



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS
EMBRAPA - UFPA - MPEG**

PAULO FERNANDO DE SOUZA SOUZA

**IMPACTOS DOS ANOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NO RENDIMENTO
DA LAVOURA TEMPORÁRIA DE MANDIOCA NA REGIÃO RURAL DA
METRÓPOLE DE BELÉM - PARÁ**

**BELÉM
2017**

PAULO FERNANDO DE SOUZA SOUZA

**IMPACTOS DOS ANOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NO RENDIMENTO DA
LAVOURA TEMPORÁRIA DE MANDIOCA NA REGIÃO RURAL DA METRÓPOLE
DE BELÉM - PARÁ**

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

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Orientador: Everaldo Barreiros de Souza

**BELÉM
2017**

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Souza, Paulo Fernando de Souza, 1956-

Impactos dos anos climáticos extremos no rendimento da lavoura temporária de mandioca na região rural da metrópole de Belém - Pará / Paulo Fernando de Souza Souza. – 2017.

119f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Everaldo Barreiros de Souza

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2017.

1.Climatologia agrícola - Amazônia. 2.Mandioca – Fatores climáticos - Amazônia. 3.Análise espacial (Estatística). 4.Climatologia agrícola-Pacífico, Oceano. 5. Climatologia agrícola - Atlântico, Oceano. I. Título.

CDD 22. ed.630.25169811

PAULO FERNANDO DE SOUZA SOUZA

**IMPACTOS DOS ANOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NO RENDIMENTO DA
LAVOURA TEMPORÁRIA DE MANDIOCA NA REGIÃO RURAL DA
METRÓPOLE DE BELÉM - PARÁ**

Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi e EMBRAPA – Amazônia Oriental. Área de concentração em Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Data de aprovação: 31 / 01 / 2017

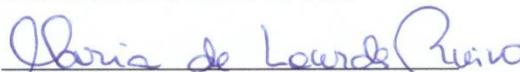
Banca examinadora:



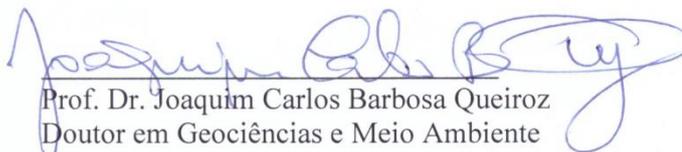
Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza - Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. João de Athaydes Silva Junior
Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico
Úmido
Universidade Federal do Pará



Prof. Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo
Doutora em Agronomia
Museu Paraense Emílio Goeldi



Prof. Dr. Joaquim Carlos Barbosa Queiroz
Doutor em Geociências e Meio Ambiente
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza
Doutor em Agronomia
Universidade Federal Rural da Amazônia

Em primeiro lugar aos meus pais, Hélio Hugo da Costa Souza (*in memoriam*) e Maria de Nazaré de Souza Souza (*in memoriam*), que desde cedo me incentivaram e me ensinaram a buscar na educação e na cultura o pilar para a construção de uma vida sólida e digna, a minha esposa Marta Sílvia Palheta Amoêdo Souza, companheira em todos os instantes, por toda compreensão, dedicação e carinho e aos meus filhos amados Diego Fernando Amoêdo Souza e Danielle Amoêdo Souza, pelo carinho, amor e compreensão.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelas Glórias alcançadas, por mais uma etapa concluída, mais uma página da minha história escrita. Por estar sempre à frente de tudo, abençoando, iluminando e me mostrando a serenidade que preciso todos os dias da minha vida;

Ao Prof. Dr. Everaldo Barreiros de Souza pela sua orientação, dedicação, incentivo, críticas, sugestões e amizade no desenvolvimento e conclusão deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Joaquim Carlos Barbosa Queiroz pela sua amizade e por sua indispensável e valiosa colaboração, com destaque aos relacionados à Estatística, que permitiram a inclusão de partes significativas neste trabalho;

Aos Prof. Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza, Prof. Dr. João Athaydes Silva Junior e a Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo por participarem da Banca Examinadora e pelas discussões e sugestões apresentadas;

Aos professores Dimitrie Nechet e Midori Makino que nunca deixaram de me incentivar e sempre acreditaram que esse momento um dia chegaria;

Aos meus colegas desde o tempo de estudante universitário, Maria Aurora Rabelo da Mota e Edson José Paulino da Rocha pela amizade, apoio e incentivo;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da UFPA pela atenção, ensinamentos ministrados e principalmente pela compreensão e aprovação de meu retorno ao Programa;

A todos os colegas da Faculdade de Meteorologia em especial aos professores José Danilo da Costa Souza Filho, Antônio Carlos Lola da Costa, José de Paulo Rocha da Costa e Hernani Brazão Rodrigues pelo companheirismo e incentivo;

A minhas irmãs, as minhas tias paternas queridas, a minha sogra e a todos os meus familiares presentes pelo apoio dedicado, e aos que partiram desse mundo, que com certeza onde estiverem, ficarão felizes com mais essa conquista;

Aos meus amigos de longa data João Ricardo Lobo e Mário Nobrega pelo apoio e amizade incondicional;

A todos os órgãos que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

Por fim, agradeço a todas as outras pessoas aqui não mencionadas, mas que de alguma forma contribuíram na minha formação e na elaboração deste trabalho.

RESUMO

Os extremos climáticos impactam negativamente a agricultura no Brasil em função disso, dificultam o desenvolvimento das comunidades rurais que são altamente dependentes dos recursos naturais, em particular no estado do Pará. Por isso, é de fundamental importância o estudo da cultura da mandioca (*ManihotesculentaCrantz*) diante de riscos climáticos futuros, em função de o Pará ser o maior produtor nacional. O objetivo deste estudo foi analisar a modulação dos mecanismos climáticos dos Oceanos Pacífico e Atlântico tropical no regime pluviométrico em escala municipal da Região Rural da Metrópole de Belém (RRB), no nordeste do estado do Pará, bem como detectar as relações entre precipitação e a produtividade ou rendimento da lavoura temporária de mandioca na RRB no período de 1990 a 2014 (25 anos de dados), incluindo a análise de impactos dos anos climáticos extremos. O trabalho foi dividido em três partes: o primeiro analisou a influência dos extremos climáticos como El Niño, La Niña, Gradiente Norte e Sul na precipitação da RRB, empregando a técnica dos percentis; na segunda parte foram calculadas correlações de Spearman entre a precipitação e o rendimento médio da mandioca e os resultados demonstraram um comportamento não homogêneo ao longo da região, ou seja, há municípios que respondem direta ou indiretamente ao regime pluviométrico. Nessa análise, a precipitação anual mostrou uma relação melhor com o rendimento da mandioca, cujo sistema de plantio ocorre em dois momentos durante o ano (plantios de verão e inverno). Na terceira parte foi aplicada a técnica da análise exploratória de dados espaciais, a qual revelou a necessidade de se considerar, na avaliação das relações entre as variáveis clima x agricultura, a componente espacial.

Palavras-chave: Clima e agricultura. Amazônia oriental. Análise espacial. Oceanos Pacífico e Atlântico.

ABSTRACT

Extremes climatic patterns negatively impact agriculture in Brazil and, as a result, cause problems for rural communities that are highly dependent on natural resources, in particular the state of Pará. Therefore, it is of fundamental importance to study the cassava farming (*ManihotesculentaCrantz*) in face of future climatic risks, because Pará is the largest national producer. The objective of this study was to analyze the modulation of the climatic mechanisms of the Pacific and Atlantic Oceans on the pluviometric regime considering the municipal scale of the Rural Region of the Metropolis of Belém (RRB), in northeastern Pará, as well as to detect the relations between precipitation and productivity or yield of temporary cassava farming from 1990 to 2014 (25 years), including the analysis of impacts of extreme climatic years. The work was divided into three parts: the first analyzed the influence of climatic extremes such as El Niño, La Niña, North and South Gradient on RRB precipitation, using the percentiles technique; In the second part, Spearman correlations were calculated between the precipitation and the cassava yield and the results showed an inhomogeneous behavior throughout the region, i.e., there are municipalities that respond directly or indirectly to the pluviometric regime. In this analysis, the annual precipitation showed a better relationship with cassava yield, whose planting system occurs at two moments during the year (summer and winter plantings). In the third part, the spatial data exploratory spatial analysis technique was applied, which revealed the need to consider the spatial component in the evaluation of the relations between regional climate x agriculture.

Key-words: Climate and agriculture. Eastern Amazon. Spatial analysis. Pacific and Atlantic Oceans.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Padrões oceano-atmosfera do fenômeno ENOS com corte vertical/zonal (média entre 5°S/5°N) da velocidade vertical OMEGA (hPa/s, contornos em lilás), TSM (°C, contornos sombreados coloridos), vento em 925 hPa (m/s ² , vetores em preto) e precipitação (mm, contorno azul/vermelho) para (a) condições normais (média climatológica), (b) fase quente ou El Niño de 1997/98 e (c) fase fria ou La Niña de 2010/11.....	7
Figura 2 – Padrões oceano-atmosfera do Gradiente de TSM com o corte vertical/meridional (média 60°W/30°W) de OMEGA (hPa/s, contornos lilás), TSM (°C, contornos sombreados coloridos), vento 925 hPa (m/s ² , vetores preto) e precipitação (mm, contorno azul/vermelho) para (a) condições normais (climatologia), (b) fase GrNorte em 1997 e (c) fase GrSul em 2009.....	10
Figura 3 – (a) Campos de ROL (somente valor de 235 W/m ²) nos meses de março (MAR) e agosto (AGO) para as condições normais (média climatológica), e anomalia negativa de ROL (valor de -5 W/m ²) para (b) El Niño 1998 e GrNorte 1997 e (c) La Niña 2011 e GrSul em 2009.....	12
Figura 4 – Mapa do Projeto Regiões Rurais do Brasil, com o destaque para a RRB no Pará.	19
Figura 5 – Mapa da área de estudo com a localização e domínio geográfico dos municípios pertencentes à Região Rural da Metrópole de Belém (RRB). Em verde destaca-se o município de Belém e os números de 1 a 78 indicam os municípios segundo os códigos e nomes listados na Tabela 1.....	21
Figura 6 – Ilustração da obtenção dos dados de produção agrícola municipal no portal do IBGE, com a opção para o Banco de Dados Agregados e Tabela 1612 das lavouras temporárias..	22
Figura 7 – Precipitação climatológica mensal dos municípios 14 - Bragança e 49 - Paragominas. As barras preenchidas indicam a ocorrência dos regimes chuvoso e seco.....	27
Figura 8 – Localização geográfica das áreas oceânicas sobre o Pacífico equatorial e sobre as bacias norte e sul do Atlântico, onde foram obtidas as médias espaciais de TSM.	28
Figura 9 – Séries temporais de 1990 a 2014 das anomalias padronizadas Ap de TSM para (a) Niño3.4 e Niño3 e (b) ATN, ATS e GRAD. Nas barras preenchidas destacam-se os episódios El Niño e La Niña do Pacífico e os episódios GrNorte e GrSul do Atlântico.	30
Figura 10 – Ilustração da aplicação do método dos percentis na série de precipitação do regime chuvoso em Oeiras do Pará.....	32
Figura 11 – Ilustração do diagrama box plot e as informações associadas.....	33

Figura 12 – Ilustração da remoção da tendência tecnológica nos dados de 1990 a 2014 para o RM (gráficos acima) da mandioca e da PREC_ANO (gráficos abaixo) no município de Acará. 35	
Figura 13 – Diagrama de dispersão de Moran.	41
Figura 14 – Quadrimestre de ocorrência do regime chuvoso nos municípios da RRB.	43
Figura 15 – Distribuição espacial da precipitação climatológica (média 1990 2014) correspondentes aos percentis (a) p85, (b) p65, (c) p35 e (d) p15. Os números de 1 a 78 indicam os municípios segundo os códigos e nomes listados na Tabela 1.	45
Figura 16 – Composição El Niño: anomalias de TSM (°C, sombreado colorido), ROL (W/m ² , linhas em verde e magenta) e OMEGA_Walker (hPa/s, isolinhas em lilás). TSM e ROL são plotados no plano horizontal (eixos em preto nas dimensões latitude x longitude) e OMEGA no plano zonal/vertical (eixos em lilás nas dimensões longitude x níveis de pressão). Valores de OMEGA > 0.03 e < -0.03 (intervalo de 0.02) e as áreas hachuradas de TSM e ROL representam anomalias significantes ao nível de 90%. O contorno branco destaca o estado do Pará na América do Sul.....	47
Figura 17 – Composição GrNorte: anomalias de TSM (°C, sombreado colorido), ROL (W/m ² , linhas em verde e magenta) e OMEGA_Hadley (hPa/s, isolinhas em lilás). TSM e ROL são plotados no plano horizontal (eixos em preto nas dimensões latitude x longitude) e OMEGA no plano meridional/vertical (eixos em lilás nas dimensões latitude x níveis de pressão). Valores de OMEGA > 0.03 e < -0.03 (intervalo de 0.02) e as áreas hachuradas de TSM e ROL representam anomalias significantes ao nível de 90%. O contorno branco destaca o estado do Pará na América do Sul.....	48
Figura 18 – Precipitação categorizada no regime chuvoso dos municípios da RRB para as composições (a) El Niño e (b) GrNorte. Os números de 1 a 78 indicam os municípios segundo os códigos e nomes listados na Tabela 1	49
Figura 19 – Idem a Fig. 16, porém para a Composição La Niña.	50
Figura 20 – Idem a Fig. 17, porém para a Composição GrSul.....	52
Figura 21 – Precipitação categorizada no regime chuvoso dos municípios da RRB para as composições (a) La Niña e (b) GrSul. Os números de 1 a 78 indicam os municípios segundo os códigos e nomes listados na Tabela 1.....	53
Figura 22 – Mapeamento dos municípios produtores de mandioca: (a) Quantidade produzida QP, (b) Área colhida AC. A escala de cores abaixo das figuras indica a magnitude de cada variável. Os números de 1 a 78 indicam os municípios segundo os códigos e nomes listados na Tabela 1	56
Figura 23 – Gráficos Box plot do RM da mandioca considerando o período de 1990 a 2014.	59

