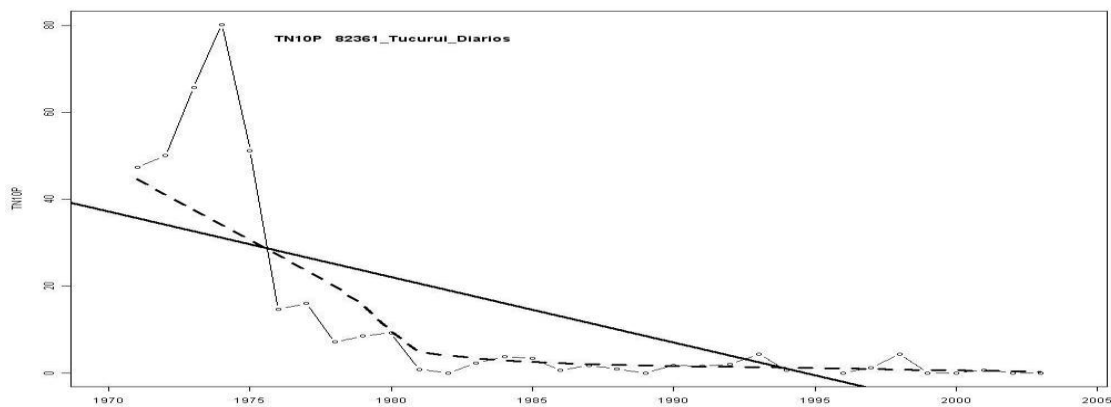
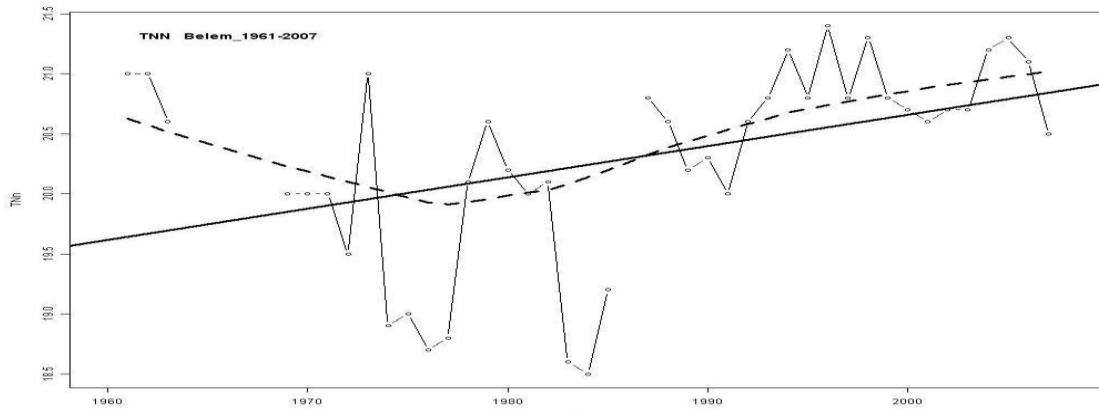


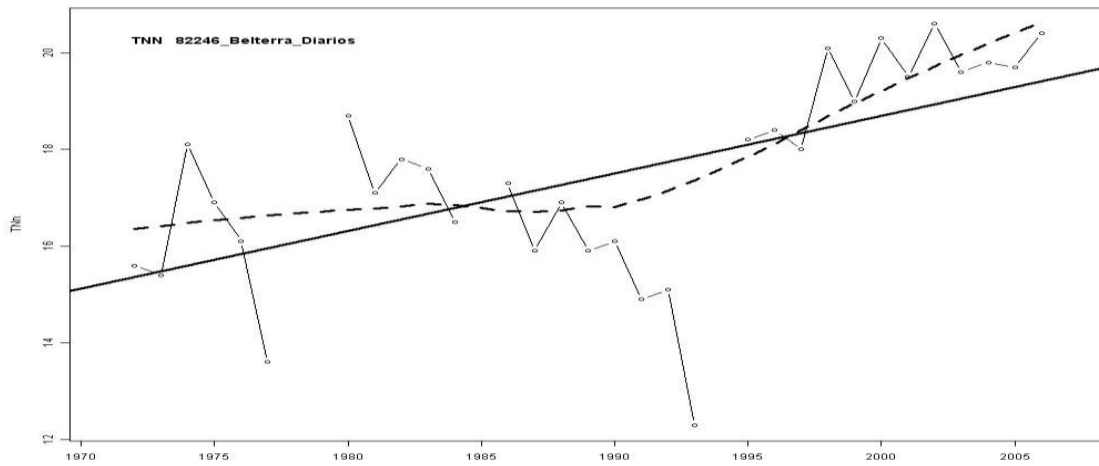
Figura 10 – TN10p (continuação).

Em contrapartida o índice que representa o mínimo valor da temperatura mínima (TNN), conforme Figura 11, apontou para as oito estações analisadas, que a temperatura mínima vem sofrendo aumento, a partir da década de 1970, ao longo das décadas de 1980, 1990 e 2000, o que corrobora com o índice TN10p (Figura 10) que apontou diminuição das noites frias a partir da década de 1970. O índice TNN apresentou significância estatística, além das sete estações em comum com o índice TN10p, para a estação de Cametá, a qual também apontou aumento de temperaturas mínimas a partir da década de 1970 até a primeira metade dos anos 2000.

a) Belém



b) Belterra



c) Monte Alegre

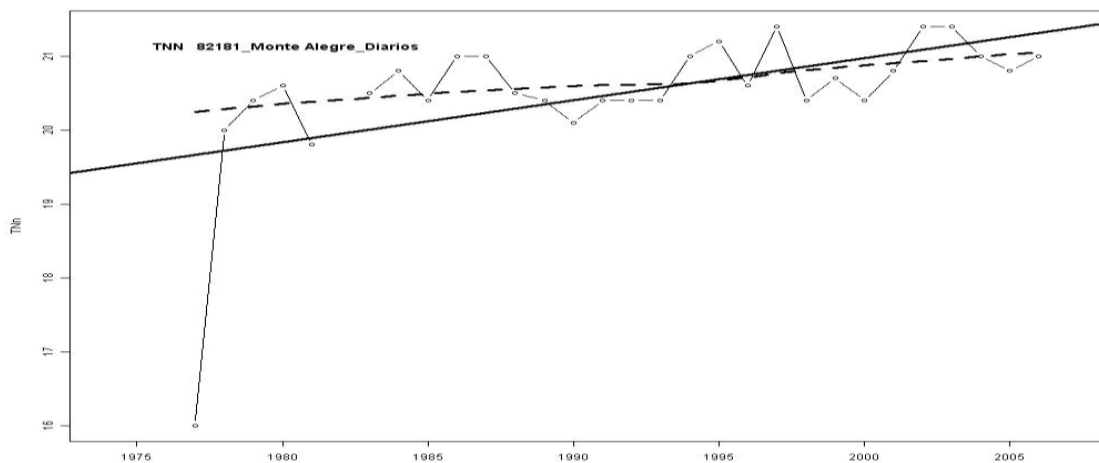
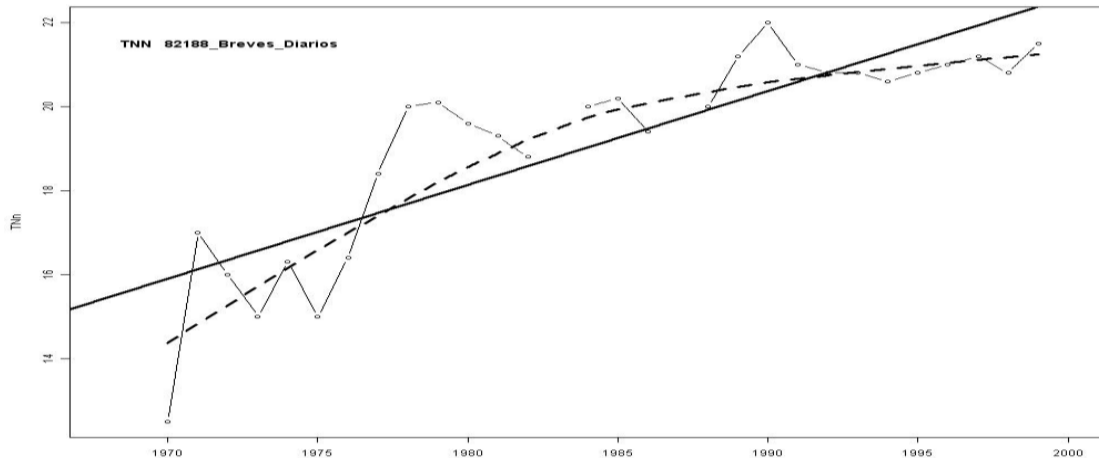
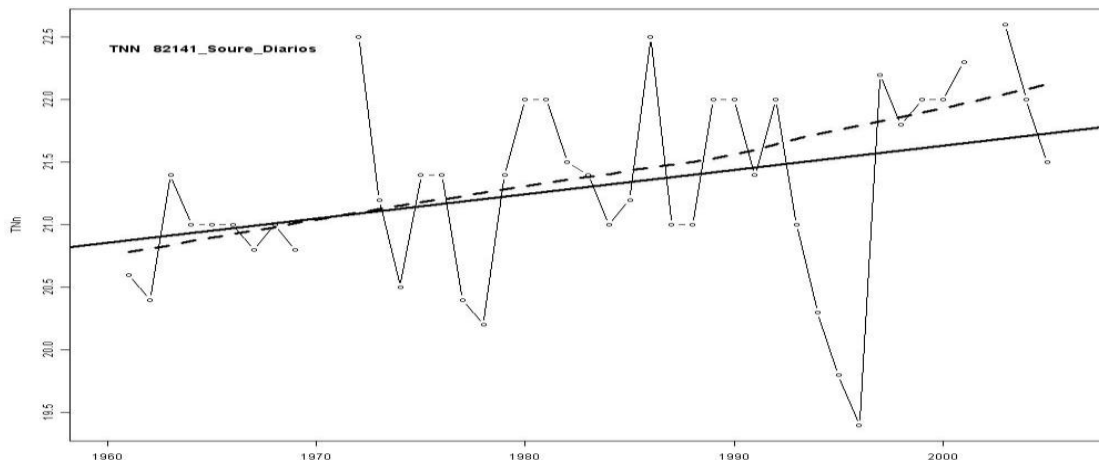


Figura 11 – Séries temporais do índice TNN. Representando a linha sólida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.

d) Breves



e) Soure



f) Cametá

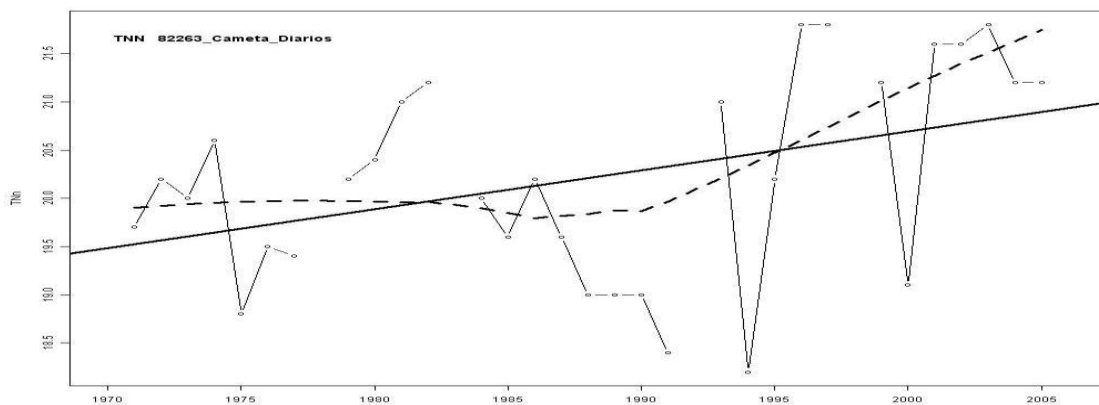
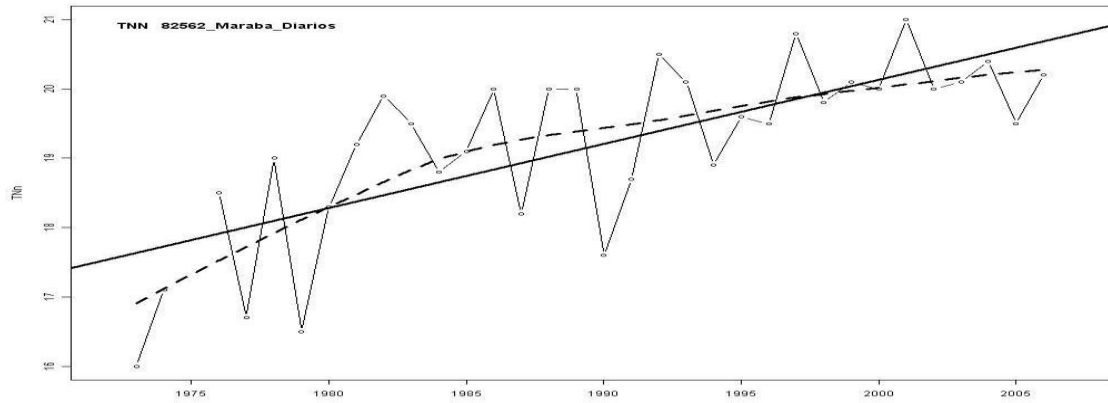


Figura 11 – TNN (continuação).

g) Marabá



h) Tucuruí

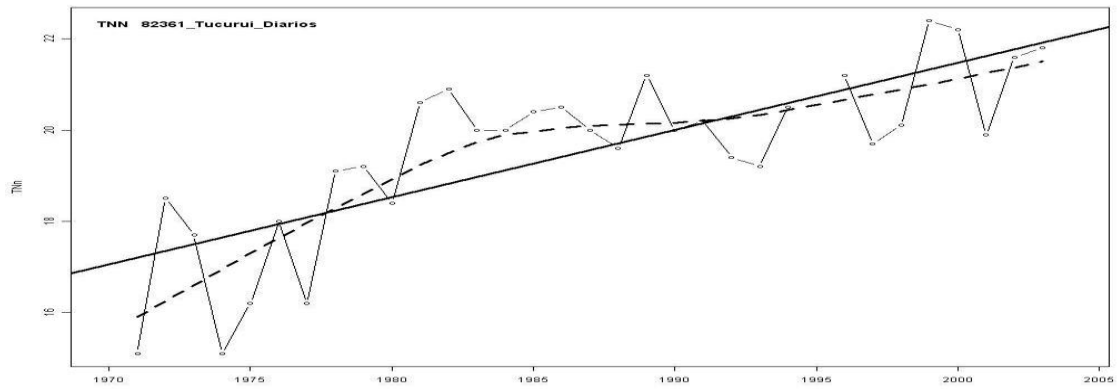


Figura 11 – TNN (continuação).

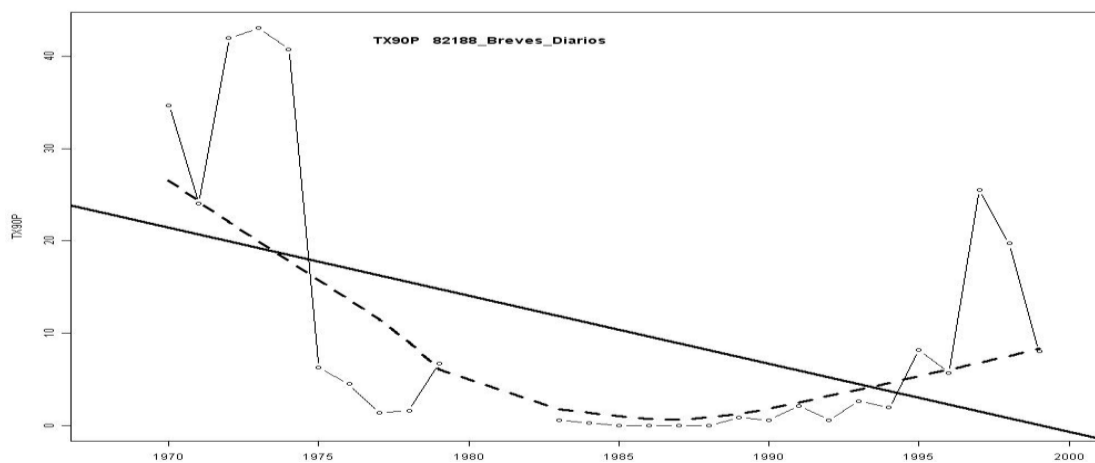
Índices de Extremos Quentes (TX90, TXX, TN90p, TNX)

As Figura 12 mostra a série temporal do índice TX90p para as estações com resultados estatisticamente significantes. As estações de Breves (a), Belterra (b), Cametá (c) e Marabá (d) foram as que apresentaram significância estatística para o índice que representa os Dias Quentes (TX90p).

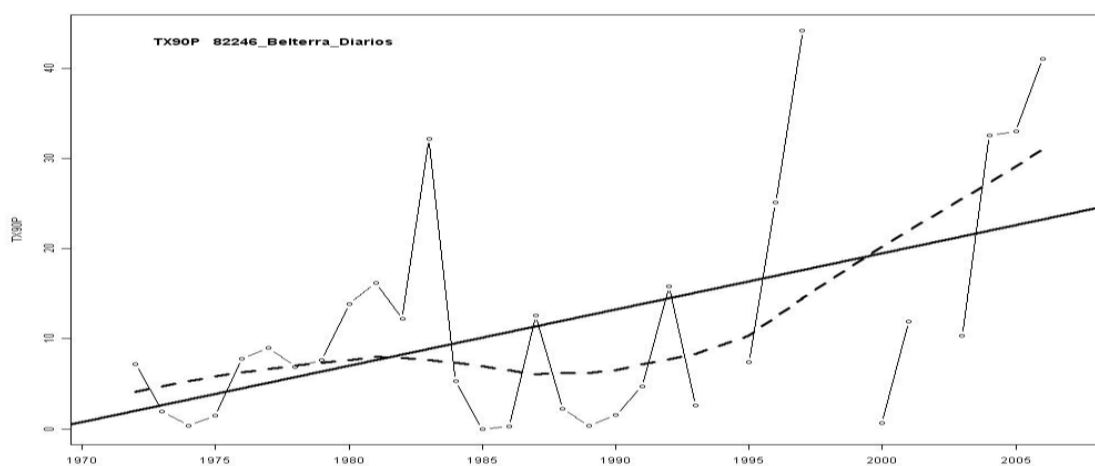
Observou-se para a estação de Breves que a máxima percentagem de TX90p ocorreu na década de 1970, nos anos de 1972, 1973 e 1974, com valores em torno de 40%. No final da década de 1970, durante a década de 1980 e início da década de 1990 o índice apresentou as menores percentagens dos 30 anos estudados indicando que os dias quentes sofreram redução durante aquele período, porém a partir da segunda metade da década de 1990 o índice sofreu aumento. Para a estação de Cametá verificou-se que a década de 1970 apresentou valores em torno de 20% nos anos de 1971, 1973, 1974 e 1975 com redução desse percentual a partir da segunda metade da década de 1970 perdurando até os quatro primeiros anos da década de 1990, e sofrendo aumento na primeira metade dos anos de 2000, atingindo valores aproximados de 50% no ano de 2004. Para a estação de Belterra observou-se que nos últimos 30 anos houve um aumento progressivo na percentagem de TX90p desde a década de 1970 até o ano de 2006, excetuando-se a segunda metade da década de 1980, primeira metade da década de 1990, final desta década e nos dois primeiros anos de 2000, em que se constatou ligeiras quedas nas percentagens de dias quentes.

Para a estação de Marabá, excetuando-se a segunda metade dos anos de 1990, observou-se um aumento sistemático das percentagens de TX90p a partir da década de 1980 até a primeira metade dos anos 2000, apresentando seu máximo no ano de 2004 com valor aproximado de 80%, o qual representa a maior percentagem de dias quentes dos últimos 30 anos para a estação de Marabá, a qual foi a única estação a apresentar significância estatística para o índice TXX (Figura 13), o qual veremos a seguir.

a) Breves



b) Belterra



c) Cametá

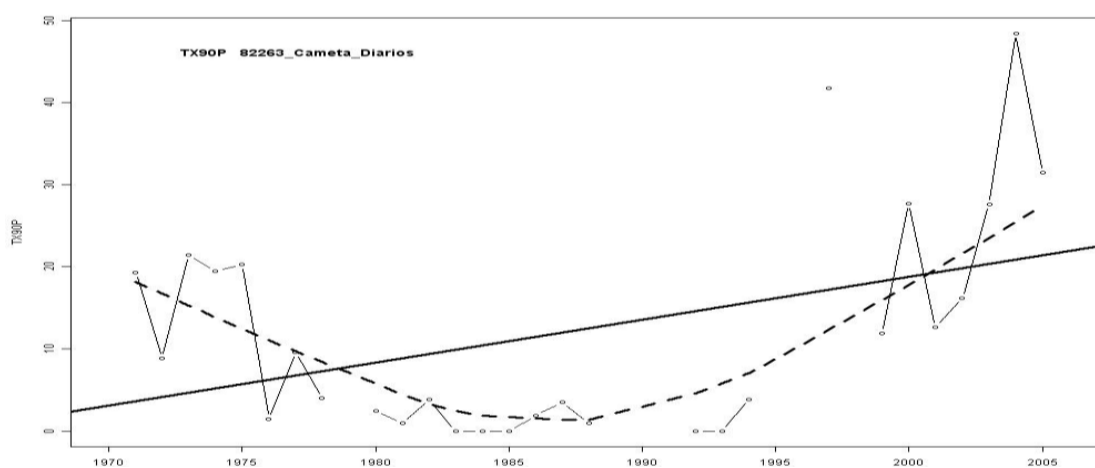


Figura 12 – Séries temporais do índice TX90p. Representando a linha sólida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.

d) Marabá

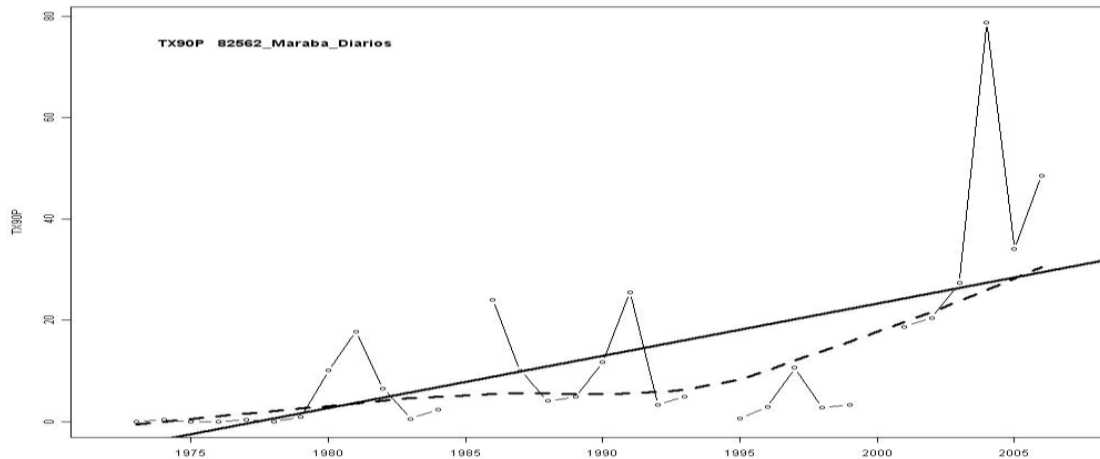


Figura 12 – TX90p (continuação).

Assentindo com o resultado do índice TX90p (Figura 12) que revelou o aumento dos dias quentes na estação de Marabá, o índice TXX (Figura 13) também apresentou aumento sistemático de temperatura máxima nas últimas três décadas, excetuando-se ligeiras quedas na segunda metade da década de 1970, nos três primeiros anos da década de 1980 e durante a década de 1990, exceto para o ano de 1990 que apresentou o maior valor de TXX, em torno dos 40°C, nas três décadas estudadas para a estação de Marabá.

Marabá

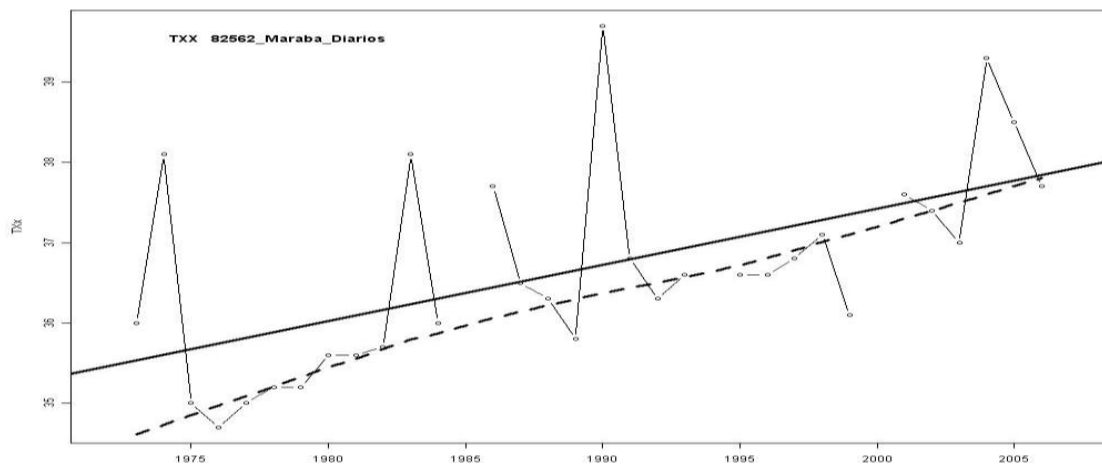
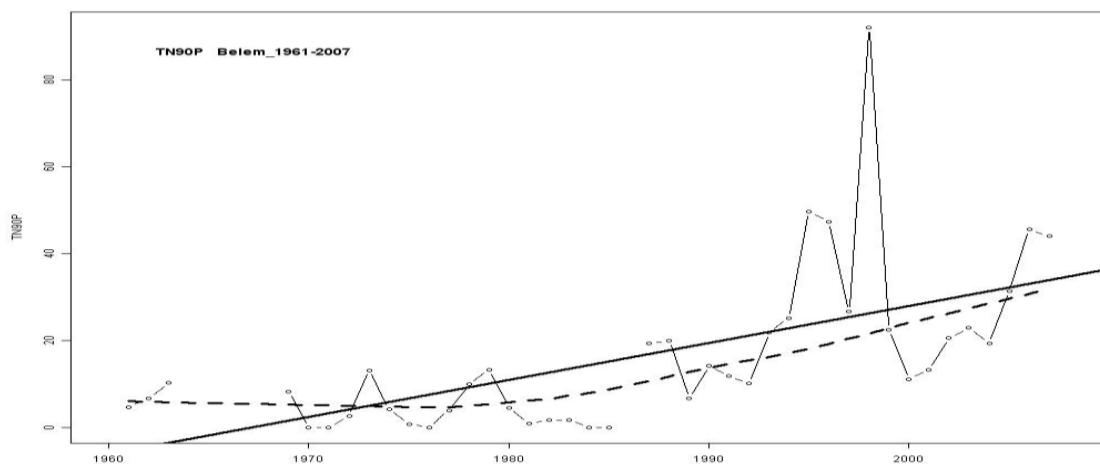


Figura 13 – Séries temporais do índice TXX em Marabá. Representando a linha sólida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.

