



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Meteorologia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MATEUS DA SILVA REBELO

VARIABILIDADE ESPAÇO/TEMPORAL DOS REGIMES PLUVIOMÉTRICOS SAZONAIS NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

Nº: 437

**BELÉM - PA
JUNHO - 2020**

MATEUS DA SILVA REBELO

**VARIABILIDADE ESPAÇO/TEMPORAL DOS REGIMES
PLUVIOMÉTRICOS SAZONAIS NA REGIÃO METROPOLITANA
DE BELÉM**

Trabalho de Conclusão do Curso,
apresentado à Faculdade de
Meteorologia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal
do Pará- UFPA, para obtenção do grau
Bacharel em Meteorologia.

Área de conhecimento: Meteorologia.
Linha de pesquisa: Precipitação.

Orientador: Prof. Dr. Everaldo
Barreiros de Souza

Belém-PA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com
ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

R289v Rebelo, Mateus da Silva
Variabilidade espaço/temporal dos regimes
pluviométricos sazonais na região metropolitana de Belém /
Mateus da Silva Rebelo. — 2020.
39 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de
Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do
Pará, Belém, 2020.

1. Precipitação. 2. Sazonalidade. 3. El Niño/La Niña.
4. Gradiente TSM Atlântico. I. Título.

CDD 551.57728115

MATEUS DA SILVA REBELO

**VARIABILIDADE ESPAÇO/TEMPORAL DOS REGIMES
PLUVIOMÉTRICOS SAZONAIS NA REGIÃO METROPOLITANA
DE BELÉM**

Trabalho de Conclusão do Curso,
apresentado à Faculdade de
Meteorologia do Instituto de
Geociências da Universidade Federal
do Pará- UFPA, para obtenção do grau
de Bacharel em Meteorologia.

Área de conhecimento: Meteorologia.
Linha de pesquisa: Precipitação.

Data de aprovação: 09/07/2020.

Conceito: Excelente

Banca Examinadora:



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



Prof. João de Athaydes Silva Júnior - Membro
Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido
Universidade Federal do Pará



Douglas Batista da Silva Ferreira - Membro
Doutor em Ciências Ambientais
Tecnológico Vale

Dedico este trabalho a todos
meteorologistas e companheiros
de luta desta profissão tão linda.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, que sempre acreditou em mim e disponibilizou recursos essenciais para a minha permanência na Universidade Federal, toda ajuda (mesmo a menor que seja) foi imprescindível para a minha formação acadêmica e profissional.

A meu orientador Prof. Everaldo Barreiros de Souza que sempre se mostrou disponível e pôde me auxiliar na elaboração deste trabalho de conclusão do curso.

A todos os professores da Faculdade de Meteorologia que durante os quatro anos de curso me deram um enriquecimento de conhecimento, em especial os professores Henrique Cattanio, Francisco Souza, João de Athaydes, José de Carvalho e Isabel Vitorino.

Ao Laboratório de Sinótica (Labsin) no qual pude trabalhar meu TCC e em vários momentos da minha graduação.

A oportunidade de estagio que me foi concebida em outubro de 2017 no projeto de cooperação técnica SUDAM/UFPA, no qual permaneci até o fim do mesmo.

Agradeço aos meus colegas de classe, em especial ao Henrique Souza, Richard Lobato, Marcelo Cunha, Angelo Rodrigo, Pedro Oliveira, Camila Soares e aos demais que permaneceram junto a esta caminhada de graduação e também aos amigos Maurício Moura e Nedilson Sanches que surgiram na vida acadêmica e me auxiliaram em vários momentos.

A meu centro acadêmico, na qual fiz parte (gestão 2018 e 2019), e que me ensinou muito dentro desta instituição universitária.

“Que os vossos esforços desafiem as possibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”

Charles Chaplin

RESUMO

Considerando que a precipitação é uma das variáveis meteorológicas que interferem diretamente nas atividades socioeconômicas, torna-se imprescindível a investigação da sua variabilidade em escala local e regional. Este trabalho apresenta uma contribuição científica aos estudos observacionais dos padrões espaço/temporal dos regimes pluviométricos sobre a Região Metropolitana de Belém (RMB), englobando sete municípios (Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara, Santa Isabel e Castanhal). Utilizam-se os dados pontuais medidos pelas estações meteorológicas de Belém e Castanhal, oriundas do INMET e ANA, respectivamente, bem como dos conjuntos de dados do CHIRPS e MERGE2 (combinação de dados de estações e estimativa de satélites) dispostos em pontos de grade em alta resolução espacial. As bases de dados contemplam o período de 1990 a 2018. A aplicação da estatística descritiva mostrou que o ciclo anual da precipitação apresenta sazonalidade bem configurada com o regime chuvoso (Reg.CHUV) mais intenso ocorrendo nos meses consecutivos de janeiro a abril e regime seco ou menos chuvoso (Reg.SECO) de julho a novembro. A comparação entre os dados medidos pela estação meteorológica e os dados em pontos de grade indicou que a precipitação da base MERGE2 é relativamente melhor do que a base CHIRPS, principalmente para o Reg.CHUV. Dentre os sete municípios da RMB, o teste de Mann-Kendall evidenciou que somente Belém apresenta tendência positiva estatisticamente significativa de aumento da precipitação do Reg.CHUV. Baseado em análises de composições, foi avaliado a configuração espacial das anomalias de precipitação ao longo da RMB, em associação aos eventos El Niño e La Niña do Oceano Pacífico e das fases do gradiente de TSM do Atlântico intertropical, cujos resultados indicaram impactos diferenciados ao longo dos municípios da região metropolitana.

Palavras-chave: Precipitação. Sazonalidade. El Niño/La Niña. Gradiente TSM Atlântico.

ABSTRACT

Considering that precipitation is one of the meteorological variables that directly interfere on socioeconomic activities, it is essential to investigate its variability at a local and regional scale. This work presents a scientific contribution to the observational studies on spatiotemporal rainfall patterns over the Metropolitan Region of Belém (RMB), encompassing seven municipalities (Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara, Santa Isabel and Castanhal). The data measured by the meteorological stations of Belém and Castanhal, from INMET and ANA, respectively, are used, as well as the gridded CHIRPS and MERGE2 data sets (combination of station data and satellite estimates) disposed into high spatial resolution. The databases cover the period from 1990 to 2018. The application of descriptive statistics showed that the annual cycle of precipitation presents seasonality well configured with the Rainy Regime (Reg.CHUV) more intense occurring in the consecutive months from January to April and Dry Regime (Reg.SECO) from July to November. The comparison between the data measured by the stations and the gridded data indicated that the MERGE2 is relatively better than the CHIRPS, mainly for the Reg.CHUV. Among the seven municipalities in the RMB, the Mann-Kendall test showed that only Belém has a statistically significant positive trend in increasing rainfall in the Reg.CHUV. Based on analysis of compositions, the spatial configuration of precipitation anomalies along the RBM was assessed, in association with the El Niño and La Niña events in the Pacific Ocean and the phases of the intertropical Atlantic SST gradient, whose results indicated different impacts along municipalities in the metropolitan region.

Keywords: Precipitation. Seasonality. El Niño/La Niña. Atlantic SST Gradient.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa da área de estudo sobre a Região Metropolitana de Belém (RMB) com a topografia, limites e sedes municipais e localização das estações pluviométricas. Os mapas na parte inferior mostram as resoluções espaciais das grades dos dados CHIRPS e MERGE2.	17
Figura 2 – Áreas dos Oceanos Pacífico e Atlântico, onde foram obtidas as medias espaciais dos dados de TSM.	19
Figura 3 – Ciclo anual da precipitação (mm, barras) e percentuais mensais (% relativo ao total anual) nas estações de BEL e CAS.....	21
Figura 4 – Gráficos BoxPlot da precipitação (mm) em BEL e CAS para os dados da estação, CHIRPS e MERGE2 correspondentes aos regimes a) Reg.CHUV e b) Reg. SECO.	23
Figura 5 – Gráficos Box Plot dos dados de precipitação nos regimes Reg.CHUV e Reg.SECO para a) BEL e b) CAS.....	25
Figura 6 – Distribuição espacial da precipitação (mm) nos dados CHIRPS e MERGE2 sobre a RMB nos regimes a) Reg.CHUV e b) Reg.SECO.....	26
Figura 7 – Séries temporais da precipitação (mm) do Reg.CHUV nas sedes municipais da RMB: BEL – Belém, CAS – Castanhal, ANA – Ananindeua, BNV – Benevides, MAR – Marituba, SBA – Sta Bárbara do Pará e SIS – Sta Isabel do Pará.	29
Figura 8 – Séries temporais da precipitação (mm) do Reg.SECO nas sedes municipais da RMB: BEL – Belém, CAS – Castanhal, ANA – Ananindeua, BNV – Benevides, MAR – Marituba, SBA – Sta Bárbara do Pará e SIS – Sta Isabel do Pará.	30
Figura 9 – Séries temporais das anomalias de TSM (°C) mensais (setembro a março) na área Niño3 do Oceano Pacífico tropical anos de 2000/2001 a 2017/2018.....	31
Figura 10 – Composições dos eventos El Niño para as anomalias de a) TSM e ROL, b) precipitação do CHIRPS e MERGE2 da RMB. As barras de cores indicam a intensidade da TSM e da precipitação. As linhas verde/lilás indicam ROL negativo/positivo.....	32

Figura 11 – Composições dos eventos La Niña para as anomalias de a) TSM e ROL, b) precipitação do CHIRPS e MERGE2 da RMB. As barras de cores indicam a intensidade da TSM e da precipitação. As linhas verde/lilás indicam ROL negativo/positivo.....	33
Figura 12 – Séries temporais das anomalias de TSM (°C) mensais (janeiro a abril) nas Bacias Norte (ATNorte) e Sul (ATSul) do Atlântico e GRAD (diferença Norte-Sul) nos anos de 2000 a 2018. As fases do modo Gradiente de TSM para Norte (GrN) e para Sul (GrS) encontram-se indicados próximo ao eixo x.....	34
Figura 13 – Composições dos eventos GrN para as anomalias de a) TSM e ROL, b) precipitação do CHIRPS e MERGE2 da RMB. As barras de cores indicam a intensidade da TSM e da precipitação. As linhas verde/lilás indicam ROL negativo/positivo.....	35
Figura 14 – Composições dos eventos GrS para as anomalias de a) TSM e ROL, b) precipitação do CHIRPS e MERGE2 da RMB. As barras de cores indicam a intensidade da TSM e da precipitação. As linhas verde/lilás indicam ROL negativo/positivo.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados da estatística descritiva da precipitação das estações de BEL e CAS para os Reg.CHUV e SECO.	23
Tabela 2 – Correlações (%) entre os dados Estação e CHIRPS e MERGE2 para BEL e CAS nos regimes Reg.CHUV e Reg.SECO.....	24
Tabela 3 – Viés ou erro absoluto (mm) dos dados CHIRPS e MERGE2 relativo aos dados da estação em BEL e CAS para os regimes Reg.CHUV e Reg.SECO.	24
Tabela 4 – Verificação de tendências, intensidade e significância estatísticas dos dados do CHIRPS, MERGE2 e estação de BEL e CAS, para os regimes Reg.CHUV e Reg.SECO.....	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	16
2 MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1 Área de estudo e bases de dados	17
2.2 Metodologia	20
3 RESULTADOS	21
3.1 Ciclo anual e definição dos regimes pluviométricos sazonais	21
3.2 Regimes chuvoso e seco: comparação das bases de dados	22
3.3 Variabilidade temporal e tendências sazonais nas sedes municipais da RMB	27
3.4 Impactos do Oceano Pacífico (El Niño/La Niña) no regime chuvoso da RMB	31
3.5 Impactos do Oceano Atlântico (fases do gradiente ou dipolo de TSM) no regime chuvoso da RMB	34
4 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

Entre as variáveis meteorológicas do sistema climático que interferem nas atividades socioeconômicas, a precipitação apresenta um papel primordial (FIRPO, 2012). O excesso da precipitação, somado a outros fatores do meio biofísico, podem ocasionar deslizamentos de barreiras, alagamentos, enchentes e quando ocorrem escassez podem resultar em secas, assoreamento dos rios, entre outros, afetando os setores produtivos, econômicos, sociais e ambientais (SOUZA et al., 2012).