Figura 24 – Distribuição espacial do RM (ton/ha) da mandioca considerando a média de 1990 a 2014.....	60
Figura 25 – Correlações de Spearman entre o RM da mandioca e a PREC_ANO no período 1990 a 2014. O sinal, magnitude e a significância estatística das correlações estão indicados na legenda à direita. Os municípios contendo correlações significantes foram destacados com números maiores.	64
Figura 26 – Idem a Fig. 25, porém para a precipitação do regime chuvoso (PREC_CHU+)......	65
Figura 27 – Idem a Fig. 25, porém para a precipitação do regime menos chuvoso (PREC_CHU-)......	65
Figura 28 – Valores do 3º quartil (Q3), média e 1º quartil (Q1) da precipitação (mm) anual considerando: (a) climatologia (Clim, média 1990 2014) e desvios percentuais (%) de precipitação das composições (b) EC- e (c) EC+.....	67
Figura 29 – Impactos dos extremos climáticos EC- no rendimento RM da mandioca. Municípios em azul indicam RM positivo (favorável ao rendimento) e em amarelo RM negativo (desfavorável ao rendimento). Números em azul maiores e menores indicam municípios com correlação significativa e não significantes, respectivamente.	68
Figura 30 – Idem a Fig. 29, porém para os impactos dos extremos climáticos EC+.....	69
Figura 31 – Diagrama de dispersão entre PREC_ANO e RM da mandioca nos anos EC+ e EC- para os municípios que apresentaram correlações positivas estatisticamente significantes .	70
Figura 32 – Diagrama de dispersão entre PREC_ANO e RM da mandioca nos anos EC+ e EC- para os municípios que apresentaram correlações negativas estatisticamente significantes	72
Figura 33 – Box-plot de PREC_ANO (à esquerda) e RM da mandioca (à direita) para a média 1990_2014 e composições EC+ e EC- nos municípios com correlações positivas significantes.....	74
Figura 34 – Box-plot de PREC_ANO (à esquerda) e RM da mandioca (à direita) para a média 1990_2014 e composições EC+ e EC- nos municípios com correlações negativas significantes.....	76
Figura 34 – Continuação	77
Figura 35 – Boxmaps da precipitação média anual (acima à esquerda), precipitação período menos chuvoso (acima à direita), precipitação período mais chuvoso (abaixo à esquerda) e rendimento da mandioca (abaixo à direita).	80

Figura 36 – Diagrama de dispersão do I de Moran global. (a) Precipitação media total; (b) Precipitação no período menos chuvoso; (c) Precipitação no período mais chuvoso (d) Rendimento médio da mandioca.	82
Figura 37 – Mapas do I local de Moran. (a) Precipitação media total; (b) Precipitação no período menos chuvoso; (c) Precipitação no período mais chuvoso~(d) Rendimento médio da mandioca.	83
Figura 38 – Gráficos de dispersão do I de Moran bivariado. Precipitação media total versus rendimento da mandioca (a); Precipitação no período menos chuvoso versus rendimento da mandioca (b); Precipitação no período mais chuvoso versus rendimento da mandioca (c).	84
Figura 39 – Mapas LISA do I de Moran local bivariado. Precipitação media total versus rendimento da mandioca (acima à esquerda); Precipitação no período menos chuvoso versus rendimento da mandioca (acima à direita); (c) Precipitação no período mais chuvoso versus rendimento da mandioca (abaixo à esquerda).	86
Figura 40 – Series temporais de rendimento de mandioca e precipitação anuais para os municípios de Acará (acima) e Paragominas (abaixo) no período de 1990 a 2014.	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Listagem dos códigos e nomes dos municípios da Região Rural da Metrópole de Belém (RRB) no estado do Pará.....	20
Tabela 2 – Informações técnicas da cultura de mandioca nos municípios de RRB.....	23
Tabela 3 – Anomalias padronizadas A_p de TSM de FMAM nas regiões NATLA e SATLA e GRAD (diferença norte-sul) nos anos de 1990 a 2014. Unidade: desvio padrão.....	29
Tabela 4 – Critérios de categorização da precipitação pelo método dos percentis.....	31
Tabela 5 – Critérios adotados nas análises de impacto do clima no rendimento da mandioca.	36
Tabela 6 – Limiares de precipitação climatológica para os percentis p15, p35, p65 e p85 obtidos no período de 1990 a 2014. Unidade: mm.	44
Tabela 7 – Municípios produtores de mandioca com a listagem do código (#), nome do município e médias (1990 a 2014) da quantidade produzida QP (ton) e área colhida AC (ha). A ordem decrescente de QP destaca o ranking de produção da mandioca e SD são municípios com falta de dados.....	55
Tabela 8 – Estatística descritiva dos dados de rendimento médio RM (Ton/ha) da mandioca. A ordem decrescente da Média (em negrito) destaca o ranking dos municípios.	57
Tabela 9 – Correlações de Spearman entre o RM da mandioca e a PREC_ANO, PREC_CHU+ e PREC_CHU– no período 1990 a 2014. Valores em verde e azul indicam correlações estatisticamente significantes em 0,10 e 0,20, respectivamente. Os municípios foram ordenados do maior para o menor valor da correlação da PREC_ANO.	62
Tabela 10 – Principais estatísticas descritivas das variáveis em estudo.	78
Tabela 11 – Estatísticas I de Moran global para as médias das variáveis.....	81
Tabela 12 – Estatísticas I de Moran bivariado para as médias das variáveis.....	84
Tabela 13 – Teste de raiz unitária nas series dos municípios de Acara e Paragominas.....	89
Tabela 14 – Teste de raiz unitária (ADF) em primeira diferença nas series.....	89
Tabela 15 – Estimativas dos modelos de regressão.	90
Tabela 16 – Teste de raiz unitária nas series residuais das regressões dos municípios de Acara e Paragominas.....	90

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	1
1.2. QUESTÕES CENTRAIS E OBJETIVO	4
2 – REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS	5
2.1. MECANISMOS CLIMÁTICOS OCEANO-ATMOSFERA	5
2.3. CLIMA E AGRICULTURA	13
2.4. ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA MANDIOCA	16
3 – MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. ÁREA DE ESTUDO	19
3.2. BASES DE DADOS	21
3.3. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE	27
3.3.1. DEFINIÇÃO DO REGIME CHUVOSO E REGIME SECO	27
3.3.2. SELEÇÃO DOS EVENTOS CLIMÁTICOS NO PACÍFICO E ATLÂNTICO	27
3.3.3. TÉCNICA DE COMPOSIÇÕES	30
3.3.4. PERCENTIS DE PRECIPITAÇÃO	31
3.3.5. DIAGRAMAS DE CAIXA (BOX-PLOT)	32
3.3.6. CORRELAÇÕES DE SPEARMAN	33
3.3.7. PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS ADOTADOS PARA ANÁLISE DOS IMPACTOS DO CLIMA NO RENDIMENTO DA MANDIOCA	34
3.3.9. MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS À ANÁLISE ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO E RENDIMENTO DA MANDIOCA	37
4 – RESULTADOS	43
4.1. MODULAÇÃO DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO NO REGIME CHUVOSO EM ESCALA MUNICIPAL NO NORDESTE DO PARÁ	43
4.1.1. PRECIPITAÇÃO CLIMATOLÓGICA	43
4.1.2. MECANISMOS DESFAVORÁVEIS AO REGIME CHUVOSO (EL NIÑO E GRNORTE)	46
4.1.3. MECANISMOS FAVORÁVEIS AO REGIME CHUVOSO (LA NIÑA E GR SUL)	50
4.2. IMPACTOS DOS ANOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NO RENDIMENTO DAS LAVOURAS TEMPORÁRIAS DE MANDIOCA	54
4.2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MUNICÍPIOS PRODUTORES DE MANDIOCA	54
4.2.2. RELAÇÕES ENTRE O REGIME CHUVOSO E O RENDIMENTO DA MANDIOCA	60
4.2.3. IMPACTOS DOS ANOS EXTREMOS CLIMÁTICOS NO RENDIMENTO DA MANDIOCA	66
4.3. ESTATÍSTICA ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO E RENDIMENTO DA MANDIOCA	78
4.3.1. ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS	78
4.4. CO-INTEGRAÇÃO: ESTUDOS DE CASO	87
5 – DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	91
5.1. DISCUSSÃO	91
5.2. CONCLUSÃO	94
6 – REFERÊNCIAS	96

1. INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os Oceanos desempenham papel importante no balanço de energia do planeta e, conseqüentemente, no clima global e regional, em virtude da sua cobertura representar quase 71% da superfície da Terra. Devido à capacidade calorífica oceânica ser muito maior do que a do ar, os Oceanos são considerados como um grande reservatório de energia, a qual pode ser redistribuída para os processos físicos do sistema climático. Portanto, a associação entre as variáveis oceânicas e atmosféricas e os estudos dos mecanismos de interação oceano-atmosfera são imprescindíveis no entendimento dos padrões de clima, particularmente em regiões tropicais (Trenberth, 1997).

Há uma gama extensa de estudos diagnósticos e prognósticos sobre os efeitos ou influências dos Oceanos tropicais no regime climático dos continentes ao redor do globo. Particularmente para a América do Sul, inúmeras pesquisas abordaram os impactos do ciclo do El Niño-Oscilação Sul (ENOS) que interferem diretamente na variabilidade interanual e sazonal da precipitação nas regiões sul e norte/nordeste do Brasil. Não obstante, vários estudos mostraram que os mecanismos do Atlântico tropical modulam a posição da banda de nebulosidade convectiva da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e, conseqüentemente, regulam a qualidade e intensidade da estação chuvosa sobre a Amazônia e Nordeste Brasileiro (Hastenrath e Heller, 1977; Moura e Shukla, 1981; Marengo, 1992; De Souza et al., 2000; De Souza et al., 2005; Yoon e Zeng, 2010).

O conhecimento aprofundado sobre a variabilidade climática, que nas regiões tropicais pode ser representada pelos padrões espaciais e temporais de precipitação pluviométrica, é primordial nas atividades do setor produtivo, a exemplo da Agricultura, que no Brasil possui importância de dimensões social, econômica e ambiental (Arruda e Pinto, 1980; Manosso, 2005; Ferreira, 2005).

No setor da agricultura, de acordo com Ayoade (1986), o clima possui papel de regulador que pode acarretar tanto benefícios quanto danos, uma vez que esse setor produtivo é uma atividade que acontece a céu aberto e, portanto, amplamente dependente do comportamento dos elementos climáticos, cujas alterações podem afetar a produtividade e o manejo das culturas. Assim, a variabilidade pluviométrica nas regiões tropicais, principalmente para as culturas temporárias, é a que mais condiciona os aspectos do plantio e rendimento agrícola, pois assume

papel de fornecer o aporte hídrico para o período fenológico das culturas. Portanto, a precipitação é um elemento climático fundamental no ciclo produtivo das plantas e, por conseguinte, na produção agrícola. Essa importância se torna mais relevante nas regiões tropicais úmidas, como é o caso da Amazônia, já que ao contrário das regiões fora dos trópicos onde o calendário agrícola é determinado em grande parte pelo comportamento da temperatura do ar, dependendo diretamente do regime pluviométrico durante os meses da estação chuvosa, de forma a modular a disponibilidade de água para as plantas.

De uma maneira geral, a agricultura no Brasil tem sido usualmente subdividida de acordo com as características socioeconômicas e tecnológicas. Ao longo dos anos tem-se distinguido a agricultura de subsistência (ou de baixa renda) da agricultura comercial ou empresarial, sendo a agricultura familiar incluída na categoria da agricultura de subsistência. Para o INCRA (2000), a agricultura familiar atende a duas condições principais: i) a direção dos trabalhos do estabelecimento é exercida pelo produtor, e ii) o trabalho familiar é superior ao trabalho contratado.

A agricultura familiar tem dinâmica e características distintas em comparação à agricultura não familiar. Nela, a gestão da propriedade é compartilhada pela família e a atividade produtiva agropecuária é a principal fonte geradora de renda (Homem de Melo, 2001). A agricultura familiar Brasileira é constituída por pequenos e médios produtores e representa a imensa maioria de produtores rurais. A região Norte, onde se encontra grande parte da atual fronteira de expansão agrícola, tem grande participação na agricultura familiar, pelo censo de 2006. No Pará, por exemplo, aproximadamente 70% da produção agrícola total pode ser creditada à agricultura familiar. Vários estudos, como de Homma (1981), Santana (1988), Costa (1993) e Filgueiras (2002), têm gerado informações e/ou indicadores sobre o comportamento da agricultura no estado do Pará, resultantes da análise das alterações na composição da produção agrícola, dos sistemas de produção e das políticas públicas.

Esses estudos, além das considerações sobre a dinâmica das transformações que ocorrem, permitem concluir sobre a importância dessa atividade para o Pará face as suas peculiaridades e vocação natural. Conforme Santana (1988), o Pará possui vantagens comparativas naturais para o desenvolvimento da atividade agrícola, pois as características edafoclimáticas locais possibilitam o bom desenvolvimento de inúmeros cultivos, dentre os quais se destacam as lavouras temporárias do arroz, feijão, mandioca, milho, abacaxi e malva.

As culturas ou lavouras temporárias abrangem as áreas para o plantio de culturas de curta duração (ciclo de vida menor que um ano) e que normalmente necessitam de novo plantio após cada colheita (IBGE, 2015). Essas culturas são as mais representativas no conjunto da produção

agrícola paraense, respondendo, em 2014, por 77% da área cultivada (888.463 ha), 78% da quantidade produzida (7.064.691 ha) e 69% do valor da produção (R\$ 3,7 bilhões) (FAPESPA, 2015).

A agricultura temporária, quando comparada à lavoura permanente, é uma atividade extremamente vulnerável a distribuição espaço-temporal das chuvas, uma vez que o clima é o fator mais importante na determinação da sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (Marcos, 1983). As comunidades que dependem dessas atividades agrícolas para sua sobrevivência estão entre as mais afetadas, sendo que as perdas causadas por extremos de chuva impactam não somente a segurança alimentar dos agricultores diretamente dependentes dessa atividade, mas também os demais consumidores que dependem indiretamente dos produtos cultivados. Assim, fica evidente que eventos climáticos extremos (episódios de secas ou de enchentes) interferem na produção agrícola e nas subsequentes atividades socioeconômicas inerentes desta atividade. Desta forma, a vulnerabilidade dessas populações tende a aumentar diante de um cenário com maior ocorrência dos eventos climáticos extremos (Marengo et al. 2009b).