Para o índice que representa as Noites Quentes (TN90p), Figura 14, observou-se que das oito estações estudadas todas apresentaram significância estatística. As quais foram: Belém (a), Belterra (b), Monte Alegre (c), Breves (d), Soure (e), Cametá (f), Marabá (g) e Tucuruí (h), além de apresentarem significância estatística, revelaram um aumento sistemático nos seus padrões de variabilidade do índice TN90p a partir da década de 1970 até a primeira metade dos anos 2000, com ligeiras quedas nos percentuais de TN90p ocorrendo na década de 1980 nas estações de Belém, Belterra, Breves, Soure e Cametá.

a) Belém



b) Belterra

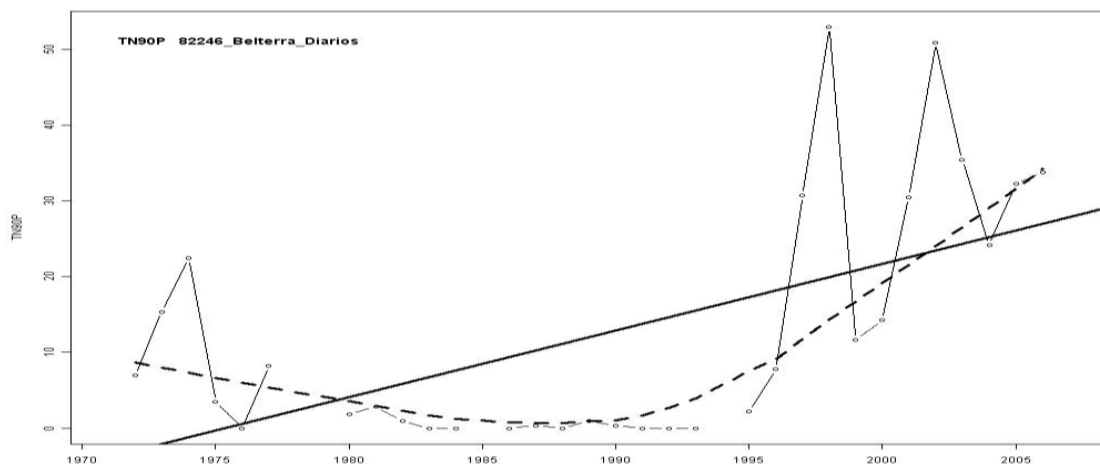
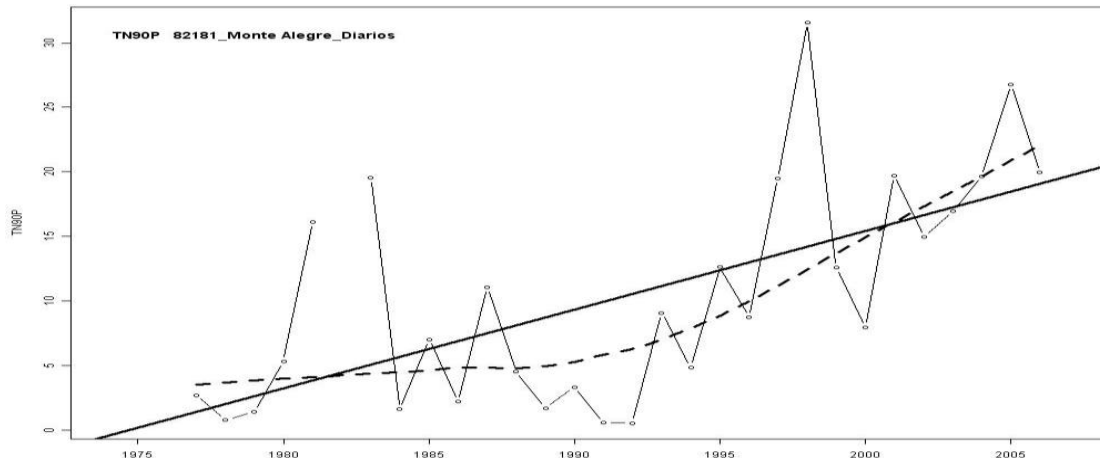
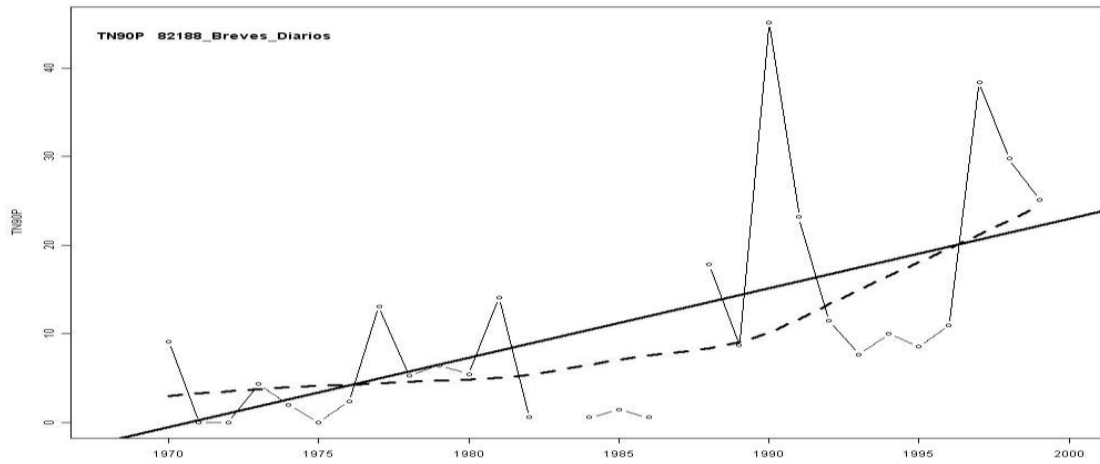


Figura 14 – Séries temporais do índice TN90p. Representando a linha sólida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.

c) Monte Alegre



d) Breves



e) Soure

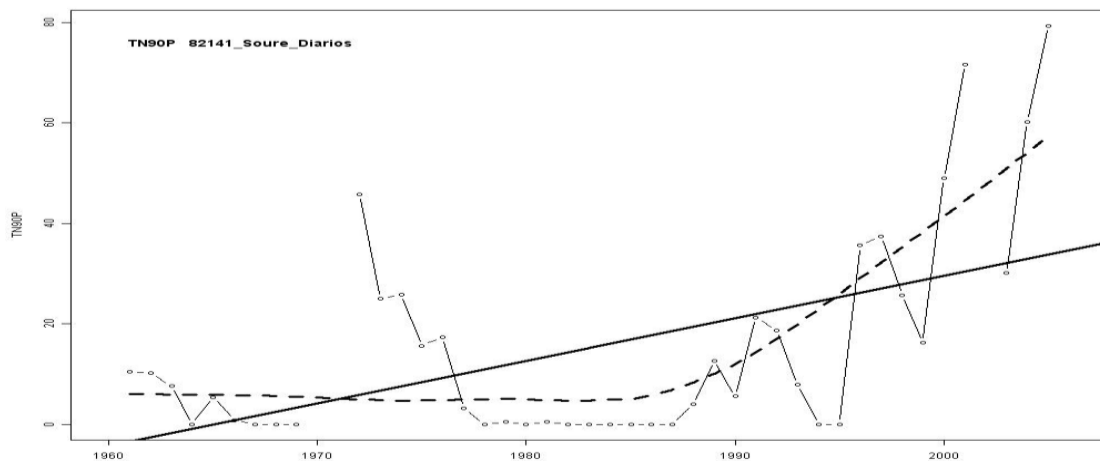
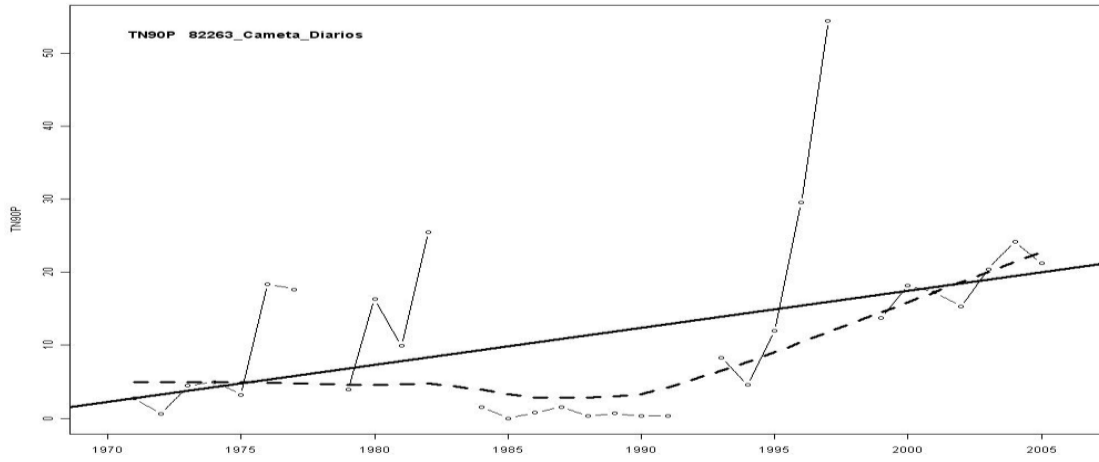
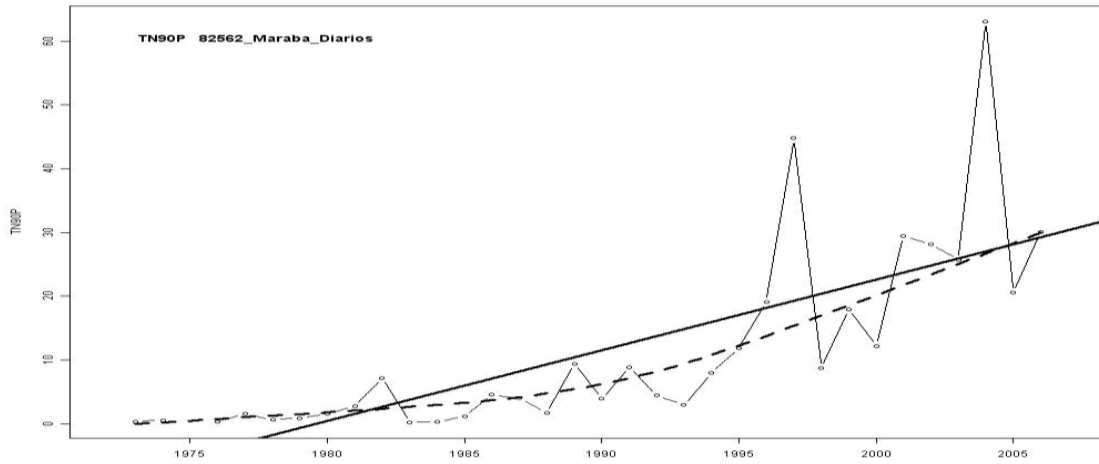


Figura 14 – TN90p (continuação).

f) Cameté



g) Marabá



h) Tucuruí

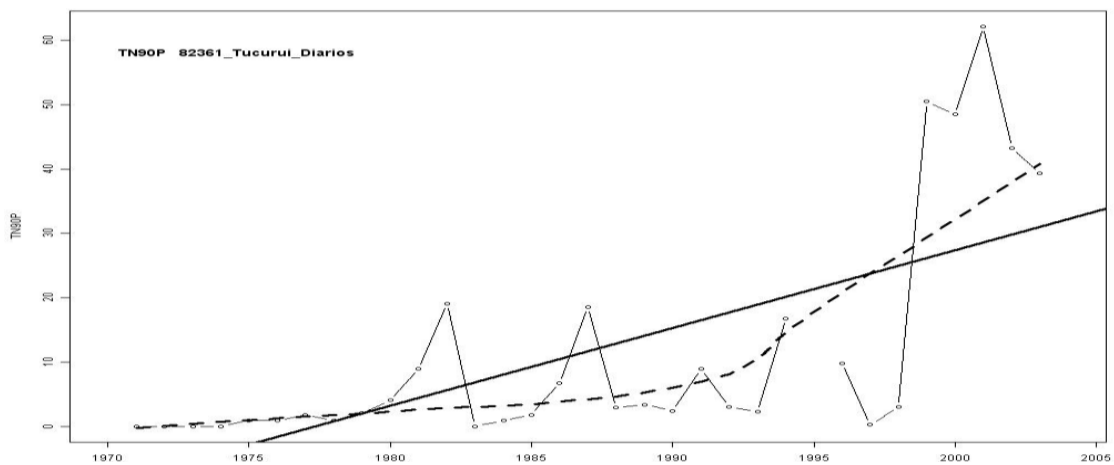
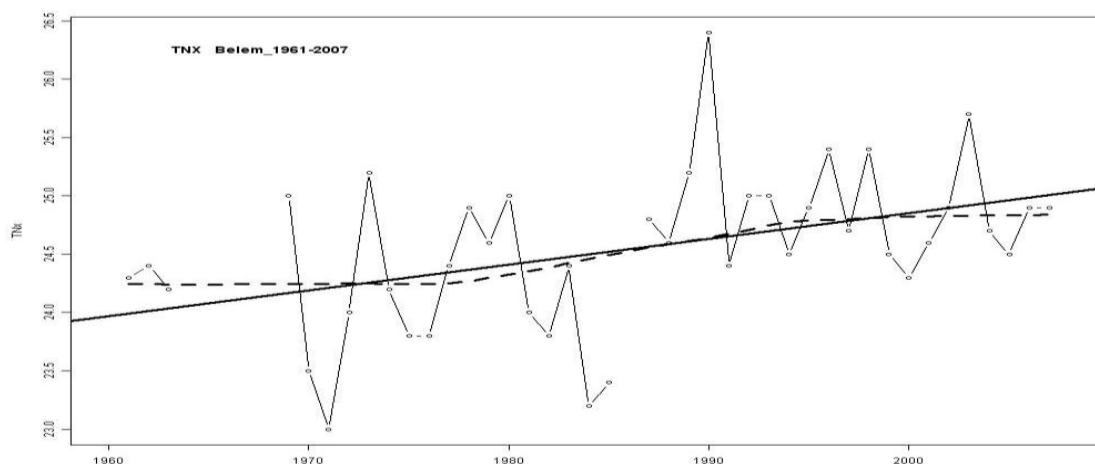


Figura 14 – TN90p (continuação).

De acordo com os resultados de variabilidade encontrados para o índice TN90p (Figura 14) que apontou o aumento das noites quentes para as estações estudadas, o índice TNX, Figura 15, que representa os máximos valores da temperatura mínima, revelaram também a partir do seu padrão de variabilidade que ocorreu um aumento sistemático dos valores máximos da temperatura mínima nas últimas décadas, sendo possível notar nas estações de Belém (a), Monte Alegre (c) e Soure (e), alta variabilidade de TXN e um aumento sistemático desse índice, corroborando com os resultados encontrados no índice TN90p para aquelas estações. Por outro lado, as estações de Marabá (b) e Tucuruí (d), não apresentaram alta variabilidade em suas séries de dados, todavia apresentaram um aumento sistemático de TNX desde os anos de 1970 até o ano de 2005.

a) Belém



b) Marabá

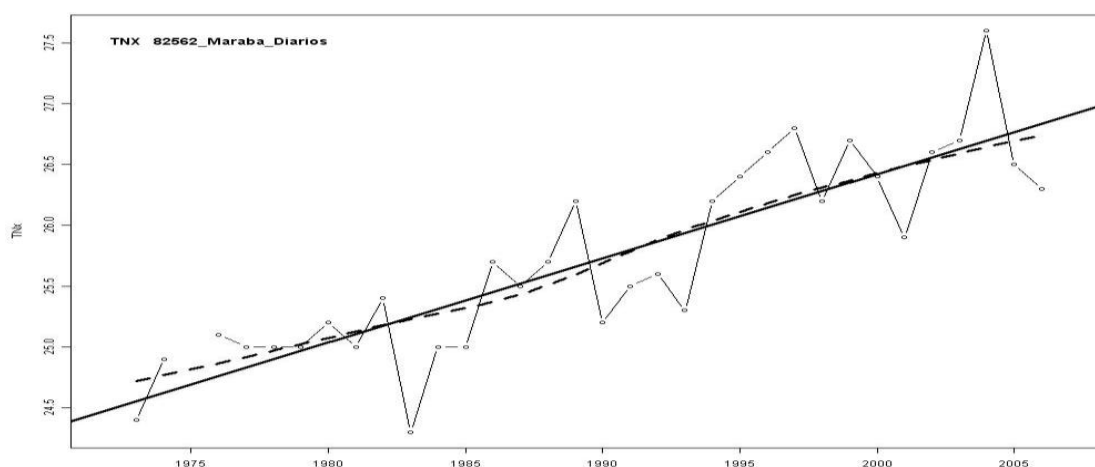
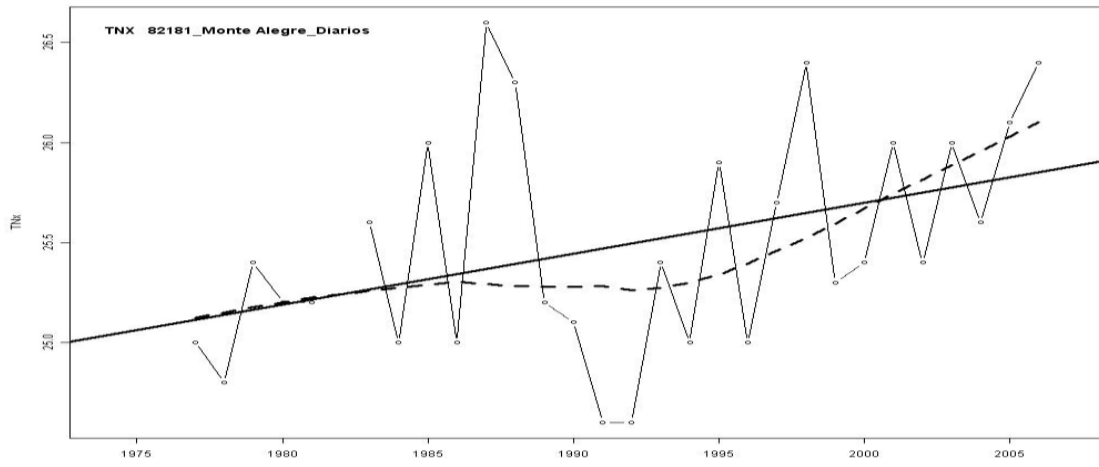
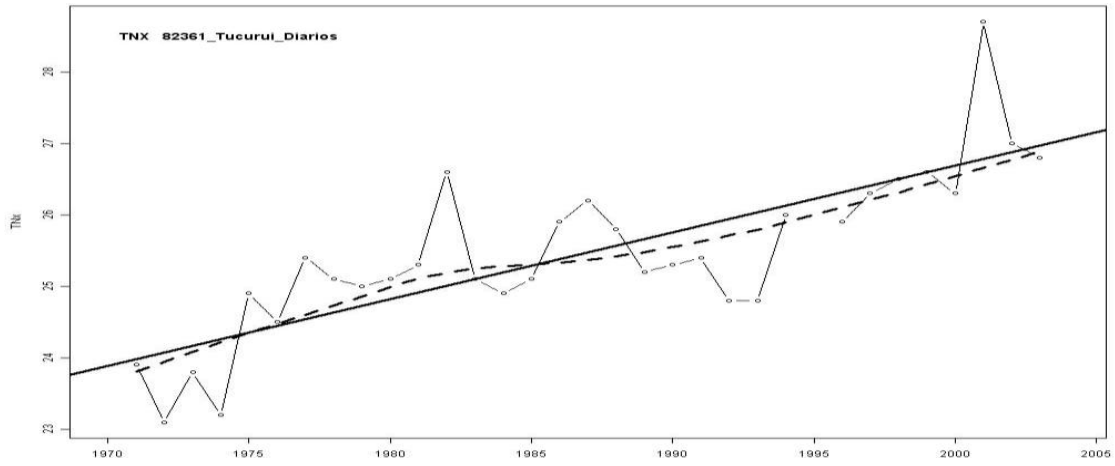


Figura 15 – Séries temporais do índice TNX. Representando a linha sólida a tendência calculada através do Método dos Mínimos Quadrados e a linha pontilhada através do Método de Regressão linear ponderada.

c) Monte Alegre



d) Tucuruí



e) Soure

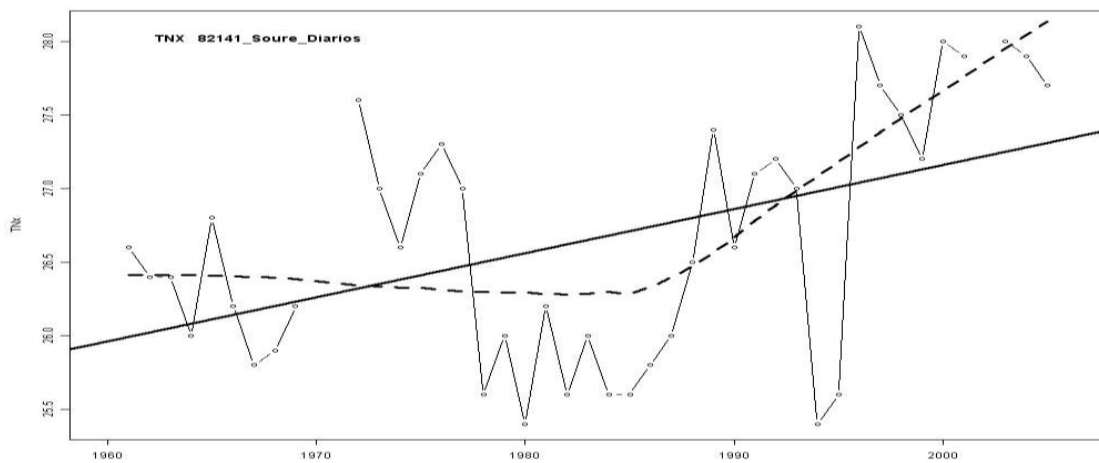


Figura 15 – TNX (continuação).

4.2 TENDÊNCIAS DA PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA ORIENTAL (TESTE DE MANN-KENDALL)

Nesta secção apresentam-se os resultados das tendências da precipitação anual e sazonal, as quais foram obtidas através da aplicação do teste não-paramétrico de Mann-Kendall nos dados das estações pluviométricas da Amazônia oriental. Ressalta-se que os resultados das tendências referem-se a uma amostragem das últimas 3 décadas, cujo período caracteriza o clima atual da Amazônia. A Figura 16 ilustra a amostragem de cada estação localizada sobre a Amazônia oriental, com períodos que variam entre 25 e 37 anos, ou seja, contempla dados desde o início da década de 70 até 2009. Para maiores detalhes sobre os anos (início e fim) de cada estação pluviométrica, ver a Tabela 2.

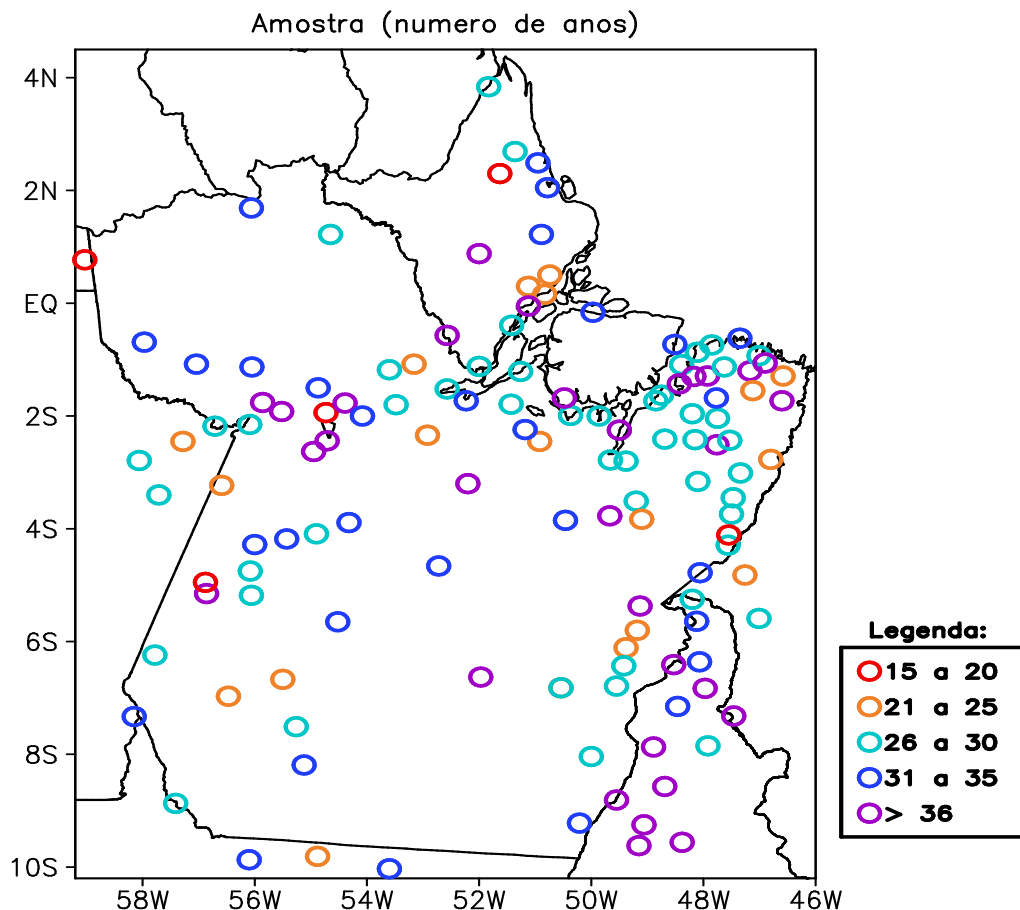


Figura 16. Amostragem (número de anos) das séries temporais das estações pluviométricas da Amazônia oriental. Os círculos em cores diferenciadas indicam a amostragem em anos. Sendo que das 134 estações, 4% possuem uma amostragem de 15 a 20 anos; 14% (21 a 25 anos); 36% (26 a 30 anos); 24% (31 a 35 anos) e 22% (> 36 anos).

4.2.1 Tendência Anual

A Tabela 7 mostra os resultados do teste de Man-Kendall para a precipitação anual com os valores de Z (tendência), Q (magnitude) e significância (SIG) estatística encontrados para cada uma das 134 estações da Amazônia oriental. Os resultados da Tabela 7 foram espacializados na Figura 16a contendo o sinal de Z colocado na forma dos símbolos, +, - e N indicando tendências de aumento, diminuição ou neutralidade, respectivamente, e na Figura 16b que mostra os valores de Q (magnitude da tendência em mm) para cada estação da Amazônia.

Analisando os resultados da Tabela 7 e a Figura 17 observa-se que das 134 estações analisadas 68 apresentaram tendência positiva e 56 apresentaram tendência negativa, as quais correspondem a aproximadamente a 50,7 % e 41,8%, respectivamente, sendo que os restantes 7,5%, 10 estações, apresentaram tendência de neutralidade no período estudado. As 68 estações que apresentaram tendências positivas (símbolo +) foram as de número (ver numeração e nome da estação na Tabela 2): 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 18, 21, 22, 24, 25, 26, 28, 32, 38, 41, 42, 44, 46, 48, 50, 51, 53, 55, 56, 57, 59, 63, 64, 66, 67, 70, 71, 73, 76, 79, 80, 84, 87, 88, 90, 94, 95, 96, 98, 99, 101, 103, 105, 106, 110, 116, 117, 118, 119, 123, 124, 128, 130, 132. Destas 68, 14 estações, que representa 10,5%, apresentaram tendências com significância estatística maior do que 90%, as quais estão localizadas no setor nordeste (4, 18, 22 e 38), no setor noroeste (5, 6 e 24), no setor sudeste (10, 44 e 80) e no setor norte (66) da Amazônia oriental, evidenciando que ocorreu um aumento sistemático da precipitação anual nestas localidades (Figura 17a). A estimativa da magnitude (Figura 17b) da tendência positiva de precipitação indica valores respectivos de Q da ordem de 33,0 mm, 27,0 mm, 10,0 mm e 29,4 mm para as estações do setor nordeste. Para as estações do setor noroeste os respectivos valores foram de 20,8 mm, 23,9 mm e 19,7 mm, já para as estações do setor sudeste e norte da Amazônia, os valores das magnitudes foram de 9,7 mm, 35,0 mm e 45,2 mm e 77,5 mm, respectivamente.

Por outro lado, as 56 estações que apresentaram sinal de tendências negativas de precipitação anual foram as de número: 2, 8, 13, 14, 17, 19, 20, 23, 27, 29, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 43, 47, 49, 52, 54, 61, 62, 65, 68, 69, 72, 74, 75, 78, 81, 82, 83, 86, 89, 91, 92, 93, 100, 104, 107, 108, 109, 111, 112, 114, 115, 120, 121, 122, 125, 127, 129, 131, 133 e 134. Destas 56, 13 estações, ou 9,8%, apresentaram tendências estatisticamente significantes, as quais localizam-se nos setores sudeste (2, 13, 36, 83 e 131), sul (8 e 54), norte (81, 82 e 91) e nordeste (112, 122 e 127) da Amazônia oriental, evidenciando que ocorreu redução

sistemática da precipitação anual nestas localidades (Figura 17a). As magnitudes das tendências negativas com significância estatística foram de -15,0 mm, -10,0 mm, -8,5 mm, -8,7 mm e -15,5 mm para as estações do setor sudeste, em torno de -12,0 mm e -26,5 mm para as estações do setor sul, -45,5 mm, de -15,0 mm e -17,0 mm para as estações do setor norte, e de -19,0 mm, -25,0 mm e -35,6 mm para as estações do nordeste da Amazônia oriental.

E as outras 10 estações com tendências neutras foram as de número: 20, 40, 45, 58, 60, 77, 85, 97, 102 e 126.

Tabela 7 – Resultados do teste de Man-Kendall para a precipitação anual com os valores de Z (tendência), Q (magnitude) e significância (SIG) estatística de 99,9 (***), 99 (**), 95 (*) e 90% (+).