Segundo Costa (2012) para termos uma maior confiabilidade dos resultados nas análises temporais dos estudos de precipitação, é necessário termos uma boa representatividade dos dados estimados em relação aos dados reais, deste modo com boa disponibilidade e distribuição espacial. Em regiões da América do Sul existe ainda uma grande escassez de informações de estações meteorológicas, principalmente nos estados mais ao norte do Brasil, além da falta de acesso aos dados de precipitação. A partir disso, é observado a existência de diversas lacunas espaciais de amostragem de dados. Recursos como produtos de sensores orbitais, algoritmos interpoladores e modelos atmosféricos são cada vez mais necessários para a representação da precipitação em áreas onde não se dispõe da observação da precipitação por meio de estações de superfície, tornando-se uma opção para estudos climáticos para regiões tropicais e subtropicais, como as ocupadas pelo território brasileiro (BAYISSA et al., 2017; SMITH et al., 2012).

Atualmente a disponibilidade de muitas bases de dados por satélite, inclusive em resolução que permite a avaliação da climatologia nas áreas urbanas, a exemplo do satélite CHIRPS em sua sigla inglês (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station) apresentando uma cobertura espacial de $0,05^\circ \times 0,05^\circ$ que dá aproximadamente uma área de vinte e cinco (25) quilômetros quadrados e uma resolução temporal diária, pentadal, decadal e mensal, com dados disponíveis de maneira livre e com disponibilidade de dados desde 1981 até o presente (Funk et al., 2015) e do produto MERGE que é uma técnica que combina os dados do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), dados de pluviômetros do Sistema Global de Telecomunicações (GTS) e com os dados de observação de superfície sobre a América do Sul (ROZANTE et al., 2010). Sendo assim o acesso a uma nova fonte de informação de dados pluviométricos, logo o torna necessário à sua validação para garantir a sua confiabilidade nos dados.

O estado do Pará possui cerca de 7,5 milhões de habitantes, dos quais 68% moram em regiões urbanas. Um dos principais núcleos urbanos localiza-se na Região Metropolitana de Belém (RMB) (BRASIL, 2019). Esses subespaços ou regiões são áreas compostas por um conjunto de cidades adjacentes e com uma alta integração socioeconômica a um município de porte grande, que normalmente apresenta uma infraestrutura maior e de boa qualidade, variedade de serviços, grande mercado de trabalho e elevada população residente (FREITAS, 2009). As regiões metropolitanas são caracterizadas pelos grandes fluxos de pessoas e intensa mobilidade interurbana para a metrópole, fazendo com que esses deslocamentos atinjam áreas sujeitas a riscos ambientais, cada vez mais. Ressalta-se o fato de que a exposição aos riscos ambientais abala desigualmente os diversos grupos sociais e territorialidades que vivem nas metrópoles (DESCHAMPS et al., 2009).

Neste contexto, a mesorregião metropolitana de Belém registrando-se neste subespaço, apresenta as mais altas taxas de ocupação humana na Amazônia dos últimos 20 anos (BRASIL, 2019; CASTRO, 2003). Belém é a capital do estado do Pará, e apresenta uma média anual de 3.001 mm de chuva, com uma variação de 300 a 450 mm durante os meses do período chuvoso, se caracterizando como uma das regiões mais chuvosas da Amazônia (SODRÉ et al., 2013). Os desastres naturais associados a fortes atividades convectivas e a concentração populacional em uma determinada região podem resultar no agravamento de consequências socioeconômicas da população, principalmente as que já apresentam uma certa vulnerabilidade socioeconômica (MARCELINO et al., 2006).

Na investida de compreender a variabilidade a longo prazo e a interferência do fenômeno oceano-atmosférico quase global, têm sido realizados estudos para especificar os eventos de ENOS relacionados a suas fases de atuação como, por exemplo, secas na Indonésia e grandes inundações na Índia, além de influenciar outras regiões, como a América do Sul (QUINN, 1990).

Em escalas de tempo interanuais, o ENOS é a predição mais forte de variabilidade climática em larga escala no sistema oceano-atmosfera, com o El Niño representado pelo Índice de Oscilação Sul (IOS) negativo, interpolando com a fase normal e a fase inversa, La Niña representada pelo IOS positivo apresentando efeitos reversos (PHILANDER, 1998). Ademais, os seus efeitos são sentidos em

todo o mundo a partir das teleconexões atmosféricas e oceânicas, com perturbações significativas sobre a sociedade e os sistemas naturais (MOURA, 2014).

A interferência do ENOS sobre as precipitações da América do Sul é perceptível em todas as estações do ano. As fontes de calor associados a eventos de ENOS perturbam a circulação de Hadley e Walker sobre a América do Sul, gerando trens de ondas de Rossby anômalos. Ao norte do continente, o impacto do ENOS é principalmente devido às anomalias da circulação de Walker, bem como as anomalias de TSM diretamente associados ao ENOS (KOUSKY et al., 1984; ROPELEWSKI et al., 1987).

1.1 Objetivos

O objetivo geral é investigar os padrões espaço/temporal dos regimes pluviométricos sazonais sobre a Região Metropolitana de Belém (RMB), incluindo análises de tendências de longo prazo e os impactos dos modos de variabilidade nos Oceanos Pacífico e Atlântico na pluviometria regional.

Os objetivos específicos são:

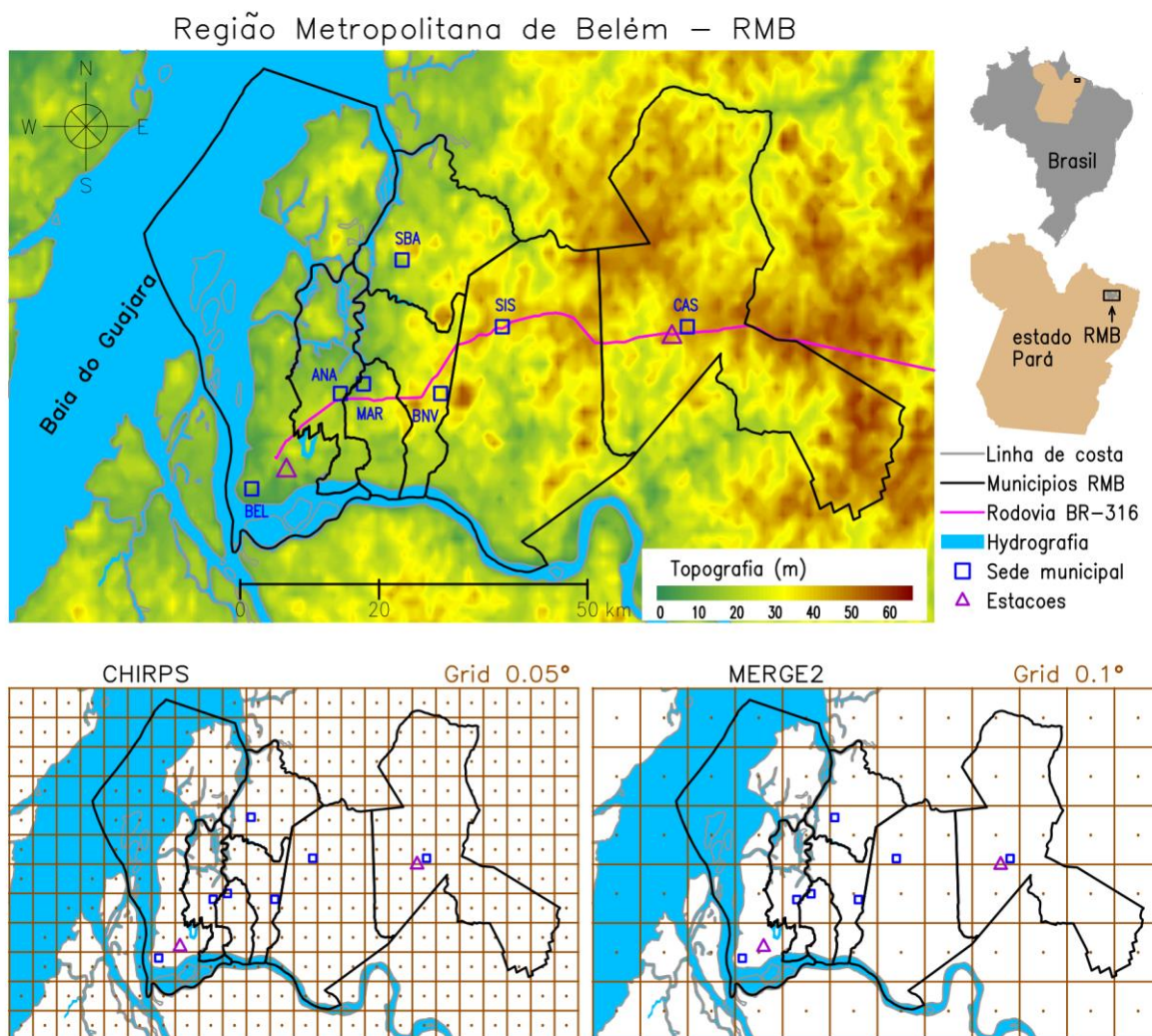
- a) Analisar o ciclo anual da precipitação e definir os regimes sazonais;
- b) Comparar os dados medidos pelas estações meteorológicas com duas bases de dados em alta resolução horizontal, visando estabelecer qual a melhor conjunto de dados para análises da distribuição espacial de precipitação ao longo dos municípios da região metropolitana;
- c) Realizar uma análise das tendências de longo prazo dos regimes pluviométricos sazonais;
- d) Investigar os impactos dos Oceanos Pacífico (El Niño e La Niña) e Atlântico (fases do gradiente de TSM) nos padrões espaciais da pluviometria regional sobre a região metropolitana.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo e bases de dados

A Figura 1 mostra o mapa a área de estudo sobre a Região Metropolitana de Belém (RMB) que engloba sete municípios: Belém (BEL), Ananindeua (ANA), Marituba (MAR), Santa Barbara (SBA), Santa Isabel do Pará (SIS) e Castanhal (CAS). O mapa da topografia indica que a porção mais a leste (Belém e Ananindeua) apresenta elevações bem próximas do nível do mar, enquanto o restante do território dos outros municípios apresenta áreas com elevações mais pronunciadas.

Figura 1 – Mapa da área de estudo sobre a Região Metropolitana de Belém (RMB) com a topografia, limites e sedes municipais e localização das estações pluviométricas. Os mapas na parte inferior mostram as resoluções espaciais das grades dos dados CHIRPS e MERGE2.



Fonte: Do autor.

Os dados de precipitação consistem em:

- Dados pontuais medidos pelas estações meteorológicas de Belém e de Castanhal, cujas localizações encontram-se no mapa da Fig. 1 (triângulos em lilás). Os dados de Belém foram adquiridos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localiza na latitude 1.4° Sul e longitude 48.4° Oeste e o de Castanhal junto a Agência Nacional de Águas (ANA) localiza na latitude 1.3° Sul e longitude 46.5° Oeste. Ambos dados são mensais no período de 1990 a 2018;
- Dados dispostos em pontos de grade (matriz tridimensional: latitude, longitude e tempo) provenientes da base CHIRPS e MERGE2, cujas resoluções horizontais são de 0,05° (5,5 km) e 0,1° (~ 11 km), conforme ilustrado na parte inferior da Fig. 1. Ambos os dados foram gerados usando a combinação de informações de estações e estimativas derivadas de satélites. Detalhes dos dados do CHIRPS podem ser encontrados em Funk et al. (2015) e do MERGE2 em Rozante et al. (2010). A disponibilidade temporal dos dados do CHIRPS é de 1990 a 2018 e do MERGE2 de 2000 a 2018.