No que concerne à agricultura temporária do estado do Pará, a mandioca se sobressai como a cultura de maior destaque, compreendendo em torno de 65% da quantidade produzida e cerca de 59% do valor da produção, cujos dados colocam o Pará como o maior produtor nacional, com aproximadamente 5 milhões de toneladas anuais, sendo que, deste total, 93% corresponde a agricultura familiar (FAPESPA, 2015). O Pará é responsável pela produção de quase 20% da mandioca que é consumida em todo o país (IBGE, 2015).

Não obstante, a mandioca é uma das principais alternativas para a alimentação de baixo custo para a população mundial. O cultivo da mandioca é uma atividade de grande importância socioeconômica no mundo e no Brasil, principalmente em regiões tropicais, onde é uma das principais fontes de carboidratos para milhões de pessoas, especialmente em famílias de baixa renda. A busca por altos rendimentos a baixos custos implica em conhecer mais detalhadamente o ambiente no qual a cultura está inserida, com o objetivo de racionalizar as relações entre os diferentes fatores de produção visando o máximo desempenho (Lorenzi, 2003).

Dessa forma, uma compreensão abrangente dos principais elementos climáticos que afetam as atividades dos agricultores familiares é importante para a elaboração de estratégias de enfrentamento visando aumentar sua produtividade. O fato de a agricultura ser uma das principais bases da economia do país e sendo o Brasil um dos principais produtores agrícolas do mundo, se constitui nos argumentos e justificativas para o desenvolvimento da presente pesquisa de tese com enfoque na temática interdisciplinar dos impactos regionais do clima na agricultura.

1.2. QUESTÕES CENTRAIS E OBJETIVO

As questões científicas principais são:

Qual a modulação exercida pelos mecanismos oriundos nos Oceanos Pacífico e Atlântico tropical no regime chuvoso em escala municipal da Região Rural da Metrópole de Belém (RRB) no nordeste do estado do Pará?

É possível detectar relações significantes entre o comportamento climático (regime pluviométrico anual e sazonal) e o rendimento da mandioca nos municípios da RRB?

Quais os impactos dos anos climáticos extremos no rendimento da mandioca nos municípios da RRB?

O objetivo geral é analisar a modulação dos mecanismos climáticos dos Oceanos Pacífico e Atlântico tropical no regime chuvoso em escala municipal da RRB no nordeste do estado do Pará, bem como detectar as relações entre o regime pluviométrico e a produtividade ou rendimento da lavoura temporária de mandioca no nordeste do Pará, incluindo a análise de impactos dos anos climáticos extremos.

2 –REFERENCIAL TEÓRICO E FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS

2.1.MECANISMOS CLIMÁTICOS OCEANO-ATMOSFERA

El Niño-Oscilação Sul (ENOS) sobre o Oceano Pacífico tropical

O fenômeno ENOS ocorre sobre a bacia tropical do Oceano Pacífico, sendo caracterizado por um processo acoplado entre o oceano e a atmosfera, ou seja, se constitui de duas componentes: uma de natureza oceânica, o El Niño ou La Niña, representado pelas anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), e outra de natureza atmosférica, representado pela variação de pressão atmosférica na superfície, denominado de Oscilação Sul. Os estudos sobre o ENOS datam das décadas de 20 e 30 (Walker, 1924; Walker e Bliss, 1937), mas foi nas décadas de 60 e 70 que as teorias sobre as interações oceano-atmosfera associadas ao ENOS sobre o Pacífico foram elucidadas (Bjerknes, 1969, Wyrki, 1975). Nas décadas de 80 e 90 inúmeros trabalhos observacionais e de modelagem climática ampliaram os conhecimentos científicos sobre os episódios El Niño e La Niña (Rasmusson; Carpenter, 1982; Philander, 1990), inclusive com a documentação e análises dos impactos no clima (anomalias de precipitação e temperatura do ar) nas escalas global e regional (Ropelewski e Halpert, 1987; Ropelewski e Halpert, 1989).

Os impactos das fases do ENOS são globais, ou seja, afeta os padrões climáticos em grande parte das regiões tropicais e extratropicais (Kiladis e Diaz, 1989). Na América do Sul, o fenômeno ENOS provoca impactos inversos entre os setores norte/nordeste e sul (Kousky et al., 1984; Coelho et al., 2002). No continente brasileiro, os padrões de precipitação durante os episódios El Niño (La Niña) se manifestam com anomalias positivas (negativas) no sul do Brasil (Grimmet et al., 1998) e anomalias negativas (positivas) na Amazônia e nordeste brasileiro (De Souza et al., 2000; 2005).

A fase madura do fenômeno ENOS se processa entre o final do ano (ano0) e início do ano seguinte (ano+1), conforme definições propostas por Trenberth (1997). Tipicamente, o ciclo do ENOS apresenta duas fases: uma quente ou El Niño e uma fria ou La Niña. Para um melhor entendimento acerca das características principais do ciclo do ENOS, a Figura 1 exibe os padrões climatológicos e os padrões anômalos de dois episódios registrados em 1997/98 e 2010/11, considerando a média de novembro a fevereiro entre o ano0 e ano+1.

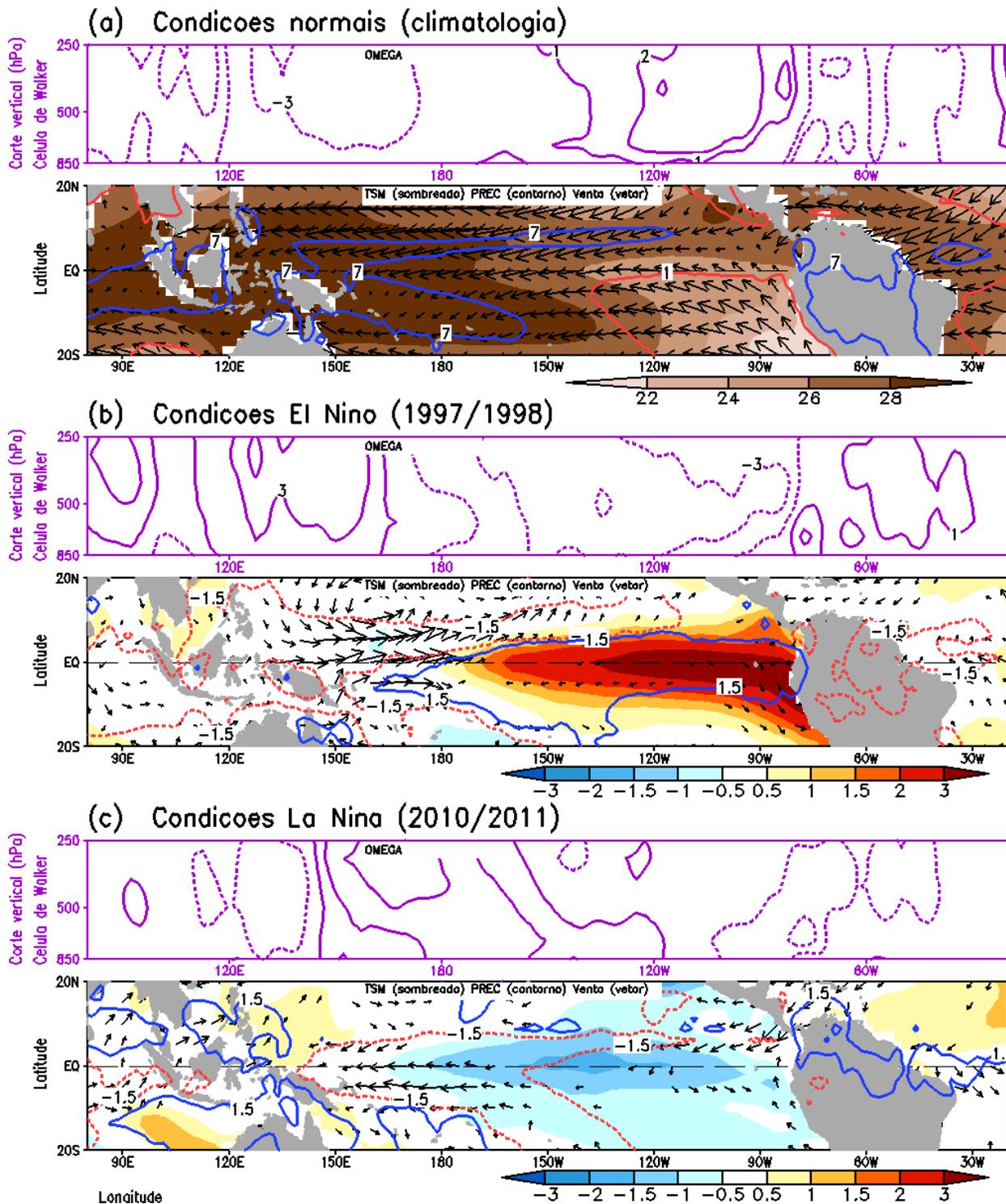
Nos padrões oceano-atmosfera em condições normais (Fig. 1a, média climatológica), as áreas contendo os maiores valores de TSM ($> 28^{\circ}\text{C}$, áreas em marrom escuro) situam-se no Pacífico oeste, Indonésia e norte da Austrália. Na área equatorial sobre a porção leste, incluindo a costa oeste da América do Sul, verifica-se TSM mais baixa ($< 25^{\circ}\text{C}$, áreas em marrom claro),

associadas à ressurgência das águas mais frias advindas do oceano profundo. Esse gradientetérmico zonal produz um padrão de circulação termicamente direta no sentido leste-oeste, conhecida como Circulação de Walker, com ramo ascendente (indicado pelos valores negativos de velocidade vertical OMEGA) sobre a região com TSM mais quente no Pacífico oeste e ramo descendente (indicado pelos valores positivos de velocidade vertical OMEGA) na região com TSM mais fria (Pacífico leste). A região com ramo ascendente/descendente intensifica/inibe a formação de nebulosidade convectiva, assim, na porção ocidental observa-se o padrão de precipitação máxima (> 7 mm, contorno azul), enquanto que na porção oriental verifica-se um padrão de precipitação mínima (<1 mm, contorno vermelho). Sobre a América do Sul também evidencia-se uma célula atmosférica vertical com ramos ascendente e precipitação máxima sobre a Amazônia e Brasil central.

Na fase quente do ENOSem 1997/98 (Fig. 1b, exemplo do El Niño de 1997/98) ocorre um enfraquecimento dos ventos alísios (vetores no sentido oeste) e o padrão de TSM se estabelece com anomalias positivas (áreas em laranja/vermelho, presença das águas mais quentes do que a média climatológica) na bacia tropical centro-leste do Pacífico, modificando a circulação troposférica da célula de Walker que passa a apresentar ramo ascendente nesta região (OMEGA negativo, contorno lilás tracejado) e, assim, grande parte da bacia tropical do Pacífico exibe precipitação anormalmente positiva (contorno azul, indicando chuva acima da média). Por outro lado, em decorrência do ramo atmosférico anormalmente descendente (OMEGA positivo, contorno lilás contínuo), observam-se anomalias negativas de precipitação (contorno tracejado em vermelho, indicando chuva abaixo da média) sobre a porção oeste do Pacífico e também sobre a América do Sul tropical (notadamente na Amazônia).

Na fase fria do ENOSem 2010/11 (Fig. 1c, exemplo da La Niña de 2010/11) em associação ao fortalecimento dos ventos alísios (vetores no sentido leste), observa-se um padrão de TSM anormalmente negativo (áreas em azul, presença das águas mais frias do que a média) sobre o Pacífico tropical, ocasionando movimento subsidente (OMEGA positivo, contorno lilás contínuo) da célula de Walker nesta região e, conseqüentemente, inibição de nebulosidade e presença de uma grande área contendo anomalias negativas de precipitação (contorno tracejado em vermelho). A intensificação do ramo ascendente (OMEGA negativo, contorno lilás tracejado) da circulação atmosférica de Walker na porção oeste do Pacífico e também sobre a América do Sul explicam a formação de nebulosidade com padrão de precipitação anormalmente positiva (contorno azul, indicando chuva acima da média).

Figura 1 –Padrões oceano-atmosfera do fenômeno ENOS com corte vertical/zonal(média entre 5°S/5°N) da velocidade vertical OMEGA (hPa/s, contornos em lilás), TSM (°C, contornos sombreados coloridos), vento em 925 hPa (m/s^2 , vetores em preto) e precipitação (mm, contorno azul/vermelho) para (a) condições normais (média climatológica), (b) fase quente ou El Niño de 1997/98 e (c) fase fria ou La Niña de 2010/11.



Fonte: Do autor.

Gradiente meridional de TSM sobre o Oceano Atlântico Tropical

Os trabalhos de Hastenrath e Heller (1977) e Moura e Shukla (1981) foram os pioneiros em descrever um importante modo climático de variabilidade oceano-atmosfera e interhemisférico sobre a bacia do Oceano Atlântico tropical, que é conhecido como Dipolo ou Gradiente meridional de TSM. No presente trabalho, usa-se a denominação de Gradiente de TSM que apresenta duas fases. A fase do Gradiente apontando em direção ao Atlântico equatorial norte (GrNorte) associado a manifestação concomitante de anomalias positivas de TSM na bacia norte e negativas na bacia sul do Atlântico. Outra essencialmente inversa, a fase do Gradiente apontando em direção ao Atlântico equatorial sul (GrSul) relacionado a presença simultânea de anomalias positivas de TSM na bacia sul e negativas na bacia norte do Atlântico. Este mecanismo sobre o Atlântico intertropical apresenta modo dominante durante o outono austral, sendo que o gradiente de TSM interfere nos padrões dinâmicos atmosféricos de pressão ao nível do mar e nos ventos próximos à superfície (Nobre e Shukla, 1996; Ruiz-Brarradas et al., 2000), bem como na circulação troposférica da célula de Hadley no plano norte/sul (Hastenrath e Greischar, 1993; De Souza et al., 2005), influenciando assim o posicionamento latitudinal da ZCIT durante a sua migração sazonal para o hemisfério sul (De Souza e Nobre, 1998). Em geral, os eventos de GrSul (GrNorte) associam-se com a ZCIT deslocando-se mais para o Atlântico equatorial sul (norte) que resulta num padrão de precipitação acima (abaixo) da média sobre o nordeste brasileiro (Nobre e Shukla, 1996; De Souza et al., 1998; Pezzi e Cavalcanti 2001) e Amazônia (Marengo, 1992; De Souza et al. 2000; 2009).

Para um melhor entendimento a respeito do modo Gradiente de TSM no Atlântico, a Figura 2 ilustra os padrões climatológicos e os padrões anômalos de dois eventos observados em 1997 e 2009, considerando a média entre os meses de fevereiro a maio.