Estação	Z	Q	SIG	Estação	Z	Q	SIG
Abaetetuba	0,9	9,2		Muricilândia	4,4	30,6	***
Abreulândia	-2,5	-15,0	*	Navio	-2,2	17,0	*
Acampamento IBDF	0,6	5,6		Nhamundá	-0,2	-3,0	
Acará	3,4	33,0	***	Oeiras do Pará	1,2	22,6	
Aldeia Wai-Wai	2,2	20,8	*	Oiapoque	0,3	3,3	
Alenquer	1,9	23,9	+	Oriximina	0,7	3,6	
Almeirim	0,8	8,7		Ourém	N	0,6	
Alta Floresta	-2,0	-12,0	+	Palmeirante	0,8	6,1	
Amapá	0,6	15,7		Paragominas	0,2	2,0	
Ananás	2,5	9,7	*	Parintins (Mocambo)	-0,3	-1,7	
Apalai	0,7	7,2		Porto Ariri	1,1	9,1	
Aporema	1,5	1,0		Prainha	N	0,2	
Araguacema	-1,7	-10,0	+	Primavera	0,7	15,7	
Araguatins	-0,3	-1,0		Redenção	1,6	12,3	
Arapari	0,6	2,5		Reta Km32	0,5	-9,4	
Areias	1,2	14,0		Rondon do Pará	-1,4	-17,0	
Badajós	-1,5	-13,3		S. Sebastião do TO	0,0	-3,0	
Baião	2,0	27,0	*	Salinópolis	0,3	5,0	
Barreira do Campo	N	-0,3		Santa Cruz	-0,4	-8,4	
Barreirinha	0,3	5,7		Santa Izabel do Pará	-2,4	-19,0	*
Boca do Inferno	2,6	19,7	*	Santarém	0,9	12,4	
Buritirama	1,0	7,4		São Domingos do Capim	-1,2	-8,3	
Cachimbo	-0,2	-0,2		São Francisco	0,3	1,2	
Cachoeira da Porteira	1,5	13,2		Serra Navio	0,9	3,2	
Cachoeira Tramcabeua	-0,8	-13,7		Sítio Sta. Maria	3,1	59,5	**
Cafezal	-1,3	-18,7		Tararua-Ponte	-2,7	-25,0	**
Calçoene	0,2	3,4		Tomé-Açu	0,7	11,3	
Capanema	-0,6	-5,8		Vigia	N	-0,1	
Carmo	-0,7	-1,5		Vila do Conde	-2,8	-35,6	**
Carolina	-1,7	-8,5	+	Vila Elim	0,7	7,4	
Castanhal	-0,8	-7,5		Vila São Benedito	-0,3	-2,8	
Chaves	2,3	29,4	*	Vista Alegre Conj. 2	0,9	7,2	
Colônia	-0,7	-2,5		Wanderlândia	-2,8	-15,5	**
Cunani	N	-1,9		Xambioá	1,3	9,0	
Curuçá	0,6	9,2		Barra São Manuel	0,6	-3,8	
Dois Irmãos	-1,6	-9,3		Cajueiro	-2,3	-11,2	
Eldorado	3,1	35,0	**	Cupari	1,4	7,2	
Emborai	N	-0,8		Faz. Sta. Emília	-4,4	-26,5	***
Faz. Bela Vista	1,1	9,6		Garimpo do Patrocínio	0,4	4,9	
Faz. Caiçara	-1,0	-14,8		Jacareacanga	0,1	1,9	
Faz. Estrela do Norte	1,2	10,3		Jatobá	-0,6	-5,4	
Faz. Juará	-0,7	-7,7		Km 1027 Br - 163	0,9	4,5	
Faz. Maringá	0,9	6,3		Km 1130 Br - 163	-1,1	-14,2	
Faz. Planalto	1,6	13,2		Km 1326 Br - 163	1,4	10,7	
Faz. Santa Elisa	-0,9	-8,1		Km 1342 Transamazônica	-0,6	-12,3	
Faz. São Raimundo	0,3	4,4		Km 1385 Br - 163	-1,1	-12,0	
Faz. Surubim	0,3	3,6		Km 947 Br - 163	N	-0,8	
Faz. Urucure	1,6	18,0		Monte Alegre do Xingu	0,2	1,9	
Goianesia	N	-0,1		Proj. Tucumã	-0,2	-2,3	
Guariba	1,4	12,0		Ruropolis Pte. Medici	-0,7	-10,6	
Gurupizinho	N	0,1		Sítio São Pedro	0,2	1,0	
Igarapé-Açu	-0,9	-7,5		Sta. Rosa	-0,5	-3,0	
Irapuru	-0,9	-12,9		Belém	1,9	10,0	+
Itapeuá do Pará	0,2	3,0		Belterra	-0,1	-1,0	
Itaporã	-1,0	-3,8		Breves	0,7	4,4	
Itaubal	3,3	77,5	**	Cametá	-0,3	-3,0	
Jarilândia	-0,5	-6,8		Itaituba	1,0	6,1	
Jurutí	0,5	7,8		Marabá	-1,5	-8,7	+
Km 60 PA - 150	1,7	23,4		Monte Alegre	1,6	10,5	+
Km Zero PA - 70	-0,9	-9,8		Obidos	-0,5	-3,0	
Kuxaré	1,6	13,2		São Felix do Xingu	-2,3	-16,0	
Ligação do Pará	2,3	45,2	*	Soure	-0,6	-3,4	
Lourenço	-2,1	-45,5	*	Tracuateua	0,4	3,6	
Maracacuera Florestal	0,5	6,3		Tucuruí	-0,1	-1,7	
Maués	N	0,5		Macapá	-2,2	-15,0	*
Miracema	-0,2	-2,0		Altamira	-1,0	-5,0	
Mosqueiro	-1,1	-12,0		PortoMoz	-0,2	-1,3	

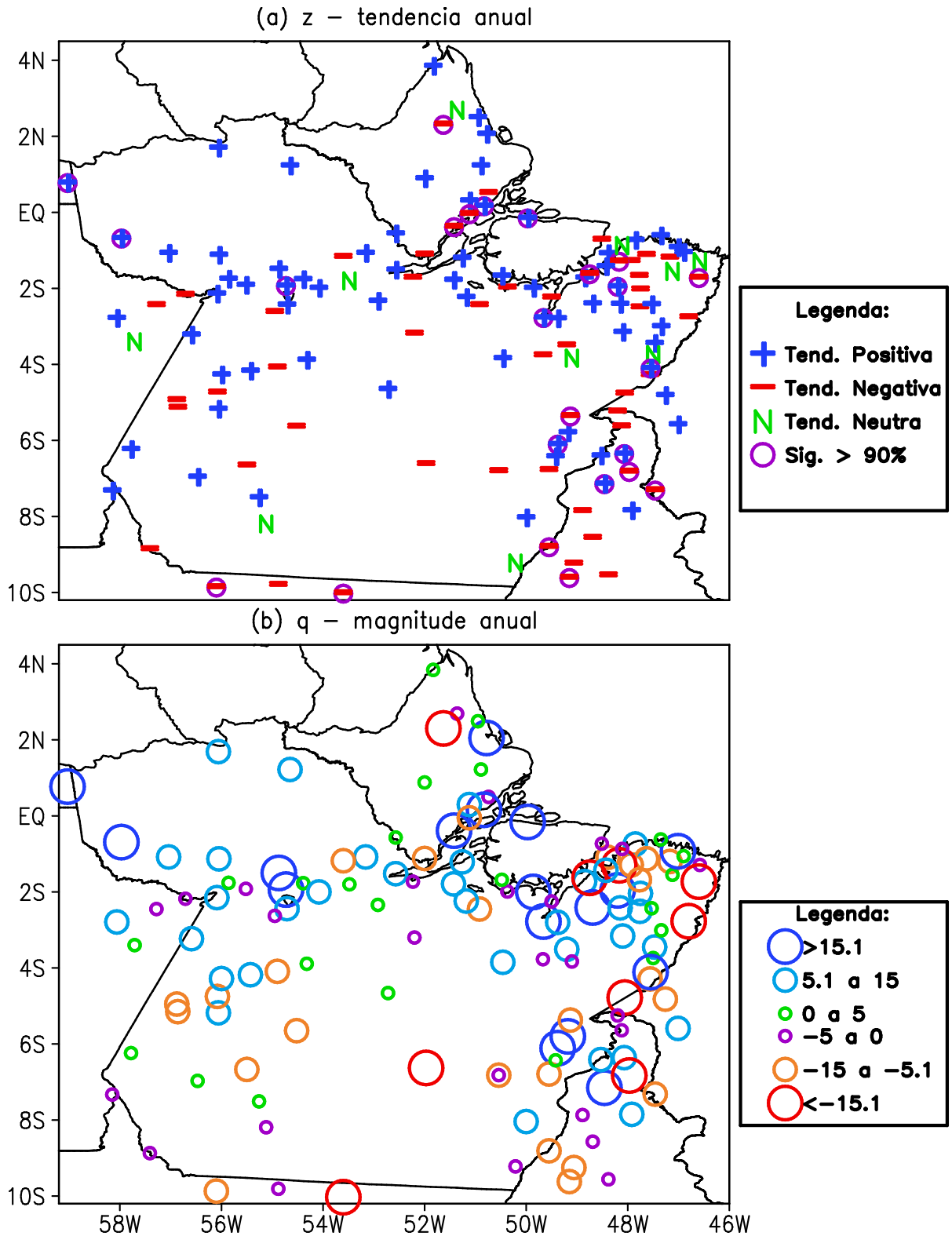


Figura 17 – Mapa espacial dos (a) sinais de Z indicando as tendências da precipitação anual e (b) valores de Q indicando a magnitude das tendências nas estações pluviométricas da Amazônia oriental. As legendas encontram-se à direita das figuras.

As Figuras 18 e 19 mostram algumas séries temporais observadas nas estações em que o método não-paramétrico detectou a tendência de aumento e diminuição, respectivamente, da precipitação anual durante o período estudado, com significância estatística acima de 90%. Nestas Figuras, a linha preta sólida indica a reta de inclinação da tendência estimada pelo método de Sen, sendo que no ponto de interseção das retas com intervalos de confiança entre 90% e 95% (linhas pontilhadas em vermelho e azul) estimados pelo método de Sen, verifica-se o ano em que a tendência torna-se sistemática ou monotônica (SAIMI et al 2002).

Na Figura 18 nota-se que a tendência de aumento da precipitação anual torna-se mais sistemático a partir dos anos de 1997 para as localidades de Acará (a) e Eldorado (e). Para as localidades de Boca do Inferno (d) e Aldeia Wai-Wai (l) o ano que a tendência tornou-se monotônica foi o ano de 1992. Já para as localidades de Ananás (f) e Chaves (k) o ano foi 1993, para Ligação do Pará (g) e Sítio Santa Maria (i) o ano foi 1998.

Para as localidades de Itaubal (b), Baião (c), Km 60 (h), Muricilândia (j) e Belém (m) a tendência monotônica é verificada a partir dos anos de 1996, 1995, 1999, 1990 e 1988, respectivamente.

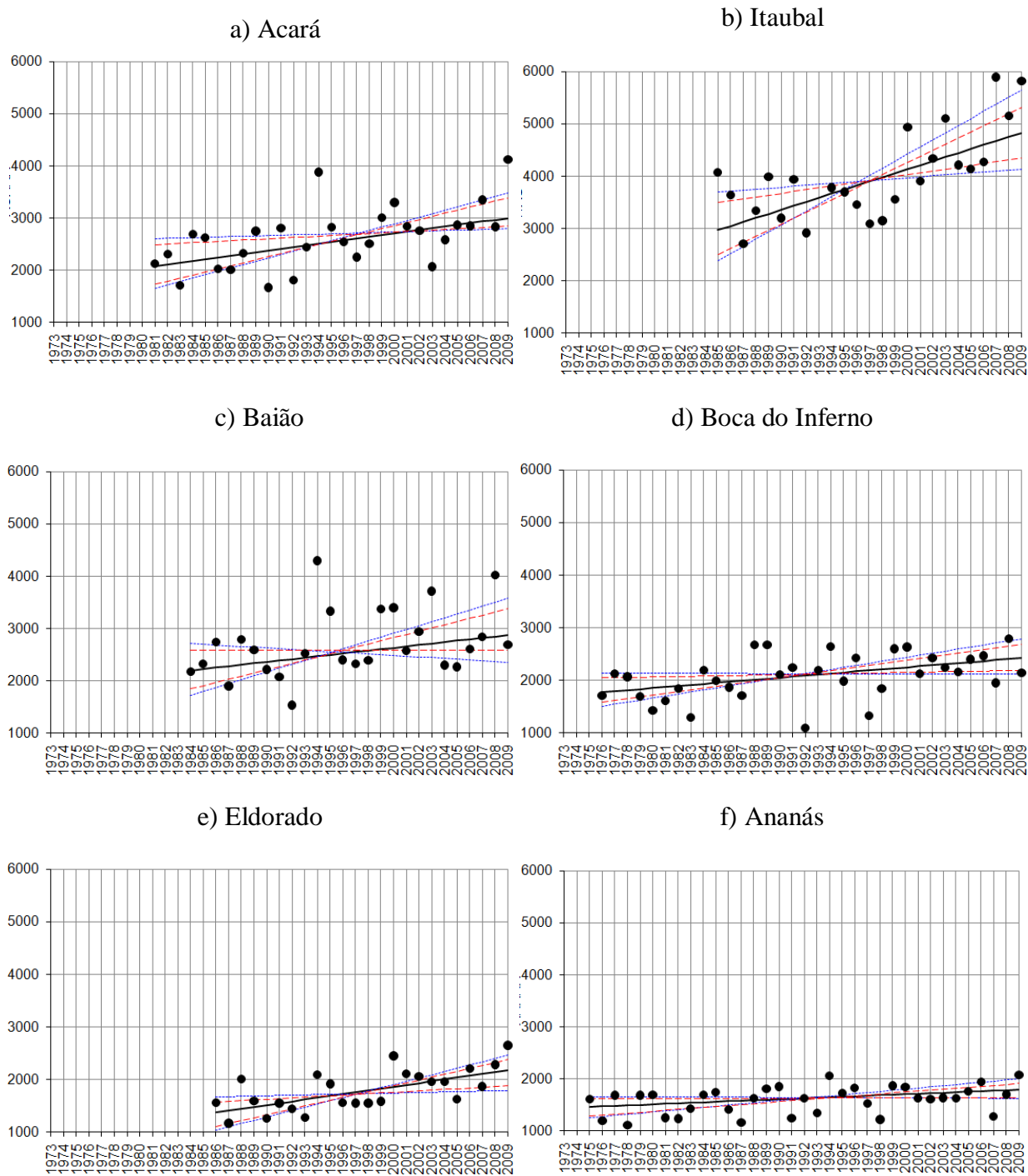
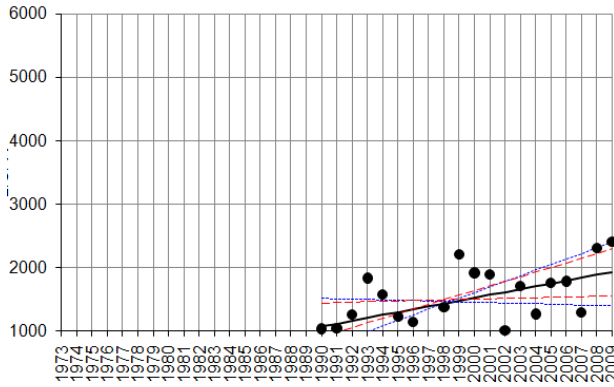
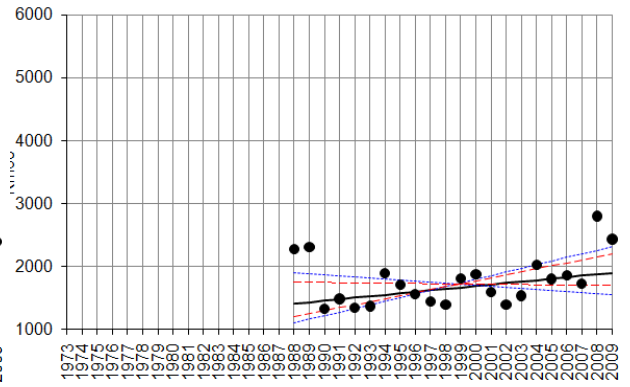


Figura 18 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de aumento da precipitação anual. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.

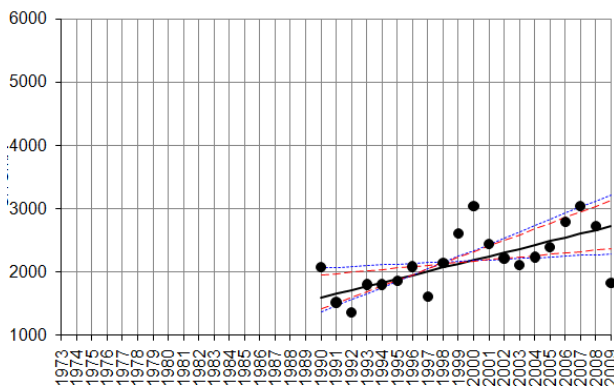
g) Ligação do Pará



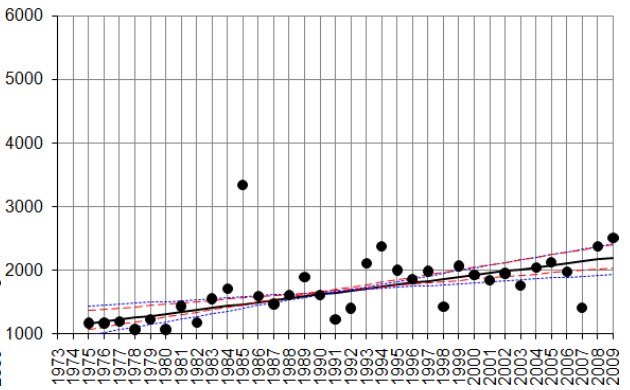
h) Km60



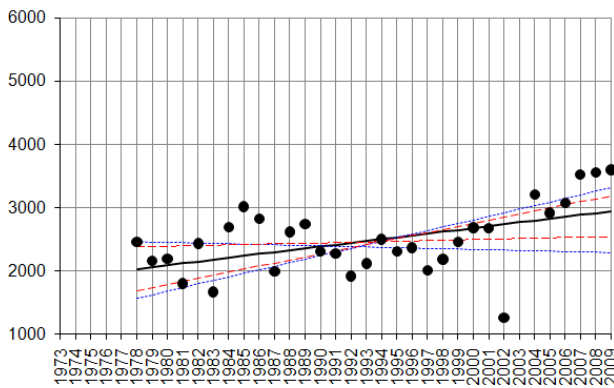
i) Sitio Sta. Maria



j) Muricilândia



k) Chaves



l) Aldeia Wai-Wai

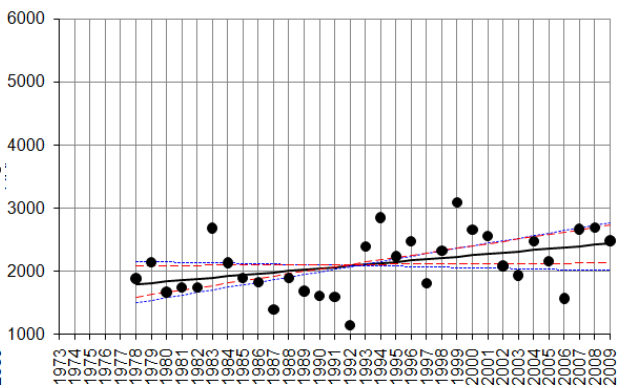


Figura 18 (continuação).

m) Belém

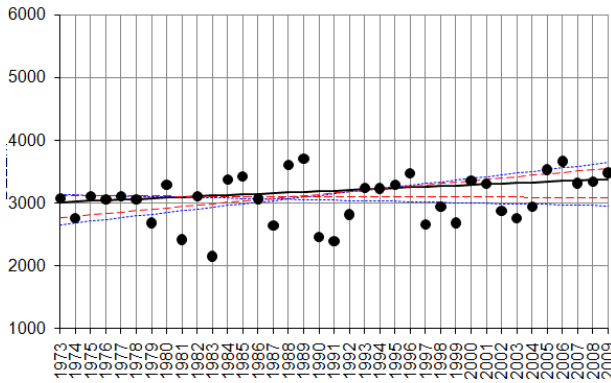
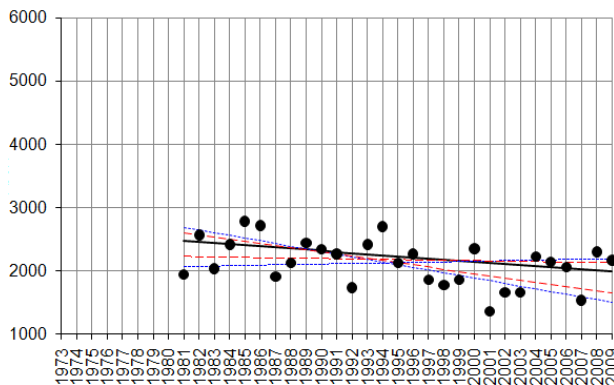


Figura 18 (continuação).

Na Figura 19, que mostra algumas estações com tendência de diminuição da precipitação anual, nota-se que a tendência tornou-se sistemática a partir do ano de 1994 nas localidades de Navio (a) e Vila do Conde (c). Já para as localidades de Cajueiro (b), Wanderlândia (i) e Macapá (k), a tendência negativa tornou-se sistemática a partir do ano de 1993.

Por outro lado, os anos de 1998, 1990, 1987, 1996, 1991, 1992 e 1986, foram os anos em que a tendência negativa tornou-se sistemática para as localidades de Tararua-Ponte (d), Santa Isabel (e), Carolina (f), Araguacema (g), Abreulândia (h), Fazenda Santa Emília (j) e São Félix do Xingu (l), respectivamente.

a) Navio



b) Cajueiro

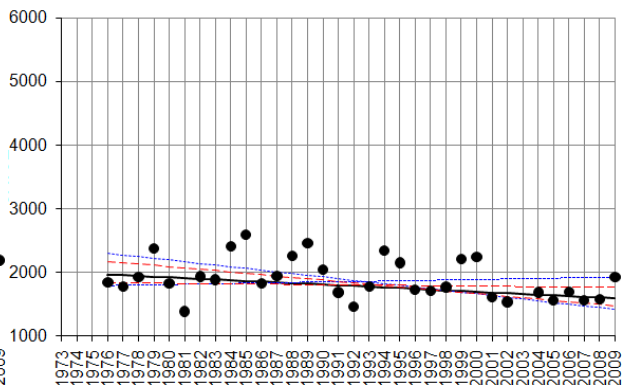
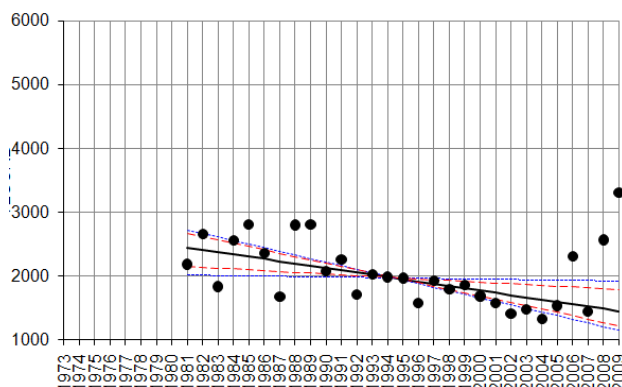
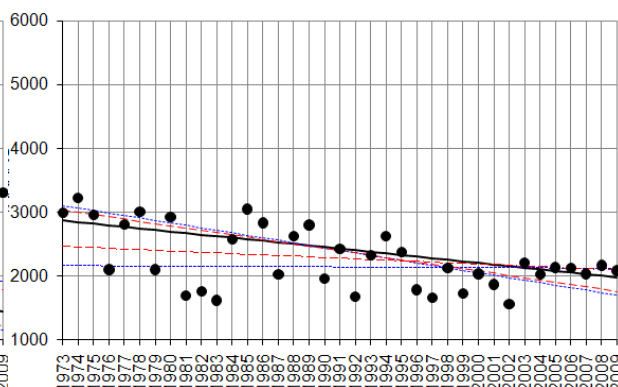


Figura 19 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de diminuição da precipitação anual. Os pontos pretos indicam a chuva anual. A reta preta indica a inclinação da tendência negativa estimada pelo método de Sen.

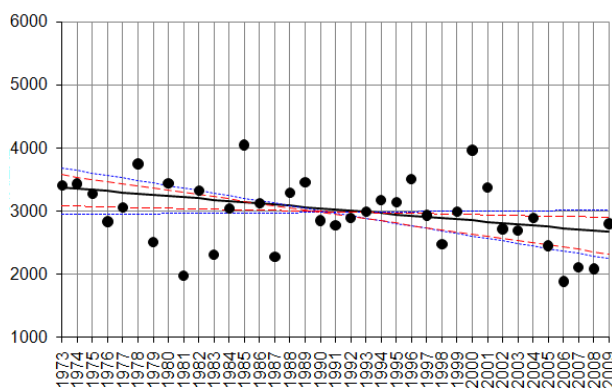
c) Vila do Conde



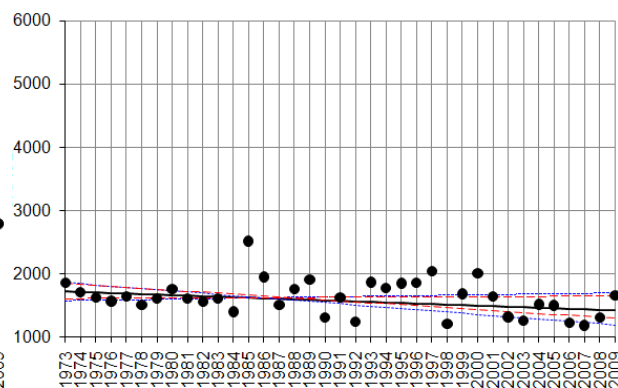
d) Tararua - Ponte



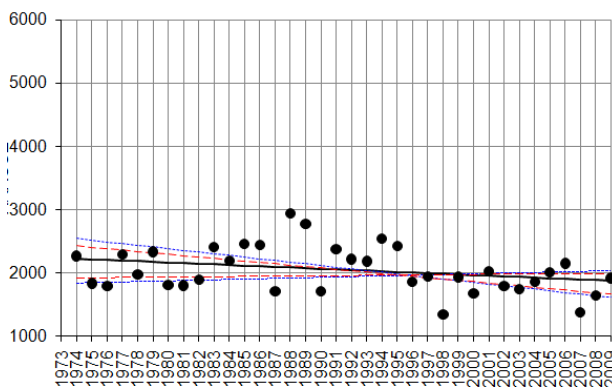
e) Sta. Izabel



f) Carolina



g) Araguacema



h) Abreulândia

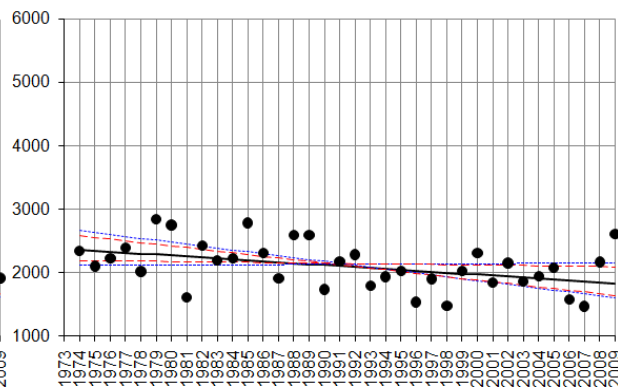
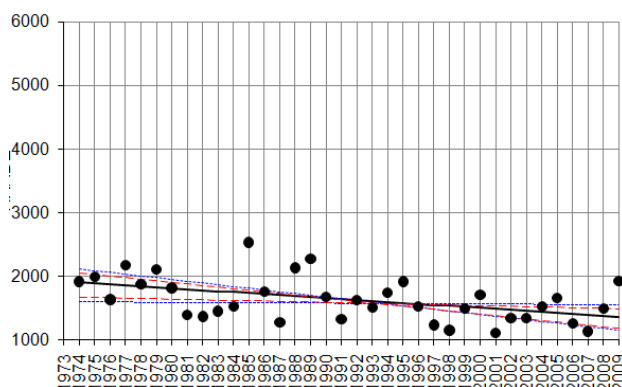
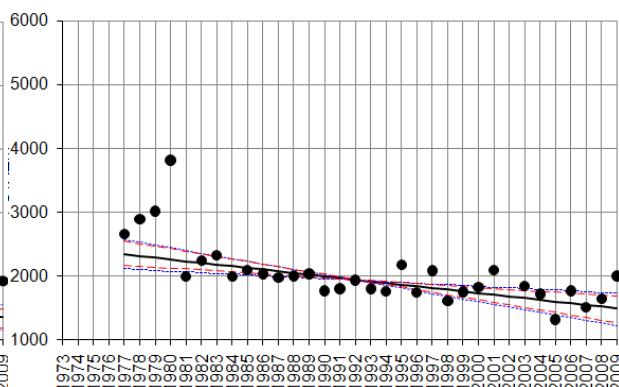


Figura 19 (continuação).

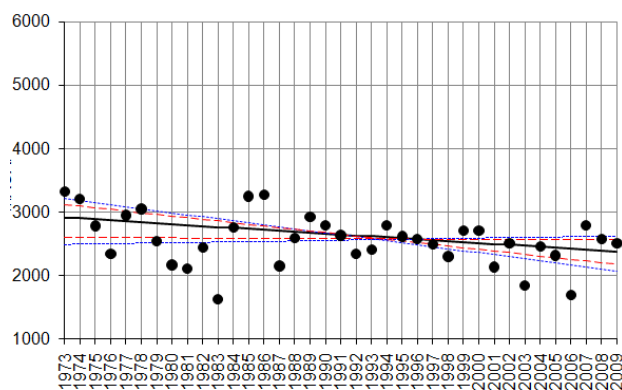
i) Wanderlândia



j) Faz. Sta. Emília



k) Macapá



l) S. Félix do Xingu

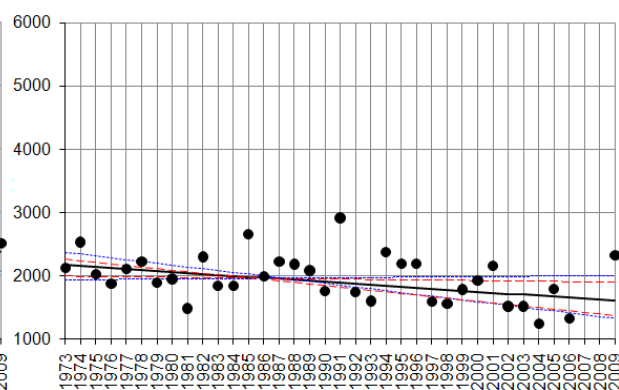


Figura 19 (continuação).

4.2.2 Tendências Sazonais

Embora os resultados das tendências anuais discutidos na seção anterior sejam relevantes sob diversos aspectos, um ponto importante é saber se há algum sinal marcante do ponto de vista sazonal inserido dentro daquele sinal anual.

Como a característica intrínseca da pluviometria na Amazônia é a alta variabilidade espacial e temporal, pode ser que as tendências anuais estejam mascarando algum sinal de tendência sazonal. Na verdade, a informação científica de como se configuram as tendências sazonais torna-se mais importante tanto do ponto de vista da resolução da escala temporal mais detalhada e regionalizada, como também pela aplicação dos resultados ao planejamento das atividades econômicas diferenciadas para cada período do ano.

A Tabela 8 mostra os resultados do teste de Mann-Kendall para a precipitação sazonal de MAM para cada uma das 134 estações, sendo que estes resultados foram plotados na Figura 8 para ter-se a visualização espacial dos sinais de tendência sobre a Amazônia oriental.

Os resultados da Tabela 8 e da Figura 20 evidenciaram que do total de 134 estações, 99 apresentaram tendência positiva, enquanto que 31 estações apresentaram tendência negativa, as quais correspondem a aproximadamente a 73,9% e 23,1%, respectivamente. As 4 estações restantes, ou seja 3%, apresentaram tendência de neutralidade no período estudado.

As 99 estações que apresentaram tendências positivas foram as de número: 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 32, 34, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 110, 113, 116, 117, 118, 119, 120, 123, 124, 125, 128, 129, 130, 132 e 133. Destas 99, 26 estações, em torno de 19,4%, apresentaram tendências com significância estatística acima de 90%. As localidades com tendência positiva significativa posicionam-se nos setores norte, estação 12, com magnitude da ordem de 8,7 mm, no nordeste, estações 4, 16, 18, 22, 25, 38, 53 e 94, com magnitudes da ordem de 17,0 mm, 10,4 mm, 25,8 mm, 9,0 mm, 6,0 mm, 12,3 mm, 16,0 mm e 15,9 mm, no noroeste estações 5, 6, 15, 24, 28, 70 e 119, com magnitudes em torno de 18,8 mm, 19,6 mm, 6,3 mm, 9,4 mm, 6,0 mm e 9,8 mm, no leste, estação 51, com magnitude de aproximadamente 12,0 mm, no Centro, estação 88, com magnitude de 7,3 mm, no sudeste, estações 10, 44, 48 e 80, com valores das magnitudes em torno de 10,9 mm, 16,3 mm, 11,6 mm e 31,0 mm, e no sudoeste, estações 19, 63 e 73, com magnitudes da ordem de 9,8 mm, 31,0 mm e 7,3 mm (Figura 20a e 20b).

Inversamente, as 31 estações que apresentaram tendências negativas de precipitação sazonal totalizaram 31 localidades, particularmente nas estações de número: 2, 8, 13, 17, 27, 29, 30, 31, 33, 35, 36, 37, 43, 47, 52, 54, 62, 72, 81, 82, 91, 106, 111, 112, 115, 121, 122, 126, 127, 131 e 134, das quais apenas 3, ou seja 2,2%, apresentaram tendências negativas com significância estatística acima de 90%. Estas localizam-se no setor sul, estação 54 com magnitude de diminuição estimada em -5,5 mm, e no setor norte, estações 81 e 82, com magnitude de diminuição da ordem de -29,4 mm e -8,0 mm (Figura 20a e 20b).

Nas estações restantes, ou seja, 4 estações, ou 3%, apresentaram condições de neutralidade, particularmente nas estações de número 61, 98, 109 e 114.

Tabela 8 – Resultados do teste de Man-Kendall para a precipitação sazonal MAM com os valores de Z (tendência), Q (magnitude) e significância (SIG) estatística de 99,9 (***), 99 (**), 95 (*) e 90% (+).