Foram utilizados dados de estimativas de Radiação de Onda Longa (ROL) para identificar a convecção na faixa tropical da América do Sul (LIEBMANN; SMITH, 1996). Tais informações possuem resolução espacial de 2,5° em latitude e longitude e são provenientes dos satélites em órbita polar do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Foram utilizados dados de temperatura da superfície do mar (TSM) com espaçamento da grade de 1° em latitude e longitude, cobrindo todo o globo terrestre com atualizações diárias e mensais desde 1979 (REYNOLDS et al., 2007).

Para a seleção dos eventos ENOS do Oceano Pacífico, foram recortados os dados de TSM da área Niño3 (ver localização na Fig.2), sendo que foram adotados os seguintes critérios:

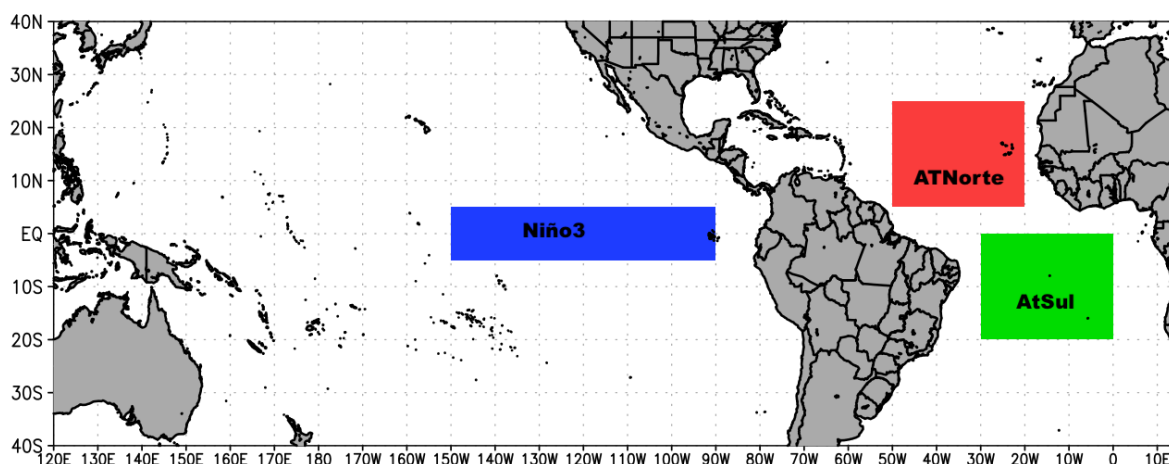
- Os anos que apresentaram anomalias acima de +0,5 °C em cinco meses consecutivos entre setembro do ano0 até março do ano+1 foram considerados como anos de ocorrência de El Niño;

- Os anos que apresentaram anomalias abaixo de $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ em cinco meses consecutivos entre setembro do ano0 até março do ano+1 foram considerados como anos de ocorrência de La Niña;

Para a seleção das fases do gradiente de TSM do Oceano Atlântico, foram recortados os dados de TSM da bacia norte (ATNorte) e bacia sul (ATSul), conforme localização na Fig.2, sendo que foram adotados os seguintes critérios:

- Os anos que apresentaram um padrão inverso com anomalias acima de $+0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ na ATNorte e abaixo de $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ na ATSul (com o GRAD – diferença entre norte e sul contendo valores positivos) em três meses consecutivos entre janeiro e abril foram considerados como anos de ocorrência da fase Dipolo positivo ou Gradiente apontando para a bacia Norte (GrN);
- Os anos que apresentaram um padrão inverso com anomalias acima de $+0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ na ATSul e abaixo de $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ na ATNorte (com o GRAD – diferença entre norte e sul contendo valores negativos) em três meses consecutivos entre janeiro e abril foram considerados como anos de ocorrência da fase Dipolo negativo ou Gradiente apontando para a bacia Sul (GrS);

Figura 2 – Áreas dos Oceanos Pacífico e Atlântico, onde foram obtidas as médias espaciais dos dados de TSM.



Fonte: Do autor.

2.2 Metodologia

Médias climatológicas e Definição dos regimes sazonais

As médias climatológicas foram calculadas para os dados de estações de Belém e Castanhal e foram plotadas o gráfico médio mensal de janeiro a dezembro para a análise do ciclo anual. Em seguida, foram calculados os percentuais da precipitação em cada mês relativo ao total anual. Os meses que apresentaram o percentual acima de 10% foram considerados os meses do regime chuvoso (Reg.CHUV). Os meses que apresentaram percentual abaixo de 5%, foram definidos como os meses do regime menos chuvoso ou seco (Reg.SECO). Os meses que apresentaram valores entre 5 e 10%, foram considerados como meses de transição entre os regimes.

Estatística descritiva e Box Plot

Os cálculos da estatística descritiva e respectivo gráfico Box Plot foram feitos para avaliar a distribuição empírica da série de dados quantitativos, permitindo a identificação dos valores típicos (média e mediana), a assimetria, a dispersão e os dados extremos. Primeiramente, calculam-se a mediana, o quartil inferior (q1), o quartil superior (q3) e os extremos inferior e superior da série de dados. Em seguida, traçam-se dois retângulos (duas caixas): uma representa a “distância” entre a mediana e o q1 e a outra a “distância entre o q3 a mediana. A partir dos valores de q1 e q3 são desenhadas linhas verticais até os valores extremos, tanto abaixo quanto acima. Os valores típicos são a mediana e a média. Se as duas caixas tiverem “alturas” semelhantes ($q1 - mediana = mediana - q3$), a distribuição é dita simétrica. Quanto maiores as “alturas” das caixas maior a dispersão da série de dados, isto é, mais assimétrica é a distribuição.

Análise de Composições

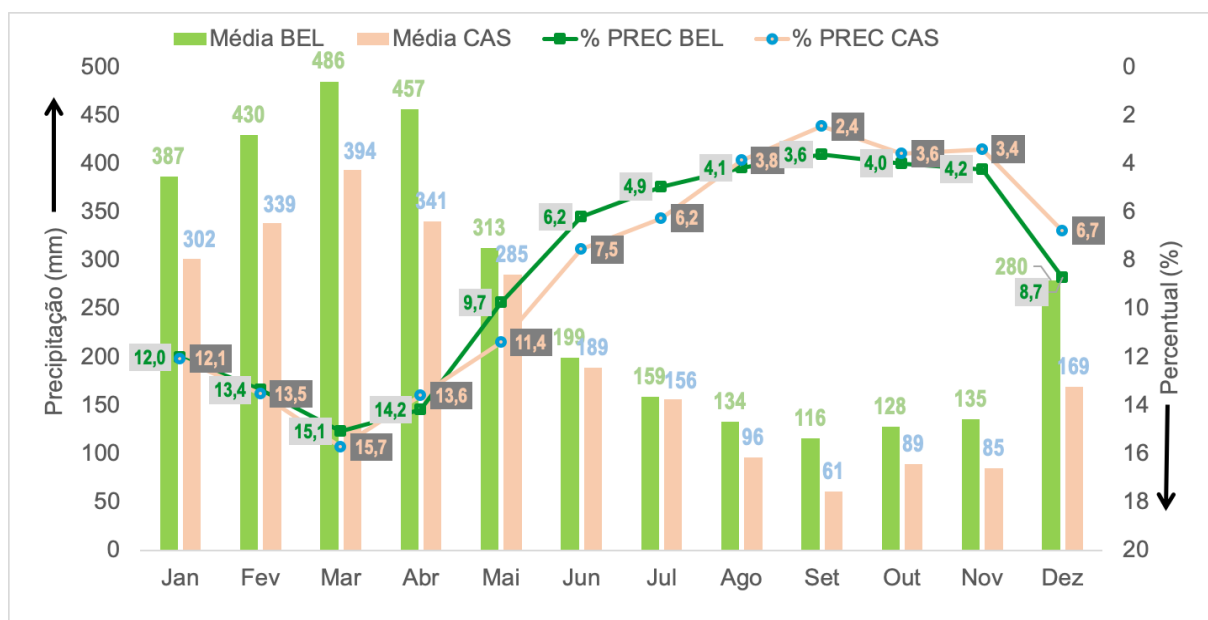
As composições (junção de todos os eventos em uma única figura) dos eventos El Niño e La Niña, bem como das fases do gradiente de TSM do Atlântico foram montadas para investigar os padrões de pluviometria regional sobre a RMB.

3 RESULTADOS

3.1 Ciclo anual e definição dos regimes pluviométricos sazonais

A Figura 3 mostra o ciclo anual (evolução das médias mensais de janeiro a dezembro) da climatologia da precipitação (barras verticais) nas estações de BEL e CAS. Em geral, verifica-se sazonalidade bem configurada, com máximos de precipitação ocorrendo tipicamente no primeiro semestre e mínimos no segundo semestre do ano. Considerando os percentuais mensais relativos ao total anual e aplicando o critério de selecionar os meses com valores acima de 10% e abaixo de 5%, tem-se que os meses do regime chuvoso (Reg.CHUV) se processam entre janeiro a abril, tendo o maior valor registrado no mês de Março, enquanto os meses do regime seco (Reg.SECO) ocorrem entre julho a novembro, tendo seu menor valor de acumulado de precipitação no mês de Setembro. Os meses de maio/junho e dezembro são de transição entre os regimes sazonais.

Figura 3 – Ciclo anual da precipitação (mm, barras) e percentuais mensais (% relativo ao total anual) nas estações de BEL e CAS.



Fonte: Do autor.

3.2 Regimes chuvoso e seco: comparação das bases de dados

Na Tabela 1 descrevem-se os resultados quantitativos e a Figura 4 ilustra graficamente a estatística descritiva dos dados sazonais de BEL e CAS para os dados da Estação, CHIRPS e MERGE2 correspondentes ao Reg.CHUV e Reg.SECO.

Analisando os resultados da estatística descritiva, comparando CHIRPS e MERGE2 com as estações, observamos que no Reg.CHUV em BEL a média, máximo e mínima do MERGE2 é o que apresenta valores mais próximos com o da estação. Para o CHIRPS os valores de média, máximo e mínima ficaram bem mais baixos em relação ao da estação. Ainda no Reg.CHUV, para CAS os valores do CHIRPS de mínima ficaram extrapolados em relação ao da estação e no MERGE2 o valor foi mais próximo com o da estação, nas máximas os valores de MERGE2 e CHIRPS ficaram a baixos do observado da estação, porém o erro não apresentou valores tão distantes do real, ou seja, na média o CHIRPS extrapolou e o MERGE2 subestimou seu valor.