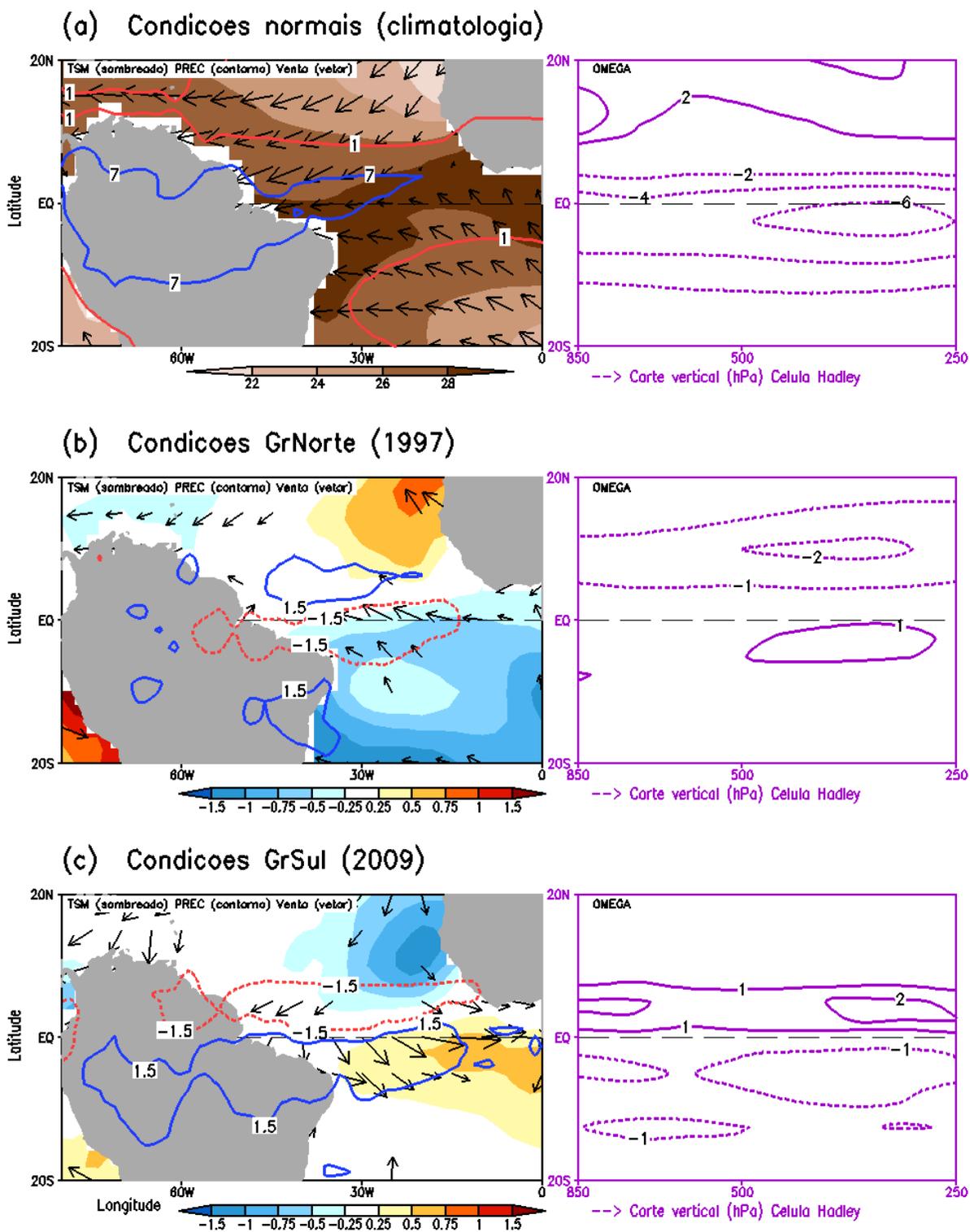
Nos padrões normais (média climatológica) da Fig. 2a observa-se no campo de TSM a presença de águas mais quentes sobre a região equatorial sul, incluindo a costa norte/nordeste do Brasil (áreas em marrom escuro) e no campo de vento próximo à superfície (vetores em preto, nível de 925 hPa) a convergência dos alísios de nordeste (advindos do Atlântico norte) com os alísios de sudeste (advindos do Atlântico sul) acontece em torno da faixa equatorial. Na configuração da velocidade vertical OMEGA, nota-se a predominância de valores negativos na troposfera entre o equador e 10°S, indicando a presença do ramo ascendente da circulação atmosférica da célula de Hadley. Consequentemente, evidencia-se uma grande área contendo máximos de precipitação (contorno em azul, valores acima de 7 mm) que engloba grande parte da Amazônia e Atlântico equatorial. Essa faixa zonal de precipitação relaciona-se

primordialmente a banda de nebulosidade da ZCIT quando da sua posição climatológica mais austral.

Durante a manifestação da fase GrNorteem 1997 (Fig. 2b), a configuração de TSM mostra claramente o padrão inverso com anomalias positivas na bacia norte (áreas sombreadas em amarelo/laranja) e negativas na bacia sul (áreas sombreadas em azul). O padrão de vento indica a presença de ventos alísios de sudeste (nas áreas contendo TSM negativa no Atlântico sul) intensificados e atravessando o Atlântico intertropical, os quais induzem a convergência em superfície ao norte do equador. A circulação termicamente direta associada à célula de Hadley se manifesta com ramo anormalmente ascendente (OMEGA negativo, contorno tracejado) sobre a bacia tropical norte (sobre as áreas com TSM mais quente) e ramo descendente (OMEGA positivo, contorno contínuo) na bacia equatorial sul (sobre as áreas com TSM mais fria), promovendo inibição de nebulosidade da ZCIT e, conseqüentemente, explicando a presença das anomalias negativas de precipitação sobre uma faixa que engloba a Amazônia e o Atlântico equatorial sul (contorno tracejado em vermelho).

Na fase GrSul em 2009 evidenciou-se o padrão oposto com a manifestação de TSM anormalmente negativa na bacia norte (áreas sombreadas em amarelo/laranja) e positiva na bacia sul (áreas sombreadas em azul). O padrão de vento indica anomalias de nordeste na bacia norte (TSM negativa) que atravessam o equador com predominância de noroeste e induzem convergência em superfície na porção sul do Atlântico (vetores em preto). As anomalias de velocidade vertical se configuram com ramo anormalmente ascendente sobre a bacia sul (OMEGA negativo, contorno tracejado), intensificando a formação de nebulosidade da ZCIT com conseqüente ocorrência de anomalias positivas de precipitação (contorno em azul) abrangendo a maior parte da Amazônia, nordeste brasileiro e Atlântico equatorial sul. O ramo anormalmente descendente (OMEGA positivo, contorno contínuo) de Hadley prevaleceu na coluna troposférica sobre o Atlântico equatorial norte com inibição de convecção e presença de anomalias negativas de precipitação (contorno tracejado em vermelho).

Figura 2 –Padrões oceano-atmosfera do Gradiente de TSM com o corte vertical/meridional (média 60°W/30°W) de OMEGA (hPa/s, contornos lilás), TSM (°C, contornos sombreados coloridos), vento 925 hPa (m/s², vetores preto) e precipitação (mm, contorno azul/vermelho) para (a) condições normais (climatologia), (b) fase GrNorteem 1997 e (c) fase GrSul em 2009.



Fonte: Do autor.

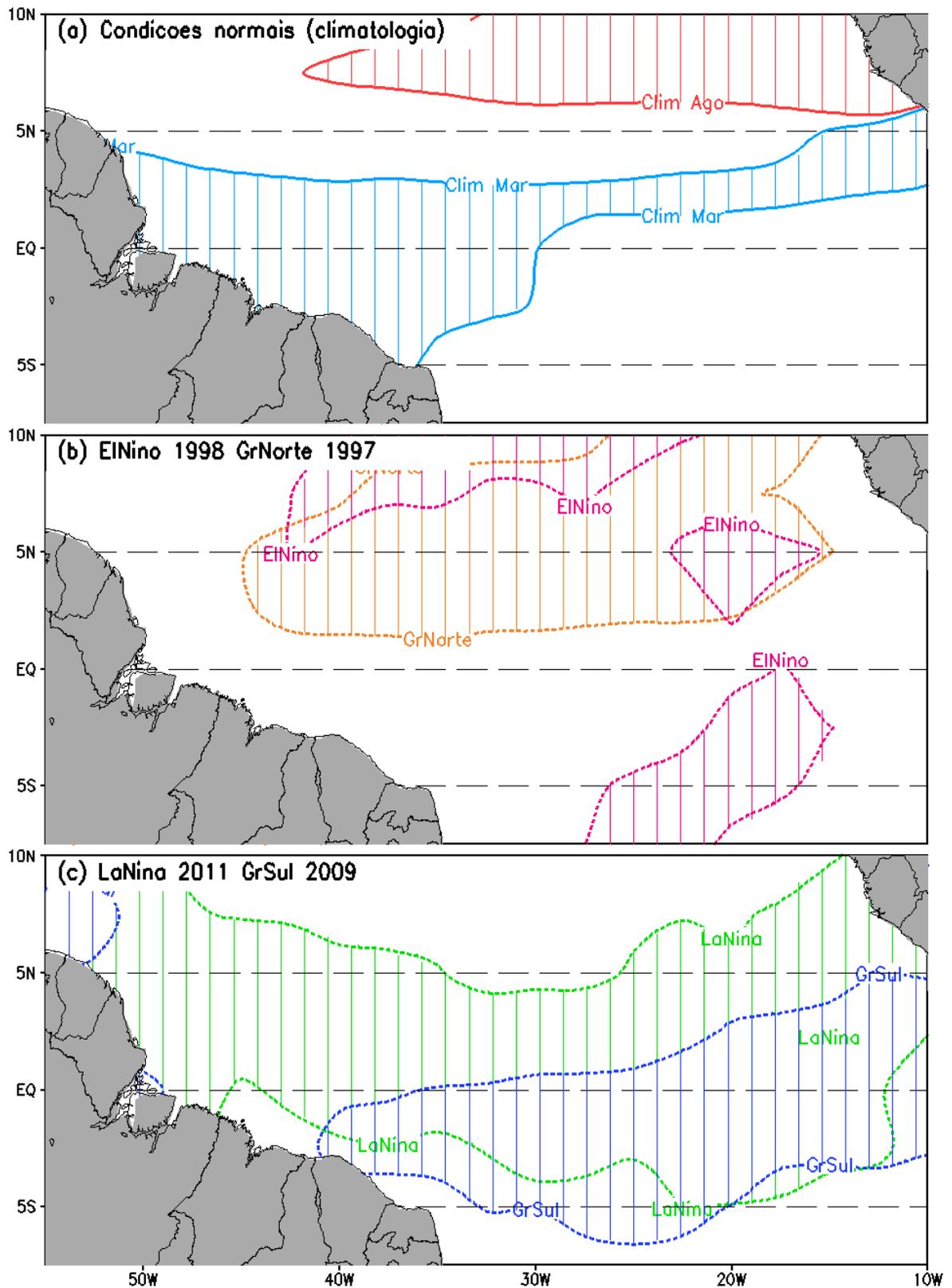
Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A extensa banda zonal de nebulosidade convectiva da ZCIT se forma ao longo do cinturão equatorial global sobre o ramo ascendente da célula de Hadley, transferindo calor e umidade dos baixos níveis da atmosfera tropical para os altos níveis da troposfera e para as latitudes médias e altas (Toma e Webster, 2010). Devido às suas características físicas, a ZCIT é um dos sistemas meteorológicos mais importantes da circulação geral da atmosfera e suas variações espaciais e temporais são responsáveis pelas variações sazonais da precipitação ao longo dos trópicos. De acordo com Waliser e Gautier (1993), a faixa de nebulosidade da ZCIT sobre o Atlântico migra sazonalmente entre o hemisfério norte (atingindo em torno de 10°N em julho/agosto) e o hemisfério sul (alcançando 2°S em março/abril), sendo que a sua dinâmica é dependente dos padrões de TSM e de convergência de vento em baixos níveis (Uvoet al., 1989; De Souza et al., 1998). No que concerne à climatologia dinâmica tropical da América do Sul, a ZCIT é o principal sistema meteorológico indutor de precipitação do regime chuvoso da Amazônia e nordeste brasileiro (De Souza et al., 2000). As condições de convergência do vento próximo à superfície associado a pressões atmosféricas mais baixas, movimento vertical ascendente em regiões úmidas e quentes (no Oceano TSM acima de 27°C) e presença de nebulosidade convectiva indicada por valores baixos de ROL ($< 240 \text{ W/m}^2$) são os principais indicadores para monitoramento e identificação da banda de nuvens da ZCIT.

Para ilustrar as características da banda de nebulosidade da ZCIT sobre o Atlântico em termos climatológicos e desvios relativos aos eventos ENOS do Pacífico e do Gradiente do Atlântico, a Figura 3 mostra os padrões climatológicos de ROL (valor de 235 W/m^2) nos meses de março e agosto (Fig. 3a) e anomalia de ROL em março considerando o valor -5 W/m^2 (convecção intensificada) durante o El Niño 1998 e GrNorte 1997 (Fig. 3b) e La Niña 2011 e GrSul 2009 (Fig. 3c).

No padrão climatológico de março (Fig. 3a, isolinha azul), a grande área contendo ROL de 235 W/m^2 (banda de nebulosidade da ZCIT) se posiciona na região equatorial, sendo que no Brasil, a região de influência da ZCIT vai desde o Amapá (em torno de 4°N), passando pelo Pará, Maranhão, Piauí, Ceará e indo até o Rio Grande do Norte (em torno de 5°S). No mês de agosto (Fig. 3a, isolinha vermelha), a área de ROL indicativo da ZCIT se posiciona ao norte (entre 6°N e 10°N) no setor próximo à costa oeste da África. Considerando a área de anomalia de ROL de -5 W/m^2 observa-se seu posicionamento predominantemente ao norte do Atlântico durante o El Niño 1998 e da fase do GrNorte 1997 (Fig. 3b) e ao sul do Atlântico durante a La Niña 2011 e GrSul 2009.

Figura 3 –(a) Campos de ROL (somente valor de 235 W/m^2) nos meses de março (MAR) e agosto (AGO) para as condições normais (média climatológica), e anomalia negativa de ROL (valor de -5 W/m^2) para (b) El Niño 1998 e GrNorte 1997 e (c) La Niña 2011 e GrSul em 2009.