Estação	Z	Q	SIG	Estação	Z	Q	SIG
Abaetetuba	1,3	7,5		Muricilândia	3,6	12,0	
Abreulândia	-1,1	-3,7		Navio	-0,9	-5,2	
Acampamento IBDF	0,8	4,0		Nhamundá	0,6	2,9	
Acará	2,3	17,0	*	Oeiras do Pará	2,2	15,9	*
Aldeia Wai-Wai	2,8	18,8	**	Oiapoque	1,5	7,2	
Alenquer	2,3	19,6	*	Oriximina	1,6	6,2	
Almeirim	1,1	4,0		Ourém	1,1	7,7	
Alta Floresta	-0,3	-1,4		Palmeirante	N	0,1	
Amapá	1,6	14,5		Paragominas	0,7	5,9	
Ananás	3,1	10,9	**	Parintins (Mocambo)	0,2	1,9	
Apalai	1,3	6,8		Porto Ariri	1,6	9,4	
Aporema	2,6	8,7	**	Praíha	1,0	5,2	
Araguacema	-0,8	-2,0		Primavera	1,5	14,6	
Araguatins	0,8	4,0		Redenção	0,6	3,4	
Arapari	1,7	6,3	+	Reta Km32	-0,5	-4,0	
Areias	2,1	10,4	*	Rondon do Pará	0,1	1,0	
Badajós	-0,4	-2,7		S. Sebastião do TO	N	0,0	
Baião	2,9	25,8	**	Salinópolis	1,0	9,6	
Barreira do Campo	0,4	1,1		Santa Cruz	-0,2	-3,6	
Barreirinha	0,4	1,5		Santa Izabel do Pará	-0,7	-2,8	
Boca do Inferno	2,9	9,4	**	Santarém	1,5	9,7	
Buritirama	0,4	2,6		São Domingos do Capim	N	0,0	
Cachimbo	-1,1	-3,2		São Francisco	1,1	3,4	
Cachoeira da Porteira	2,9	13,7	**	Serra Navio	0,5	1,5	
Cachoeira Tramcabeua	-0,4	-2,4		Sítio Sta. Maria	2,8	32,0	**
Cafezal	-0,1	1,0		Tararua-Ponte	-2,2	-5,7	
Calçoene	0,3	3,8		Tomé-Açu	0,8	6,7	
Capanema	0,9	3,7		Vigia	-0,3	-2,5	
Carmo	-0,8	-9,4		Vila do Conde	-0,9	-4,7	
Carolina	-0,4	-1,6		Vila Elim	0,4	3,9	
Castanhal	-1,2	-5,4		Vila São Benedito	1,9	11,0	
Chaves	2,5	12,3	*	Vista Alegre Conj. 2	0,9	6,0	
Colônia	0,9	2,4		Wanderlândia	-1,0	-2,6	
Cunani	1,2	24,0	+	Xambioá	1,6	6,0	
Curuçá	1,5	9,1		Barra São Manuel	1,8	8,1	+
Dois Irmãos	-0,8	-1,7		Cajueiro	-0,1	-0,5	
Eldorado	2,2	16,3	*	Cupari	1,4	3,8	
Emborai	0,8	6,0		Faz. Sta. Emília	-1,7	-5,5	+
Faz. Bela Vista	0,8	5,9		Garimpo do Patrocínio	1,6	9,4	
Faz. Caiçara	-0,8	-5,5		Jacareacanga	1,4	7,6	
Faz. Estrela do Norte	2,3	11,6	*	Jatobá	0,1	1,0	
Faz. Jaurá	0,5	3,0		Km 1027 Br - 163	0,7	2,8	
Faz. Maringá	1,0	8,0		Km 1130 Br - 163	-1,1	-7,0	
Faz. Planalto	1,4	12,0	+	Km 1326 Br - 163	2,4	9,8	*
Faz. Santa Elisa	-0,4	-2,2		Km 1342 Transamazônica	0,9	6,0	
Faz. São Raimundo	1,5	16,0	+	Km 1385 Br - 163	0,1	0,5	
Faz. Surubim	0,4	2,4		Km 947 Br - 163	1,6	7,0	
Faz. Urucure	1,1	8,0		Monte Alegre do Xingu	1,9	7,3	+
Goianesia	0,4	2,5		Proj. Tucumã	0,3	1,2	
Guariba	1,6	9,0		Ruropolis Presidente Medici	0,8	6,6	
Gurupizinho	0,8	5,4		Sítio São Pedro	1,4	5,4	
Igarapé-Açu	N	0,1		Sta. Rosa	-0,3	-1,0	
Irapuru	-0,6	-5,1		Belém	2,1	9,0	*
Itapeuá do Pará	0,7	3,2		Belterra	0,6	2,0	
Itaporã	1,1	2,5		Breves	2,0	6,0	*
Itaubal	2,4	22,0		Cametá	-0,3	-1,5	
Jarilândia	1,1	7,2		Itaituba	2,0	7,0	*
Juruti	1,9	19,9	+	Marabá	0,6	2,3	
Km 60 PA - 150	1,0	10,3		Monte Alegre	1,0	5,0	
Km Zero PA - 70	0,2	0,5		Obidos	0,3	1,4	
Kuxaré	1,7	10,0		São Felix do Xingu	-1,0	-3,5	
Ligação do Pará	2,0	31,0	*	Soure	0,5	4,0	
Lourenço	-1,9	-29,4	+	Tracuateua	0,9	3,1	
Maracacuera Florestal	0,7	4,0		Tucuruí	0,3	1,5	
Maués	1,5	5,2		Macapá	-1,8	-8,0	+
Miracema	0,4	1,6		Altamira	0,7	3,0	
Mosqueiro	0,4	2,3		PortoMoz	-0,2	-1,0	

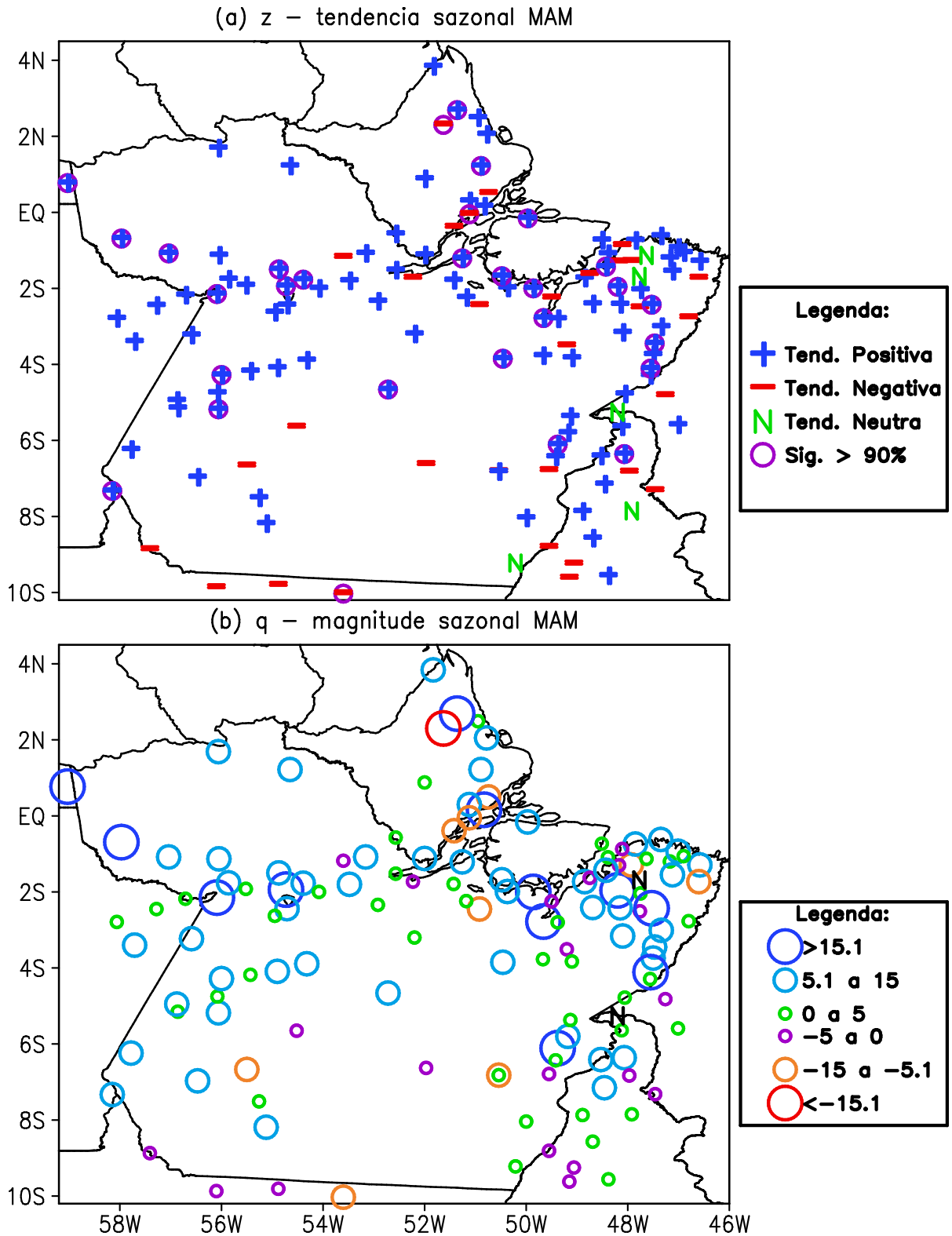


Figura 20 – Mapa espacial dos (a) sinais de Z indicando as tendências da precipitação sazonal em MAM e (b) valores de Q indicando a magnitude das tendências nas estações pluviométricas da Amazônia oriental. As legendas encontram-se à direita das figuras.

Na Figura 21, que mostra os dados originais da precipitação sazonal em MAM para algumas localidades com tendência positiva estatisticamente significativa, nota-se a reta de tendência indicando aumento sistemático a partir do ano de 1992 para as localidades de Aporema (a) e Itaituba (o). Para as localidades de Acará (b), Oeiras (c) e Aldeia Wai-Wai (p) o ano que a tendência de aumento da chuva sazonal de MAM tornou-se monotônica foi o ano de 1996. Já para as localidades de Cachoeira Porteira (d) e Km 1362 (k) o ano foi 1994, para Boca do Inferno (e) e Eldorado (g) o ano foi 1997. E o ano de 1995 para as localidades de Baião (f) e Juruti (l).

Por outro lado, para as localidades de Fazenda Estrela do Norte (h), Ananás (i), Ligação do Pará (j), Sítio Santa Maria (m) e Belém (n) a tendência monotônica é verificada a partir dos anos de 1991, 1987, 1998, 1999 e 1989, respectivamente.

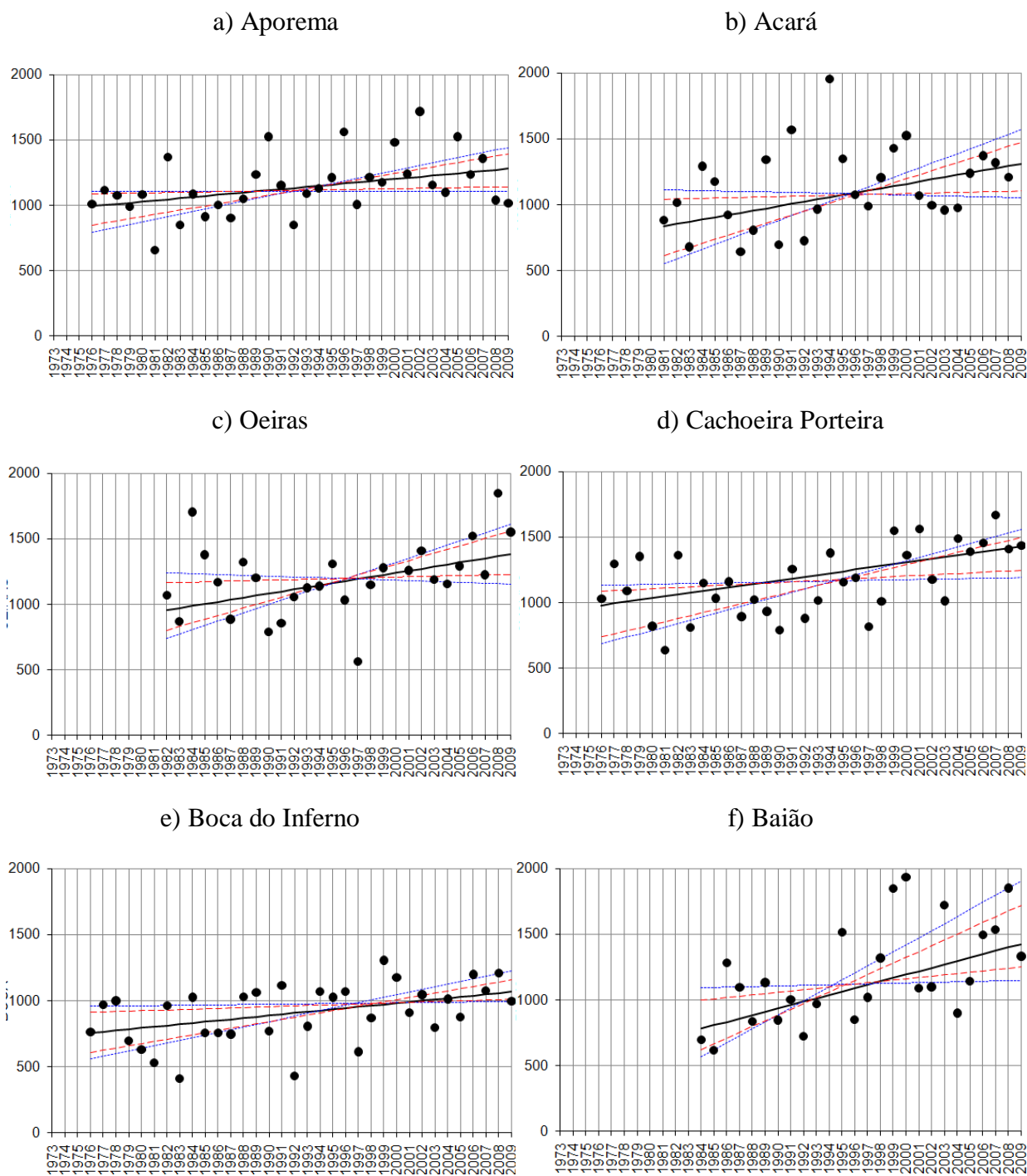
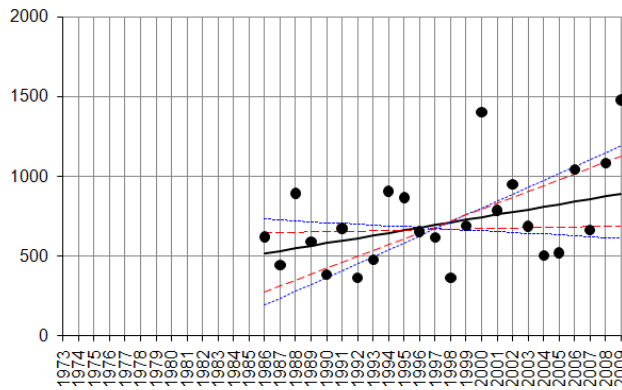
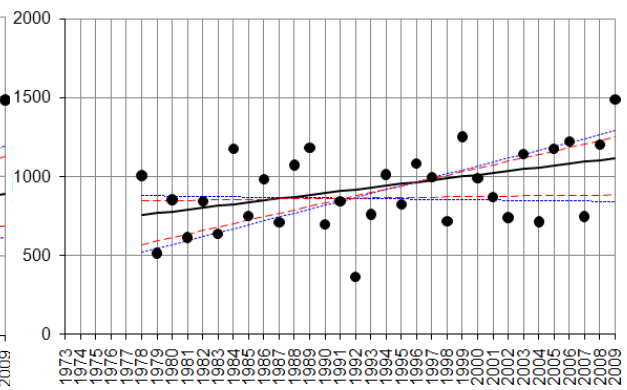


Figura 21 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de aumento da precipitação sazonal em MAM. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.

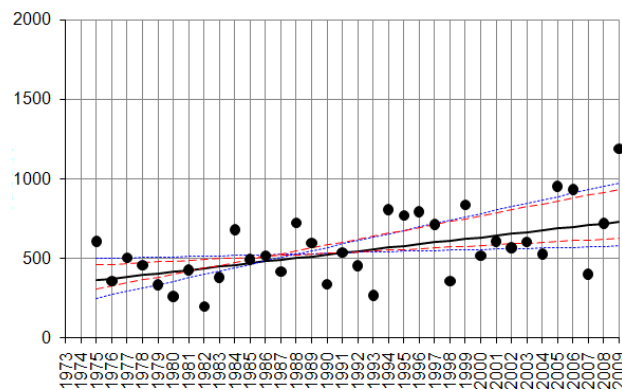
g) Eldorado



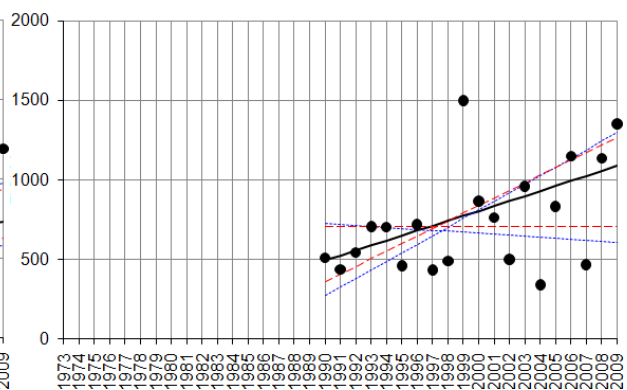
h) Faz. Estrela do Norte



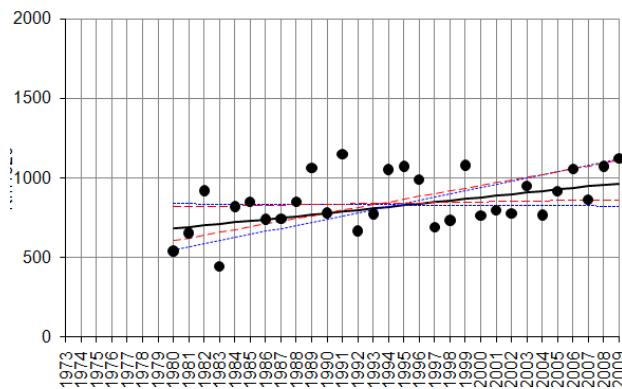
i) Ananás



j) Ligação do Pará



k) Km 1362



l) Juruti

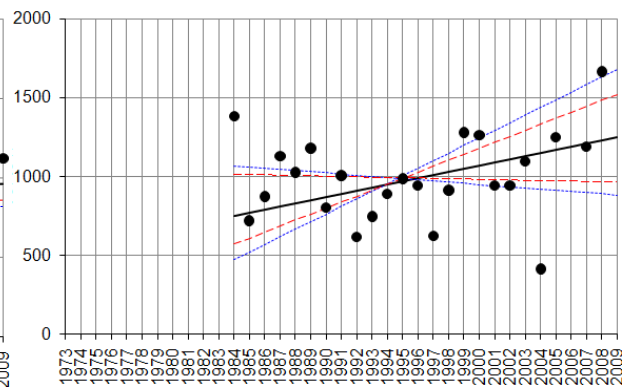


Figura 21 (continuação).

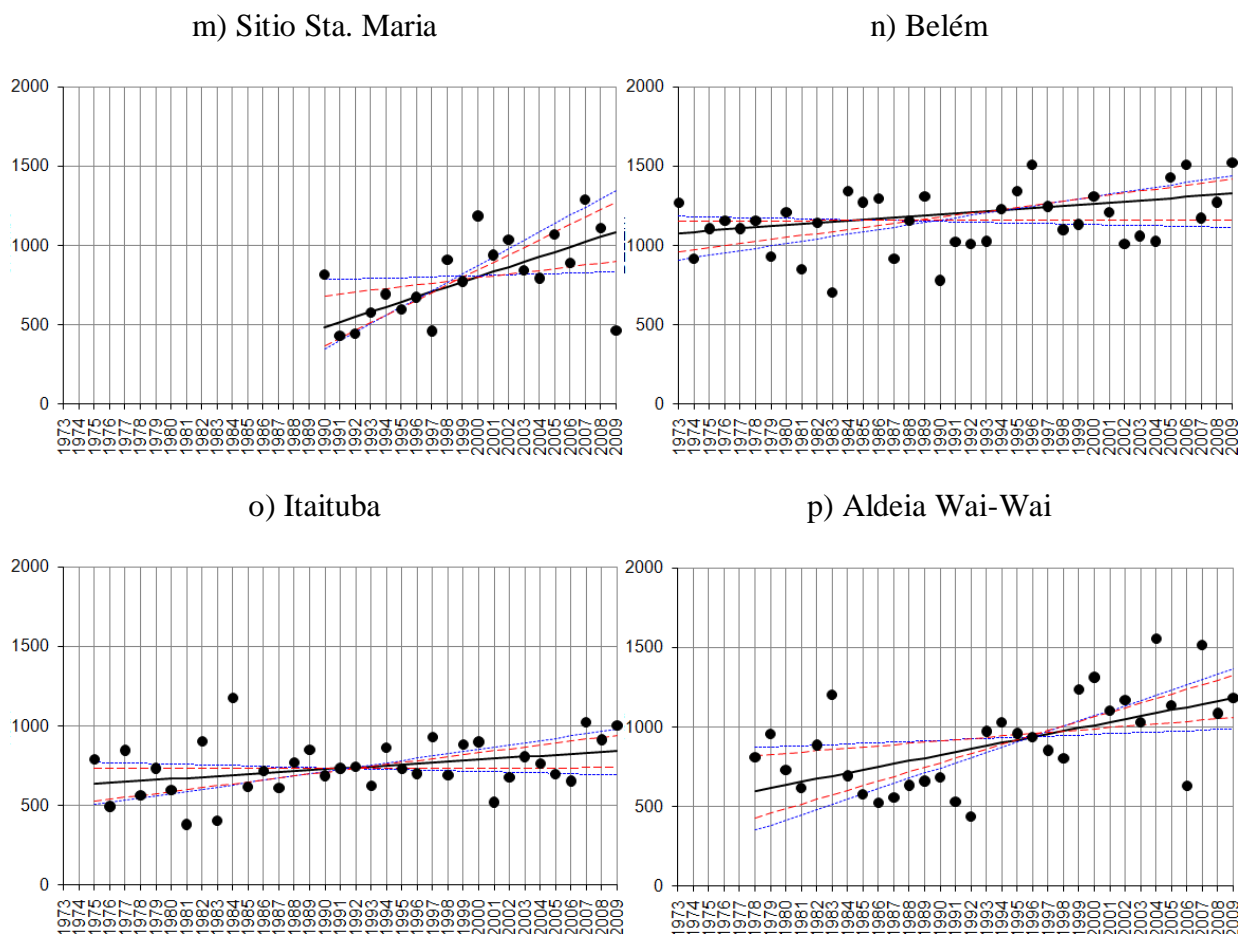


Figura 21 (continuação).

De maneira inversa, a Figura 22 mostra algumas estações com tendências significantes de diminuição da precipitação de MAM, nota-se que a tendência tornou-se sistemática a partir do ano de 1989 nas localidades de Tararua (b) e Macapá (c).

Por outro lado, os anos de 1998 e 1991, foram os anos em que a tendência negativa tornou-se sistemática para as localidades de Lourenço (a) e Fazenda Santa Emília (d), respectivamente.

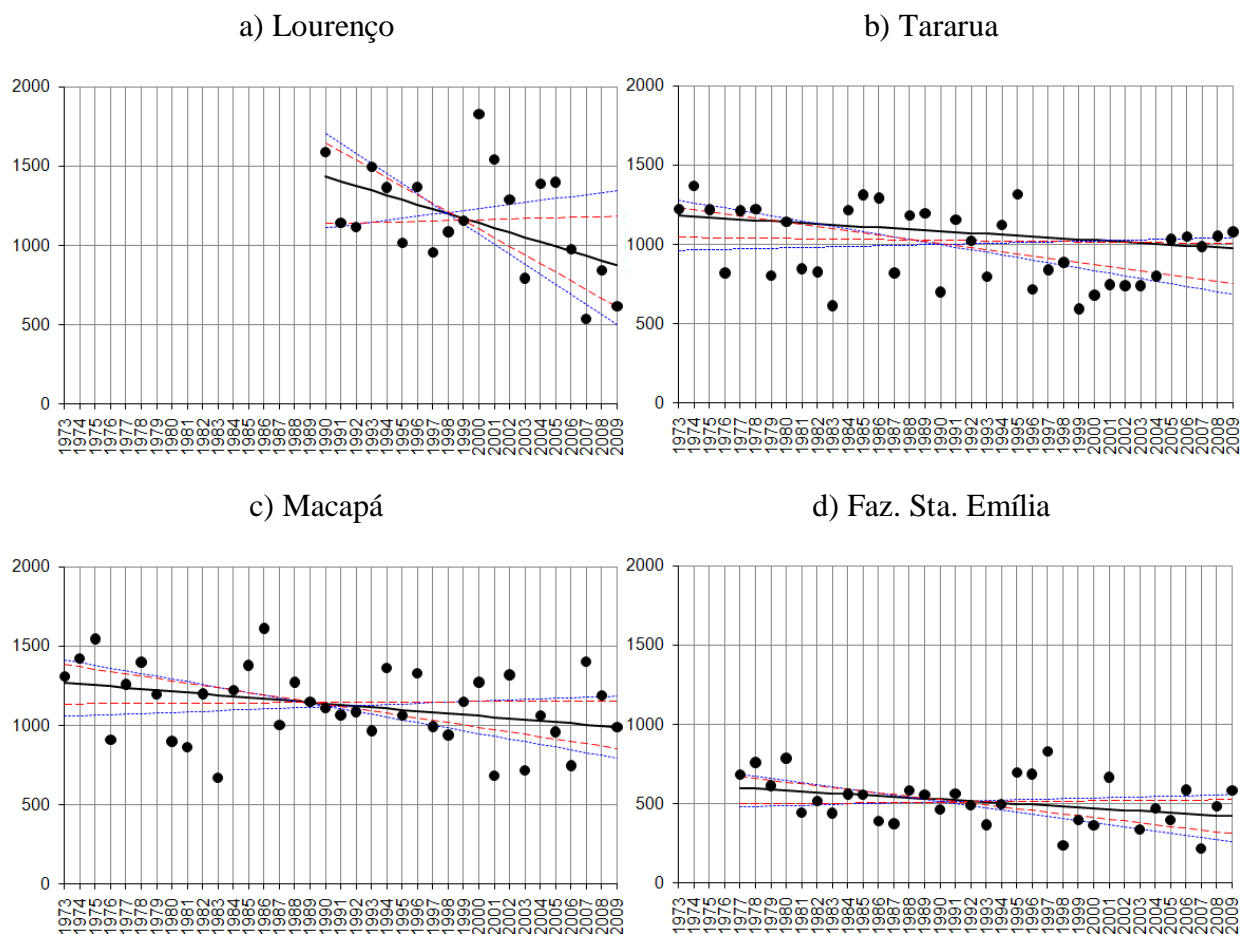


Figura 22 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de diminuição da precipitação sazonal em MAM. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.

A Tabela 9 mostra os resultados do teste de Man-Kendall para a precipitação sazonal de JJA para cada uma das 134 estações e a Figura 23 mostra os resultados de forma espacializada sobre a Amazônia oriental.

Verificando os resultados da Tabela 9 e da Figura 23 nota-se que do total de 134 estações, 42 apresentaram tendência positiva, enquanto que 84 estações apresentaram tendência negativa, as quais correspondem a aproximadamente a 31,3% e 62,7%, respectivamente. As 8 estações restantes, 6%, apresentaram tendência de neutralidade.

As 42 estações que apresentaram tendências positivas foram de número: 1, 4, 6, 7, 9, 11, 18, 22, 28, 38, 41, 44, 45, 46, 50, 51, 52, 56, 61, 63, 66, 67, 69, 71, 72, 73, 77, 79, 80, 84, 93, 94, 97, 98, 101, 103, 110, 119, 125, 126, 128 e 133. Destas 42, um total de 3 estações apresentaram tendências com significância estatística, ou seja, 2,2% das estações, as quais localizam-se no setor nordeste (4), norte (66) e sudeste (80) da Amazônia oriental, evidenciando que um aumento significativo da precipitação de inverno nestas estações, com

valores das magnitudes de aumento da precipitação da ordem de 6,2 mm, 21,4 mm e 2,6 mm, respectivamente (Figura 23a e 23b).

Por outro lado, as 84 estações com indicações de tendências negativas foram as de número: 2, 3, 5, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 43, 47, 48, 49, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 62, 64, 65, 68, 74, 75, 76, 78, 81, 82, 83, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 95, 96, 99, 100, 102, 104, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 114, 117, 118, 120, 121, 122, 123, 124, 127, 129, 130, 131 e 132. Destas 84, um total de 16 estações, 12%, apresentaram tendências com significância estatística acima de 90%, localizadas no setor norte (40) com magnitude -5,1 mm, no setor norte (17, 25, 34, 122, 123, 127 e 129) com magnitudes de -4,1 mm, -3,6 mm, -3,2 mm, -6,7 mm, -5,0 mm, -9,0 mm e -4,0 mm, no setor noroeste (5, 64 e 130) com magnitudes de -5,1 mm, -8,0 mm e -5,4 mm, no setor leste (30) com magnitude de -4,2 mm, no setor sudeste (65, 83 e 90) com magnitudes de -2,0 mm, -2,0 mm e -1,0 mm, e finalmente no setor sudoeste (74) com valor da magnitude de -5,4 mm (Figura 23a e 23b).

As restantes 8 estações com tendências neutras foram as de número: 70, 85, 86, 105, 113, 115, 116 e 134.

Tabela 9 – Resultados do teste de Man-Kendall para a precipitação sazonal JJA com os valores de Z (tendência), Q (magnitude) e significância (SIG) estatística de 99,9 %(***), 99% (**), 95% (*), 90% (+).