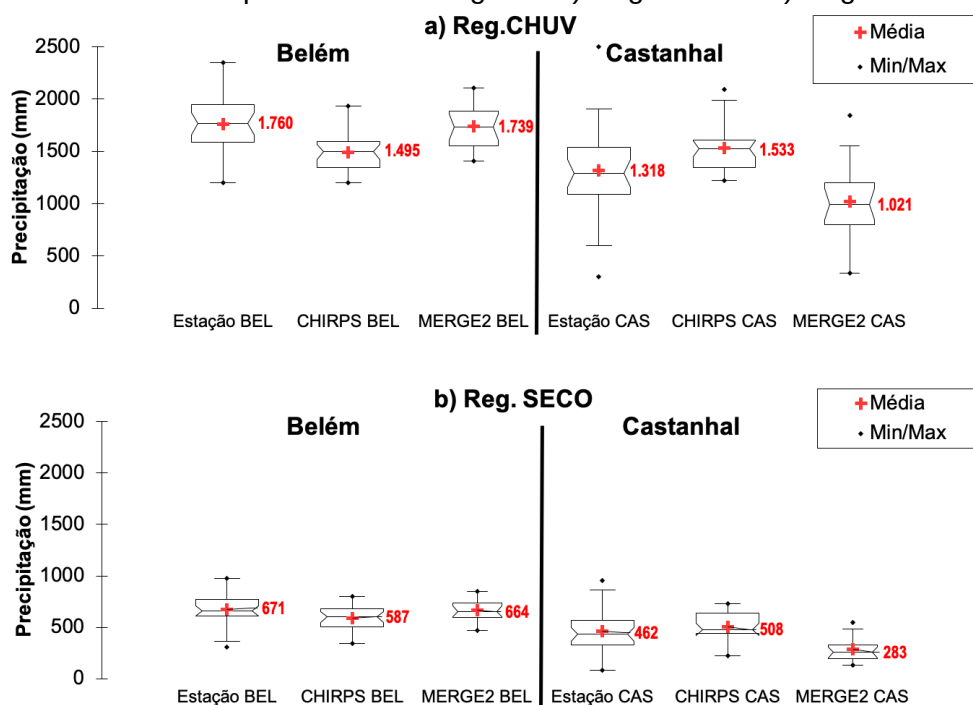
Para o Reg.SECO em BEL o valor do CHIRPS ficou mais aproximado com o da estação e o MERGE2 extrapolou. Para a máxima MERGE2 e CHIRPS apontaram valores mais baixos do que o observado da estação. Na média o valor do MERGE2 apresentou valores bem mais próximos em relação ao real e o CHIRPS subestimou. Para CAS a média do CHIRPS extrapolou, porém foi mais aproximada dos valores da estação, enquanto o MERGE2 subestimou muito os seus valores. Para a mínima MERGE2 e CHIRPS extrapolaram seus valores e para máxima ambos apresentaram valores abaixo comparados com o da estação, porém o CHIRPS destaca-se por ter apresentado valor mais próximos com o da estação, enquanto o MERGE2 apresentou um erro maior. Essas análises também são verificadas na Fig.4.

Tabela 1 – Resultados da estatística descritiva da precipitação das estações de BEL e CAS para os Reg.CHUV e SECO.

Regimes sazonais	Estatística	Estação BEL	CHIRPS BEL	MERGE2 BEL	Estação CAS	CHIRPS CAS	MERGE2 CAS
Reg.CHUV	Mínimo	1205	1198	1407	302	1223	337
	Máximo	2346	1933	2106	2500	2096	1842
	Amplitude	1141	734	699	2198	874	1505
	1° Quartil	1589	1348	1553	1092	1346	797
	Mediana	1765	1496	1732	1289	1526	996
	3° Quartil	1946	1593	1885	1540	1610	1198
	Média	1760	1495	1739	1318	1533	1021
	Variância	61634	26615	40741	178116	49310	124069
	Desvio-padrão	248	163	202	422	222	352
	Coeficiente de variação	0,14	0,11	0,12	0,32	0,14	0,34
Reg.SECO	Mínimo	309	343	467	83	227	129
	Máximo	975	800	848	958	728	546
	Amplitude	666	457	381	875	502	418
	1° Quartil	607	503	597	329	438	197
	Mediana	660	602	655	431	478	255
	3° Quartil	770	682	740	565	640	330
	Soma	19472	17029	11945	13392	14718	5101
	Média	671	587	664	462	508	283
	Variância	23366	14525	9779	41795	16198	13029
	Desvio-padrão	153	121	99	204	127	114
	Coeficiente de variação	0,23	0,21	0,15	0,44	0,25	0,40

Fonte: Do autor.

Figura 4 – Gráficos BoxPlot da precipitação (mm) em BEL e CAS para os dados da estação, CHIRPS e MERGE2 correspondentes aos regimes a) Reg.CHUV e b) Reg. SECO.



Fonte: Do autor.

A Tabela 2 mostra os resultados das correlações entre os dados da estação e os dados CHIRPS e MERGE2 para os dois regimes em BEL e CAS.

A Tabela 3 exibe os valores do viés ou erro absoluto entre as médias dos dados do CHIRPS e MERGE2 em relação aos dados da estação para os dois regimes em BEL e CAS.

Os valores de correlação de Pearson presentes na Tabela 2 para BEL e CAS demonstram um valor alto de correlação positiva entre o CHIRPS e MERGE2 no Reg.CHUV. No Reg.SECO observa-se uma correlação de valores baixos e negativos para BEL e baixo positivo para CAS, que representa uma menor confiabilidade dos dados para esse caso específico.

Para os valores de viés ou erro absoluto da Tabela 3, para BEL temos MERGE2 que apresentou valores muito baixos de erro comparados aos dados do CHIRPS. No Reg.CHUV há um erro de subestimação de 265 mm de precipitação no CHIRPS enquanto o MERGE2 apresenta meramente 21 mm de precipitação a menos em relação aos dados da estação de BEL. Para o Reg.SECO este erro diminui para ambos, porém MERGE2 erra apenas 8 mm enquanto CHIRPS apresenta erro de 84 mm. Em CAS, MERGE2 não apresentou valores de erro baixo como em BEL, para ambos os períodos o mesmo subestimou os valores de precipitação, enquanto o CHIRPS para ambos extrapolou seus valores.

Tabela 2 – Correlações (%) entre os dados Estação e CHIRPS e MERGE2 para BEL e CAS nos regimes Reg.CHUV e Reg.SECO.

	CHIRPS BEL	MERGE2 BEL	CHIRPS CAS	MERGE2 CAS
Reg.CHUV	0,81	0,84	0,26	0,71
Reg.SECO	-0,16	-0,26	0,06	0,04

Fonte: Do autor.

Tabela 3 – Viés ou erro absoluto (mm) dos dados CHIRPS e MERGE2 relativo aos dados da estação em BEL e CAS para os regimes Reg.CHUV e Reg.SECO.

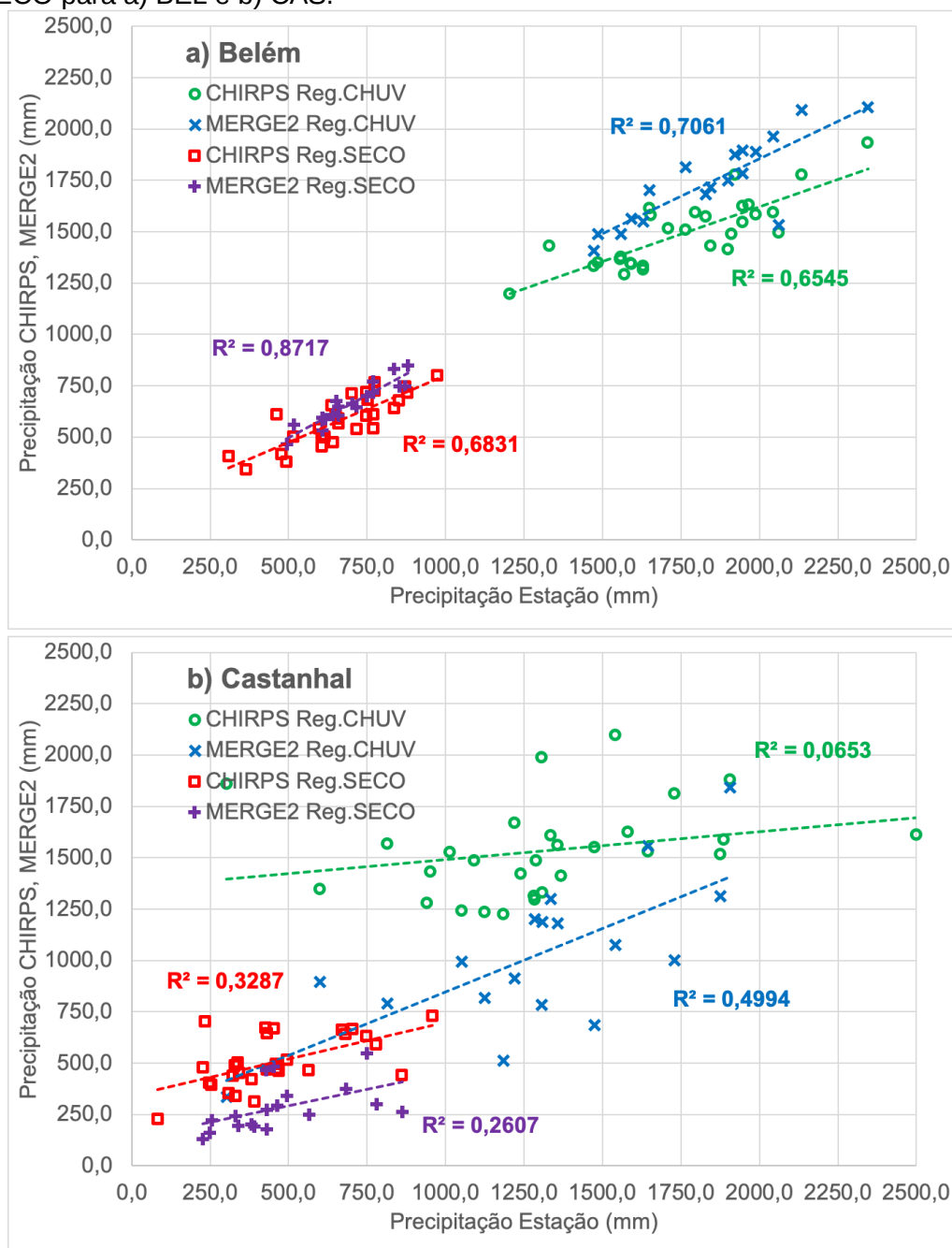
	CHIRPS BEL	MERGE2 BEL	CHIRPS CAS	MERGE2 CAS
Reg.CHUV	-265	-21	216	-297
Reg.SECO	-84	-8	46	-178

Fonte: Do autor.

A Figura 5 mostra os diagramas de dispersão da precipitação nos dois regimes sazonais para BEL e CAS, sendo o eixo x os dados da estação e o eixo y

os dados CHIRPS e MERGE2. Nota-se que os melhores resultados comparando CHIRPS e MERGE2 com os dados das estações, são para o Reg.SECO que apresenta os valores do coeficiente de determinação (R^2) muito maiores do que no outro regime sazonal.

Figura 5 – Gráficos de dispersão dos dados de precipitação nos regimes Reg.CHUV e Reg.SECO para a) BEL e b) CAS.