Fonte: Do autor.

2.3. CLIMA E AGRICULTURA

O Brasil engloba a maior parte do continente sul-americano e sua dimensão territorial em torno de 8,5 milhões de km² apresenta alta diversidade e variabilidade de solo, topografia, clima, hidrologia, dentre outros fatores, que exercem efeitos diretos ou indiretos nas atividades humanas do setor produtivo, em particular, a agricultura. Historicamente, a agricultura foi e continua sendo de suma importância socioeconômica ao Brasil. Basicamente, três fatores principais cercam o problema da agricultura: fatores do meio físico natural relacionado ao solo e clima regional; o fator humano ligado à mão de obra empregada diretamente nas atividades das lavouras; e o fator econômico referente ao valor da terra e aplicação de tecnologias para melhoria e aumento da produtividade agrícola. Apesar da grande importância dos fatores humanos e econômicos, no que concerne ao meio físico relacionado ao solo, existem inúmeras técnicas de preparação e controle das condições edáficas de forma a tornar o solo adequado para o ciclo de vida das plantas. No entanto, considerando as variáveis naturais do meio físico relacionadas às condições de tempo e clima, não há controle do homem, sendo que a ocorrência de precipitação pluviométrica é a principal fonte de água para o consumo hídrico das culturas durante o período fenológico. Assim, a dependência do clima torna as práticas agrícolas vulneráveis aos eventos meteorológicos e climáticos extremos, com grande risco de perdas agrícolas.

Portanto, os estudos sobre os efeitos ou impactos do clima na agricultura são imprescindíveis para o desenvolvimento e planejamento da agricultura brasileira. Segundo Assad e Pinto (2008), noventa e cinco por cento das perdas no setor agrícola brasileiro ocorreram em razão de inundações ou secas. Sant'Anna Neto (1998) e Alfonsi (2000) mencionaram que a variabilidade e a irregularidade da precipitação, secas ou excessos, afetam o cultivo e o rendimento das culturas anuais, interferindo em todo o calendário agrícola.

Diversos estudos têm gerado conhecimento útil ao planejamento das atividades agrícolas no Brasil a partir da análise de dados de precipitação e temperatura do ar. Nesse contexto, a grande maioria dos estudos científicos considerou as análises para as regiões sul, sudeste e nordeste do Brasil.

De acordo com Berlatto et al. (1999) e Berlatto et al. (2005) o El Niño é favorável às culturas de verão não irrigadas, como a soja e o milho e a La Niña produz um dos maiores impactos negativos à produção agrícola do sul do País, devido à ocorrência de estiagem. Ferreira (2005) estudando as relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil, constatou que a precipitação influenciou diretamente a produtividade destas culturas de acordo com a sazonalidade. Além disso,

analisando os impactos causados pelo fenômeno ENOS, o autor observou que durante a fase fria a precipitação (SON e DJF) ficou abaixo da média, mas não afetou a produtividade das culturas. Durante a fase quente a produtividade foi favorecida. Alberto et al. (2006), estudando a relação entre o ENSO e a cultura do trigo no sul do Brasil, observaram que o período mais favorável ao rendimento dessa cultura foi em anos de La Nina.

Manosso (2005) relacionando a distribuição da precipitação pluviométrica ao longo dos anos no período de 1968 a 2002 com a produtividade agrícola em Apucarana (PR), demonstrou que as chuvas, ora criando excedentes hídricos, ora tornando os solos deficientes em água, influenciam diretamente o rendimento anual das safras agrícolas, inclusive podendo representar perdas de 47% em relação à produtividade média da soja, 59% do milho e 50% do trigo.

Valio et. al. (2002) analisaram a evolução das culturas no Oeste Paulista no período de 1971 a 1999 e mostraram que no ano agrícola de 1982/1983, a cultura da soja teve melhor desempenho no rendimento em função das chuvas abundantes ocasionadas pelo fenômeno El Niño de 1982/1983.

Araujo (2012), estudando os efeitos dos fenômenos El Niño e La Nina sobre a produtividade agrícola das regiões nordeste e sul do Brasil, verificou que na Bahia e no Rio Grande do Sul, o cultivo do milho e da soja é completamente prejudicado pela ocorrência de El Niño. Em ano de La Nina o semiárido nordestino é favorecido nas lavouras de milho, mandioca e cana de açúcar. No sul do país, as lavouras de milho, trigo e arroz tendem a ficar reduzidas devido às estiagens.

De acordo com Magalhães (1988), as perdas nos anos de ocorrência do El Niño em cultivos de milho na Bahia chegaram a 60%, com impactos socioeconômicos enormes devido se tratar de agricultores familiares.

Alves et al. (1998) reportaram que em anos de El Niño tanto a produção como a produtividade de milho e feijão no Estado do Ceará são fortemente afetadas, em particular quando coincide com a de um Dipolo de TSM positivo no Atlântico tropical.

Pereira et al. (2016), estudando o grau de relação das precipitações anuais com a produção canavieira na microrregião de Sapé (PB), constataram que há uma relação positiva entre anos secos/chuvosos com a queda/alta na produção canavieira, todavia observaram também que anos excepcionalmente chuvosos podem favorecer a redução da produção, a exemplo do ano de 2000.

Para a região da Amazônia há poucos estudos de clima e agricultura, dentre eles, cita-se, o estudo de Teracines (2000), sobre os impactos econômicos do El Niño 97/98 na produção agrícola brasileira, verificou que a produção da mandioca na região norte sofreu perda nesse

período, passando de 5.033.699 em 1996/97 para 4.392.828 em 1997/1998, ou seja, ocorreu uma variação negativa de 12,74% na produção.

Conceitos de produtividade ou rendimento agrícola

No contexto do presente trabalho, é importante o entendimento dos conceitos de produtividade ou rendimento agrícola.

Segundo Camargo (1984), produtividade ou rendimento médio é a relação entre a quantidade produzida e o fator de produção. No caso da agricultura, é a relação entre o produto agrícola produzido e a área colhida, expressos em kg/ha ou ton/ha. O hectare (ha) é uma unidade de medida de superfície (área), muito usada no Brasil e no mundo, e corresponde a 10.000 metros quadrados.

De acordo com Bindrabanet al. (2000), Fermont et al. (2009) e Sentelhas (2015), a produtividade das culturas pode ser basicamente dividida em três tipos: produtividade potencial, produtividade atingível e produtividade real.

O rendimento real é a média de rendimento (Ton/ha ou kg/ha) de uma determinada cultura em escala municipal, regional ou de lavoura, em determinada safra (ou média de safras). O rendimento real é resultado das condições de solo, de clima, do nível de tecnologia e da habilidade do agricultor.

O rendimento atingível corresponde ao melhor rendimento obtido com o uso pleno da melhor tecnologia disponível. São rendimentos alcançados experimentalmente e/ou pelos agricultores de melhor desempenho produtivo.

Rendimento Potencial é a máxima produtividade que uma cultura pode ter sob uma determinada condição climática sem que haja limitações hídricas e nutricionais e ocorrências de pragas, doenças e de plantas daninhas (De Ponti et al., 2012).

De acordo com Cunha (1999), o rendimento potencial limitado pela disponibilidade hídrica e o rendimento potencial correspondem aos rendimentos máximos que poderiam ser obtidos por uma cultura, em um dado ambiente, em função da fisiologia da espécie, para uma dada quantidade disponível de água ou sem limitação hídrica, respectivamente. Não se deve confundir rendimento potencial com potencial de rendimento, que é o rendimento de uma cultivar em um ambiente para o qual é adaptada, sem limitação de nutrientes, de água e na ausência de danos causados por pragas, doenças ou competição com plantas daninhas. Rendimento potencial no âmbito de espécie (atributo fisiológico) e potencial de rendimento de cultivar, envolvendo além de ambiente, também práticas de manejo.

2.4.ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA MANDIOCA

A mandioca (*Manihotesculenta*Crantz)é considerada uma das maiores heranças da civilização indígena, com seu cultivo iniciado a 3.500 anos, possivelmente domesticada pelos tupis na Bacia Amazônica (Roosevelt et al., 1996). É uma planta originária da América do Sul, com mais de 1.200 espécies. Produz raiz tuberosa de cores: branca, amarela ou rósea, que possui reserva de amido com alto valor energético e baixo teor de proteína, enquanto as folhas chegam a ter 18% de proteína, além de apresentar razoável teor de vitamina B1, fósforo e ferro (Camargo Filho et al., 2004). A raiz de mandioca é utilizada em vários produtos industriais, tais como: fécula, farinha, polvilho azedo, chips e pelets para alimentação animal e mandioca de uso culinário processada. O derivado industrial de mandioca com maior potencial de comercialização é a fécula, que representa em torno de 30% do mercado brasileiro de amido e é a segunda matéria-prima mundial para amido, após o milho e antes do trigo e da batata (Vilpoux, 2006). O cultivo da mandioca é de grande relevância econômica e depois do arroz e milho é a principal fonte de carboidratos para milhões de pessoas, essencialmente nos países em desenvolvimento (Fauquet et al., 1990; FAO,1995). Atualmente, a mandioca é a quarta cultura de produção de alimentos mais importante do mundo, segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), principalmente na região tropical, pois sua raiz e demais subprodutos são consumidos por mais de 800 milhões de pessoas.

A mandioca é cultivada na faixa compreendida entre as latitudes 30° N e 30° S, embora a concentração de plantio esteja entre as latitudes 20°N e 20°S. A mandioca suporta altitudes que vão do nível do mar até cerca de 2.300 m, sendo as altitudes de 600 m a 800 m as mais favoráveis. O intervalo de temperatura ideal para o cultivo da mandioca situa-se entre os limites de 20° C e 27° C de média anual, enquanto esta temperatura ótima está em torno de 24°C e 25°C (EMBRAPA,2006). A precipitação pluviométrica é um dos fatores de maior importância para o cultivo da mandioca, por tratar-se de lavoura cultivada quase que exclusivamente sem irrigação. O regime de chuvas, considerado mais adequado, é a ocorrência de um total anual de 1.000 mm a 1.500 mm, com boa distribuição durante 6 a 8 meses do ciclo vegetativo. A deficiência de água nos primeiros cinco meses de cultivo da mandioca além de provocar grandes reduções na produção de raízes, pode causar até a morte das plantas (Dias e Martinez, 1986; Normanha, 1941). O período de luz ideal para o cultivo da mandioca situa-se em torno de 12 horas por dia.

O tipo de solo ideal para a mandioca, pelo fato de ser uma cultura cujo principal produto são as raízes, deve apresentar textura variando de franco-arenosa a argilo-arenosa, possibilitando fácil crescimento das raízes, boa drenagem e facilidade de colheita. O encharcamento do solo

provoca o apodrecimento das raízes da mandioca, causando enormes perdas à produção. A mandioca apresenta alguma tolerância à acidez e pouca tolerância a solos alcalinos. A faixa de pH favorável ao cultivo da mandioca situa-se entre 5,5 e 6,5. O pH é o fator que controla a solubilidade dos nutrientes no solo; abaixo de 5,0, solubiliza o alumínio, o manganês e outros elementos que podem causar toxidez à planta, e acima de 6,0, solubiliza elementos como o fósforo, o nitrogênio e o enxofre, dentre outros, fundamentais à nutrição da planta, e que se tornam mais disponíveis a partir desse nível. O pH ideal para o cultivo da mandioca situa-se próximo de 6,0 (EMBRAPA, 2006).

O Brasil destaca-se como o quarto maior produtor, em 2012, com 23,04 milhões de toneladas, embora seja o terceiro no ranking de área colhida, em 2013. A produção brasileira se estagnou durante a última década na faixa de 22 a 25 milhões de toneladas. Essa redução se deve em parte pelo menor consumo animal, principalmente pela suinocultura, cujo consumo era bastante elevado na década dos anos 70 e atualmente substituído pelas rações balanceadas. A produtividade da mandioca é um dos grandes problemas para se avançar na produção dessa raiz. A média da produtividade do mundo foi de aproximadamente 12 t/ha, sendo que o Brasil apresenta 13 a 14 t/ha (Modesto Junior et al, 2016).

A cultura da mandioca é largamente cultivada em todo o território brasileiro, de norte a sul, em virtude de ser uma cultura explorada, em sua maioria, pelo segmento de pequenos produtores. Em termos de área plantada, houve decréscimo, pois esta teve uma variação negativa de 11,03%, entre os anos de 1990 e 2012. Com relação à produtividade, no período de 1990 a 2012, a média foi de 13.281 kg/ha (Modesto Junior et al, 2016). A maior área plantada desde os anos 1990 é encontrada na Região Nordeste, embora venha reduzindo com o passar dos anos. A região Centro-Oeste mostra-se praticamente estagnada na expansão de área plantada, pois não chega a 5% sua área de plantio da mandioca em relação ao Brasil, sendo, portanto, a menor área. As áreas plantadas das regiões Sudeste e Sul somadas somam mais de 20% do total brasileiro. A região Norte, por sua vez, vem aumentando, ao longo dos tempos, sua área plantada, tanto que de 17,09% nos anos 1990 chegou em 32,49% em 2013. Em termos de produção o Pará é atualmente o maior produtor nacional dessa cultura, rivalizando com Paraná, Bahia, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Santa Catarina, entre os maiores produtores. Com relação à produtividade, tem-se que a maior produtividade é da região Sul, cuja média no período em análise (1990 a 2012) foi de 18.852 kg/ha. Na sequência, tem-se a região Sudeste, com média de 16.629 kg/há, região Centro-Oeste com 16.026 kg/há, a região Norte com 14.090 kg/ha e finalmente, apesar de maior área plantada, a região Nordeste teve o registro de menor produtividade, apenas 10.188 kg/ha. (Modesto Junior et al, 2016).

A cultura da mandioca apresenta ampla variabilidade genética, representada pelo grande número de variedades disponíveis em todo o Brasil. Para a indústria de amido, as variedades devem apresentar altos teores de amido nas raízes, polpa branca, córtex e película clara, ausência de cintas nas raízes, destaque fácil da película, raízes grossas e bem conformadas. Para a indústria de farinha, as variedades devem apresentar as mesmas características recomendadas para a indústria de amido, exceto na Região Norte, onde a preferência é por variedades com polpa de coloração amarela. As variedades recomendadas para a alimentação animal devem apresentar alto rendimento de raízes e da parte aérea, boa retenção foliar, alto teor de proteína nas folhas e teor mínimo de ácido cianídrico, tanto nas folhas como nas raízes. Para o consumo humano o principal critério utilizado na seleção de variedades é a existência de baixo teor de ácido cianídrico nas raízes (EMBRAPA, 2006).