Estação	Z	Q	SIG	Estação	Z	Q	SIG
Abaetetuba	1,20	3,0		Muricilândia	-1,70	-1,0	+
Abreulândia	-1,00	-0,5		Navio	-1,10	-3,8	
Acampamento IBDF	-0,20	-0,9		Nhamundá	-0,90	-3,3	
Acará	2,60	6,2	*	Oeiras do Pará	0,70	1,6	
Aldeia Wai-Wai	-2,00	-5,1	*	Oiapoque	-1,00	-3,2	
Alenquer	0,80	2,8		Oriximina	-0,12	-0,3	
Almeirim	0,33	2,1		Ourém	0,23	0,5	
Alta Floresta	-0,70	-0,5		Palmeirante	0,40	0,4	
Amapá	1,20	3,1		Paragominas	-0,60	-0,9	
Ananás	-1,10	-0,9		Parintins (Mocambo)	-1,00	-3,7	
Apalai	0,40	1,0		Porto Ariri	1,40	3,1	
Aporema	-0,12	-0,3		Prainha	-0,30	-1,1	
Araguacema	-0,60	-0,5		Primavera	0,32	1,5	
Araguatins	-0,20	-0,1		Redenção	N	0,0	
Arapari	-1,10	-1,6		Reta Km32	-0,40	-0,3	
Areias	-0,60	-3,2		Rondon do Pará	-1,00	-1,0	
Badajós	-2,30	-4,1	*	S. Sebastião do TO	-0,30	-0,4	
Baião	0,50	2,7		Salinópolis	0,60	1,3	
Barreira do Campo	-0,20	-0,1		Santa Cruz	-0,80	-2,6	
Barreirinha	-0,80	-2,6		Santa Izabel do Pará	-1,60	-3,4	
Boca do Inferno	-0,30	-0,9		Santarém	N	0,1	
Buritirama	-1,20	-1,2		São Domingos do Capim	-1,50	-3,1	
Cachimbo	-0,70	-0,9		São Francisco	N	0,1	
Cachoeira da Porteira	0,90	1,6		Serra Navio	-0,70	-1,2	
Cachoeira Tramcabeua	-0,40	-0,8		Sítio Sta. Maria	1,20	5,9	
Cafezal	-1,80	-4,2	+	Tararua-Ponte	-3,20	-6,7	**
Calçoene	-1,00	-3,5		Tomé-Açu	-1,60	-5,0	+
Capanema	-1,80	-3,2	+	Vigia	0,60	1,6	
Carmo	-0,80	-3,2		Vila do Conde	-2,40	-9,0	*
Carolina	-0,80	-0,7		Vila Elim	0,40	1,0	
Castanhal	-0,40	-1,0		Vila São Benedito	-0,90	-4,0	+
Chaves	0,80	1,6		Vista Alegre Conj. 2	-1,70	-4,0	+
Colônia	-0,90	-0,9		Wanderlândia	-1,30	-0,9	
Cunani	-1,80	-8,6	+	Xambioá	-1,20	-1,0	
Curuçá	-0,70	-1,7		Barra São Manuel	-1,00	-0,7	
Dois Irmãos	-0,70	-0,2		Cajueiro	-0,80	-0,8	
Eldorado	0,90	1,4		Cupari	0,90	1,5	
Emborai	0,40	1,2		Faz. Sta. Emília	-0,80	-1,0	
Faz. Bela Vista	0,20	0,8		Garimpo do Patrocínio	-0,30	-1,0	
Faz. Caiçara	-1,20	-1,7		Jacareacanga	0,15	0,1	
Faz. Estrela do Norte	-0,60	-1,2		Jatobá	0,33	0,6	
Faz. Jaurá	-0,50	-2,0		Km 1027 Br - 163	1,20	1,1	
Faz. Maringá	0,60	1,1		Km 1130 Br - 163	1,30	2,5	
Faz. Planalto	0,30	0,8		Km 1326 Br - 163	0,11	0,2	
Faz. Santa Elisa	0,13	0,2		Km 1342 Transamazônica	-1,20	-5,4	+
Faz. São Raimundo	-1,40	-2,6		Km 1385 Br - 163	-0,20	-0,8	
Faz. Surubim	-0,20	-0,4		Km 947 Br - 163	0,70	0,8	
Faz. Urucure	0,40	1,0		Monte Alegre do Xingu	-0,40	-0,5	
Goianesia	-0,70	-1,6		Proj. Tucumã	-1,30	-1,5	
Guariba	-1,30	-3,3		Ruropolis Presidente Medici	-1,00	-2,8	
Gurupizinho	-0,20	-0,3		Sítio São Pedro	-0,30	-0,6	
Igarapé-Açu	0,15	0,3		Sta. Rosa	-0,80	-0,7	
Irapuru	-1,00	-3,0		Belém	0,80	1,5	
Itapeuá do Pará	-1,70	-8,0	+	Belterra	-0,40	-0,6	
Itaporã	-2,90	-2,0	**	Breves	-1,90	-3,6	+
Itaubal	3,50	21,4	***	Cametá	-1,40	-2,8	
Jarilândia	-0,20	-0,8		Itaituba	0,40	0,6	
Jurutí	N	-0,1		Marabá	-1,70	-2,0	+
Km 60 PA - 150	-0,80	-1,7		Monte Alegre	-0,10	-0,3	
Km Zero PA - 70	-1,60	-1,8		Obidos	0,50	0,6	
Kuxaré	0,20	1,0		São Felix do Xingu	N	0,0	
Ligação do Pará	2,00	2,6	*	Soure	-0,95	-2,2	
Lourenço	-0,80	-4,8		Tracuateua	-0,20	-1,0	
Maracacuera Florestal	1,00	2,7		Tucuruí	0,70	1,0	
Maués	N	0,3		Macapá	-0,50	-1,0	
Miracema	N	0,0		Altamira	0,12	0,8	
Mosqueiro	-1,00	-4,1		PortoMoz	N	0,2	

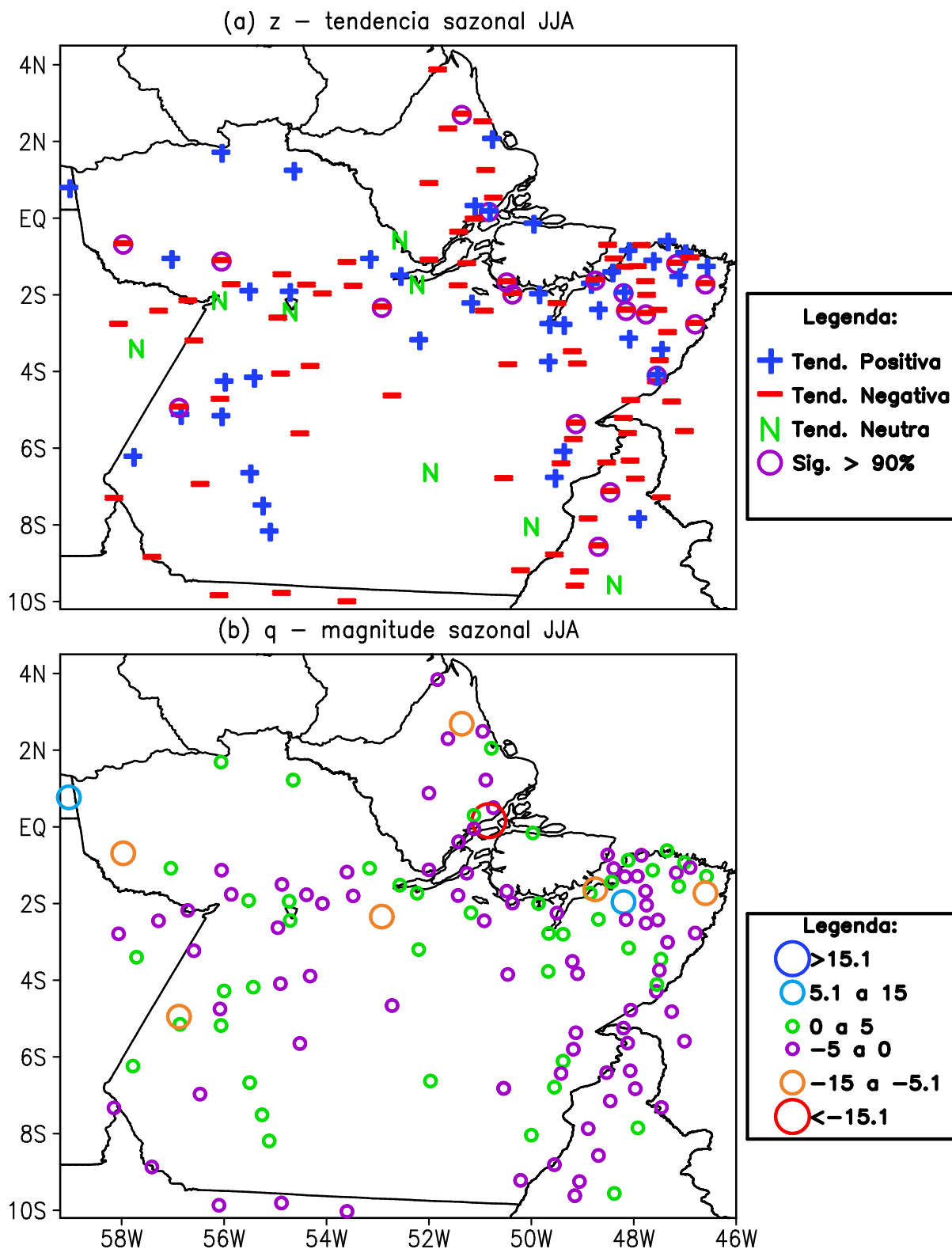


Figura 23 – Mapa espacial dos (a) sinais de Z indicando as tendências da precipitação sazonal em JJA e (b) valores de Q indicando a magnitude das tendências nas estações pluviométricas da Amazônia oriental. As legendas encontram-se à direita das figuras.

A Figura 24 mostra os dados originais da precipitação sazonal observada em JJA para as três localidades que apresentaram tendência positiva estatisticamente significativa, nas quais

nota-se a reta de tendência indicando aumento sistemático a partir dos anos de 1997 e 1992 para as localidades de Itaubal (a) e Acará (b), respectivamente. Por outro lado, a localidade de Ligação do Pará (c), não apresentou uma tendência sistemática muito nítida de aumento da precipitação.

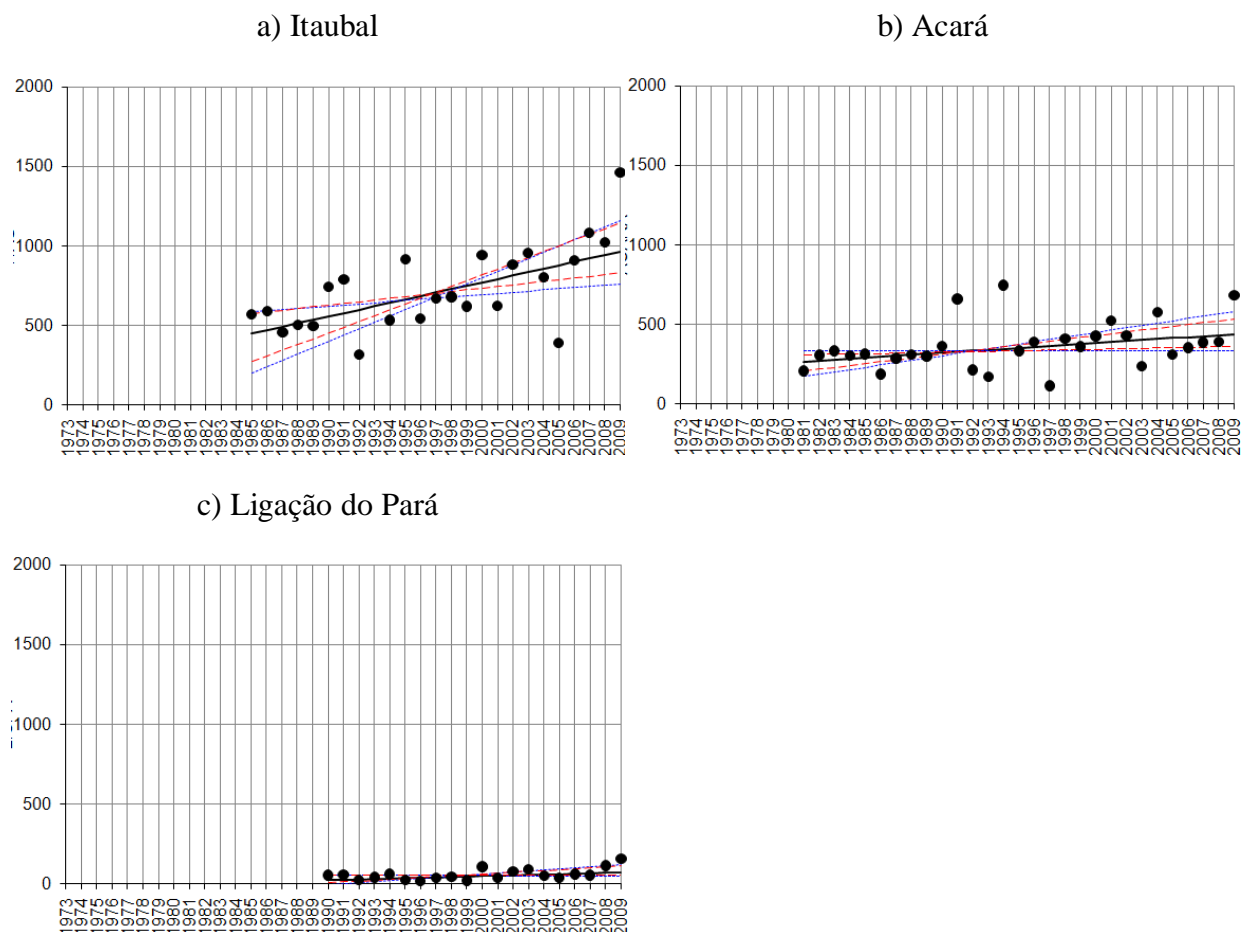


Figura 24 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de aumento da precipitação sazonal em JJA. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.

A Figura 25 ilustra os gráficos de algumas séries temporais de JJA, cujas tendências indicaram diminuição estatisticamente significativa da precipitação sazonal, sendo que a tendência tornou-se sistemática a partir dos anos de 1989 nas localidades de Badajós (d) e Tararua (f). A partir dos anos de 1996, 1991, 1997, 1993, 1998, 1990, 1995 e 1994 nas localidades de Cunani (a), Capanema (b), Cafezal (c), Vila do Conde (e), Itapeuá (g), Vista Alegre CJ 2 (j), Aldeia Wai-Wai (k) e Breves (m), respectivamente. Por outro lado, as localidades de Muricilândia (h), Itaporã (i) e Marabá (l), não apresentaram uma tendência sistemática muito nítida de diminuição da precipitação.

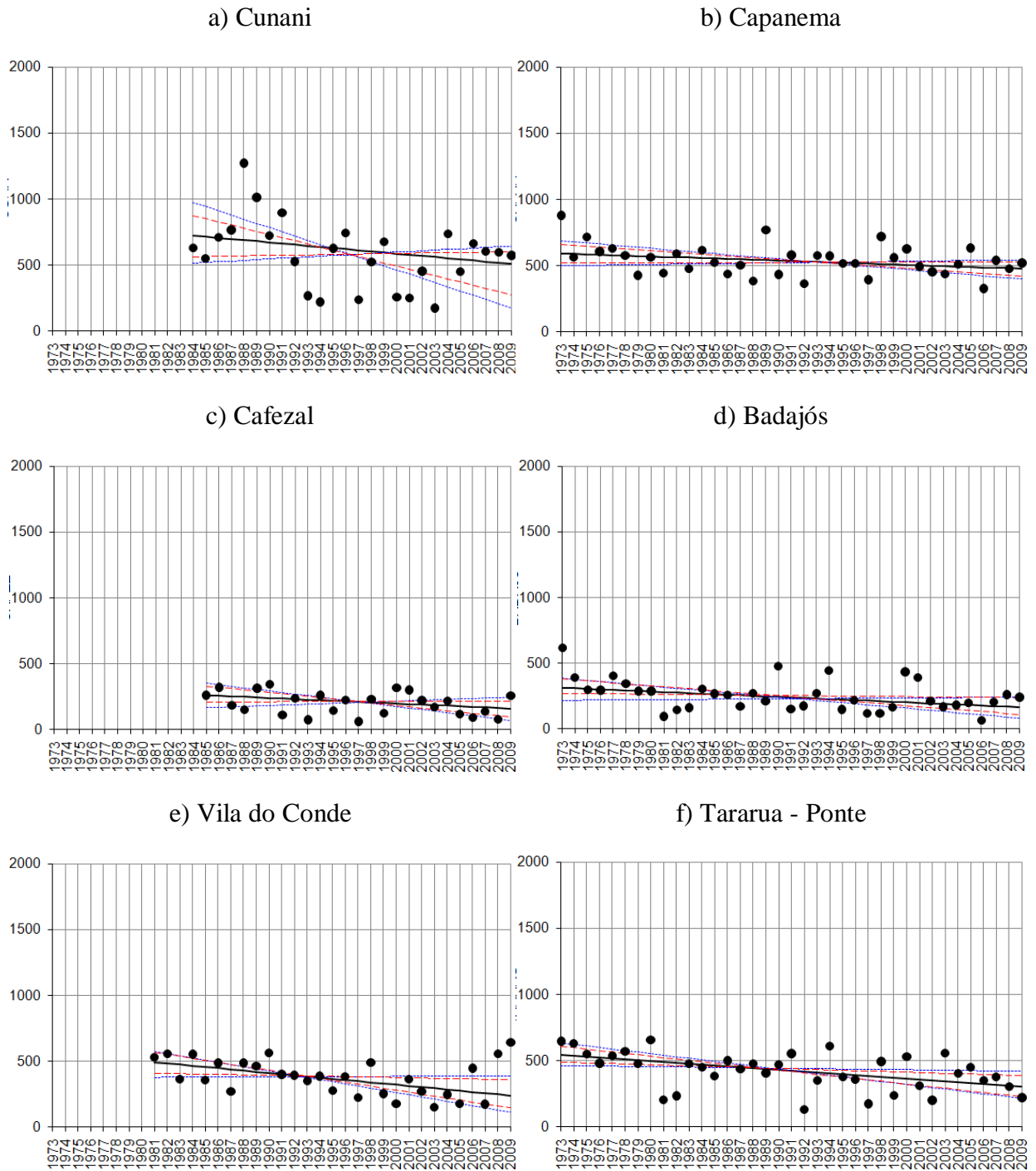
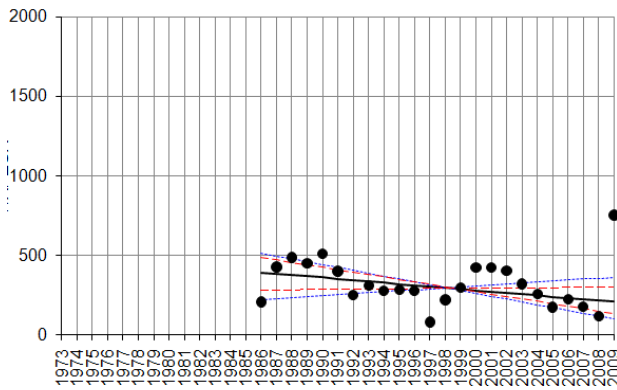
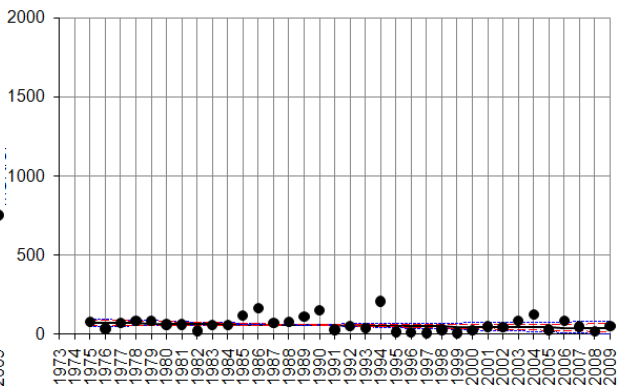


Figura 25 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de diminuição da precipitação sazonal em JJA. Os pontos pretos indicam a precipitação anual em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.

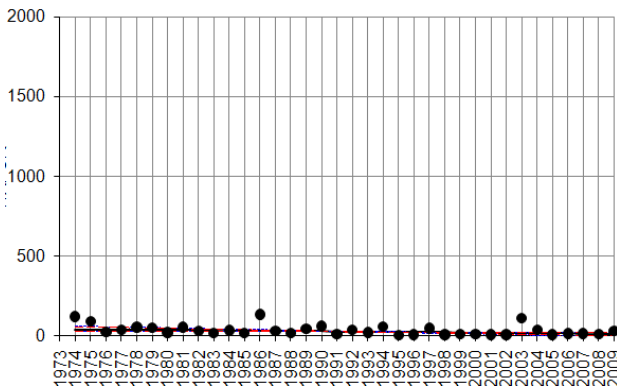
g) Itapeua



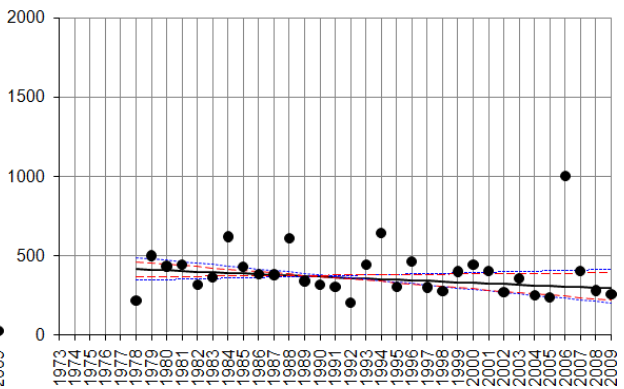
h) Muricilândia



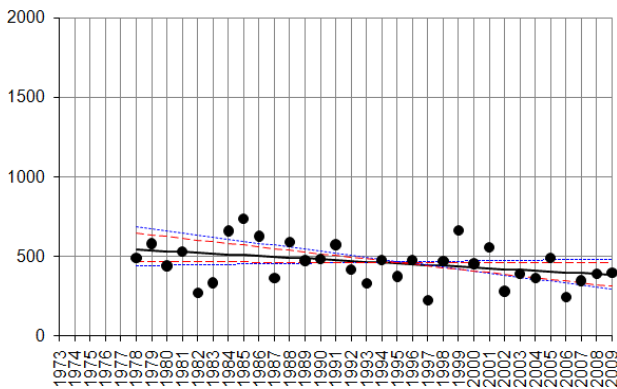
i) Itaporã



j) Vista Alegre CJ 2



k) Aldeia Wai-Wai



l) Marabá

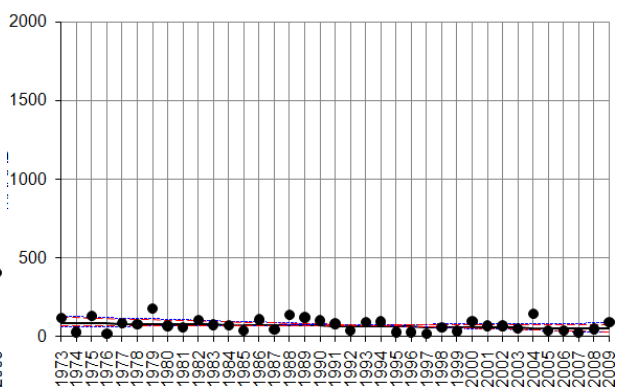


Figura 25 (continuação).

m) Breves

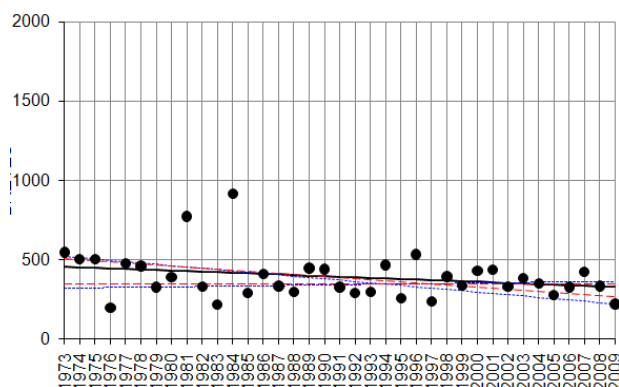


Figura 25 (continuação).

A Tabela 10 mostra os resultados do teste de Man-Kendall para a precipitação sazonal de SON para cada uma das 134 estações e a Figura 26 ilustra o mapa espacial dos sinais de tendências sazonais sobre a Amazônia oriental. Através da Tabela 10 e Figura 26 evidencia-se que do total de 134 estações, 39 apresentaram tendência positiva e 89 estações exibiram tendência negativa, as quais correspondem a aproximadamente a 29% e 66% respectivamente dos dados usados. Os restantes 5%, ou seja, 6 estações, encontram-se com tendência neutra.

As 39 estações que apresentaram tendências positivas foram as de número: 1, 3, 4, 5, 11, 12, 15, 20, 22, 24, 41, 42, 44, 46, 48, 50, 51, 53, 55, 56, 57, 63, 64, 66, 76, 77, 80, 87, 90, 97, 102, 110, 113, 117, 118, 119, 120, 123 e 128. Destas, 6 estações, em torno de 4,5%, apresentaram tendências positivas estatisticamente significantes, situadas no setor norte (66) com valor da magnitude de 8,3 mm, no setor nordeste (4 e 56) com magnitudes de 6,4 mm e 3,5 mm, no setor noroeste (24) com magnitude de 4,6 mm, e no setor sudeste (44 e 90) com magnitudes de 35,0 mm e 4,6 mm, evidenciando que ocorreu um aumento sistemático da precipitação de SON nestas estações da Amazônia oriental (Figura 26a e 26b).

Por outro lado, as 89 estações que apresentaram tendências negativas foram as de número: 2, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 43, 47, 49, 52, 54, 58, 59, 60, 62, 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 78, 79, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 91, 92, 93, 95, 96, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 114, 115, 116, 121, 122, 124, 125, 127, 129, 130, 131, 132, 133 e 134. Destas, 28 estações, em torno de 20,8%, apresentaram tendências estatisticamente significantes, evidenciando que de fato está ocorrendo uma diminuição significativa da precipitação sazonal de SON nas localidades situadas no setor norte (35, 40 e 91) com valores da magnitude da

ordem de -2,1 mm, -6,6 mm e -3,6 mm; no setor nordeste (16, 17, 37, 62, 89, 112, 122 e 127) com magnitudes de aproximadamente -5,3 mm, -4,4 mm, -2,7 mm, -6,7 mm, -5,6 mm, -19,5 mm, -24,9 mm e -35,6 mm; no setor leste (30) com valor da magnitude de -6,0 mm; no setor noroeste (79) com magnitude de -2,2 mm; no setor sul (8 e 54) com magnitudes de -4,4 mm e -11,8 mm; no setor sudeste (2, 13, 14, 36, 65, 83, 98, 107, 115 e 131), com valores de magnitudes da ordem de -3,5 mm, -4,7 mm, -2,3 mm, -2,4 mm, -5,8 mm, -3,4 mm, -7,0 mm, -4,6 mm, -4,0 mm, -4,6 mm; e no setor sudoeste (19, 31 e 75) com -4,9 mm, -4,6 mm e -4,9 mm.

As 6 estações com tendências de neutralidade foram as de número: 28, 45, 61, 94, 105 e 126.

Tabela 10 – Resultados do teste de Man-Kendall para a precipitação sazonal SON com os valores de Z (tendência), Q (magnitude) e significância (SIG) estatística de 99,9 (***), 99 (**), 95 (*) e 90% (+).