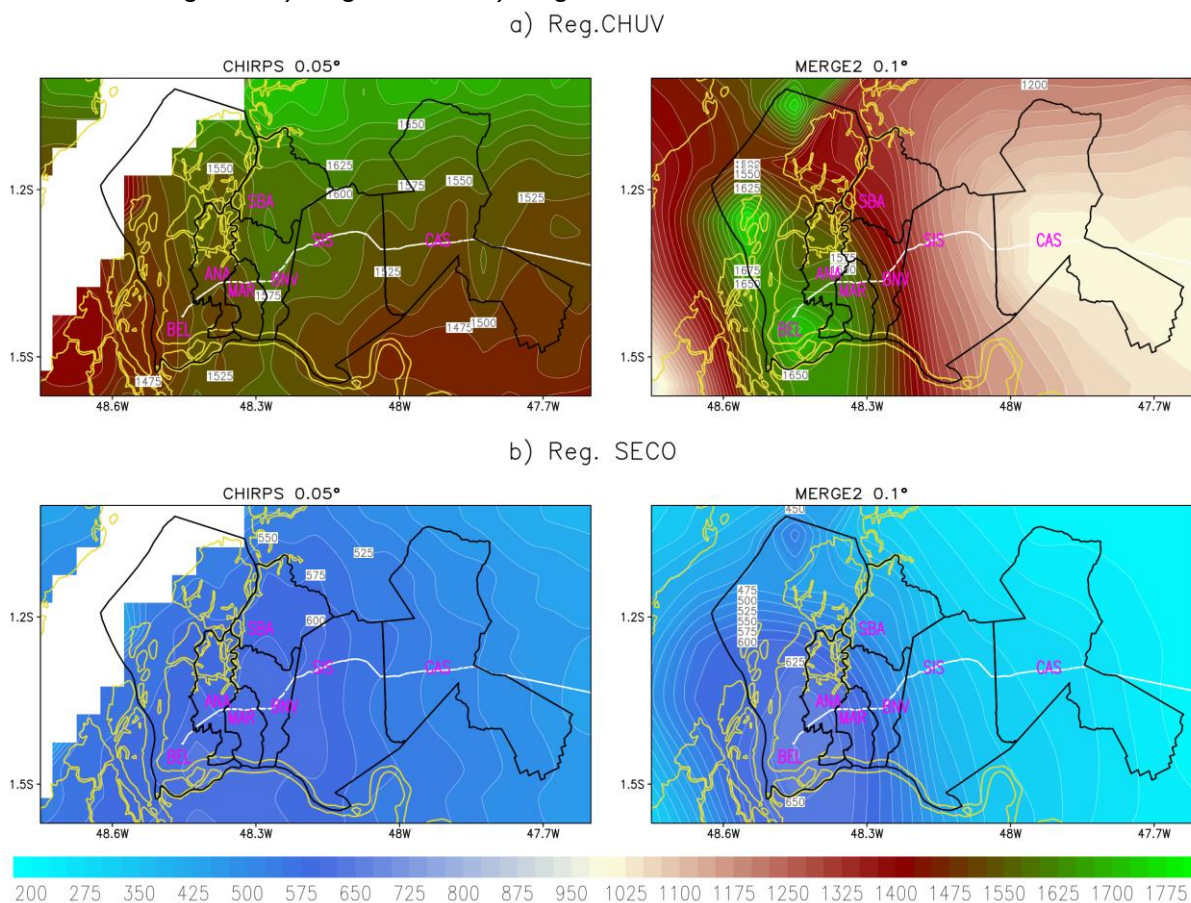
Fonte: Do autor.

A Figura 6 mostra a distribuição espacial da precipitação sobre a RMB com os dados do CHIRPS e MERGE2 nos dois regimes sazonais (Reg.CHUV e Reg.SECO).

No Reg.CHUV o CHIRPS mostra uma distribuição espacial da precipitação mais uniforme em relação aos dados do MERGE2, apresentando valores maiores de acumulado de precipitação mais na porção norte da RMB. O MERGE2 apresenta uma grande área de maiores acumulados sobre o município de BEL, diminuindo para leste em direção a SIS e CAS.

No Reg.SECO para o CHIRPS nota-se a mesma uniformidade da distribuição de precipitação sobre a RMB, sendo que os maiores valores se localizam BEL e os menores na parte leste da região. No MERGE2 constata-se um gradiente mais intenso em relação ao do CHIRPS, com menores valores de precipitação para leste, enquanto os municípios de BEL e ANA obtêm os valores maiores de precipitação.

Figura 6 – Distribuição espacial da precipitação (mm) nos dados CHIRPS e MERGE2 sobre a RMB nos regimes a) Reg.CHUV e b) Reg.SECO.



3.3 Variabilidade temporal e tendências sazonais nas sedes municipais da RMB

A Tabela 4 mostra a verificação de tendências nos dados e significância estatísticas para CHIRPS, MERGE2 e estação de BEL e CAS, para os regimes Reg.CHUV e Reg.SECO.

Como observamos na Tabela 4, para BEL no Reg.CHUV o CHIRPS e MERGE2 apresentaram valores de tendência positiva com significância estatística acima de 90%. Para CAS e demais municípios os resultados não apresentam significância estatística, exceto para os valores do MERGE2 em CAS e do CHIRPS para os municípios de ANA, MAR e SIS, com valores entre 95 e 90%. Para o Reg.SECO em BEL a significância apresentou valores não tão satisfatórios quanto ao do Reg.CHUV, os que apresentaram significância superior ou igual a 90% foram MERGE2 de ANA, BNV e SBA.

Tabela 4 – Verificação de tendências, intensidade e significância estatísticas dos dados do CHIRPS, MERGE2 e estação de BEL e CAS, para os regimes Reg.CHUV e Reg.SECO.

Sedes municipais	Reg.CHUV				Reg.SECO			
	tau Kendall	inclin S	Var(S)	p-valor	tau Kendall	Inclin S	Var(S)	p-valor
Estação BEL	0,47 ***	192	2842	0,001	0,07	30	2842	0,574
CHIRPS BEL	0,34 ***	138	2842	0,010	-0,05	-22	2842	0,680
MERGE2 BEL	0,45 ***	69	697	0,009	-0,18	-27	697	0,306
Estação CAS	-0,02	-8	2842	0,881	0,03	14	2842	0,793
CHIRPS CAS	0,23 *	92	2842	0,084	-0,01	-6	2842	0,910
MERGE2 CAS	-0,32 *	-49	697	0,063	-0,19	-29	697	0,272
CHIRPS ANA	0,25 **	102	2842	0,050	-0,11	-44	2842	0,409
MERGE2 ANA	0,18	27	697	0,306	-0,28 *	-43	697	0,100
CHIRPS BNV	0,19	76	2842	0,154	-0,06	-26	2842	0,626
MERGE2 BNV	0,02	3	697	0,910	-0,36 **	-55	697	0,037
CHIRPS MAR	0,26 **	104	2842	0,050	-0,09	-36	2842	0,499
MERGE2 MAR	0,18	27	697	0,306	-0,28 *	-43	697	0,100
CHIRPS SBA	0,21	84	2842	0,115	-0,13	-52	2842	0,329
MERGE2 SBA	-0,07	-11	697	0,677	-0,32 *	-49	697	0,063
CHIRPS SIS	0,27 **	110	2842	0,039	-0,09	-36	2842	0,499
MERGE2 SIS	-0,23	-35	697	0,185	-0,24	-37	697	0,161

Significância estatística: *** 0.01. ** 0.05. * 0.10

Fonte: Do autor.

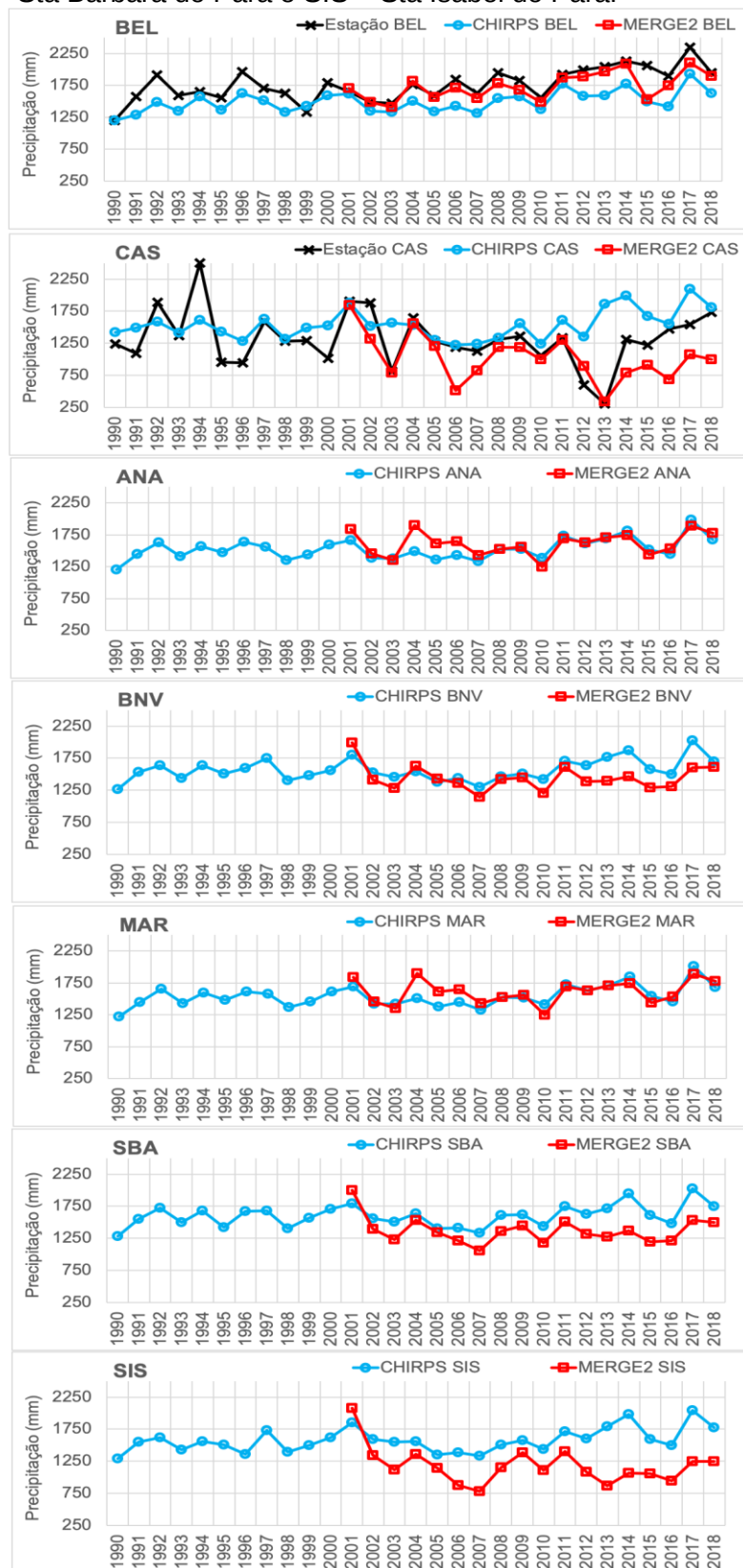
As Figuras 7 e 8 exibem as séries temporais da precipitação em mm no Reg.CHUV e Reg.SECO, respectivamente, para as sedes municipais da RMB: BEL, CAS, ANA, BNV, MAR, SBA e SIS, sendo o eixo x o período e o eixo y os dados CHIRPS, MERGE2 e Estação (quando houver).

Na Figura 7 observa-se para as sedes de BEL, ANA, MAR e BNV que a amplitude entre os dados do CHIRPS e MERGE2 são menores em relação a observada nas outras sedes (CAS, SIS e SBA). Em BEL nota-se também que as amplitudes entre MERGE2 e os dados da estação são menores em relação aos dados do CHIRPS e estação. Para CAS observa-se que ocorre na maioria dos anos o inverso de BEL, a amplitude entre CHIRPS e estação são menores em comparação aos do MERGE2 e estação.

Na Figura 8 (Reg.SECO) observamos o mesmo comportamento do Reg.CHUV para a amplitude dos dados do CHIRPS, MERGE2 e estação, em CAS mais visível a diferença de amplitude dos dados do MERGE2.