A região Norte é a maior produtora de mandioca do Brasil, em termos quantitativos (produção em toneladas), superando a produção da região Nordeste, que desde 1990 era a maior produtora, tanto em área plantada quanto em quantidade produzida, conforme descrito anteriormente. Esse resultado da região Norte se deve ao Estado do Pará, o maior produtor dessa região, uma vez que sua participação na composição da produção regional supera os 60% (IBGE, 2015). Do total da área plantada no estado do Pará com lavoura temporária em 2013 (888.383 ha), 302.300 ha foram destinados ao plantio com a cultura da mandioca, ou seja, 34,03% ou um terço da área (FAPESPA, 2015).

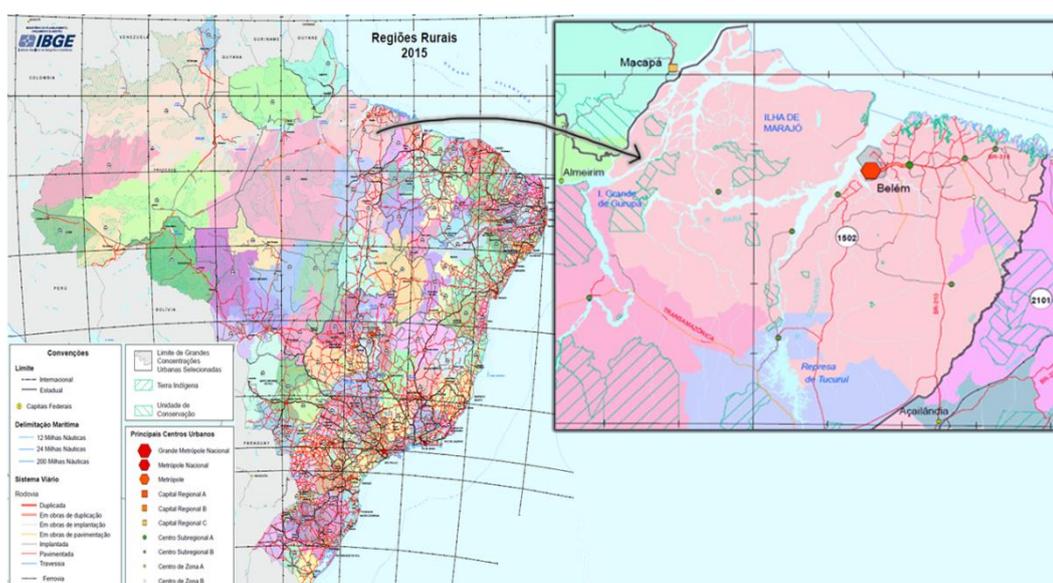
O estado do Pará destaca-se como o principal estado produtor de mandioca do Brasil. Ao longo de vários anos o estado assume o topo em relação ao volume produzido em toneladas. A mandioca que é plantada no estado do Pará pertence a ordem das Malpighiales, família das Euphorbiaceae, gênero das Manihot e espécie das ManihotesculentaCrantz (EMBRAPA,2006). O sistema de espaçamento, que é a distância entre as fileiras de plantas e entre as plantas dentro da fileira, amplamente utilizado no estado é de 1,0 x 1,0 m. Segundo Modesto Junior et al. (2016) as variedades de mandioca se classificam em brava (que origina a farinha, o tucupi, a goma, entre outros) e mansa, macaxeira ou aipim (que é utilizada para consumo in natura). Ainda de acordo com os autores duas cultivares recomendadas para o plantio pela Embrapa no Pará, são BRS Poti e BRS Mari, cultivares que têm como diferencial a resistência à podridão-mole-da-raiz, doença que causa perda total nos plantios. Vale esclarecer que no estado do Pará a produção encontra-se basicamente voltada ao consumo humano, tendo-o como carro chefe do sistema produtivo a produção da farinha de mandioca, base da alimentação nessa região. O valor da produção praticada no estado é fortemente influenciado pela oferta do subproduto (farinha) no mercado, e esta, pela área plantada.

3 – MATERIAL E MÉTODOS

3.1.ÁREA DE ESTUDO

O Projeto Regiões Rurais (IBGE, 2015) elaborou uma nova divisão regional do Brasil a partir da dinâmica geográfica traçada pela produção agroindustrial no território nacional. Neste mapeamento e regionalização do espaço rural Brasileiro foram usadas as bases conceituais desenvolvidas por Veltz (1999) e Haesbaert (1999) sobre território-rede e território-zona. Concernente ao território-rede, o critério definidor é o grau de centralidade e comando que as cidades e suas funções exercem sobre o campo, sendo importante a mensuração dos diversos fluxos e redes intra e inter-regionais. Quanto ao território-zona ou de uso contínuo, entende-se pelos usos e atividades dominantes do espaço rural, incluindo também as grandes extensões do território delimitadas por legislação especial, como é o caso das Terras Indígenas e Unidades de Conservação, as quais possuem importância particular na Amazônia. A combinação dessas duas dimensões e metodologias permitiu ao IBGE a identificação de um total de 104 Regiões Rurais sobre o Brasil, conforme ilustra a Figura 4, designadas por uma ou mais cidades classificadas segundo sua importância na rede urbana brasileira, permitindo assim, de forma inédita e contemporânea, o retrato e leitura conjugada dos centros urbanos de importância local, regional e nacional. Para o desenvolvimento da presente pesquisa, adotou-se como área de estudo a Região Rural da Metrópole de Belém (RRB) destacada na Figura 4 com o código 1502, a qual engloba, basicamente, a porção nordeste do estado do Pará.

Figura 4 – Mapa do Projeto Regiões Rurais do Brasil, com o destaque para a RRB no Pará.



Fonte: IBGE (2015).

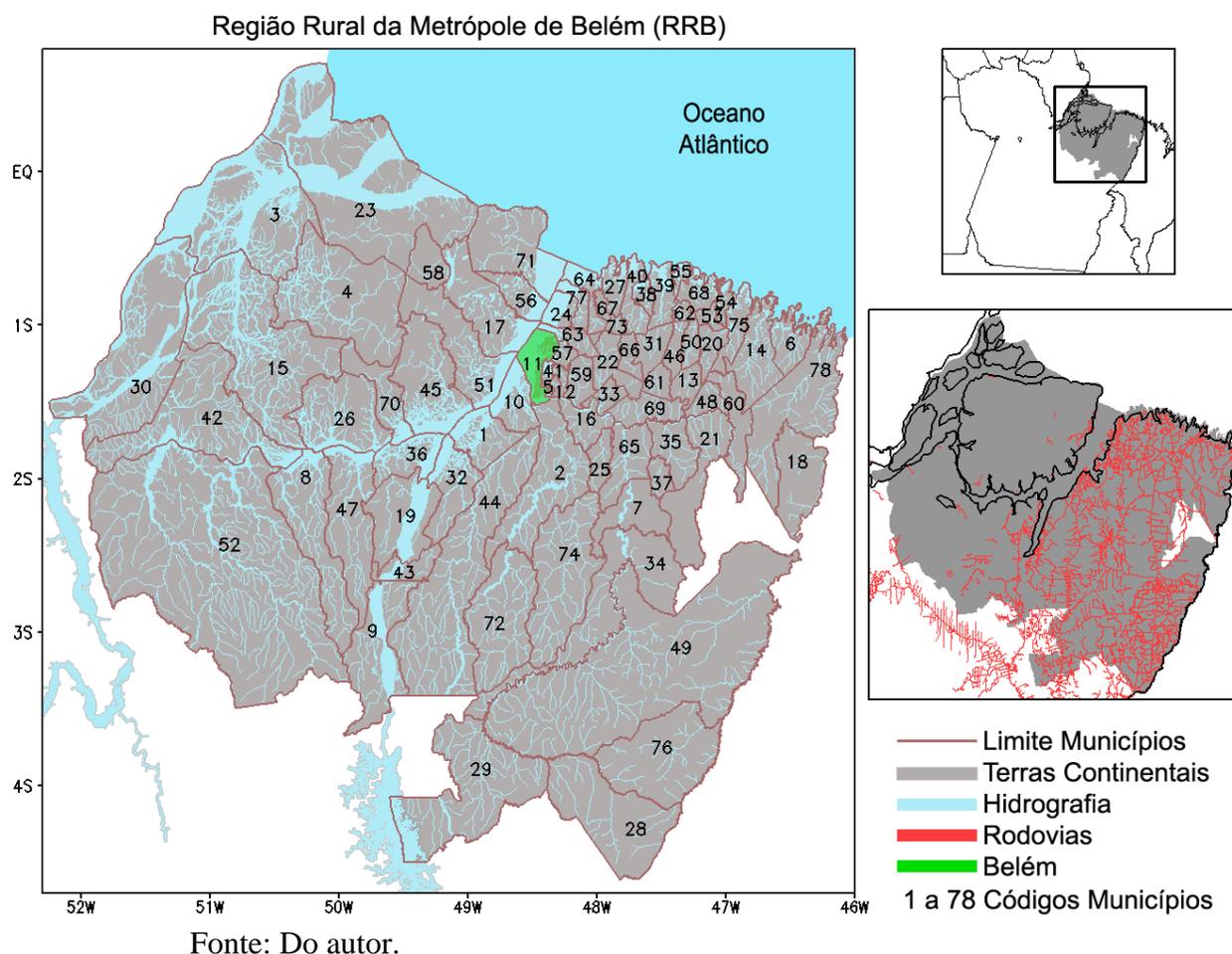
A Tabela 1 enumera os códigos e nomes dos municípios e a Figura 5 ilustra o mapa da área de estudo com a localização e domínio geográfico de um total de 78 municípios pertencentes à RRB. Observa-se a existência de uma extensa rede de drenagem hidrológica (Fig.5, linhas em azul) na região, sendo que, dentre os rios principais, citam-se: o alto curso do rio Amazonas na parte oeste da região, nos municípios de Gurupá (30), Breves (15) e Afuá (3); o alto curso do rio Tocantins na porção centro-sul da região, nos municípios de Baião (9), Mocajuba (43) e Cametá (19), e os rios Guamá, Acará e Capim que atingem grande parte dos municípios situados nas porções leste e nordeste da RRB. Exceto nas áreas a oeste (principalmente na ilha de Marajó), verifica-se uma ampla cobertura de rodovias (Fig. 5, linhas em vermelho no mapa menor à direita) interligando os municípios ao longo da RRB.

Tabela 1 –Listagem dos códigos e nomes dos municípios da Região Rural da Metrópole de Belém (RRB) no estado do Pará.

Código #	Nome município	Código #	Nome município	Código #	Nome município
1	Abaetetuba	27	Curuçá	53	Primavera
2	Acará	28	Dom Eliseu	54	Quatipuru
3	Afuá	29	Goianésia do Pará	55	Salinópolis
4	Anajás	30	Gurupá	56	Salvaterra
5	Ananindeua	31	Igarapé-Açu	57	Santa Bárbara do Pará
6	Augusto Corrêa	32	Igarapé-Miri	58	Santa Cruz do Arari
7	Aurora do Pará	33	Inhangapi	59	Santa Isabel do Pará
8	Bagre	34	Ipixuna do Pará	60	Santa Luzia do Pará
9	Baião	35	Irituia	61	Santa Maria do Pará
10	Barcarena	36	Limoeiro do Ajuru	62	Santarém Novo
11	Belém	37	Mãe do Rio	63	Santo Antônio do Tauá
12	Benevides	38	Magalhães Barata	64	São Caetano de Odivelas
13	Bonito	39	Maracanã	65	São Domingos do Capim
14	Bragança	40	Marapanim	66	São Francisco do Pará
15	Breves	41	Marituba	67	São João da Ponta
16	Bujaru	42	Melgaço	68	São João de Pirabas
17	Cachoeira do Arari	43	Mocajuba	69	São Miguel do Guamá
18	Cachoeira do Piriá	44	Moju	70	São Sebastião da Boa Vista
19	Cametá	45	Muaná	71	Soure
20	Capanema	46	Nova Timboteua	72	Tailândia
21	Capitão Poço	47	Oeiras do Pará	73	Terra Alta
22	Castanhal	48	Ourém	74	Tomé-Açu
23	Chaves	49	Paragominas	75	Tracuateua
24	Colares	50	Peixe-Boi	76	Ulianópolis
25	Concórdia do Pará	51	Ponta de Pedras	77	Vigia
26	Currálinho	52	Portel	78	Viseu

Fonte: Do autor.

Figura 5 –Mapa da área de estudo com a localização e domínio geográfico dos municípios pertencentes à Região Rural da MetrÓpole de Belém (RRB). Em verde destaca-se o município de Belém e os números de 1 a 78 indicam os municípios segundo os códigos e nomes listados na Tabela 1.



3.2.BASES DE DADOS

As informações agrícolas foram extraídas do acervo digital da Produção Agrícola Municipal (PAM) disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015). Utilizaram-se os dados contidos na Tabela 1612 da PAM – IBGE contendo as variáveis de área plantada, área colhida, quantidade produzida e valor da produção das lavouras temporárias correspondentes ao período de 1990 a 2014. As informações da PAM referem-se à primeira, segunda e terceira safra de acordo com a respectiva cultura, de forma que os dados são anuais, ou seja, dados do ano civil (período de doze meses). A Figura 6 ilustra os passos para obtenção das informações dentro do portal do IBGE, no Banco de Dados Agregados (www.sidra.ibge.gov.br), sendo que na opção acervo, encontra-se a Tabela 1612 referente às

lavouras temporárias. Dentro da Tabela, faz-se a seleção sobre o tipo de variável (área colhida, etc), tipo de lavoura (32 disponíveis), período de anos (25 anos disponíveis) e unidade territorial que para o presente trabalho, foram extraídos os dados da base estadual e também a base municipal (com os 143 municípios) do estado do Pará, conforme ilustrado na Figura 6. Posteriormente, foram selecionados somente os municípios contidos na área de estudo RRB.

Figura 6 – Ilustração da obtenção dos dados de produção agrícola municipal no portal do IBGE, com a opção para o Banco de Dados Agregados e Tabela 1612 das lavouras temporárias.