Estação	Z	Q	SIG	Estação	Z	Q	SIG
Abaetetuba	0,2	0,4		Muricilândia	1,8	4,6	+
Abreulândia	-1,7	-3,5	+	Navio	-2,2	-3,6	*
Acampamento IBDF	0,4	1,1		Nhamundá	-0,5	-1,0	
Acará	2,5	6,4	*	Oeiras do Pará	N	0,1	
Aldeia Wai-Wai	0,6	1,0		Oiapoque	-1,5	-2,8	
Alenquer	-0,8	-1,6		Oriximina	-0,3	-0,7	
Almeirim	-1,0	-2,0		Ourém	0,3	0,5	
Alta Floresta	-2,2	-4,4	*	Palmeirante	-2,3	-7,0	*
Amapá	-1,1	-2,0		Paragominas	-0,2	-0,3	
Ananás	-1,2	-1,1		Parintins (Mocambo)	-0,3	-1,3	
Apalai	0,8	1,1		Porto Ariri	-0,8	-1,3	
Aporema	0,3	0,3		Prainha	0,9	0,9	
Araguacema	-2,3	-4,7	*	Primavera	-0,6	-0,6	
Araguatins	-1,9	-2,3	+	Redenção	N	-0,1	
Arapari	1,5	2,3		Reta Km32	-0,4	-0,7	
Areias	-2,1	-5,3	*	Rondon do Pará	-1,2	-4,6	*
Badajós	-3,1	-4,4	**	S. Sebastião do TO	-1,6	-5,5	
Baião	-1,1	-1,9		Salinópolis	0,3	4,9	
Barreira do Campo	0,4	1,0		Santa Cruz	-0,4	-8,4	
Barreirinha	-0,1	-0,9		Santa Izabel do Pará	-2,4	-19,5	*
Boca do Inferno	2,3	4,6	*	Santarém	0,9	12,4	
Buritirama	-1,4	-2,7		São Domingos do Capim	-1,2	-8,3	
Cachimbo	-0,2	-1,0		São Francisco	-0,1	-0,3	
Cachoeira da Porteira	N	0,1		Serra Navio	1,0	1,1	
Cachoeira Tramcabeua	-0,8	-2,7		Sítio Sta. Maria	1,0	7,1	
Cafezal	-2,9	-6,0	**	Tararua-Ponte	-2,7	-24,9	**
Calçoene	-1,4	-1,9		Tomé-Açu	0,7	11,3	
Capanema	-1,3	-1,6		Vigia	N	0,0	
Carmo	-1,9	-2,1	+	Vila do Conde	-2,8	-35,6	**
Carolina	-2,1	-2,4	*	Vila Elim	0,7	7,4	
Castanhal	-1,8	-2,7	+	Vila São Benedito	-0,3	-2,8	
Chaves	-1,2	-1,8		Vista Alegre Conj. 2	-0,8	-2,8	
Colônia	-1,3	-2,8		Wanderlândia	-3,4	-4,6	***
Cunani	-3,2	-6,6	**	Xambioá	-0,6	-0,9	
Curuçá	0,6	9,1		Barra São Manuel	-2,3	-4,9	*
Dois Irmãos	-0,2	-3,9		Cajueiro	-2,5	-4,6	*
Eldorado	3,1	35,0	**	Cupari	1,4	7,2	
Emborai	N	-0,1		Faz. Sta. Emília	-3,9	-11,8	***
Faz. Bela Vista	1,1	9,6		Garimpo do Patrocínio	0,5	-1,4	
Faz. Caiçara	-1,0	-14,6		Jacareacanga	-1,0	-3,0	
Faz. Estrela do Norte	1,2	10,3		Jatobá	-0,4	-0,6	
Faz. Jaurá	-0,7	-7,7		Km 1027 Br - 163	-0,1	-0,3	
Faz. Maringá	0,9	6,3		Km 1130 Br - 163	-1,3	-3,8	
Faz. Planalto	1,6	13,2		Km 1326 Br - 163	-0,1	-0,5	
Faz. Santa Elisa	-0,9	-8,1		Km 1342 Transamazônica	-1,2	-6,1	
Faz. São Raimundo	0,3	4,4		Km 1385 Br - 163	-1,4	-4,9	+
Faz. Surubim	0,3	3,6		Km 947 Br - 163	0,2	-4,8	
Faz. Urucure	1,8	3,5	+	Monte Alegre do Xingu	-0,6	-1,4	
Goianesia	-0,7	-2,0		Proj. Tucumã	-1,3	-3,1	
Guariba	-0,6	-2,0		Ruropolis Presidente Medici	-0,7	-1,8	
Gurupizinho	-0,3	-0,4		Sítio São Pedro	0,2	0,9	
Igarapé-Açu	N	0,1		Sta. Rosa	-0,7	-1,8	
Irapuru	-1,8	-6,7	+	Belém	0,3	0,3	
Itapeuá do Pará	0,8	1,4		Belterra	-0,1	-0,2	
Itaporã	-2,6	-5,8	**	Breves	-0,4	-0,5	
Itaubal	2,8	8,3	**	Cametá	-0,8	-1,5	
Jarilândia	-1,2	-3,1		Itaituba	0,7	2,0	
Juruti	-1,6	-3,7		Marabá	-1,8	-3,4	+
Km 60 PA - 150	0,2	0,8		Monte Alegre	1,3	1,5	
Km Zero PA - 70	-0,2	-0,3		Obidos	-0,3	-0,6	
Kuxaré	-1,9	-2,2	+	São Felix do Xingu	-1,8	-4,0	+
Ligação do Pará	1,1	2,8		Soure	0,1	0,5	
Lourenço	-1,1	-3,1		Tracuateua	-0,1	-0,1	
Maracacuera Florestal	-0,8	-1,0		Tucuruí	-0,2	-0,3	
Maués	-1,4	-3,3		Macapá	-0,1	-0,2	
Miracema	-1,4	-2,2		Altamira	-0,4	-0,6	
Mosqueiro	-1,8	-5,6	+	PortoMoz	-0,6	-1,0	

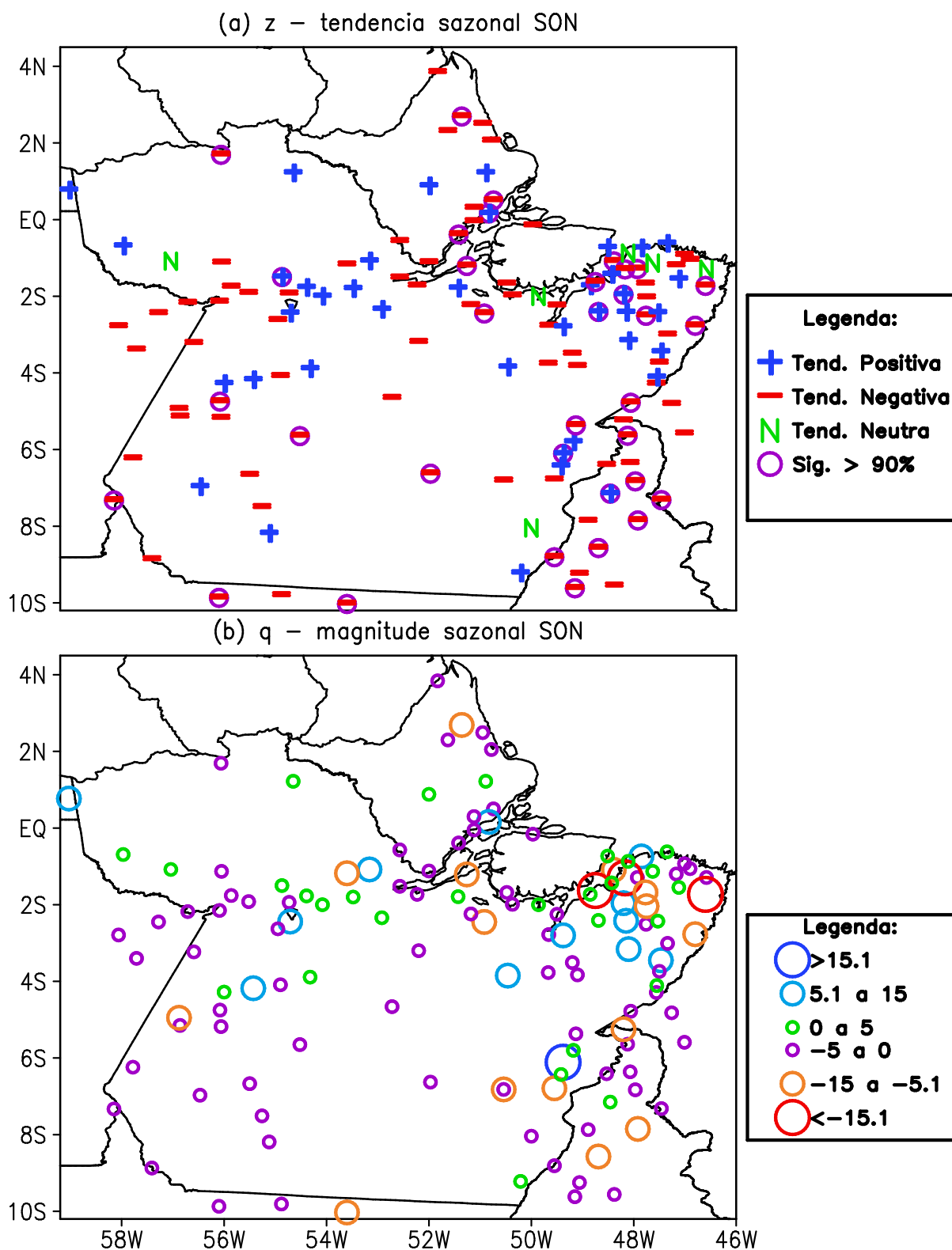


Figura 26 – Mapa espacial dos (a) sinais de Z indicando as tendências da precipitação sazonal em SON e (b) valores de Q indicando a magnitude das tendências nas estações pluviométricas da Amazônia oriental. As legendas encontram-se à direita das figuras.

A Figura 27 mostra as séries temporais da precipitação sazonal observada em SON para as estações que apresentaram tendência positiva estatisticamente significativa. Verifica-se a inclinação da reta de tendência indicando aumento de forma monotônica a partir dos anos de 1996, nas localidades de Itaubal (b) e Acará (c), e nos anos de 1998, 1990 e 1995, nas localidades de Urucuré (a), Boca do Inferno (d) e Murucilândia (e), respectivamente.

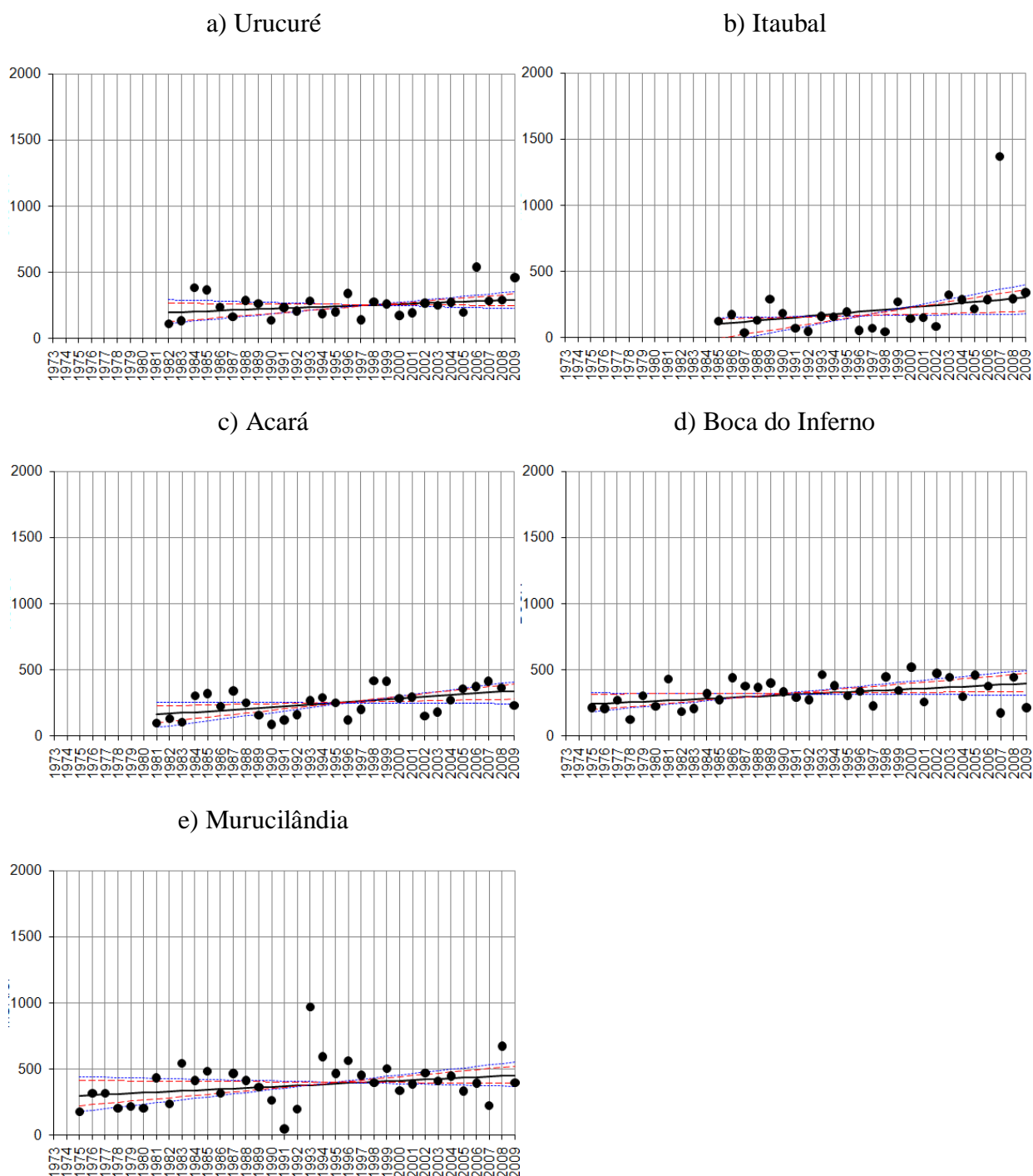


Figura 27 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de aumento da precipitação sazonal em SON. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.

A Figura 28 mostra algumas séries temporais que o método não paramétrico indicou claramente a ocorrência de tendências negativas significantes na precipitação sazonal de SON. Tais tendências de diminuição da precipitação sazonal tornaram-se sistemáticas a partir dos anos de 1994 nas localidades de Navio (a), Castanhal (d), Carolina (n) e Alta Floresta (p). Já para as localidades de Rondon do Pará (b) e Santa Izabel (m), observou-se que o ano de 1991 foi o ano em que a tendência de diminuição tornou-se sistemática. Para as localidades de Itaporã (c) e Fazenda Santa Emília (h) e Barra de São Manuel (o), o ano foi 1992. No ano de 1999 a tendência de diminuição tornou-se monotônica nas localidades de Cafezal (f) e Tomé-Açu (k). E no ano de 1996 para as localidades de Areias (j) e São Domingos do Capim (l).

Por outro lado, nas localidades de Cajueiro (e), Wanderlândia (g) e Badajós (i), os anos de 1990, 1993 e 1989, respectivamente, foram os anos em que a tendência de diminuição tornou-se monotônica.

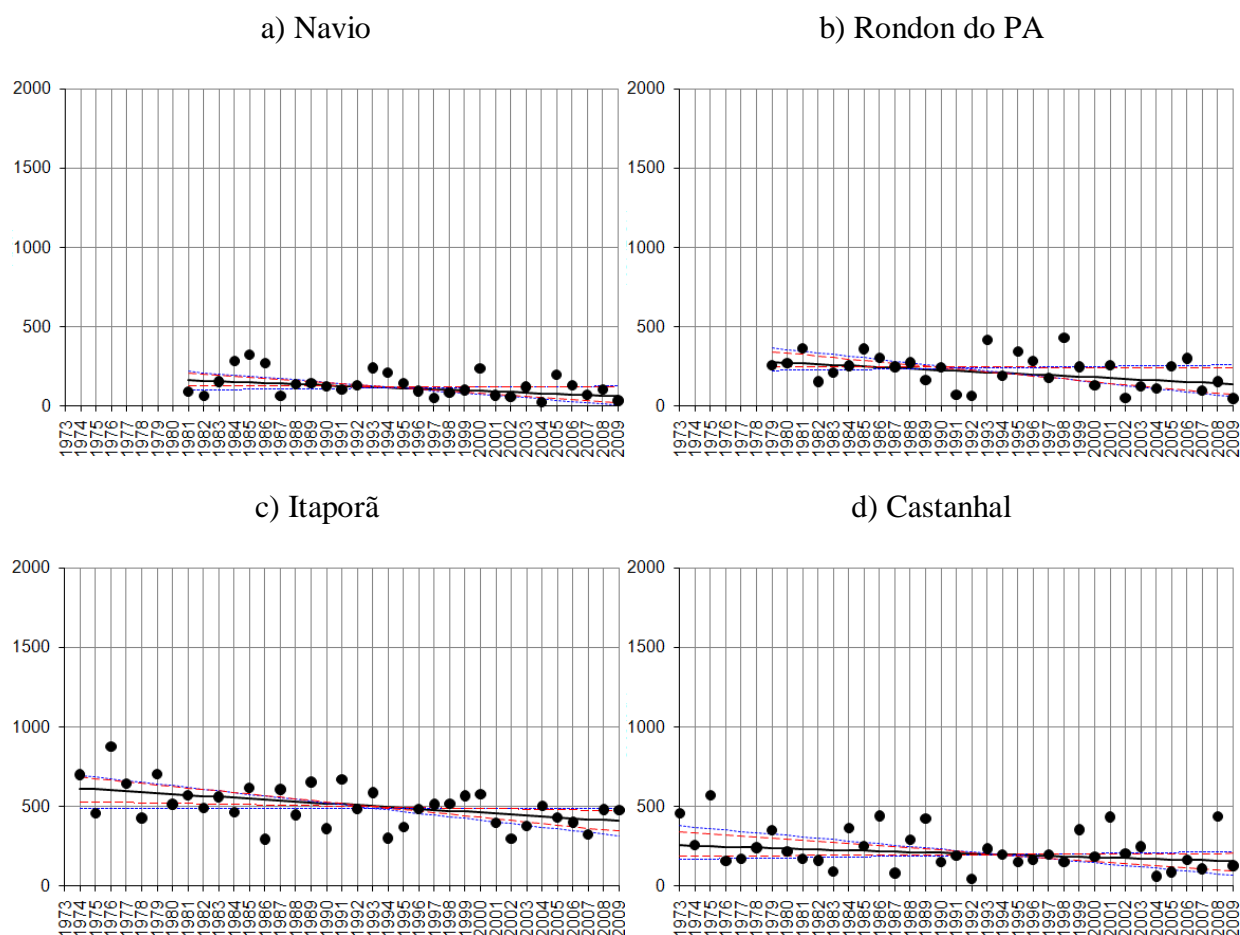
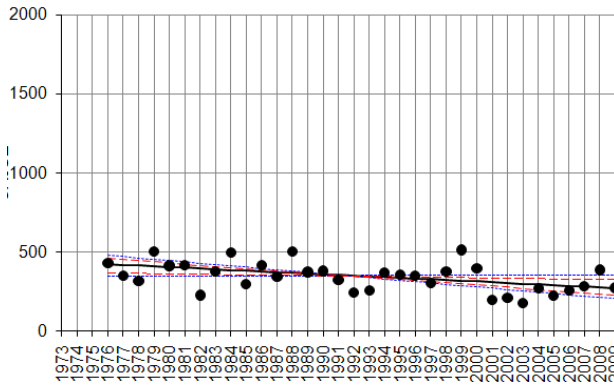
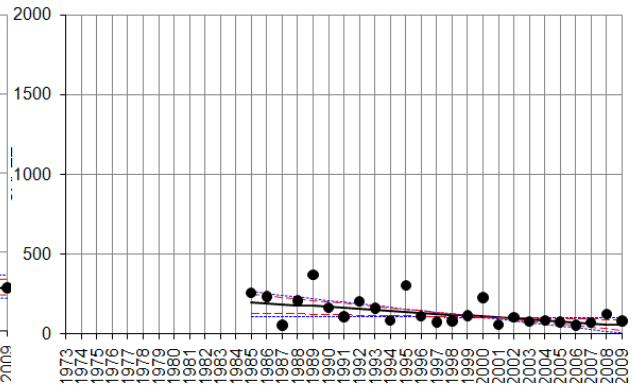


Figura 28 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de diminuição da precipitação sazonal em SON. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.

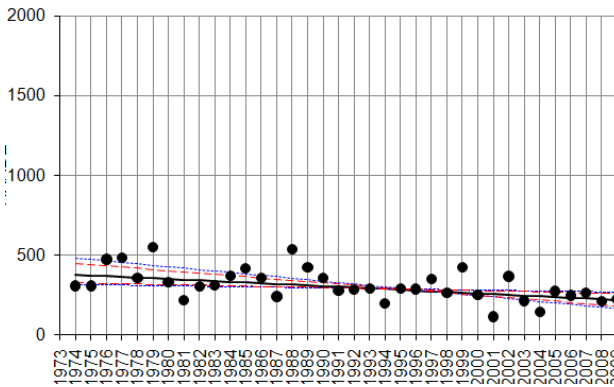
e) Cajueiro



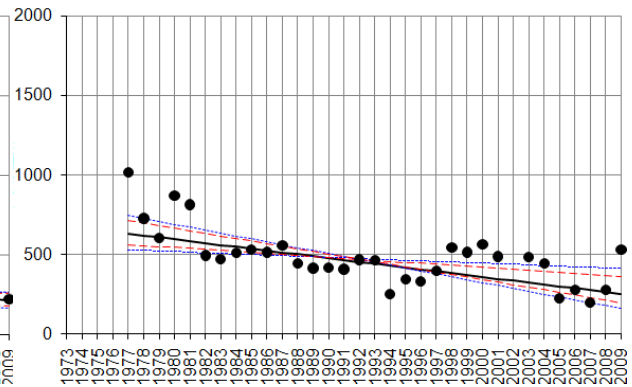
f) Cafezal



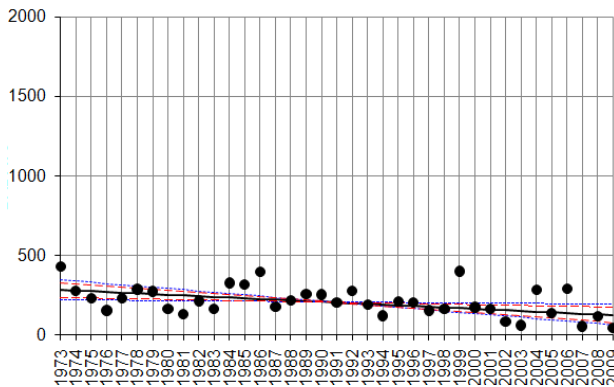
g) Wanderlândia



h) F. Sta. Emília



i) Badajós



j) Areias

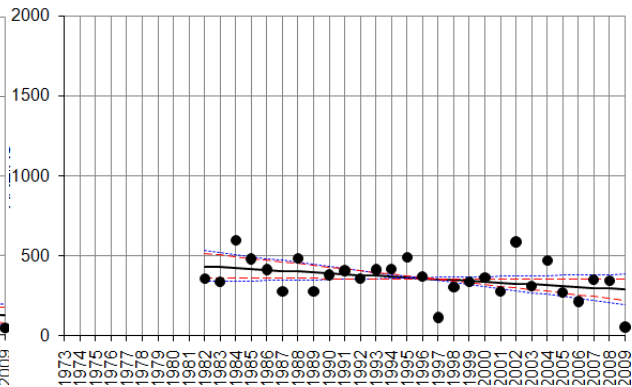
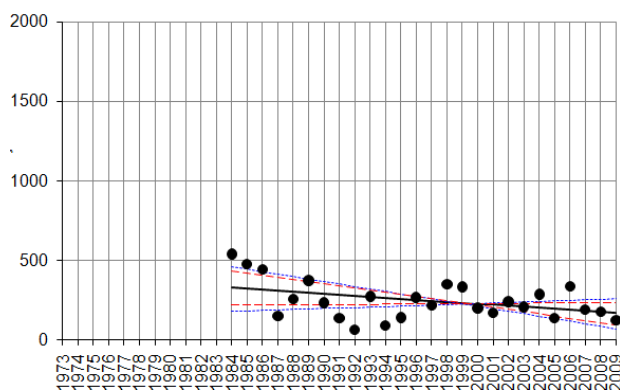
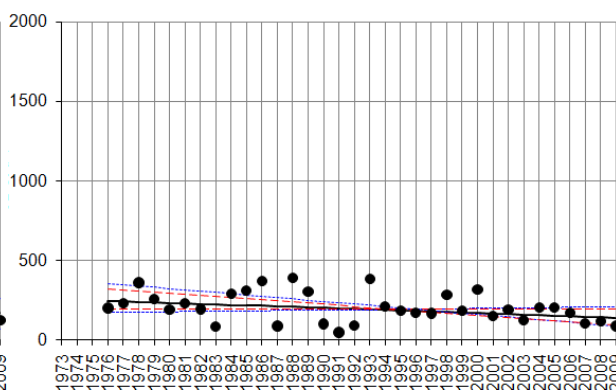


Figura 28 (continuação).

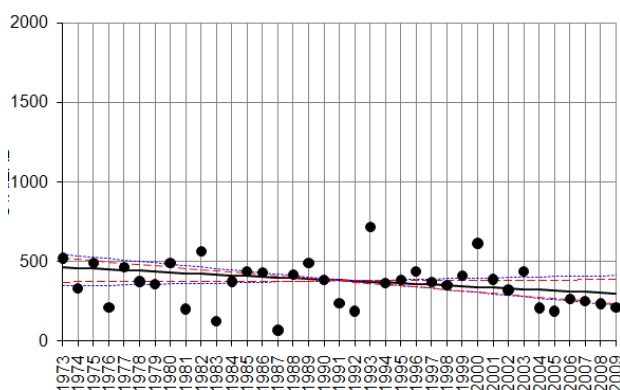
k) Tomé Açu



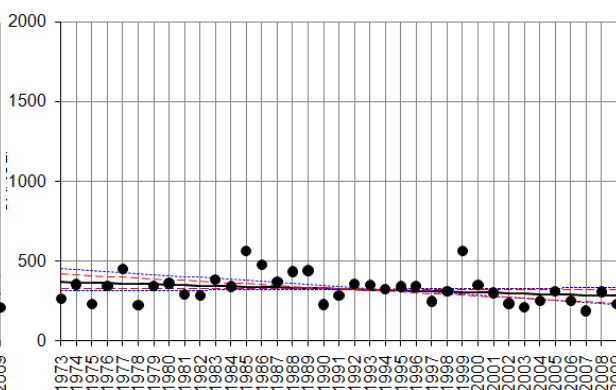
l) S. Domingos do Capim



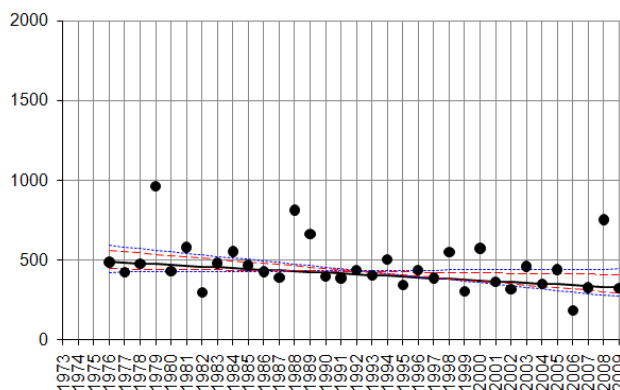
m) Sta. Izabel



n) Carolina



o) Barra S.. Manuel



p) Alta Floresta

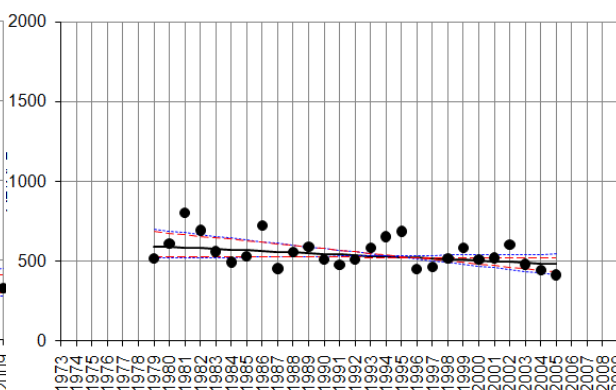


Figura 28 (continuação).

A Tabela 11 mostra os resultados do teste de Man-Kendall para a precipitação sazonal de DJF para cada uma das 134 estações, sendo que a Figura 29 ilustra a distribuição espacial dos sinais de tendência da precipitação sazonal sobre a Amazônia oriental.

Analisando os resultados da Tabela 11 e a Figura 29 observa-se que do total de 134 estações, 45 apresentaram tendência positiva e 78 estações apresentaram tendência negativa, as quais correspondem a aproximadamente a 33,6% e 58,2%, respectivamente, sendo que os restantes 8,2%, 11 estações, apresentaram tendência de neutralidade.

As 45 estações que apresentaram tendências positivas foram as de número: 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 16, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 32, 38, 40, 44, 48, 50, 55, 56, 59, 62, 65, 66, 76, 79, 80, 85, 87, 90, 94, 95, 98, 99, 105, 109, 119, 123, 124, 126, 130 e 132. Destas 45, um total de 8 estações, em torno de 6%, apresentaram tendências com significância estatística acima de 90%, evidenciando um aumento sistemático da precipitação sazonal de verão, particularmente nas estações localizadas no setor noroeste (24, 79, 119 e 130) com as respectivas magnitudes em torno de 5,2 mm, 7,0 mm, 11,4 mm e 7,8 mm; no setor sudeste (44, 90 e 132) com respectivas magnitudes de 13,0 mm, 10,6 mm e 6,6 mm; e no setor sudoeste (19) com valor da magnitude de 15,6 mm (Figura 29a e 29b).

As 78 estações que apresentaram tendências negativas foram as de número: 1, 2, 8, 13, 14, 17, 18, 23, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 39, 41, 42, 43, 45, 47, 49, 52, 53, 54, 57, 58, 60, 61, 63, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 81, 82, 83, 84, 88, 89, 91, 92, 93, 97, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 107, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 120, 121, 122, 125, 127, 128, 129, 131, 133, 134. Destas 78, um total de 17 estações, 12,64%, apresentaram tendências estatisticamente significantes, indicando a evidência de diminuição significativa da precipitação de DJF nas estações situadas no setor norte (82 e 91) com respectivas magnitudes de -6,6 mm e -8,1 mm; no setor nordeste (45, 61, 97, 112, 122 e 127) com respectivas magnitudes de -12,3 mm, -7,3 mm, -11,0 mm, -7,4 mm, -7,7 mm e -12,1 mm; no setor central (133) com magnitude em torno de -6,3 mm; no setor sul (54) com magnitude de -13,7 mm; no setor sudeste (2, 78, 107, 115 e 131) com -6,4 mm, -9,3 mm, -10,5 mm e -5,0 mm; e no setor sudoeste (31 e 75) com -7,6 mm e -11,6 mm (Figura 29a e 29b).

As outras 11 estações com tendências de neutralidade foram as de número: 11, 15, 22, 27, 33, 37, 46, 51, 64, 86 e 96.

Tabela 11 – Resultados do teste de Man-Kendall para a precipitação sazonal DJF com os valores de Z (tendência), Q (magnitude) e significância (SIG) estatística de 99,9 (***) , 99 (**), 95 (*) e 90% (+).