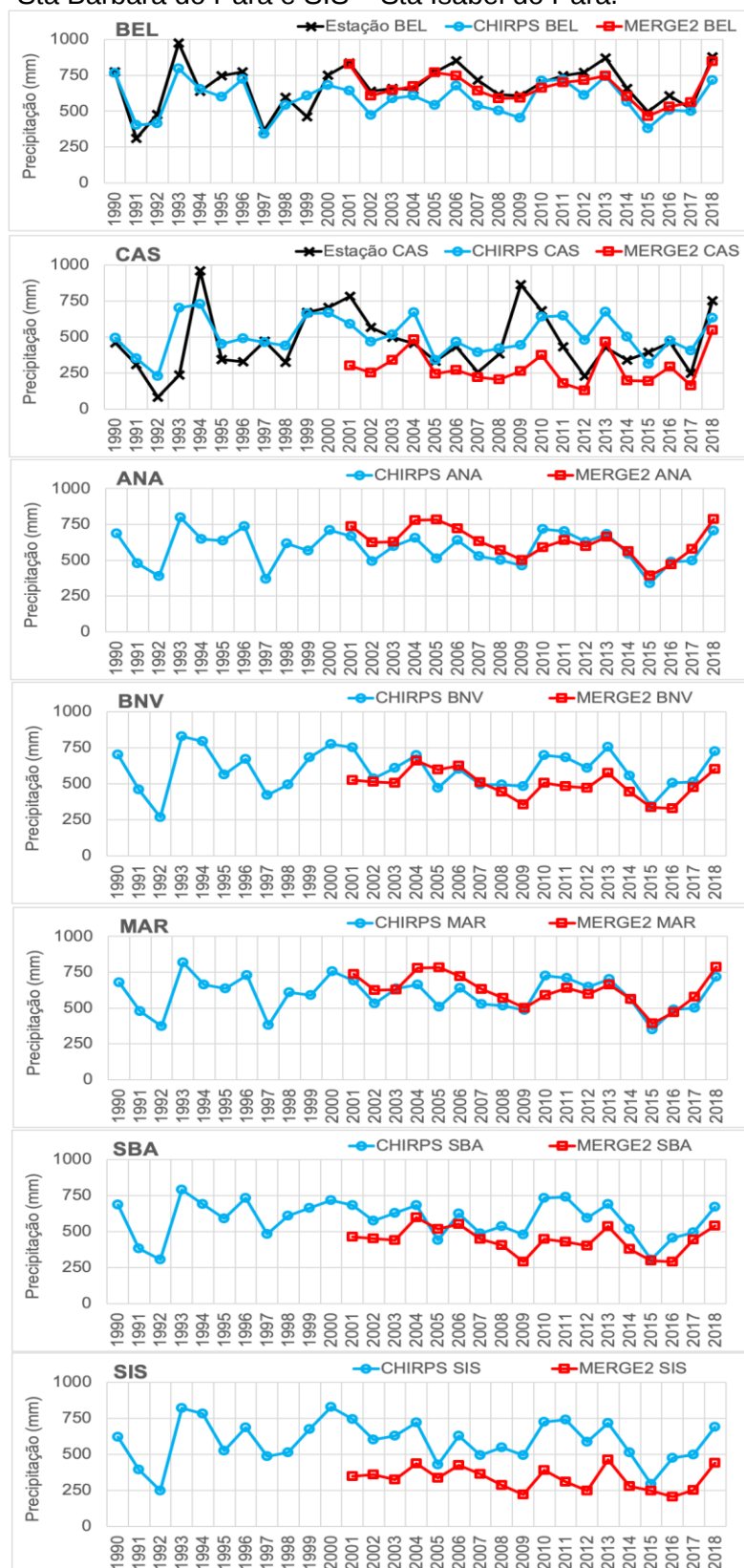
Portanto, os resultados da Tabela 4 e das Figuras 7 e 8 confirmam que a precipitação do Reg.CHUV em BEL apresentam tendências positivas, ou seja, verifica-se um aumento sistemático da precipitação nas últimas décadas.

Figura 7 – Séries temporais da precipitação (mm) do Reg.CHUV nas sedes municipais da RMB: BEL – Belém, CAS – Castanhal, ANA – Ananindeua, BNV – Benevides, MAR – Marituba, SBA – Sta Bárbara do Pará e SIS – Sta Isabel do Pará.



Fonte: Do autor.

Figura 8 – Séries temporais da precipitação (mm) do Reg.SECO nas sedes municipais da RMB: BEL – Belém, CAS – Castanhal, ANA – Ananindeua, BNV – Benevides, MAR – Marituba, SBA – Sta Bárbara do Pará e SIS – Sta Isabel do Pará.



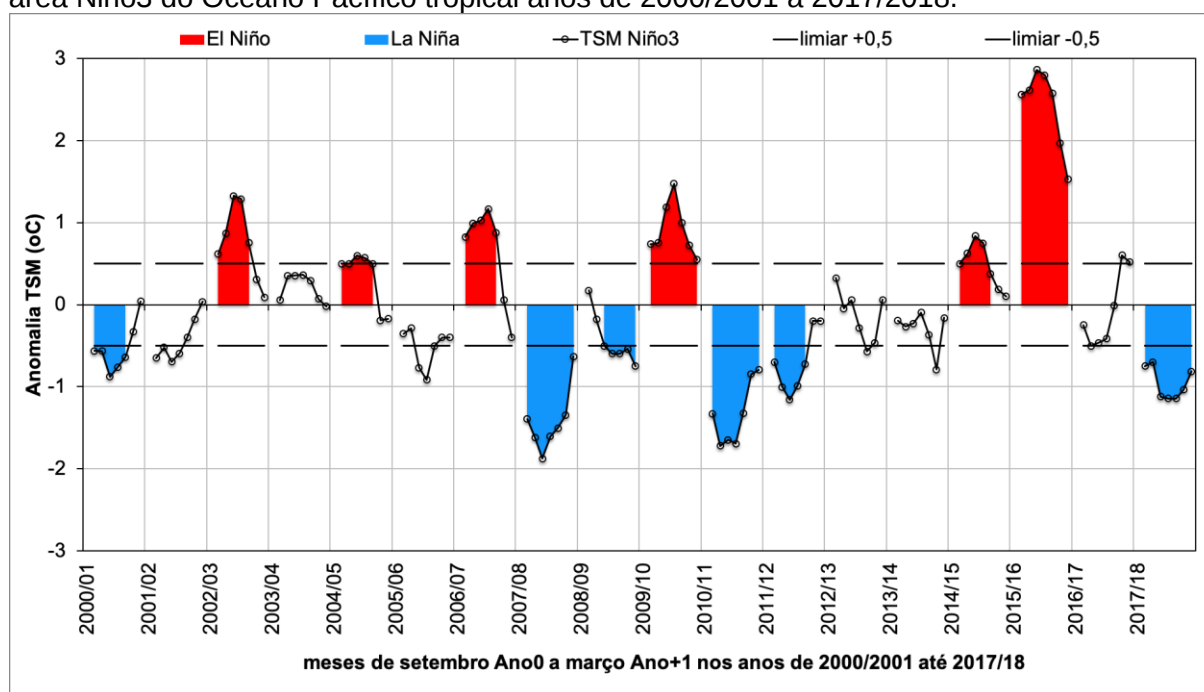
Fonte: Do autor.

3.4 Impactos do Oceano Pacífico (El Niño/La Niña) no regime chuvoso da RMB

A Figura 9 exibe as séries temporais das anomalias de Temperatura Superficial do Mar (TSM) para os meses de setembro a março na área do Niño3 do Oceano Pacífico tropical nos anos de 2000/2001 até 2017/2018. Conforme critério, foram selecionados:

- Seis eventos de El Niño nos anos de 2002/03, 2004/05, 2006/07, 2009/10, 2014/15 e 2015/16;
- Seis eventos de La Niña nos anos de 2000/01, 2007/08, 2008/09, 2010/11, 2011/12 e 2017/18.

Figura 9 – Séries temporais das anomalias de TSM (°C) mensais (setembro a março) na área Niño3 do Oceano Pacífico tropical anos de 2000/2001 a 2017/2018.



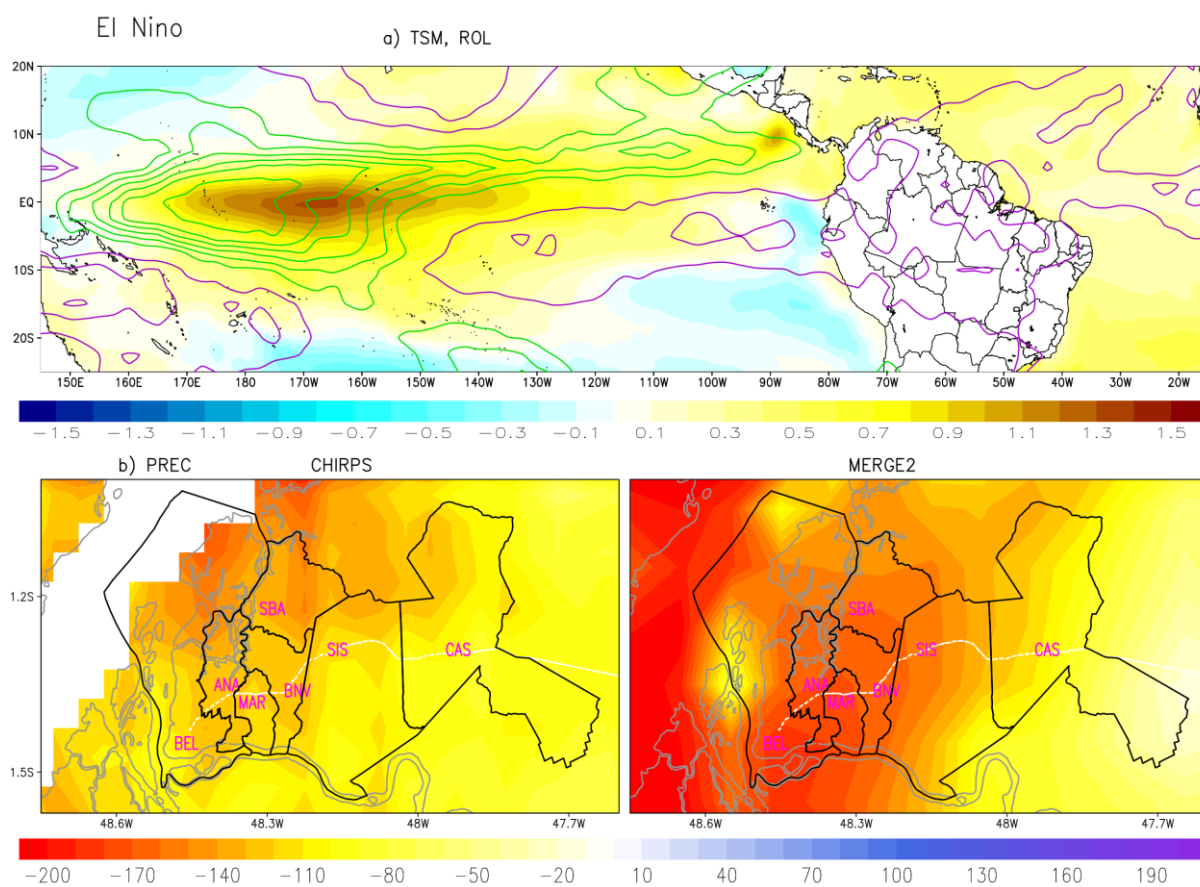
Fonte: Do autor.

A Figura 10 mostra a composição de El Niño (média dos seis eventos selecionados) para as anomalias de TSM e ROL e precipitação do CHIRPS e MERGE2 na RMB.

Na Fig. 10a verifica-se a presença de uma grande área espacial contendo anomalias positivas (águas oceânicas mais quentes do que o normal) atingindo a bacia tropical do Oceano Pacífico, sendo que as anomalias mais intensas se localizam na porção oeste, em torno de 180°. Essa configuração é típica dos eventos El Niño que induzem subsidência da circulação atmosférica de Walker sobre

a Amazônia, como verificado pelas anomalias positivas de ROL (atividade convectiva anormalmente reduzida) na Fig. 10a sobre os estados do Pará, Amapá e Maranhão. Consequentemente, na Fig. 10b observam-se anomalias negativas de precipitação no CHIRPS e MERGE2 englobando todo o domínio da RMB. No CHIRPS a distribuição espacial é mais uniforme (com valores maiores na porção norte da região), enquanto o MERGE2 mostra anomalias máximas atingindo os municípios de BEL, ANA e MAR.