The screenshot displays the IBGE data portal interface. On the left, there is a navigation menu with options: 'Inicial', 'Opções', and 'Acervo'. The main content area is titled 'Banco de Dados Agregados' and includes a sub-menu 'Pesquisas, variáveis e tabelas'. Under this menu, 'Produção Agrícola Municipal' is selected, leading to a list of variables such as 'Área colhida', 'Área destinada à colheita', 'Área plantada', 'Quantidade produzida', 'Rendimento médio da produção', and 'Valor da produção'. A specific table is selected: 'Tabela 1612 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias - Ano 1990 a 2015'. On the right, a configuration panel for 'Tabela 1612' is shown, allowing for variable selection (e.g., 'Área colhida'), product selection (e.g., 'Mandioca'), year selection (2015), and territorial unit selection (Município: Em Pará(143)).

Fonte: Adaptado do site do IBGE pelo autor.

Os dados de precipitação consistem de médias mensais disponíveis numa grade sobre o Brasil com resolução de 0.5° (~ 55 km em latitude e longitude), os quais foram gerados através do sistema de análise de dados observacionais do Climate Prediction Center (CPC), pertencente à National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Estes dados foram gerados com base nos registros históricos das estações meteorológicas da rede nacional (Silva et al., 2007). Maiores detalhes sobre o controle de qualidade, técnica de análise objetiva e interpolação usados na geração destes dados podem ser encontrados em Chen et al. (2008). Estudos anteriores demonstraram a existência de correspondência alta entre o CPC e dados derivados de estações convencionais e estimativas de satélite (Silva et al., 2007), inclusive na Amazônia (De Souza et al., 2009). Com base nos dados do CPC, foram extraídas as médias mensais de precipitação correspondentes às áreas dos 78 municípios contidos na área de estudo da região rural do nordeste do Pará nos anos de 1990 a 2014.

Com a finalidade de se investigar os padrões oceânicos sobre o Oceano Pacífico e Atlântico, utilizou-se o conjunto de dados dispostos em pontos de grade de temperatura da superfície do mar (TSM) com resolução de 1° (~ 111 km² em latitude e longitude), o qual foi compilado por Reynolds et al. (2002). As variáveis atmosféricas consistem de dados de radiação de onda longa (ROL) emergente da superfície terrestre, os quais indicam a presença de atividade convectiva ou nebulosidade tropical (Liebmann e Smith, 1996). Utilizou-se também os dados de velocidade vertical (OMEGA) do conjunto de reanálise NCEP (Kaynalet al., 1996) disponíveis em oito níveis de pressão na vertical (850, 700, 600, 500, 400, 300, 250 e 200 hPa), os quais foram usados para analisar a configuração dos ramos ascendentes e descendentes da célula de Walker e Hadley. Os dados de ROL e OMEGA encontram-se disponíveis na resolução de 2,5° (~ 277 km² em latitude e longitude). Essas bases de dados oceânicos e atmosféricos estão no formato NetCDF e correspondem as médias mensais de janeiro de 1990 a dezembro de 2014.

A Tabela 2 mostra as informações técnicas principais da lavoura de mandioca nos municípios da RRB.

Tabela 2 – Informações técnicas da cultura de mandioca nos municípios de RRB.

Municípios	Época de plantio	Tipo de solo	Variedade	Tipo da área plantada	Adubo utilizado
Abaetetuba	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	Sem adubação
Acará	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	Sem adubação
Afuá	Dezembro e Junho	Áreas Protegidas	Crioula	Derruba e queima	
Anajás	Dezembro e Junho	Áreas Protegidas	Crioula	Derruba e queima	
Ananindeua	Dezembro e Junho	Área Urbana	Crioula	Derruba e queima	
Augusto Corrêa	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	Parcagem
Aurora do Pará	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	
Bagre	Dezembro e Junho	Floresta não Protegida	Crioula	Derruba e queima	
Baião	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	Sem adubação
Barcarena	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	Sem adubação
Belém	Dezembro e Junho	Área Urbana	Crioula	Derruba e queima	
Benevides	Dezembro e Junho	Área Urbana	Crioula	Derruba e queima	
Bonito	Dezembro e	Latossolo Amarelo	BRS	Área mecanizada/Semi-	Parcagem

	Junho		Poti/BRS Mari	mecanizada	
Bragança	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi- mecanizada	Parcagem
Breves	Dezembro e Junho	Áreas Protegidas	Crioula	Derruba e queima	
Bujaru	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	
Cachoeira do Arari	Dezembro e Junho	Áreas Protegidas	Crioula	Derruba e queima	
Cachoeira do Piriá	Dezembro e Junho	Plintossolo Argilúvico	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi- mecanizada	
Cametá	Dezembro e Junho	Plintossolo Argilúvico	Crioula	Derruba e queima	Sem adubação
Capanema	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi- mecanizada	Parcagem
Capitão Poço	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi- mecanizada	
Castanhal	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi- mecanizada	Cama de aviário
Chaves	Dezembro e Junho	Áreas Protegidas	Crioula	Derruba e queima	
Colares	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi- mecanizada	
Concórdia do Pará	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi- mecanizada	
Curralinho	Dezembro e Junho	Áreas Protegidas	Crioula	Derruba e queima	
Curuçá	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi- mecanizada	
Dom Eliseu	Outubro	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	
Goianésia do Pará	Outubro	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	
Gurupá	Dezembro e Junho	Floresta não Protegida	Crioula	Derruba e queima	
Igarapé-Açu	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi- mecanizada	Parcagem
Igarapé-Miri	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	Sem adubação
Inhangapi	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	
Ipixuna do Pará	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi- mecanizada	
Irituia	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi- mecanizada	
Limoeiro do Ajuru	Dezembro e Junho	Floresta não Protegida	Crioula	Derruba e queima	Sem adubação
Mãe do Rio	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS	Área mecanizada/Semi- mecanizada	

			Mari		
Magalhães Barata	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	
Maracanã	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	
Marapanim	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	
Marituba	Dezembro e Junho	Área Urbana	Crioula	Derruba e queima	
Melgaço	Dezembro e Junho	Floresta não Protegida	Crioula	Derruba e queima	
Mocajuba	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	Sem adubação
Moju	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	Sem adubação
Muaná	Dezembro e Junho	Áreas Protegidas	Crioula	Derruba e queima	
Nova Timboteua	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	Parcagem
Oeiras do Pará	Dezembro e Junho	Floresta não Protegida	Crioula	Derruba e queima	Sem adubação
Ourém	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	
Paragominas	Outubro	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	
Peixe-Boi	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	Parcagem
Ponta de Pedras	Dezembro e Junho	Áreas Protegidas	Crioula	Derruba e queima	
Portel	Dezembro e Junho	Floresta não Protegida	Crioula	Derruba e queima	
Primavera	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	Parcagem
Quatipuru	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	Parcagem
Salinópolis	Dezembro e Junho	Floresta não Protegida	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	
Salvaterra	Dezembro e Junho	Áreas Protegidas	Crioula	Derruba e queima	
Santa Bárbara do Pará	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	
Santa Cruz do Arari	Dezembro e Junho	Áreas Protegidas	Crioula	Derruba e queima	
Santa Isabel do Pará	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	
Santa Luzia do Pará	Dezembro e Junho	Argissolo Vermelho/Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	
Santa Maria do Pará	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	Parcagem

Santarém Novo	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	Parcagem
Santo Antônio do Tauá	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	
São Caetano de Odivelas	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	
São Domingos do Capim	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	
São Francisco do Pará	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	Parcagem
São João da Ponta	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	
São João de Pirabas	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	
São Miguel do Guamá	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	
São Sebastião da Boa Vista	Dezembro e Junho	Áreas Protegidas	Crioula	Derruba e queima	
Soure	Dezembro e Junho	Áreas Protegidas	Crioula	Derruba e queima	
Tailândia	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	Crioula	Derruba e queima	Sem adubação
Terra Alta	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	Calcário e Fertilizantes
Tomé-Açu	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	Calcário e Fertilizantes
Tracuateua	Dezembro e Junho	Plintossolo Argilúvico	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	Parcagem
Ulianópolis	Outubro	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	
Vigia	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	Calcário e Fertilizantes
Viseu	Dezembro e Junho	Latossolo Amarelo	BRS Poti/BRS Mari	Área mecanizada/Semi-mecanizada	

Fonte: (EMBRAPA, 2006; EMBRAPA, 2016; Modesto Junior et al, 2016)

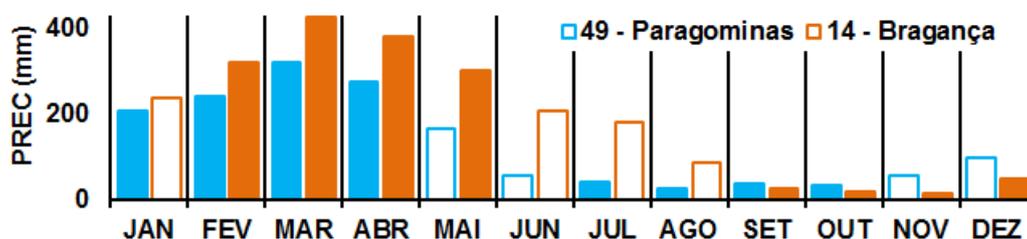
3.3.METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

3.3.1. Definição do regime chuvoso e regime seco

Com base nas séries de precipitação dos 78 municípios da área de estudo na RRB, foram calculadas as médias climatológicas (média 1990/2014) para janeiro, fevereiro, ..., dezembro e foi definido o quadrimestre do regime chuvoso (regime seco) para cada município como sendo o período de quatro meses consecutivos com registro dos valores máximos (mínimos) de precipitação ao longo do ano.

Como exemplo, a Figura 7 mostra a precipitação climatológica de janeiro a dezembro nos municípios 14 - Bragança e 49 - Paragominas. Verificam-se nas barras preenchidas a sequência de meses contendo valores máximos de precipitação, indicando que o regime chuvoso se estabelece de janeiro a abril (JFMA) em Paragominas e de fevereiro a maio (FMAM) em Bragança, enquanto que o regime seco ocorre de julho a outubro (JASO) em Paragominas e de setembro a dezembro (SOND) em Bragança. Este procedimento foi aplicado em todos os 78 municípios da RRB.

Figura 7 – Precipitação climatológica mensal dos municípios 14 - Bragança e 49 - Paragominas. As barras preenchidas indicam a ocorrência dos regimes chuvoso e seco.



Fonte: Do autor.

3.3.2. Seleção dos eventos climáticos no Pacífico e Atlântico

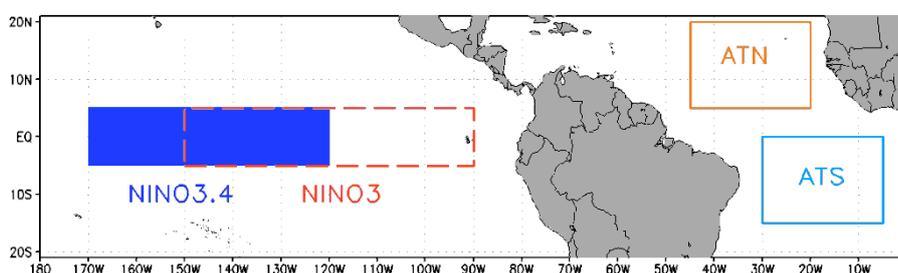
Para a seleção dos episódios de El Niño e La Niña sobre o Oceano Pacífico e das fases do Gradiente de TSM sobre o Oceano Atlântico, foram delimitadas as áreas oceânicas equatoriais do Pacífico central (Niño 3.4: 170°W-120°W/5°S-5°N) e Pacífico leste (Niño 3: 150°W-90°W/5°S-5°N), bem como da bacia tropical norte do Atlântico (ATN: 45°W-20°W/5°N-20°N) e bacia tropical sul do Atlântico (ATS: 30°W-5°W/16°S-1°S), conforme localizações geográficas ilustradas na Figura 8.

Para a seleção dos episódios El Niño e La Niña sobre o Pacífico, foram extraídas as séries temporais de TSM de 1990 a 2014 nas caixas Niño 3.4 e Niño 3 considerando as médias sazonais

de novembro do ano de formação do evento (ano 0) até fevereiro do ano seguinte (ano +1), em conformidade com estudos anteriores que demonstraram a ocorrência da fase madura do El Niño/La Niña durante o final do ano/início do ano posterior (Trenberth, 1997).

Por outro lado, para a seleção das fases do Gradiente de TSM no Atlântico, foram extraídas as séries temporais de TSM de 1990 a 2014 considerando as médias sazonais de fevereiro a maio, o qual é o período de maior frequência do modo gradiente sobre o Atlântico intertropical (Nobre e Shukla, 1996).

Figura 8 –Localização geográfica das áreas oceânicas sobre o Pacífico equatorial e sobre as bacias norte e sul do Atlântico, onde foram obtidas as médias espaciais de TSM.



Fonte: Do autor.

Em seguida, foram calculadas as anomalias padronizadas de TSM nas áreas Niño3.4 e Niño3 do Pacífico e ATN e ATS do Atlântico usando a expressão:

$$A_p = \frac{TSM_i - TSM_c}{\sigma TSM_c} \quad (1)$$

Sendo A_p a anomalia padronizada (em unidade de desvio padrão), TSM_i o valor de TSM sazonal num determinado ano i , TSM_c o valor médio climatológico e σTSM_c o desvio padrão médio climatológico, com o subscrito c correspondendo a média 1990/2014.

A Tabela 3 mostra os valores das A_p de TSM nas áreas Niño3.4, Niño3, ATN e ATS para os anos de 1990 a 2014. No caso do Atlântico, também foi calculada a diferença ATN-ATS, denominada de GRAD. Com base nos valores da Tabela 2, foram aplicados os seguintes critérios quantitativos para a seleção dos episódios do Pacífico:

- Os anos com a ocorrência concomitante de A_p positiva maior do que 0,5 desvio padrão no Niño3.4 e Niño3 (Pacífico central e leste) são considerados como episódios El Niño;
- Os anos com a ocorrência concomitante de A_p negativa menor do que -0,5 desvio padrão no Niño3.4 e Niño3 (Pacífico central e leste) são considerados como episódios La Niña.