Estação	Z	Q	SIG	Estação	Z	Q	SIG
Abaetetuba	-0,2	1,0		Muricilândia	3,3	10,6	**
Abreulândia	-1,8	-6,4	+	Navio	-1,9	-8,1	+
Acampamento IBDF	0,5	1,9		Nhamundá	-0,3	-2,2	
Acará	1,5	6,4		Oeiras do Pará	0,3	2,1	
Aldeia Wai-Wai	1,5	7,6		Oiapoque	0,1	1,3	
Alenquer	0,8	4,7		Oriximina	N	-0,1	
Almeirim	1,0	4,8		Ourém	-1,8	-11,0	+
Alta Floresta	-0,9	-3,8		Palmeirante	1,4	6,0	
Amapá	0,6	6,5		Paragominas	0,4	1,9	
Ananás	0,2	0,6		Parintins (Mocambo)	-0,1	-0,5	
Apalai	N	0,0		Porto Ariri	-0,4	-2,3	
Aporema	0,5	1,6		Prainha	-0,7	-2,1	
Araguacema	-0,8	-3,2		Primavera	-0,4	-2,9	
Araguatins	-0,3	-1,0		Redenção	0,5	1,5	
Arapari	N	-0,1		Reta Km32	-1,2	-6,0	
Areias	1,3	8,4		Rondon do Pará	-2,0	-10,5	*
Badajós	-1,1	-3,3		S. Sebastião do TO	0,6	4,5	
Baião	-0,9	-3,3		Salinópolis	-0,2	-1,0	
Barreira do Campo	0,4	1,5		Santa Cruz	-1,2	-7,0	
Barreirinha	0,7	4,2		Santa Izabel do Pará	-2,0	-7,4	+
Boca do Inferno	1,8	5,2	+	Santarém	-0,2	-1,0	
Buritirama	1,6	6,4		São Domingos do Capim	-0,7	-2,2	
Cachimbo	N	0,1		São Francisco	-0,8	-2,0	
Cachoeira da Porteira	-0,7	-2,4		Serra Navio	-0,4	-0,6	
Cachoeira Tramcabeua	-1,3	-8,0		Sítio Sta. Maria	1,9	11,4	+
Cafezal	-1,3	-8,7		Tararua-Ponte	-3,0	-7,7	**
Calçoene	0,9	10,5		Tomé-Açu	0,7	5,7	
Capanema	-1,3	-3,9		Vigia	0,1	1,2	
Carmo	-1,0	-8,0		Vila do Conde	-2,2	-12,1	*
Carolina	-1,0	-3,6		Vila Elim	-0,5	-3,3	
Castanhal	N	0,1		Vila São Benedito	-0,4	-2,7	
Chaves	1,2	5,0		Vista Alegre Conj. 2	1,7	7,8	+
Colônia	-0,7	-2,6		Wanderlândia	-1,8	-6,7	+
Cunani	0,5	3,2		Xambioá	1,8	6,6	+
Curuçá	-0,1	-0,8		Barra São Manuel	1,7	15,6	+
Dois Irmãos	-0,7	-2,7		Cajueiro	-2,3	-7,6	*
Eldorado	2,5	13,0	*	Cupari	-0,1	-0,5	
Emboraí	-1,9	-12,3	+	Faz. Sta. Emília	-3,0	-13,7	**
Faz. Bela Vista	N	-0,3		Garimpo do Patrocínio	-0,4	-2,9	
Faz. Caiçara	-0,1	-2,3		Jacareacanga	-0,2	-1,3	
Faz. Estrela do Norte	0,5	1,8		Jatobá	-1,0	-3,4	
Faz. Jaurá	-0,1	-0,9		Km 1027 Br - 163	-0,8	-2,7	
Faz. Maringá	0,4	1,9		Km 1130 Br - 163	-0,8	-5,8	
Faz. Planalto	N	0,0		Km 1326 Br - 163	-0,2	-1,0	
Faz. Santa Elisa	-0,1	-0,3		Km 1342 Transamazônica	-1,6	-12,5	
Faz. São Raimundo	-1,6	-13,2		Km 1385 Br - 163	-2,0	-11,6	*
Faz. Surubim	0,2	1,2		Km 947 Br - 163	-1,0	-4,4	
Faz. Urucure	1,0	5,3		Monte Alegre do Xingu	-1,4	-3,7	
Goianesia	-0,6	-5,0		Proj. Tucumã	-0,1	-0,5	
Guariba	0,6	3,6		Ruropolis Presidente Medici	-0,7	-8,0	
Gurupizinho	-1,1	-3,6		Sítio São Pedro	-1,4	-6,1	
Igarapé-Açu	-1,8	-7,3	+	Sta. Rosa	-0,1	-0,3	
Irapuru	0,9	5,8		Belém	N	0,2	
Itapeuá do Pará	N	-0,1		Belterra	-0,9	-3,0	
Itaporã	0,0	0,0		Breves	0,8	2,1	
Itaubal	1,1	12,4		Cametá	N	0,1	
Jarilândia	-1,6	-7,5		Itaituba	-0,5	-1,2	
Juruti	-0,1	-1,6		Marabá	-1,6	-4,8	
Km 60 PA - 150	0,9	6,5		Monte Alegre	0,2	0,8	
Km Zero PA - 70	-1,8	-9,3	+	Obidos	-0,4	-0,9	
Kuxaré	3,2	7,0	**	São Felix do Xingu	-1,8	-5,0	+
Ligação do Pará	0,4	2,3		Soure	-0,3	-1,4	
Lourenço	-1,0	-9,6		Tracuateua	0,2	1,0	
Maracacuera Florestal	-0,2	-0,6		Tucuruí	-1,0	-3,2	
Maués	0,5	2,6		Macapá	-1,8	-6,6	+
Miracema	N	0,1		Altamira	-2,4	-6,3	*
Mosqueiro	-0,8	-4,1		PortoMoz	-0,1	-0,4	

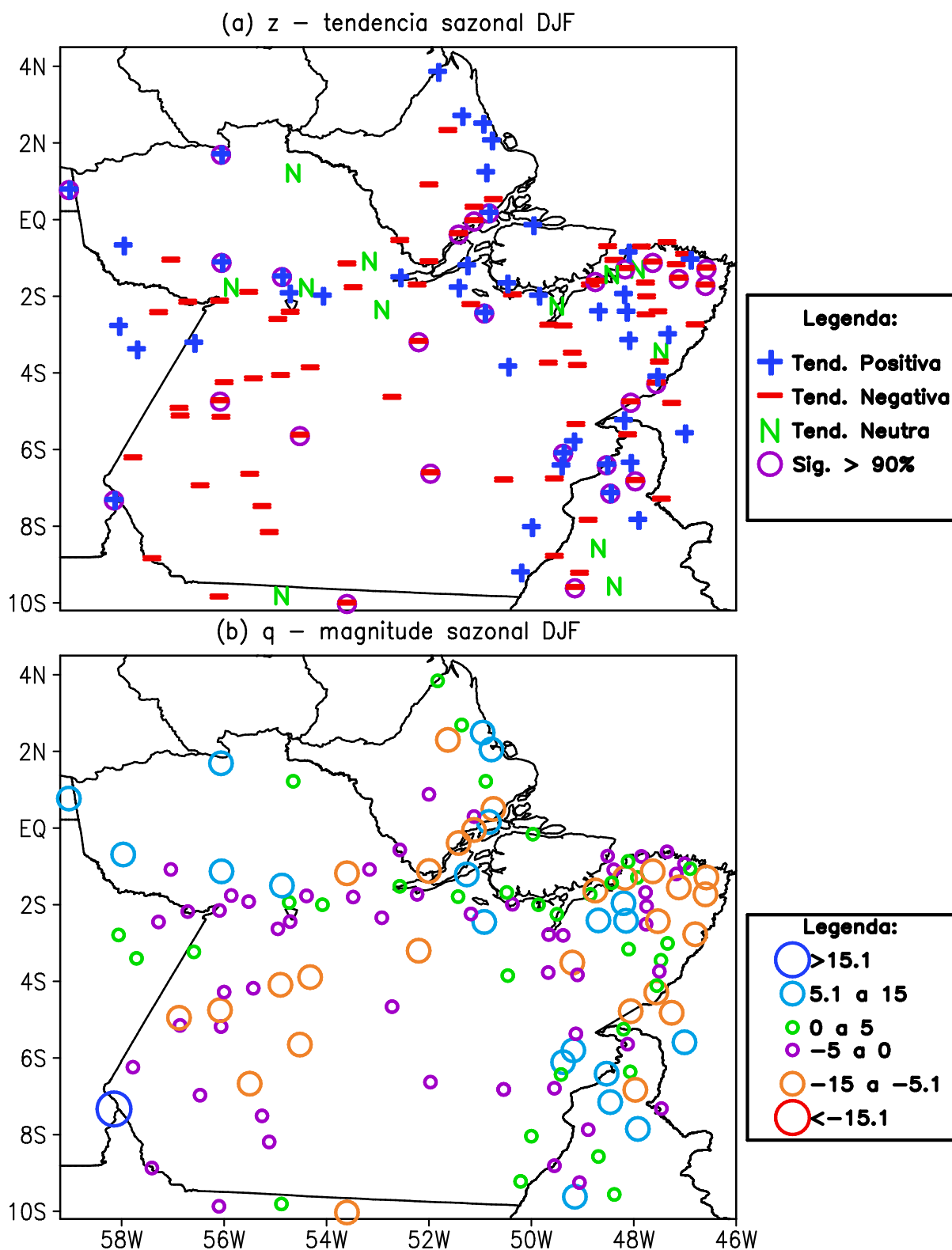


Figura 29 – Mapa espacial dos (a) sinais de Z indicando as tendências da precipitação sazonal em DJF e (b) valores de Q indicando a magnitude das tendências nas estações pluviométricas da Amazônia oriental. As legendas encontram-se à direita das figuras.

A Figura 30 ilustra as séries temporais da precipitação sazonal observada em DJF para as estações com tendências positivas estatisticamente significantes, nas quais se observa a inclinação da reta de tendência apontando o aumento de forma sistemática a partir dos anos de 1990 nas localidades de Xambioá (c) e Kuxaré (f), por outro lado, a tendência de aumento tornou-se monotônica, nos anos de 1994, 1995, 1997, 1992 e 1993, nas localidades de Boca do Inferno (a), Eldorado (b), Sítio Santa Maria (d), Muricilândia (e) e Vista Alegre CJ 2 (g), respectivamente.

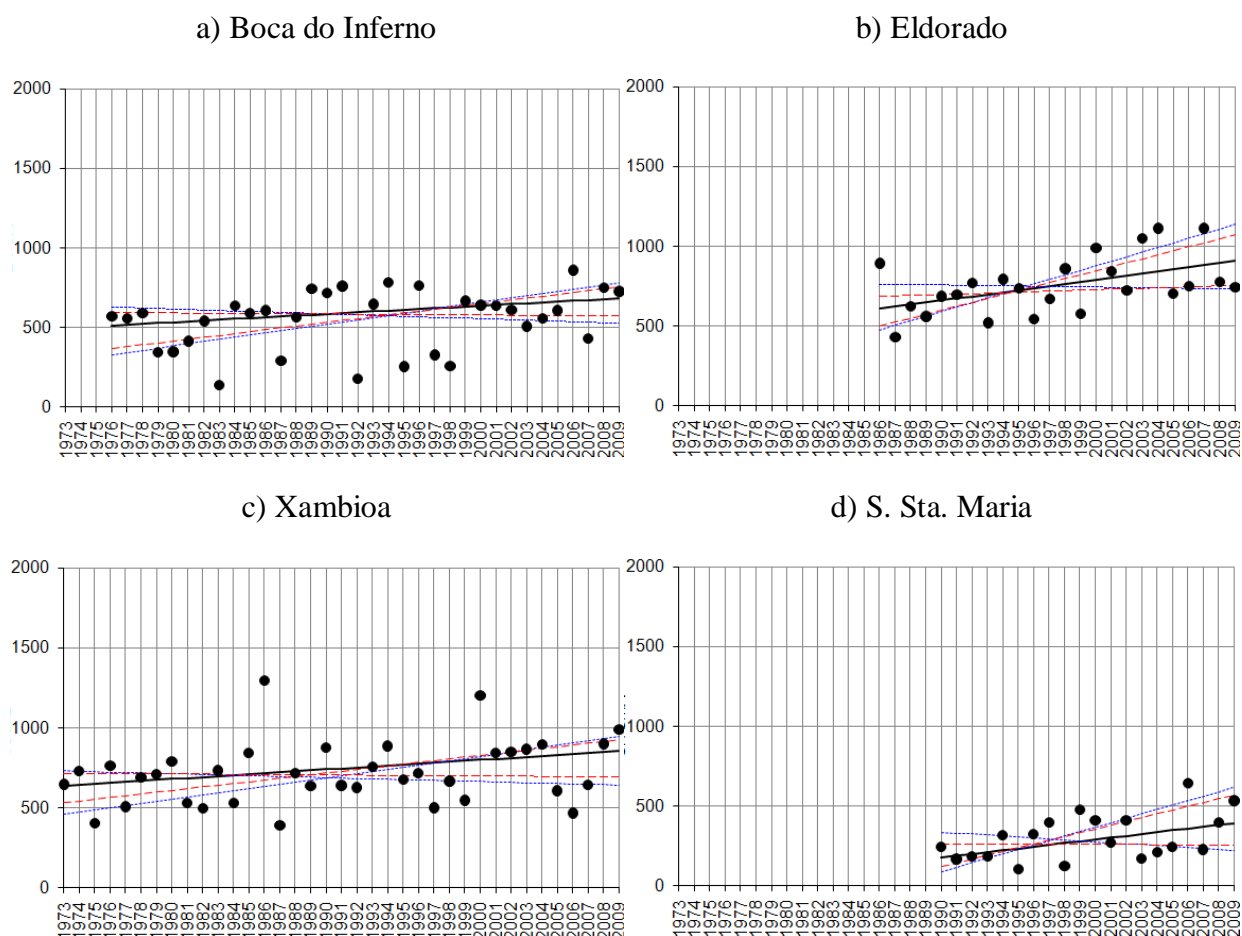


Figura 30 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de aumento da precipitação sazonal em DJF. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.

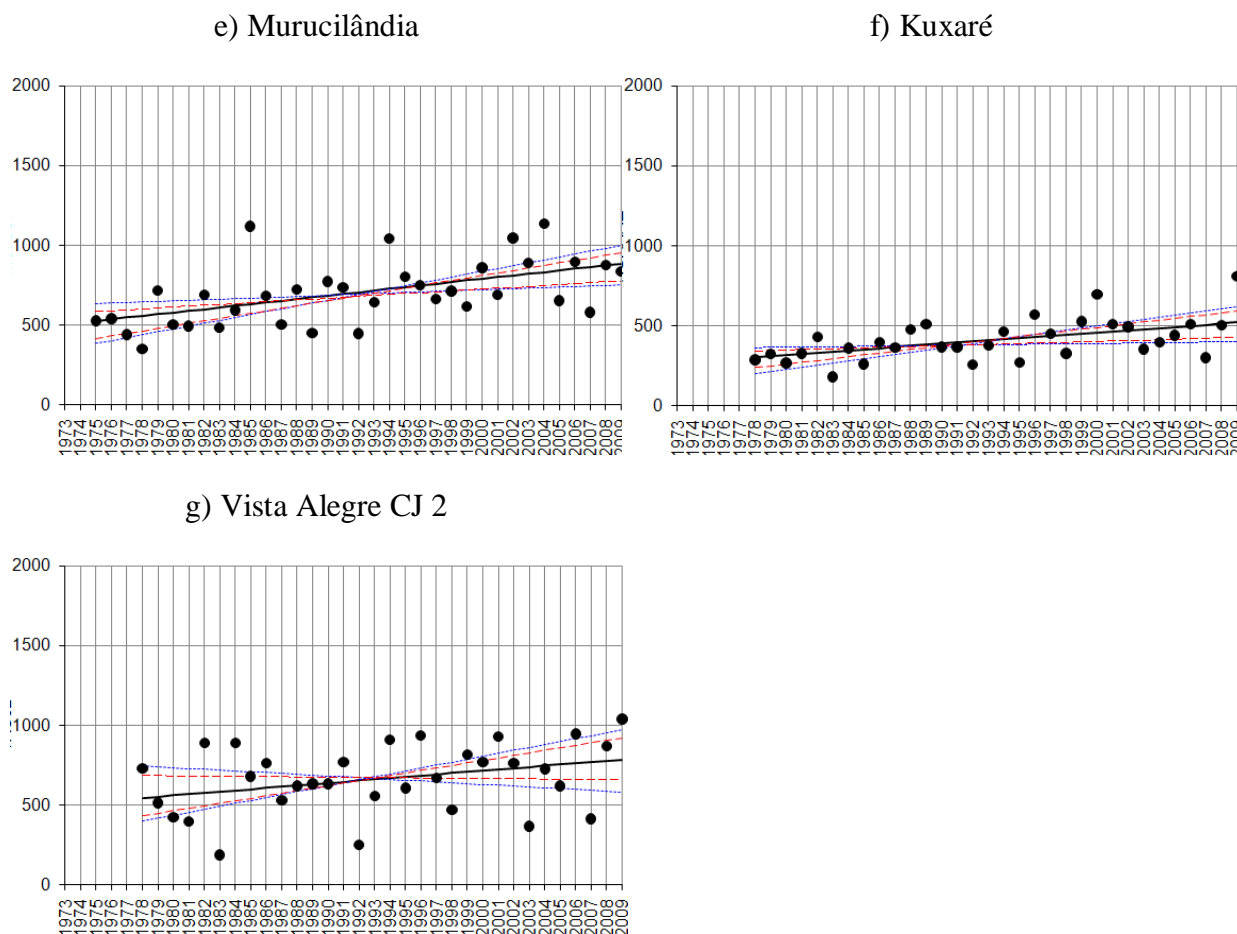


Figura 30 (continuação).

A Figura 31 mostra os gráficos das séries temporais que apresentaram tendências negativas estatisticamente significantes na precipitação sazonal de DJF. A diminuição da precipitação sazonal tornou-se monotônica a partir dos anos de 1996 nas localidades de Igarapé Açu (a), Rondon do Pará (c), Emboraí (f), Abreulândia (j) e Km 1385 (l). No ano de 1992 nas localidades de Cajueiro (e) e Vila do Conde (g). Em 1990, nas localidades de Santa Izabel (i) e São Felix do Xingu (m). E no ano de 1991 para as localidades de Macapá (n) e Altamira (p).

Por outro lado, nas localidades de Navio (b), Ourém (d), Tararua (h), Km 0 (k) e Fazenda Santa Emília (o), os anos de 1995, 1999, 1989, 1994 e 1993, respectivamente, foram os anos em que a tendência de diminuição da precipitação tornou-se monotônica.

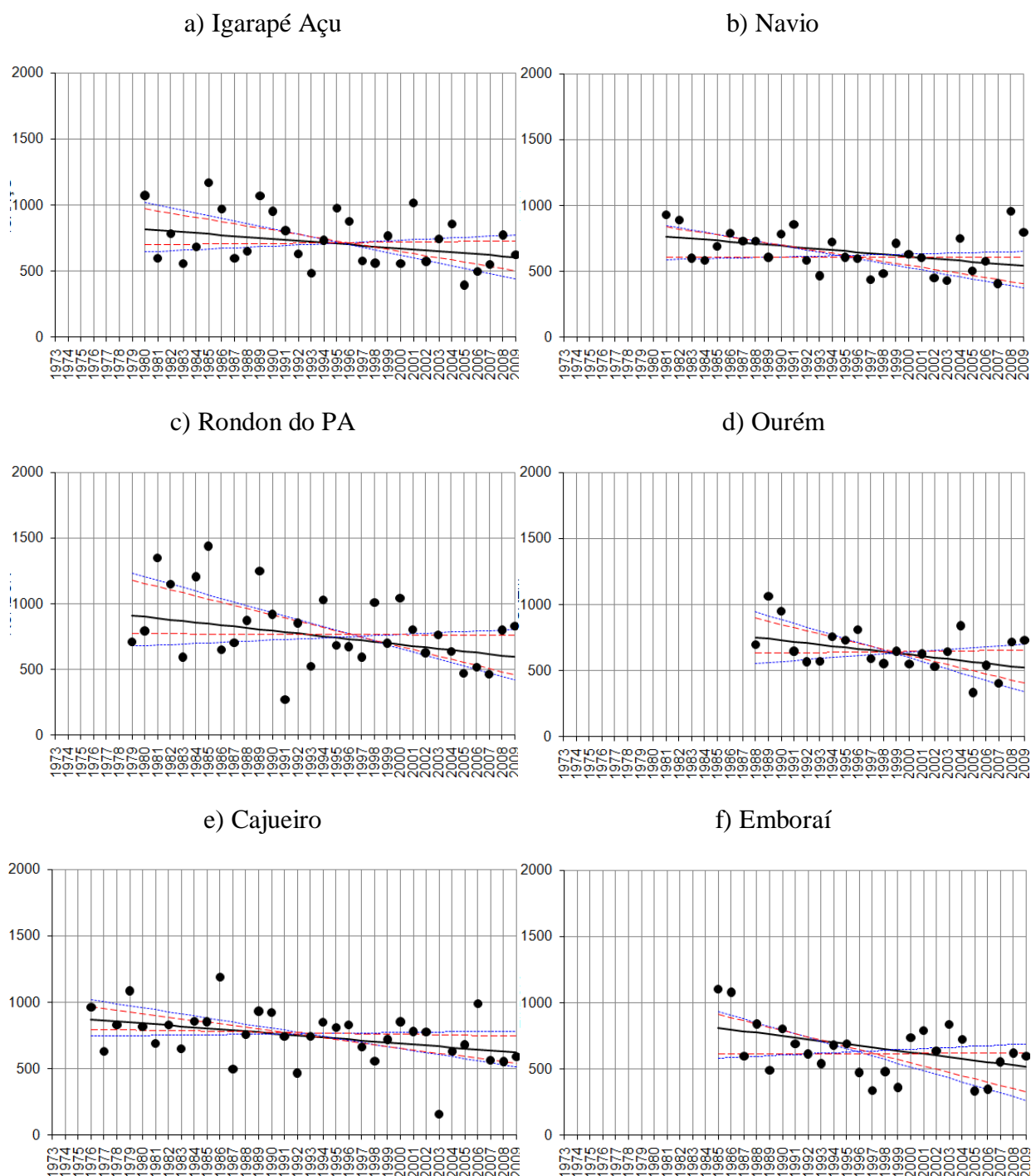
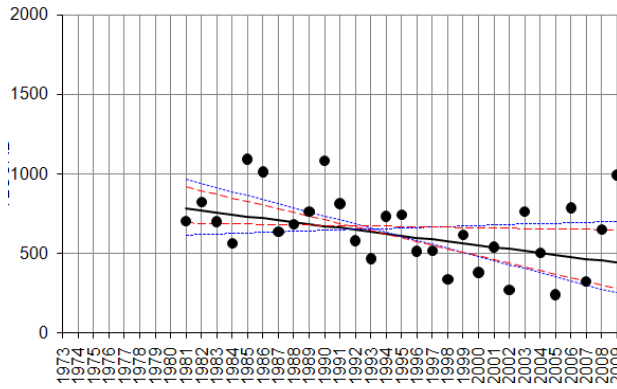
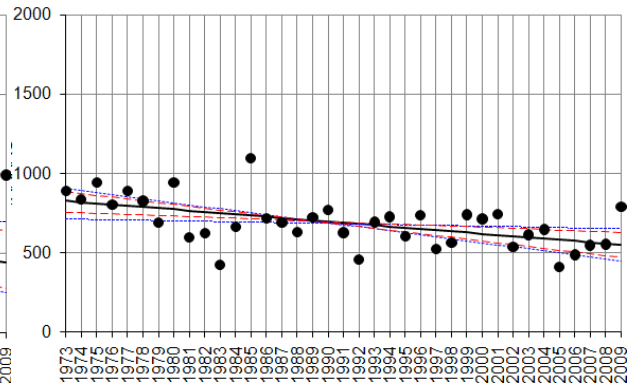


Figura 31 – Séries temporais de algumas estações pluviométricas que apresentaram tendências sistemáticas de diminuição da precipitação sazonal em DJF. Os pontos pretos indicam a precipitação em mm. A reta preta indica a inclinação da tendência estimada pelo método de Sen.

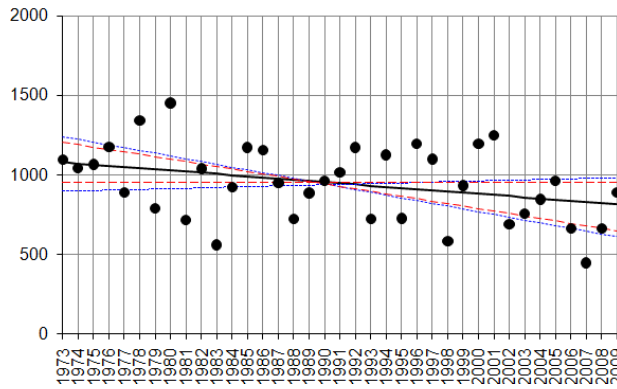
g) Vila do Conde



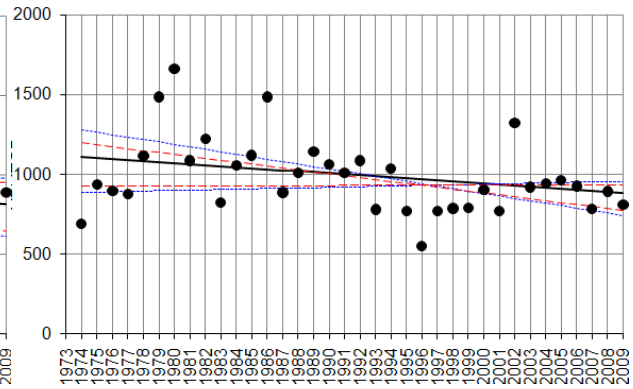
h) Tararua - Ponte



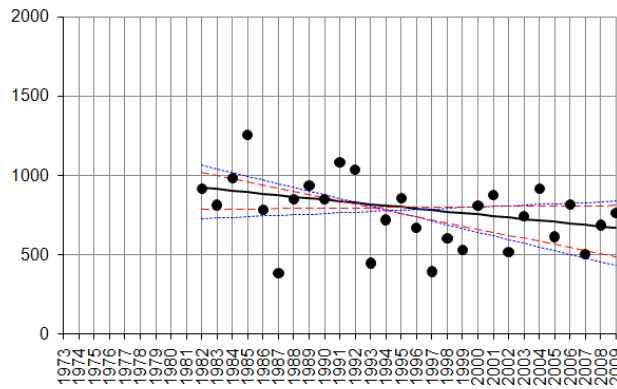
i) Sta. Izabel



j) Abreulândia



k) Km 0



l) Km 1385

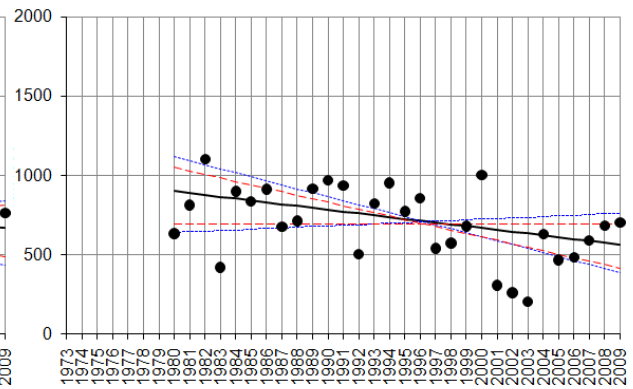
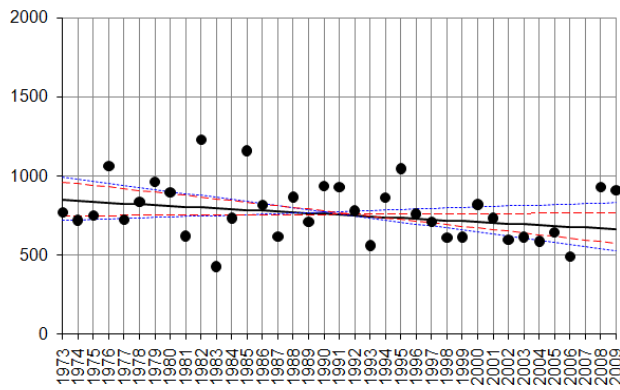
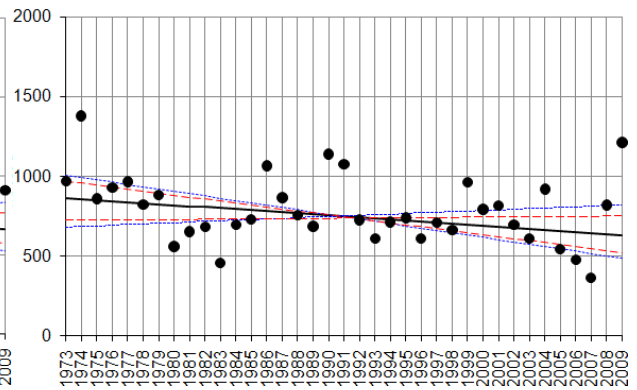


Figura 31 (continuação).

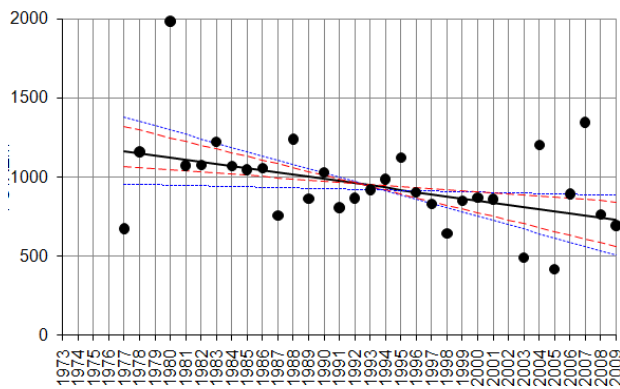
m) S. Félix do Xingu



n) Macapá



o) F. Sta. Emília



p) Altamira

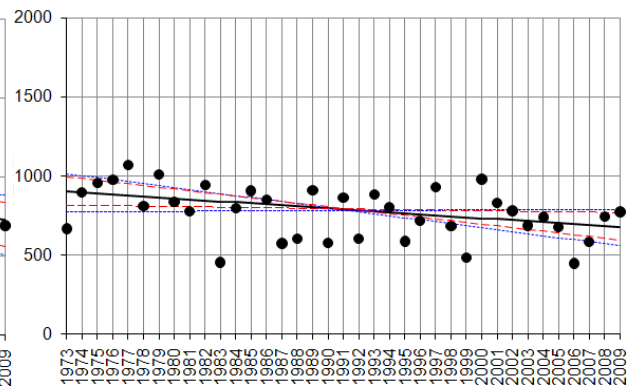


Figura 31 (continuação).

4.1.3 Comparativo entre as Tendências Anual e Sazonal

Esta seção apresenta um resumo comparativo do comportamento das tendências anuais em relação às tendências sazonais encontradas nos dados de precipitação das estações da Amazônia oriental, considerando nas análises somente os resultados que indicaram tendências estatisticamente significantes, contudo são apresentadas na Tabela 12 todas as tendências anuais e sazonais com ou sem significância estatística.

Em geral, evidenciou-se que o sinal de tendência pluviométrica anual possui uma ou mais estações sazonais preferenciais de atuação. Além disso, há estações em que o sinal de tendência anual mascara o sinal significativo de tendência sazonal, conforme descrições abaixo.

Algumas estações apresentaram o sinal da tendência anual com o mesmo sinal das tendências sazonais ocorrendo em dois ou três trimestres ao longo do ano. As estações 2, 91, 112 e 131 apresentaram tendência anual negativa que ocorre em dois períodos sazonais preferenciais, SON e DJF. A estação 82 apresenta tendência anual negativa ocorrendo nas médias sazonais de DJF e MAM, enquanto que este mesmo sinal de tendência ocorre na estação 83 em JJA e SON. As localidades que apresentaram tendência anual negativa ocorrendo em três trimestres, ou seja, ao longo da maior parte do ano, foram as estações 122 e 127 em SON, DJF e JJA e a estação 54 em SON, DJF e MAM. Similarmente, mas com o sinal das tendências anuais sendo positivas, verificou-se tendência sazonal positiva em dois períodos ao longo do ano na estação 66 (em JJA e SON), 80 (em MAM e JJA), 90 (em SON e DJF) e 119 (em DJF e MAM). A tendência anual positiva ocorrendo em três períodos sazonais foram observadas na estação 4 (em MAM, JJA e SON) e nas estações 24 e 44 (em SON, DJF e MAM).

Algumas estações apresentaram sinal de tendência anual restrito somente a um período sazonal do ano, particularmente as estações 5, 6, 10, 18, 22 e 38 com tendência positiva verificada especificamente em MAM e as estações 8, 13, 36 e 81 com tendência negativa especificamente em SON.

Em uma grande parte das estações da Amazônia oriental a tendência anual ficou de certa forma ‘mascarada’, ou seja, não verificou-se tendência anual significativa, entretanto alguns trimestres apresentaram tendências sazonais estatisticamente significantes. Nas estações 45, 61, 78, 97, 132 e 133 a tendência sazonal significativa foi observada em DJF. Nas estações 12, 15, 28, 48, 51, 53, 63, 70, 73, 88 e 94 a tendência sazonal ficou restrita ao período de MAM. Nas estações 34, 64, 74, 123 e 129 verificaram-se tendências sazonais

preferencialmente em JJA. As estações 14, 35, 37, 56, 62, 89 e 98 apresentaram tendência sazonal ocorrendo somente em SON. Por outro lado, algumas estações apresentaram sinais similares de tendência sazonal significativa ocorrendo em mais de 2 períodos, particularmente as estações 17 e 30 (em JJA e SON) e as estações 31, 75, 107 e 115 (em SON e DJF).