Figura 10 – Composições dos eventos El Niño para as anomalias de a) TSM e ROL, b) precipitação (mm) do CHIRPS e MERGE2 da RMB. As barras de cores indicam a intensidade da TSM e da precipitação. As linhas verde/lilás indicam ROL (W/m^2) negativo/positivo.



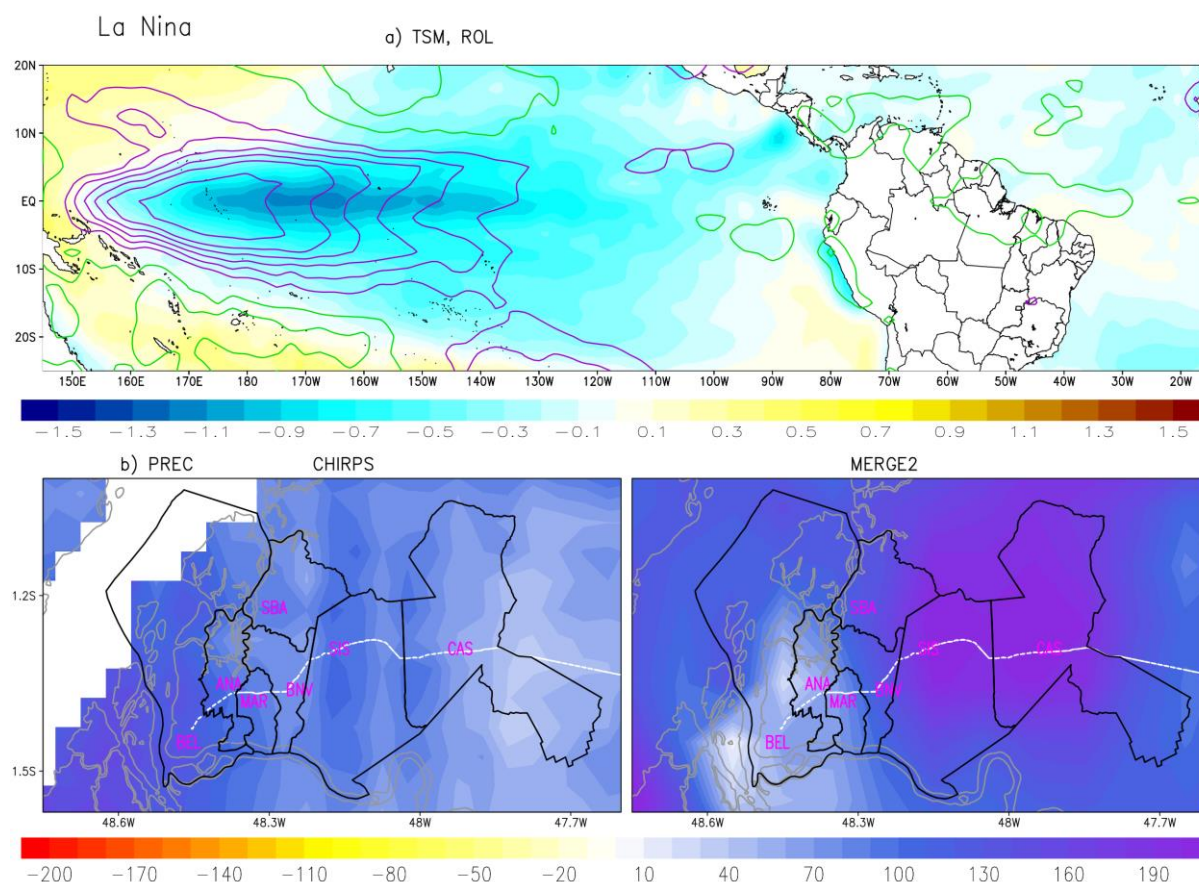
Fonte: Do autor.

A Figura 11 exibe a composição da La Niña (média dos seis eventos selecionados) para as anomalias de TSM e ROL e precipitação do CHIRPS e MERGE2 na RMB.

Na Fig. 11a observa-se a configuração associada a La Niña com a presença de uma grande área espacial contendo anomalias negativas de TSM (águas mais

frias do que o normal) sobre a bacia do Oceano Pacífico tropical, sendo que a porção oeste apresenta valores mais intensos. Durante a La Niña a célula de Walker se intensifica sobre a Amazônia, conforme evidencia-se nas anomalias de ROL na Fig. 11a com valores negativos encobrindo grande parte do Pará, Amapá e Maranhão. Com resultado da manifestação da La Niña, a RMB é atingida por anomalias positivas de precipitação, sendo que o CHIRPS mostra maior impacto em BEL, ANA e MAR, enquanto que o MERGE2 mostra anomalias mais intensas nos municípios de SIS e CAS.

Figura 11 – Composições dos eventos La Niña para as anomalias de a) TSM e ROL, b) precipitação (mm) do CHIRPS e MERGE2 da RMB. As barras de cores indicam a intensidade da TSM e da precipitação. As linhas verde/lilás indicam ROL (W/m²) negativo/positivo.



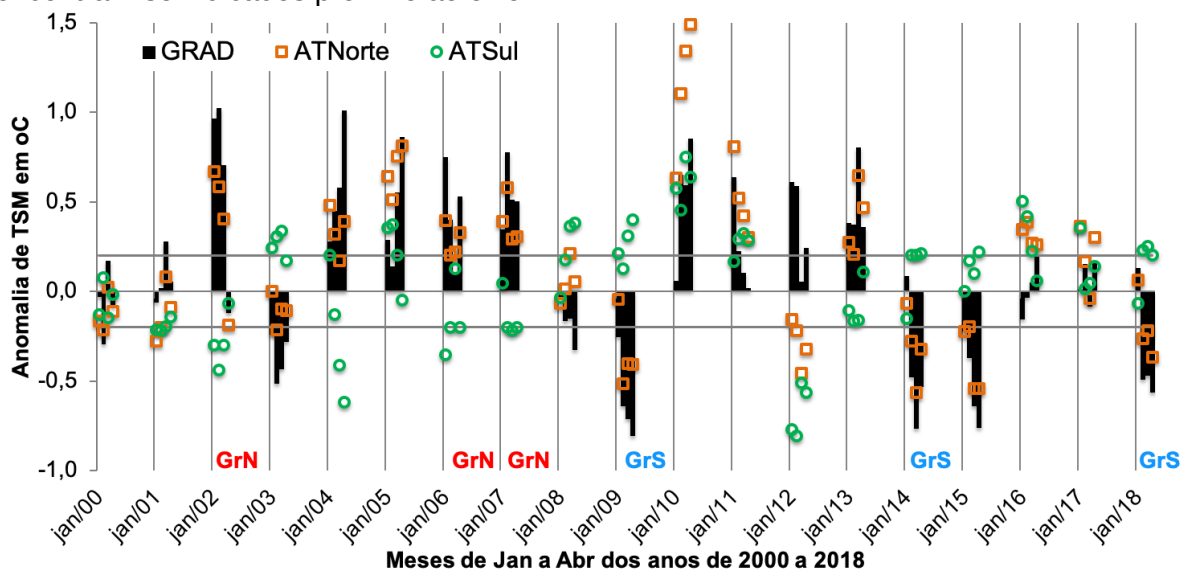
3.5 Impactos do Oceano Atlântico (fases do gradiente ou dipolo de TSM) no regime chuvoso da RMB

A Figura 12 exibe as séries temporais das anomalias de TSM para os meses de janeiro a abril na área das Bacias Norte (ATNorte) e Sul (ATSul) do Atlântico nos anos de 2000 a 2018, bem como do GRAD (diferença entre norte e sul).

Conforme critério, foram selecionados:

- Três eventos de Dipolo positivo ou Gradiente apontando para a bacia do Atlântico Norte (GrN) nos anos de 2002, 2006 e 2007;
- Três eventos de Dipolo negativo ou Gradiente apontando para a bacia do Atlântico Sul (GrS) nos anos de 2009, 2014 e 2018;

Figura 12 – Séries temporais das anomalias de TSM (°C) mensais (janeiro a abril) nas Bacias Norte (ATNorte) e Sul (ATSul) do Atlântico e GRAD (diferença Norte-Sul) nos anos de 2000 a 2018. As fases do modo Gradiente de TSM para Norte (GrN) e para Sul (GrS) encontram-se indicados próximo ao eixo x.



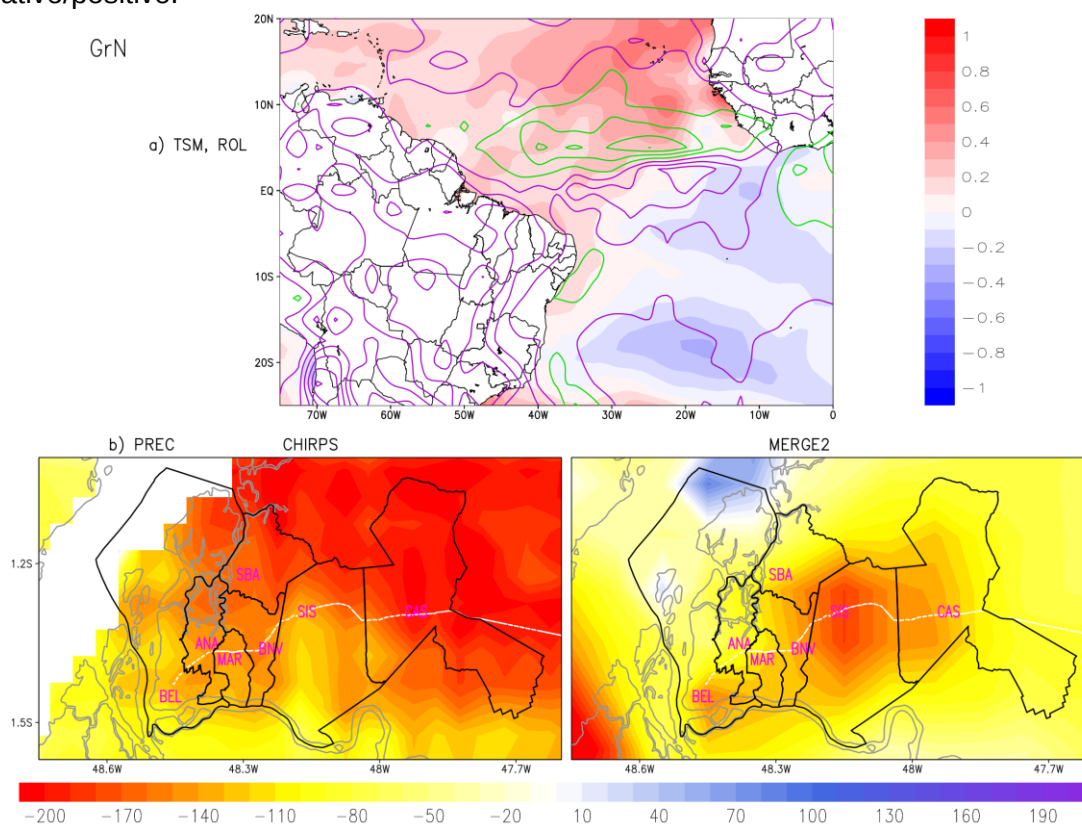
Fonte: Do autor.

A Figura 13 mostra a composição da fase GrN que retrata o gradiente de TSM apontando para o norte do Atlântico (média dos três eventos selecionados) para as anomalias de TSM e ROL e precipitação do CHIRPS e MERGE2 na RMB.