Outro resultante interessante foi a descoberta de sinais de tendência sazonal que se invertem em dois diferentes períodos sazonais, sem a tendência anual significativa, particularmente nas estações 16 (tendência positiva em MAM e negativa em SON), 19 (tendência positiva em DJF e MAM e negativa em SON), 25 (tendência positiva em MAM e negativa em JJA), 40 (tendência positiva em MAM e negativa em JJA e SON), 79 (tendência positiva em DJF e negativa em SON) e 130 (tendência positiva em DJF e negativa em JJA).

Tabela 12 – Resultados do teste de Man-Kendall e método de Sen para as estações da Amazônia oriental, considerando a tendência anual e as tendências sazonais em DJF, MAM, JJA e SON com os valores de Z (tendência), Q (magnitude) e significância (SIG) estatística de 99,9 (***), 99 (**), 95 (*) e 90% (+).

Nome da Estação	Nº	ANUAL			DJF			MAM			JJA			SON		
		Z	Q	Sig.	Z	Q	Sig.	Z	Q	Sig.	Z	Q	Sig.	Z	Q	Sig.
Abreulândia	2	-2,30	-15,00	*	-1,84	-6,44	+	-1,10	-3,70		-1,00	-0,30		-1,70	-3,30	+
Acará	4	3,36	33,00	***	1,48	6,38		2,30	17,00	*	2,60	6,20	*	2,50	6,40	*
Aldeia Wai-Wai	5	2,20	20,80	*	1,50	7,60		2,80	18,80	**	-2,00	-5,10	*	0,60	1,00	
Alenquer	6	1,91	23,90	+	0,78	4,69		2,30	19,60	*	0,80	2,80		-0,80	-1,60	
Alta Floresta	8	-2,00	-12,00	+	-0,92	-3,82		-0,30	-1,40		-0,70	-0,50		-2,20	-4,40	*
Ananás	10	2,50	9,70	*	0,20	0,63		3,10	10,90	**	-1,10	-0,90		-1,20	-1,10	
Aporema	12	1,51	1,02		0,53	1,63		2,60	8,70	**	-0,12	-0,30		0,30	0,25	
Araguacema	13	-1,70	-10,00	+	-0,78	-3,17		-0,80	-2,00		-0,60	-0,50		-2,30	-4,70	*
Araguatins	14	-0,30	-1,00		-0,34	-1,03		0,80	4,00		-0,20	-0,10		-1,90	-2,30	+
Arapari	15	0,56	2,50		N	-0,10		1,70	6,30	+	-1,10	-1,60		1,50	2,30	
Areias	16	1,17	14,00		1,28	8,37		2,10	10,40	*	-0,60	-3,20		-2,10	-5,30	*
Badajós	17	-1,50	-13,30		-1,09	-3,26		-0,35	-2,70		-2,30	-4,10	*	-3,10	-4,40	**
Baião	18	1,98	27,00	*	-0,88	-3,33		2,90	25,80	**	0,50	2,70		-1,10	-1,90	
Barra São Manuel	19	0,60	-3,80		1,70	15,60	+	1,80	8,10	+	-1,00	-0,70		-2,30	-4,90	*
Belém	22	1,90	10,00	+	N	0,20		2,05	9,00	*	0,80	1,50		0,30	0,30	
Boca do Inferno	24	2,55	19,70	*	1,78	5,16	+	2,90	9,40	**	-0,30	-0,90		2,30	4,60	*
Breves	25	0,70	4,40		0,80	2,10		2,00	6,00	*	-1,90	-3,60	+	-0,40	-0,45	
Cachoeira da Porteira	28	1,54	13,20		-0,74	-2,38		2,94	13,70	**	0,90	1,60		N	0,10	
Cafezal	30	-1,33	-18,70		-1,33	-8,67		-0,10	1,00		-1,80	-4,20	+	-2,90	-6,00	**
Cajueiro	31	-2,28	-11,20		-2,31	-7,60	*	-0,10	-0,50		-0,80	-0,80		-2,50	-4,60	*
Capanema	34	-0,56	-5,80		-1,27	-3,93		0,90	3,70		-1,80	-3,20	+	-1,30	-1,60	
Carmo	35	-0,68	-1,50		-0,96	-7,97		-0,80	-9,40		-0,80	-3,20		-1,90	-2,10	+
Carolina	36	-1,70	-8,50	+	-0,95	-3,56		-0,43	-1,60		-0,80	-0,70		-2,10	-2,40	*
Castanhal	37	-0,80	-7,50		N	0,08		-1,20	-5,40		-0,40	-1,00		-1,80	-2,70	+
Chaves	38	2,30	29,40	*	1,15	4,95		2,50	12,30	*	0,80	1,60		-1,20	-1,80	
Cunani	40	N	-1,90		0,53	3,20		1,20	24,00	+	-1,80	-8,60	+	-3,20	-6,60	**
Eldorado	44	3,10	35,00	**	2,50	13,00	*	2,20	16,30	*	0,90	1,40		3,10	35,00	**
Emborai	45	N	-0,80		-1,90	-12,30	+	0,80	6,00		0,40	1,20		N	-0,10	
Faz. Estrela do Norte	48	1,20	10,30		0,50	1,80		2,25	11,60	*	-0,60	-1,20		1,20	10,30	
Faz. Planalto	51	1,56	13,20		N	0,03		1,40	12,00	+	0,30	0,80		1,60	13,20	
Faz. São Raimundo	53	0,29	4,40		-1,63	-13,15	**	1,50	16,00	+	-1,40	-2,60		0,30	4,40	
Faz. Sta. Emília	54	-4,40	-26,50	***	-2,95	-13,70	**	-1,70	-3,50	+	-0,80	-1,00		-3,90	-11,80	***
Faz. Urucure	56	1,64	18,00		1,00	5,30		1,13	8,00		0,40	1,00		1,80	3,50	+
Igarapé-Açu	61	-0,86	-7,50		-1,80	-7,30	+	N	0,07		0,15	0,30		N	0,10	
Irapuru	62	-0,87	-12,90		0,90	5,83		-0,60	-3,10		-1,00	-3,00		-1,80	-6,70	+
Itaituba	63	1,00	6,10		-0,50	-1,20		2,00	7,00	*	0,40	0,60		0,74	2,00	
Itapeuá do Pará	64	0,17	3,00		N	-0,10		0,70	3,20		-1,70	-8,00	+	0,80	1,40	
Itaporã	65	-0,97	-3,80		0,00	-0,01		1,10	2,50		-2,90	-2,00	**	-2,60	-5,80	**
Itaubal	66	3,25	77,50	**	1,10	12,40		2,40	22,00		3,50	21,40	***	2,80	8,30	**
Juruti	70	0,53	7,80		-0,10	-1,59		1,90	19,90	+	N	-0,05		-1,60	-3,70	
Km 1326 Br - 163	73	1,40	10,70		-0,20	-1,00		2,40	9,80	*	0,11	0,20		-0,10	-0,50	
Km 1342 Transamazônica	74	-0,62	-12,30		-1,59	-12,54		0,90	6,00		-1,20	-5,40	+	-1,20	-6,10	
Km 1385 Br - 163	75	-1,10	-12,00		-2,00	-11,60	*	0,10	0,50		-0,20	-0,80		-1,40	-4,90	+
Km Zero PA - 70	78	-0,85	-9,80		-1,80	-9,34	+	0,15	0,50		-1,60	-1,80		-0,20	-0,30	
Kuxaré	79	1,64	13,20		3,16	7,00	**	1,70	10,00		0,20	1,00		-1,93	-2,20	+
Ligação do Pará	80	2,30	45,20	*	0,42	2,26		2,00	31,00	*	2,00	2,60	*	1,14	2,80	
Lourenço	81	-2,11	-45,50	*	-1,01	-9,60		-1,90	-29,40	+	-0,80	-4,80		-1,10	-3,10	
Macapá	82	-2,20	-15,00	*	-1,80	-6,60	+	-1,80	-8,00	+	-0,50	-1,00		-0,13	-0,20	
Marabá	83	-1,50	-8,70	+	-1,60	-4,80		0,60	2,30		-1,70	-2,00	+	-1,80	-3,40	+
Monte Alegre do Xingu	88	0,20	1,90		-1,36	-3,66		1,90	7,30	+	-0,40	-0,50		-0,60	-1,40	
Mosqueiro	89	-1,13	-12,00		-0,83	-4,08		0,40	2,30		-1,00	-4,10		-1,80	-5,60	+
Muricilândia	90	4,40	30,60	***	3,27	10,58	**	3,60	12,00		-1,70	-1,00	+	1,80	4,60	+
Navio	91	-2,16	17,00	*	-1,93	-8,06	+	-0,90	-5,20		-1,10	-3,80		-2,20	-3,60	*
Oeiras do Pará	94	1,20	22,60		0,29	2,07		2,20	15,90	*	0,70	1,60		N	0,10	
Ourém	97	N	0,60		-1,80	-11,00	+	1,10	7,70		0,23	0,50		0,30	0,50	
Palmeirante	98	0,80	6,10		1,41	6,02		N	0,10		0,40	0,40		-2,30	-7,00	*
Rondon do Pará	107	-1,36	-17,00		-2,04	-10,53	*	0,10	1,00		-1,00	-1,00		-1,20	-4,60	*
Santa Izabel do Pará	112	-2,40	-19,00	*	-2,00	-7,40	+	-0,70	-2,80		-1,60	-3,40		-2,40	-19,50	*
São Felix do Xingu	115	-2,30	-16,00		-1,80	-5,00	+	-1,00	-3,50		N	0,01		-1,80	-4,00	+
Sítio Sta. Maria	119	3,10	59,50	**	1,91	11,41	+	2,80	32,00	**	1,20	5,90		1,00	7,10	
Tararua-Ponte	122	-2,73	-25,00	**	-3,00	-7,70	**	-2,20	-5,70		-3,20	-6,70	**	-2,70	-24,90	**
Tomé-Açu	123	0,66	11,30		0,71	5,73		0,80	6,70		-1,60	-5,00	+	0,70	11,30	
Vila do Conde	127	-2,76	-35,60	**	-2,19	-12,11	*	-0,90	-4,70		-2,40	-9,00	*	-2,80	-35,60	**
Vila São Benedito	129	-0,25	-2,80		-0,40	-2,70		1,90	11,00		-0,90	-4,00	+	-0,30	-2,80	
Vista Alegre Conj. 2	130	0,90	7,20		1,70	7,80	+	0,90	6,00		-1,70	-4,00	+	-0,80	-2,80	
Wanderlândia	131	-2,80	-15,50	**	-1,84	-6,70	+	-1,00	-2,60		-1,30	-0,90		-3,40	-4,60	***
Xambioá	132	1,30	9,00		1,80	6,60	+	1,60	6,00		-1,20	-1,00		-0,60	-0,90	
Altamira	133	-0,95	-5,00		-2,40	-6,30	*	0,70	3,00		0,12	0,80		-0,40	-0,60	

4.1.4 Desmatamento no Pará *versus* Tendências Sazonais de Precipitação

Esta secção apresenta os mesmos resultados das tendências sazonais (discutidas nas três secções anteriores), agora buscando relações com as regiões de desflorestamento na Amazônia. As análises baseiam-se nos mapas de tendências de precipitação sobrepostos ao mapa de desflorestamento registrado no estado do Pará, segundo as estimativas do PRODES – INPE.

A Figura 32 mostra as tendências sazonais de precipitação e as regiões de desflorestamento no estado do Pará de 2000-2008. Nos mapas espaciais nota-se a concentração das áreas de desflorestamento no Pará nos setores nordeste, leste e sudeste do estado, assim como as áreas desmatadas em menor proporção no centro, oeste e sudoeste do Pará, as quais são devido a vários processos de ocupação e uso da Terra.

A tendência sazonal referente à estação de MAM apresentou sinal positivo na maioria das estações, ressaltando-se aquelas localizadas em áreas desflorestadas, as quais apresentaram tendências positivas com significância estatística, situadas a nordeste (4, 18, 22 e 53), oeste (6, 15 e 24), leste (51), sudeste (44, 48 e 80) e sudoeste (63) do Pará, evidenciando que houve aumento da precipitação nessas estações coincidente com as regiões onde os processos de uso e mudança do solo são praticados principalmente para a abertura de estradas, agricultura e pecuária.

No período de JJA, observaram-se tendências negativas estatisticamente significantes nas estações situadas a nordeste (17, 34, 122, 123 e 127), oeste (130), leste (30), sudeste (83) e sudoeste (74) do Pará, as quais estão localizadas em áreas de desflorestamento ou em áreas bem próximas, a exemplo da estação 130 situada no oeste do Pará. Similarmente, no trimestre SON verificaram-se tendências negativas significantes nas estações situadas ao norte (35, 40 e 91), nordeste (17, 37, 89, 112, 122 e 127), leste (30), sudeste (83 e 115) e sudoeste (75) do Pará, além das estações 13 e 14 situadas na divisa do Pará com o Tocantins e a estação 107 na divisa do Pará com o Maranhão. Para o trimestre de DJF, as tendências negativas com significância estatística estão situadas a nordeste (45, 61, 97, 112, 122, 127), centro (133), sudeste (78), sudoeste (75) e na estação 107 situada na divisa do Pará com o Maranhão.

Ainda que em menor proporção, também foram verificadas tendências positivas com significância estatística em estações situadas em áreas de desflorestamento, sendo as estações, para o trimestre de JJA, situadas a nordeste (4) e sudeste (80), já para o trimestre de SON, as estações estão situadas a nordeste (4 e 56), oeste (24) e sudeste (44) e para o trimestre de DJF, as estações situadas a oeste (24 e 130) e sudeste (44), evidenciando que em algumas estações

situadas em áreas de desflorestamento, verificou-se tendência de aumento da precipitação, o qual provavelmente associa-se as circulações locais formadas entre a área de desflorestamento e as áreas não desflorestadas.

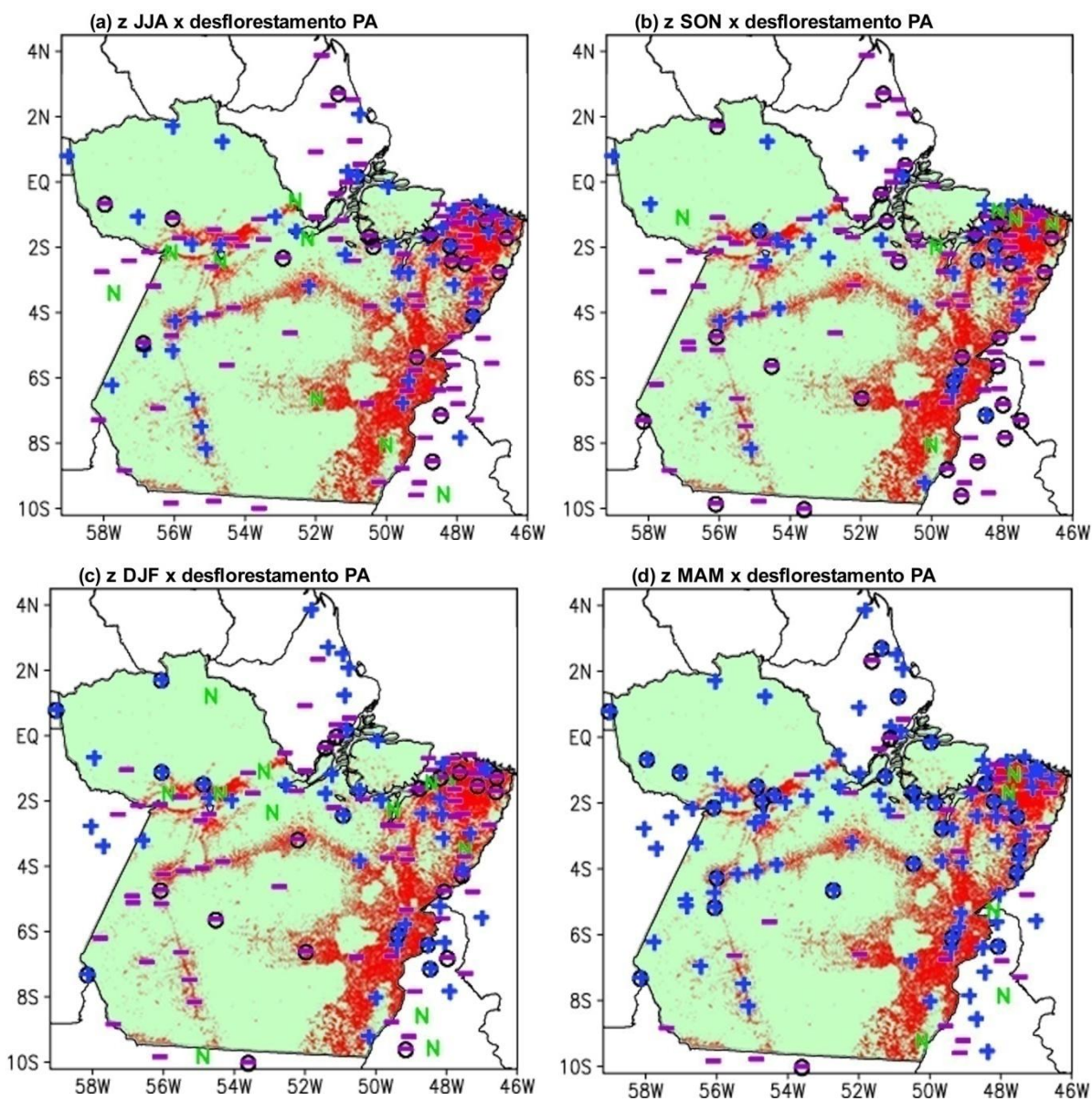


Figura 32 – Mapa espacial dos sinais de z indicando as tendências da precipitação sazonal em (a) JJA, (b) SON, (c) DJF e (d) MAM com as áreas de desflorestamento no Pará (mapa de fundo com áreas em vermelho) de 2000-2008 estimadas pelo PRODES-INPE.

5 CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que, diferente de estudos realizados anteriormente, há evidências de tendências positivas e negativas alternando-se sobre a região da Amazônia oriental, sendo que tais tendências tornaram-se sistemáticas ou monotônicas a partir da década de 90, coincidente com a intensificação dos processos de uso da Terra que provocaram taxas anuais crescentes de desmatamento na Amazônia.

Considerando os dados de precipitação anual, os resultados das tendências usando os testes não-paramétricos evidenciaram que do total de 134 estações, em torno de 51% apresentam tendências positivas e 41% tendências negativas sobre a Amazônia oriental. Contudo, essas tendências anuais “mascaram” de certa forma as tendências sazonais, cujos resultados mostraram-se mais diversificados, explicando melhor os aspectos da variabilidade climática regional.

Para o trimestre MAM, observaram-se 99 estações (74%) com tendências positivas, indicando que a quantidade de precipitação durante o período chuvoso principal da Amazônia oriental vem aumentando sistematicamente durante a última década.

Em DJF, não observaram-se grandes diferenças nos sinais das tendências, com 34% (45 estações) apresentando tendências positivas e 58% (78 estações) com tendências negativas.

Por outro lado, nos trimestres que englobam o período seco ou menos chuvoso da Amazônia oriental verificaram-se tendências sazonais predominantemente negativas, com 62% (84 estações) em JJA e 66% (89 estações) em SON. Estes resultados indicam que a precipitação durante o período seco encontra-se em diminuição gradativa nas últimas décadas.

A indicação observacional de que há mudanças em curso na quantidade de precipitação do período seco corrobora com a hipótese de que o desmatamento associa-se com a redução da precipitação em escala regional, porém sugere-se que isso ocorra em escala de tempo sazonal. Ou seja, a época de maior frequência de queimadas, de Julho a Novembro, é coincidente com as evidências de tendências negativas de precipitação sazonal na Amazônia oriental durante a última década, particularmente nos setores nordeste, leste, sudeste e sul do Pará.

Quanto à variabilidade dos índices de extremos climáticos, obtidos através da aplicação da metodologia estatística do RCLimindex em séries temporais diárias das estações do estado do Pará na Amazônia oriental, constatou-se que os índices de precipitação associam-se

com os episódios de ENOS no Oceano Pacífico e com anos da fase fria ou quente do Gradiente do Atlântico.

Os anos mais expressivos da quantidade de dias secos consecutivos são coincidentes com os anos de configuração dos episódios El Niños e dos anos de ocorrência da fase quente do Gradiente do Atlântico, agindo isoladamente e/ou simultaneamente. Entretanto, com exceções, por exemplo, da estação de Marabá, em que se verificou, que a influencia do oceano Pacífico sobre a precipitação no ano de 1992 foi predominante sobre o mecanismo de modulação do oceano Atlântico, possivelmente pelo fato da atuação do modo de variabilidade de longo prazo, Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), encontrar-se em sua fase quente, o que além ter favorecido a inibição da precipitação, favoreceu a intensificação de um dos episódios mais fortes de El Niño de que se têm registros na história. A variabilidade do índice R99p mostrou os valores mais expressivos ocorrendo em anos de episódios La Niña e da fase fria do Gradiente do Atlântico, ou este ocorrendo isoladamente, sugerindo que os dias extremamente chuvosos em grande parte do estado do Pará (estações de Belterra, Breves, Marabá, Monte Alegre, Soure e Tucuruí) associam-se tanto a modulação do oceano Pacífico quanto a modulação do oceano Atlântico, entretanto, também para o índice R99p, para a estação de Belém, a modulação do oceano Pacífico sobre a precipitação no ano de 1996, foi predominante sobre o mecanismo de modulação do Atlântico.

No que concerne aos índices de extremos climáticos referentes aos dados de temperatura no estado do Pará, os resultados mostraram que, em geral, os índices representativos de eventos com dias quentes vêm sofrendo aumentos sistemáticos, enquanto que os índices correspondentes a noites frias encontram-se em redução gradativas durante as últimas duas décadas.

Por fim, a contribuição principal desta pesquisa foi a de documentar o estágio atual das mudanças em curso no clima regional da Amazônia oriental, particularmente, as tendências anuais e sazonais da precipitação e o comportamento dos índices de extremos climáticos durante as últimas 3 ou 4 décadas. A utilização de 134 estações situadas sobre a Amazônia oriental permitiu a espacialização das tendências pluviométricas em escala regionalizada, tornando a pesquisa inédita de forma a preencher as lacunas deixadas em estudos anteriores que usaram poucas estações meteorológicas. Assim sendo, os resultados obtidos no presente trabalho são importantes tanto no melhor entendimento científico da climatologia regional da Amazônia, podendo ser aplicadas num contexto interdisciplinar, como também são úteis nas atividades de planejamento estratégico e elaboração de políticas

públicas para o enfrentamento e mitigação de impactos das possíveis mudanças climáticas na Amazônia oriental.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estabelecer relações de causa e efeito entre os sinais de variabilidade da chuva na Amazônia e os mecanismos climáticos de grande escala do Pacífico e Atlântico, incluído análises dos aspectos dinâmicos da circulação atmosférica regional;
- Proceder uma análise estatística mais ampla entre dados climatológicos versus dados de desmatamento, para aprofundar as evidências científicas de tendência de diminuição de chuva sazonal do período seco (JJA e SON) nas áreas de desmatamento na fronteira da Amazônia legal.
- Averiguar se as simulações do clima presente gerados em modelos climáticos regionais e globais conseguem reproduzir os sinais das tendências anual e sazonal detectadas nos dados observacionais, usando a estatística não-paramétrica;

REFERÊNCIAS

COBB, K. M. et al. El Niño - Southern Oscillation and tropical Pacific climate during the last millennium. **Nature**. v. 424, p. 271-276. 2003.

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

COHEN, J. C. P. et al. Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Ciência e Cultura (SBPC)**, v. 59, p. 36-39. 2007.

CORREIA, F.W.S. et al. Calibração do simplified simple biosphere model -SSiB para áreas de pastagem e floresta na Amazônia com dados do LBA. **Revista Acta Amazônica**, v. 35, n.2, p. 273 – 288. 2005.

COSTA, M. H.; FOLEY, J.A. Trends in the hydrologic cycle of the Amazon basin. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, n. D12, p. 14,189 –14,198. 1999.

CHRISTY, J.; SPENCER, R. MSU Globally averaged atmospheric temperature, global warming debate continue. 2004. Disponível em <<http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/MSU/msusci.html>>. Acesso em agosto de 2009.

DE SOUZA, E. B. et al. Precipitação climatológica sobre a Amazônia oriental durante o período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, 111-124. 2009.

DE SOUZA, E. B. et al. Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará - RPCH. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 31, p. 6-13. 2007.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia Brasileira: história, índices e conseqüências. **Megadiversidade** v. 1, n.4, p. 113-123. 2005.

FIGUEROA, S. N.; NOBRE, C. A. Precipitations distribution over central and western Tropical South America. *Climanálise. Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, v. 5, n. 6, p. 36-45, jun. 1990.

FISCH, G.; MARENGO, J. M.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 28, n. 2, p. 101-126. 1998.

GANDU, A. W.; COHEN, J. C. P.; SOUZA, J. R. S. Simulation of deforestation in eastern Amazonia using a high-resolution model. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 78, n. 1-3, p. 123-135. 2004.

GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A. Climatic effects of Amazonian deforestation: some results from Abracos. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.78, n.5, p.823-830. 1997.

GILBERT, R. O. Statistical methods for environmental pollution monitoring. Van Nostrand Reinhold , New York, 1987.

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.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. *Quartely Journal Royal Meteorological Society*, v. 103, p. 77-92, Jan. 1977.

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

HIRSCH, R. M.; SLACK, J. R.; SMITH, R. A. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resource Research*, 18, 107-121. 1982.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *The Physical Science Basis*, Summary for Policy Makers. IPCC Geneva, 2007.

KAYANO, M. T.; KOUSKY, V. E. Sobre o monitoramento das oscilações intrasazonais. **Rev. Bras. Met.**, 7, 593-602. 1992.

KOUSKY, V. E.; KAYANO, M. T. Principal modes of outgoing longwaves radiation and 250-mb circulation for the South American sector. **Journal of Climate**. v.7, p.1131-1143. 1994.

LAU, K. M.; CHAN, P. H. Short term climate variability and atmospheric teleconnections from satellite-observed outgoing long wave radiation. Part II: Lagged Correlations. **J. Atmos. Sci.**, 40, 2751-2767. 1983.

LEAN, J. et al. The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. In: GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, J. M.; VICTORIA, R. L. (eds.). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester, UK: John Wiley & Sons. 611 p. 1996.

LOPES, M. N. G. **Aspectos regionais da variabilidade de precipitação no Estado do Pará: estudo observacional e modelagem climática em alta resolução**. 117f. Dissertação (Mestrado) – PPGCA. UFPA, 2009.

MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. **J. Atmos. Sci**, 28, 702-708. 1971.

MARENGO, J. A. Interannual variability of deep convection in the Tropical South American sector as deduced from ISCCP C2 data. **Internacional Journal of Climatology**, v.15, n. 9, p. 995-1010. 1995.

MARENGO, J. A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. **Journal of Climatology**, v. 12, n. 8, p. 853-863, Dec. 1992.

MARENGO J. A. Interdecadal and long term rainfall variability in the Amazon basin. **Theoretical and Applied Climatology**, 78, p. 79–96. 2004.

MARENGO, J. A. Long term trends and cycles in the hydrometeorology of the Amazon basin since the late 1920's. **Hydrological Processes**, v. 23, p. 3236-3244. 2009.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade. Caracterização do clima atual e definição de alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI.** 2. ed. São Paulo: Ministério do Meio Ambiente, 2007. (Biodiversidade, 26).

MANTUA, N. J. et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 78, p. 1069-1079. 1997.

MOHR, I. K.; ZIPSER E. J. Mesoscale convective systems defined by their 85-GHz ice scattering signature: size and intensity comparison over tropical oceans and continents. **Monthly Weather Review**. v. 124, n. 2417-2624, Nov. 1996.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global, el niños, manchas solares, vulcões e oscilação decadal do Pacífico, **Climanalise**, Agosto, CPTEC/INPE, 2005.

MOTA, G. V. **Characteristics of rainfall and precipitation features defined by the tropical rainfall measuring mission over South America.** 2003. 215f. Tese (Doutorado) - Department of Meteorology, University of Utah, Utah, EUA, 2003.

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

NOBRE, C. A.; SELLERS, P. J.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. **Journal of Climate**, v. 4, p. 957 – 988. 1991.

NOGUEIRA, V. S. **Variabilidade interanual da precipitação na foz do rio Amazonas.** 2008. 134f. Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Meteorologia, INPE, 2008.

RAMOS DA SILVA, R.; WERTH, D.; AVISSAR, R. Regional impacts of future land-cover changes on the Amazon basin during the wet-season climate impacts. **Journal of Climate**, v. 21, p. 1153-1170. 2008.

SALMI, T. et al. **Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates** – the Excel template application MAKESENS. Publications on Air Quality No. 31, Finnish Meteorological Institute, 2002.

SALATI, E. et al. Recycling of water in the Amazon basin: an isotopic study. **Water Resource Research**, v. 15, n.5, p. 1250 – 1258. 1979;

SALATI, E.; VOSE P. B. Amazon basin: a system in equilibrium. **Science**, v.225, p.129-38. 1984.

SEN, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. **J. Amer. Statis. Assn.**, n. 63, p. 1379-1389. 1968.

SILVA, M. S. **Características da precipitação na Amazônia utilizando dados de superfície e do satélite TRMM**. 2003. 79f. Dissertação (Mestrado) - Depto. de Meteorologia. CCEN/UFAL. 2003.

SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des series d'observations**. Genève: Organisation Météorologique Mondial, 1975. 192p. (OMM Note Technique, 143).

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. ENSO impacts on the South American rainfall during 1980s: Hadley and Walker circulation. **Atmosfera**, n.15, p.105-120. 2002.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden-Julian oscillation, **International Journal of Climatology**. Disponível em: <<http://www.interscience.wiley.com>> 2006. DOI: 10.1002/joc.1331. Acesso em agosto de 2009.

SOUZA, E. B. et al. C. 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.

VINCENT, L. A. et al. Observed trends in indices of daily temperature extremes in south America 1960–2000, **Journal of Climate**, v. 18, n. 23, p. 5011-5023. 2005.

VOLDOIRE, A.; ROYER, J. F. Tropical deforestation and climate variability. *CLIMATE DYNAMICS*, v.22, p. 857-874, 2004.

ZHANG, X.; YANG, F. **RClimdex (1.0) User Guide**. Climate research branch environment Canada. Downsview. Ontario, 2004, 22p.