Na Fig. 13a nota-se o padrão inverso (dipolo positivo) de anomalias de TSM positiva (anomalamente mais quente) na bacia norte e negativa (anomalamente mais fria) na bacia sul do Oceano Atlântico. Este padrão favorece o posicionamento da banda de nebulosidade da ZCIT mais ao norte, conforme mostra as anomalias negativas de ROL (linha verde na Fig. 13a) que indicam áreas de convecção

intensificada nesta área do Atlântico Norte. Inversamente, notam-se anomalias positivas de ROL (linha lilás) englobando o Atlântico equatorial sul e as regiões do nordeste e norte do Brasil, indicando atividade convectiva anormalmente reduzida. Assim, na Fig. 13b observa-se a predominância de anomalias negativas de precipitação sobre toda a RMB, sendo que o CHIRPS mostra valores mais extremos na parte norte da região e o MERGE2 aponta maior impacto nos municípios de BEL e em SIS.

Figura 13 – Composições dos eventos GrN para as anomalias de a) TSM e ROL, b) precipitação (mm) do CHIRPS e MERGE2 da RMB. As barras de cores indicam a intensidade da TSM e da precipitação. As linhas verde/lilás indicam ROL (W/m^2) negativo/positivo.



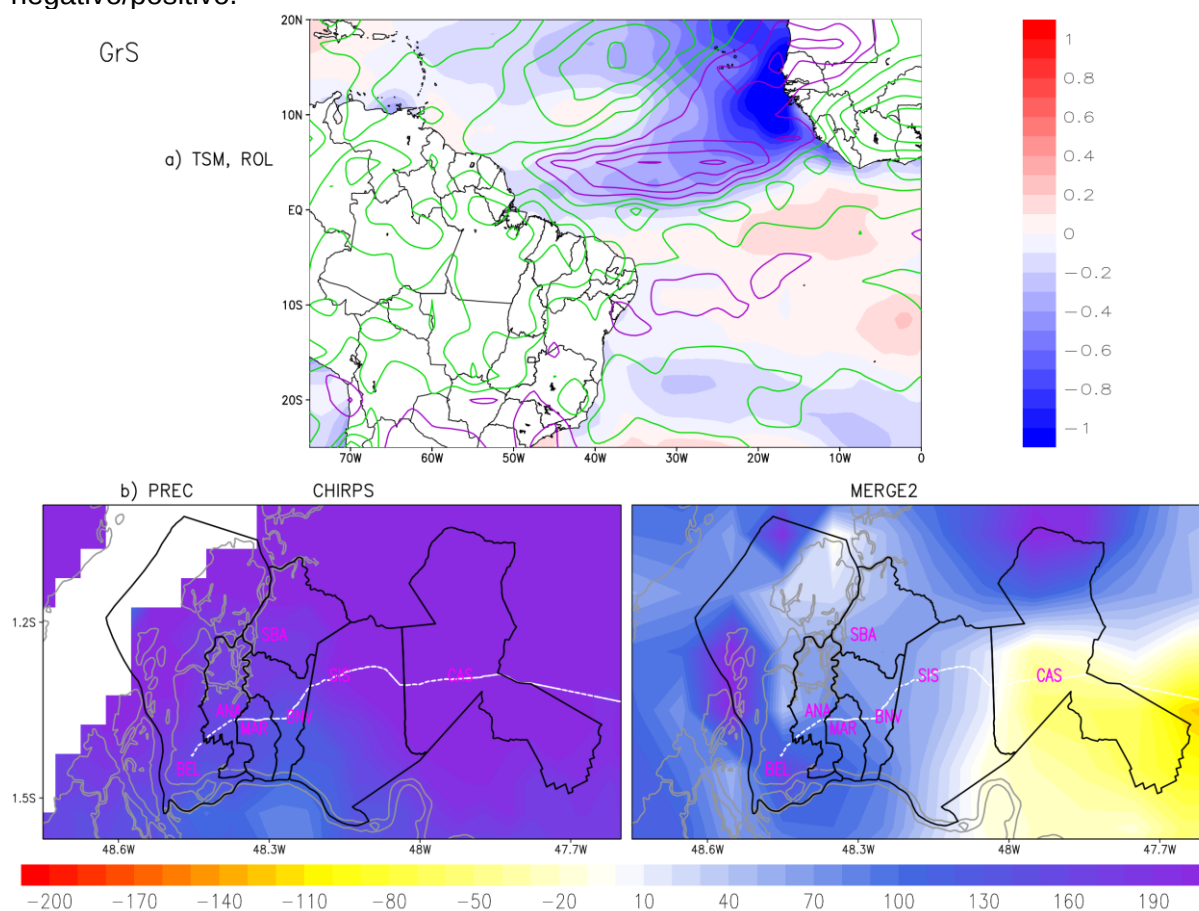
Fonte: Do autor.

A Figura 14 mostra a composição do GrS da fase do gradiente de TSM apontando para a bacia sul do Atlântico (média dos três eventos selecionados) para as anomalias de TSM e ROL e precipitação do CHIRPS e MERGE2 na RMB.

Verifica-se na Fig. 14a o padrão inverso (dipolo negativo) de TSM com anomalias positivas na bacia sul e positivas na bacia norte do Atlântico. Essa configuração se associa com a manifestação da banda de nebulosidade da ZCIT manifestando-se ao sul do Atlântico, conforme mostra a Fig. 14a com a presença de

anomalia negativa de ROL (linha lilás) sobre o estado do Pará e Maranhão. Consequentemente, evidencia-se na Fig. 14b a ocorrência de anomalias positivas de precipitação na RMB, sendo que o CHIRPS indica precipitação intensificada em todos os municípios, enquanto o MERGE2 mostra anomalias positivas na porção central e oeste e negativas nos extremos leste da região.

Figura 14 – Composições dos eventos GrS para as anomalias de a) TSM e ROL, b) precipitação (mm) do CHIRPS e MERGE2 da RMB. As barras de cores indicam a intensidade da TSM e da precipitação. As linhas verde/lilás indicam ROL (W/m²) negativo/positivo.



Fonte: Do autor.

4 CONCLUSÃO

As análises observacionais e estatísticas empregadas nos dados de precipitação sobre a região metropolitana de Belém (RMB), considerando um período temporal de quase três décadas (1990 A 2018), permitiu alcançar as seguintes conclusões:

O ciclo anual da precipitação apresenta sazonalidade bem configurada com o regime chuvoso (Reg.CHUV) mais intenso ocorrendo nos meses consecutivos de janeiro a abril e regime seco ou menos chuvoso (Reg.SECO) de julho a novembro;

A comparação entre os dados medidos pela estação meteorológica e os dados em pontos de grade com alta resolução (combinação de estimativa de satélites e estações) indicou que a precipitação da base MERGE2 é relativamente melhor do que a base CHIRPS, principalmente para o Reg.CHUV;

Evidenciou-se tendência positiva de precipitação estatisticamente significativa restrita ao município de Belém para o Reg.CHUV, ou seja, o regime chuvoso vem se intensificando sistematicamente nas últimas décadas sobre a cidade de Belém;

As análises de composições dos eventos El Niño e La Niña comprovaram que a RMB é atingida por precipitação abaixo da média durante os anos de El Niño e acima da média nos anos de La Niña. Contudo, as bases de dados em alta resolução espacial indicaram que os impactos do Oceano Pacífico são diferenciados ao longo da RMB;

As composições do gradiente de TSM do Atlântico intertropical evidenciaram que a fase do GrN (TSM anormalmente quente na bacia norte e fria no sul) inibe a atuação da ZCIT e com isso a precipitação sobre a RMB se configura abaixo da média na RMB, enquanto a fase GrS (TSM anormalmente fria na bacia norte e quente no sul) é favorável a intensificação da ZCIT e promove a ocorrência de precipitação acima da média sobre a RMB. As análises destas composições de precipitação usando bases de dados em alta resolução espacial indicaram impactos diferenciados ao longo dos municípios da RMB.

Portanto, os resultados alcançados neste trabalho contribuíram para um conhecimento aprofundado da variabilidade espaço/temporal dos regimes pluviométricos sazonais na região metropolitana de Belém, os quais podem auxiliar e subsidiar as ações de prevenção dos danos sociais, econômicos e ambientais.

REFERÊNCIAS

BAYISSA, Y.; TADESSE, T.; DEMISSE, G.; SHIFERAW, A. Evaluation of satellite-based rainfall estimates and application to monitor meteorological drought for the upper blue Nile basin, Ethiopia. **Remote Sensing**, v. 9, n. 7, p. 669, 2017.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Estados @**: Pará, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao.html>. Acesso em: 08 fev. 2020.

CASTRO, Edna. Geopolítica da água e novos dilemas a propósito da Amazônia e seus recursos naturais. In: ARAGON, Luis, E.; CLÜSENER-GODT, Miguel (orgs.) **Problemática do uso local e global da água da Amazônia**. Belém: NAEA, 2003. p.334 - 350.

COSTA, H. C.; MARCUZZO, F. F. N.; FERREIRA, O. M.; ANDRADE, L. R.; Espacialização e sazonalidade da precipitação pluviométrica do Estado de Goiás e Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.5, n.1, p.87-10, 2012.

DESCHAMPS, Marley Vanice *et al.* **Vulnerabilidade socioambiental nas regiões metropolitanas brasileiras**. Fortaleza: Observatório das Metrópoles–IPPUR/FASE, 2009.

FIRPO, M. Â. F. **Influências remotas das TSM dos Oceanos Pacífico e Atlântico e da oscilação Antártica na variabilidade climática interanual no Rio Grande do Sul e suas inter-relações**. 2012. 234 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012.

FREITAS, R. Regiões metropolitanas: uma abordagem conceitual. **Humanae**, v.1, n.3, p. 44-53, 2009.

FUNK, C.; PETERSON, Pete; LANDSFELD, Martin; PEDREROS, Diego; VERDIN, James; SHUKLA, Shraddhanand; HUSAK, Gregory; ROWLAND, James; HARRISON, Laura; HOELL, Andrew; MICHAELSEN, Joel. The climate hazards infrared precipitation with stations - a new environmental record for monitoring extremes. **Nature Scientific Data**, 2, p. 150066, doi:10.1038/sdata.2015.66, 2015.

KOUSKY, Vernon E.; KAGANO, Mary T.; CAVALCANTI, Iracema FA. A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus A**, v. 36, n. 5, p. 490-504, 1984.

LIEBMANN B.; SMITH, C. A. Description of a complete (Interpolated) outgoing longwave radiation dataset. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, p. 1275-1277, 1996.

MOURA, M. N. **Padrões climáticos de precipitação e a produção de soja na Amazônia**. 2014. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

PHILANDER, S.G. Is the temperature rising? The uncertain science of global warming. **Princeton University Press, Princeton, NJ, US. 1998.**

QUINN, W.H. A preliminary record of Southern Oscillation related activity extending about 1368 years into the past. *In: WORKSHOP ON PALEOCLIMATIC ASPECTS OF EL NIÑO/SOUTHERN OSCILLATION, 1990, Boulder. Extended abstracts, 1990. 12 p.*

REYNOLDS, R. W.; SMITH, T. M.; LIU, C.; CHELTON, D. B.; CASEY, K. S.; SCHLAX, M. G. Daily high-resolution blended analyses for sea surface temperature. **Journal Climate**, v.20, p.5473-5496, 2007.

ROPELEWSKI, Chester F.; HALPERT, Michael S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Monthly weather review**, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, 1987.

ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONÇALVES, L. G. G.; VILA, Daniel A. Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America. **Weather and Forecasting**, v. 25, p. 885-894, 2010.

SMITH, T. M. ARKIN, P. A.; REN, L.; SHEN, S. S. Improved reconstruction of global precipitation since 1900. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 29, n. 10, p. 1505-1517, 2012.

SODRÉ, G. R. C.; RODRIGUES, L. L. M. Comparação entre estimativa da precipitação observada pela técnica CMORPH e estações meteorológicas do INMET em diferentes regiões do Brasil, **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.06, n.02, p. 301 – 307, 2013.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; ARAÚJO, L. E. Classificação da precipitação diária e impactos decorrentes dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE, **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.02, p. 250-268, 2012.