Por outro lado, a partir dos valores da Tabela 3, foram definidos os seguintes critérios quantitativos para seleção dos eventos do Atlântico:

- Os anos com a ocorrência concomitante de A_p negativa no ATN(bacia norte) e positiva noATS (bacia sul) acompanhados de GRAD menorou igual a-0,6 desvio padrão são considerados como episódios do Gradiente de TSM apontando para o Atlântico sul (GrSul);
- Os anos com a ocorrência concomitante de A_p positiva no ATN(bacia norte) e negativa noATS (bacia sul) acompanhados de GRAD maiorou igual a0,6 desvio padrão são considerados como episódios do Gradiente de TSM apontando para o Atlântico norte (GrNorte).

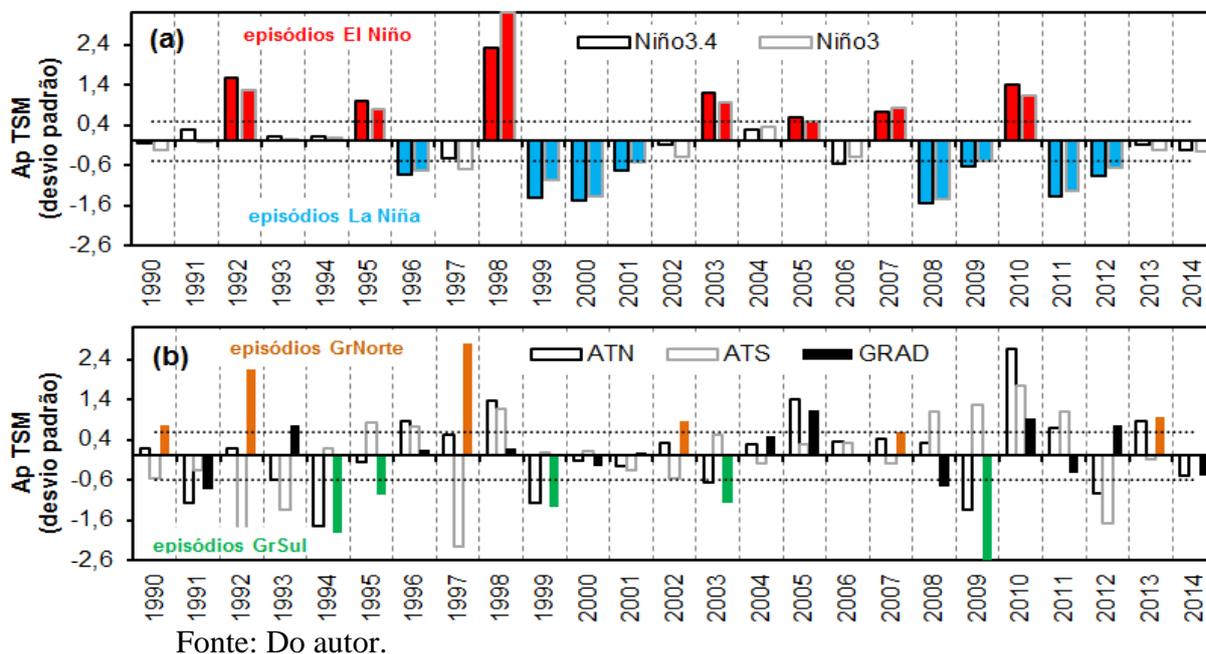
Os critérios mencionados acima permitiram a identificação objetiva de 07 episódios El Niño (anos 1992, 1995, 1998, 2003, 2005, 2007 e 2010), de 08 episódios La Niña (anos 1996, 1999, 2000, 2001, 2008, 2009, 2011, 2012), bem como de 06 eventos GrNorte (anos 1990, 1992, 1997, 2002, 2007, 2013) e de 05 eventos GrSul (anos 1994, 1995, 1999, 2003, 2009), conforme indicado na Tabela 3. A Figura 9 demonstra de forma gráfica as séries temporais de 1990 a 2014 das A_p de TSM nas áreas oceânicas e a identificação dos episódios El Niño e La Niña no Pacífico (Fig. 9a) e dos episódios GrNorte e GrSul do Atlântico (Fig. 9b).

Tabela 3 –Anomalias padronizadas A_p de TSM de FMAM nas regiões NATLA e SATLA e GRAD (diferença norte-sul) nos anos de 1990 a 2014. Unidade: desvio padrão.

	Oceano Pacífico: NDJF			Oceano Atlântico: FMAM			
	Niño3.4	Niño3	Episódio	ATN	ATS	GRAD	Episódio
1990	-0,1	-0,2		0,2	-0,5	0,7	GrNorte
1991	0,3	0,0		-1,2	-0,3	-0,8	
1992	1,6	1,3	El Niño	0,2	-1,9	2,1	GrNorte
1993	0,1	0,0		-0,6	-1,3	0,8	
1994	0,1	0,1		-1,7	0,2	-1,9	GrSul
1995	1,0	0,8	El Niño	-0,2	0,8	-1,0	GrSul
1996	-0,8	-0,7	La Niña	0,9	0,7	0,1	
1997	-0,4	-0,7		0,5	-2,3	2,8	GrNorte
1998	2,3	3,2	El Niño	1,4	1,2	0,2	
1999	-1,4	-1,0	La Niña	-1,2	0,1	-1,3	GrSul
2000	-1,5	-1,4	La Niña	-0,1	0,1	-0,2	
2001	-0,7	-0,5	La Niña	-0,3	-0,4	0,1	
2002	-0,1	-0,4		0,3	-0,5	0,9	GrNorte
2003	1,2	1,0	El Niño	-0,7	0,5	-1,2	GrSul
2004	0,3	0,4		0,3	-0,2	0,5	
2005	0,6	0,5	El Niño	1,4	0,3	1,1	
2006	-0,6	-0,4		0,3	0,3	0,0	
2007	0,7	0,8	El Niño	0,4	-0,2	0,6	GrNorte
2008	-1,6	-1,4	La Niña	0,3	1,1	-0,8	
2009	-0,6	-0,5	La Niña	-1,3	1,3	-2,6	GrSul
2010	1,4	1,1	El Niño	2,7	1,7	0,9	
2011	-1,4	-1,2	La Niña	0,7	1,1	-0,4	
2012	-0,9	-0,7	La Niña	-0,9	-1,7	0,7	
2013	-0,1	-0,2		0,9	-0,1	1,0	GrNorte
2014	-0,2	-0,3		-0,5	0,0	-0,5	

Fonte: Do autor.

Figura 9 – Séries temporais de 1990 a 2014 das anomalias padronizadas Ap de TSM para (a) Niño3.4 e Niño3 e (b) ATN, ATS e GRAD. Nas barras preenchidas destacam-se os episódios El Niño e LaNiña do Pacífico e os episódios GrNorte e GrSul do Atlântico.



3.3.3. Técnica de composições

De posse da relação dos anos de ocorrência dos eventos El Niño e LaNiña e das fases GrNorte e GrSul (Tabela 2), foram montadas as composições (média de todos os anos de ocorrência de cada fenômeno climático do Pacífico e Atlântico) das variáveis oceânicas e atmosféricas (análise da estrutura dinâmica de grande escala) e da precipitação nos municípios da área de estudo. As composições das anomalias de TSM e ROL foram plotadas no plano horizontal (latitude x longitude). Para a velocidade vertical OMEGA foram calculados e plotados os cortes verticais no plano zonal/vertical (longitude x níveis de pressão na vertical) referente à circulação troposférica leste/oeste associada à célula de Walker (média entre 5°S-5°N), bem como no plano meridional/vertical (latitude x níveis de pressão na vertical) referente à circulação troposférica norte-sul associada à célula de Hadley (média entre 60°W-45°W). Nas análises de composições foi aplicado o teste-T de Student para ressaltar as anomalias que apresentam significância estatística ao nível de 90%.

3.3.4. Percentis de precipitação

A técnica dos percentis foi empregada nos dados de precipitação dos municípios da RRB, com a finalidade de se estabelecer a categorização por classes ou faixas de intensidade de precipitação, conforme metodologia descrita em Xavier (1999). Assim, para uma dada série temporal de precipitação do regime chuvoso colocada de forma crescente $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, sendo x_1 o menor valor e x_N o maior valor da série, com N sendo o tamanho da amostra (igual a 25, anos de 1990 a 2014), foram calculados os valores de precipitação para as ordens quantílicas p_{15} , p_{35} , p_{65} e p_{85} . Em seguida, foi determinada a categoria da precipitação para um determinado ano i ($i = 1990$ a 2014), de acordo com os critérios estabelecidos na Tabela 4.

Tabela 4 – Critérios de categorização da precipitação pelo método dos percentis.

Classe ou Categoria de Precipitação	<i>Critério de categorização</i>
Muito Abaixo	$x_i \leq p_{0,15}$
Abaixo	$p_{0,15} < x_i \leq p_{0,35}$
Normal	$p_{0,35} < x_i < p_{0,65}$
Acima	$p_{0,65} \leq x_i < p_{0,85}$
Muito Acima	$x_i \geq p_{0,85}$

Fonte: Do autor.

Como exemplo, a Figura 10 mostra a aplicação do método dos percentis para a série de precipitação do regime chuvoso no município de Oeiras do Pará. Os valores dos percentis obtidos para o período 1990 a 2014 foram $p_{15} = 1223$, $p_{35} = 1432$, $p_{65} = 1667$ e $p_{85} = 1828$, sendo que, com base nos critérios definidos na Tabela 3, obtém-se para cada ano i a precipitação categorizada, cujos valores indicam: 2 = Muito Acima, 1 = Acima, 0 = Normal, -1 = Abaixo e -2 = Muito Abaixo.

Figura 10 – Ilustração da aplicação do método dos percentis na série de precipitação do regime chuvoso em Oeiras do Pará.

	Precipitação do regime chuvoso	Precipitação categorizada							
1990	1386	-1							
1991	1696	1							
1992	1376	-1							
1993	1811	1							
1994	2294	2							
1995	1786	1							
1996	1623	0							
1997	1333	-1							
1998	1426	-1							
1999	1653	0							
2000	2114	2							
2001	1817	1							
2002	1668	1							
2003	1771	1							
2004	1928	2							
2005	1165	-2							
2006	1609	0							
2007	1424	-1							
2008	1544	0							
2009	1522	0							
2010	1035	-2							
2011	1609	0							
2012	1228	-1							
2013	1484	0							
2014	1178	-2							

Ordem quantílica:	0,15	0,35	0,65	0,85
Valor climatológico:	p15 = 1223	p35 = 1432	p65 = 1667	p85 = 1828

Classes ou categorias:

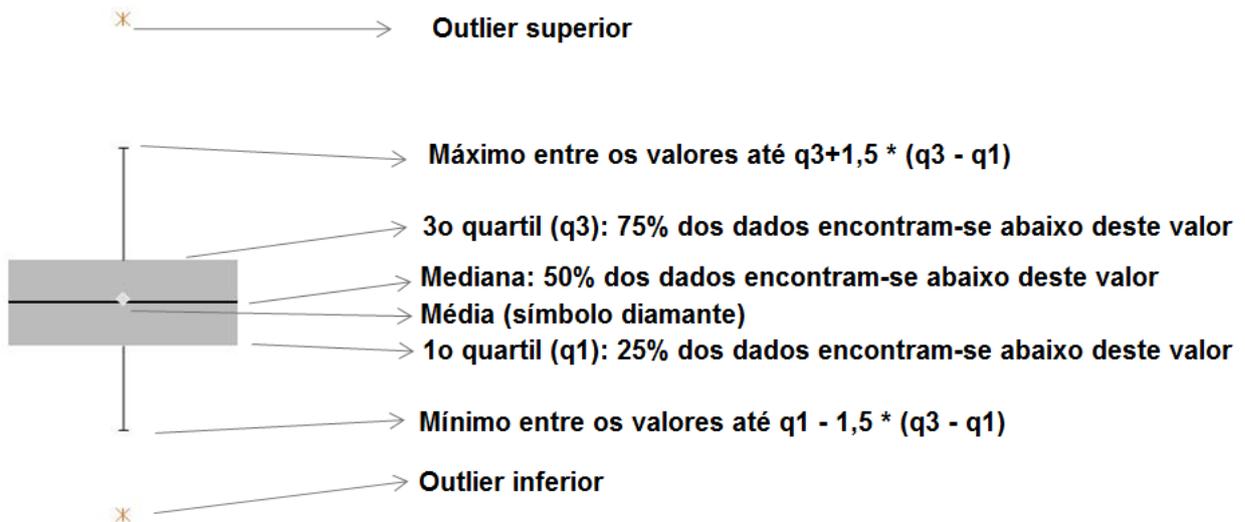
	Muito Acima
	Acima
	Normal
	Abaixo
	Muito Abaixo

Fonte: Do autor.

3.3.5. Diagramas de caixa (Box-plot)

O Box-plotum gráfico utilizado para avaliar a distribuição empírica de uma série de dados quantitativos, permitindo a identificação dos valores típicos (média e mediana), aassimetria, a dispersão e os dados discrepantes, conforme ilustra a Figura 11. 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): umarepresenta a “distância” entre a mediana e o q1 e o outra a “distância entre o q3a mediana. A partir dos valores de q1 e q3 são desenhadas linhas verticaisaté os últimos valores não discrepantes, tantoabaixo 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.

Figura 11 – Ilustração do diagrama boxplot e as informações associadas.



Fonte: Do autor.

3.3.6. Correlações de Spearman

O coeficiente de correlação de Spearman é uma medida de correlação não-paramétrica para estimar a intensidade da relação entre variáveis ordinais, em que ao invés do valor observado usa-se a ordem das observações. O cálculo não é sensível a assimetrias na distribuição e nem à presença de outliers, não exigindo que os dados provenham de duas populações normais. Nos casos em que os dados não formam uma nuvem “bem comportada”, com alguns pontos muito afastados dos restantes, ou em que parece existir uma relação crescente ou decrescente em formato de curva, o coeficiente de Spearman é mais apropriado. Uma expressão para calcular o coeficiente ρ de Spearman é dada por:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n^3 - n} \quad (2)$$

Em que n é o número de pares (x_i, y_i) e $d_i = (\text{postos de } x_i \text{ dentre os valores de } x) - (\text{postos de } y_i \text{ dentre os valores de } y)$. Se os postos de x são exatamente iguais aos pontos de y , então todos os d_i serão zero e ρ será 1. O coeficiente varia entre -1 e 1. Quanto mais próximo de 1 ou -1 maior será a associação entre as variáveis, sendo que o sinal positivo indica que as variáveis oscilam na mesma direção, e o sinal negativo indica as variáveis em sentido contrário.

3.3.7. Procedimentos estatísticos adotados para análise dos impactos do clima no rendimento da mandioca

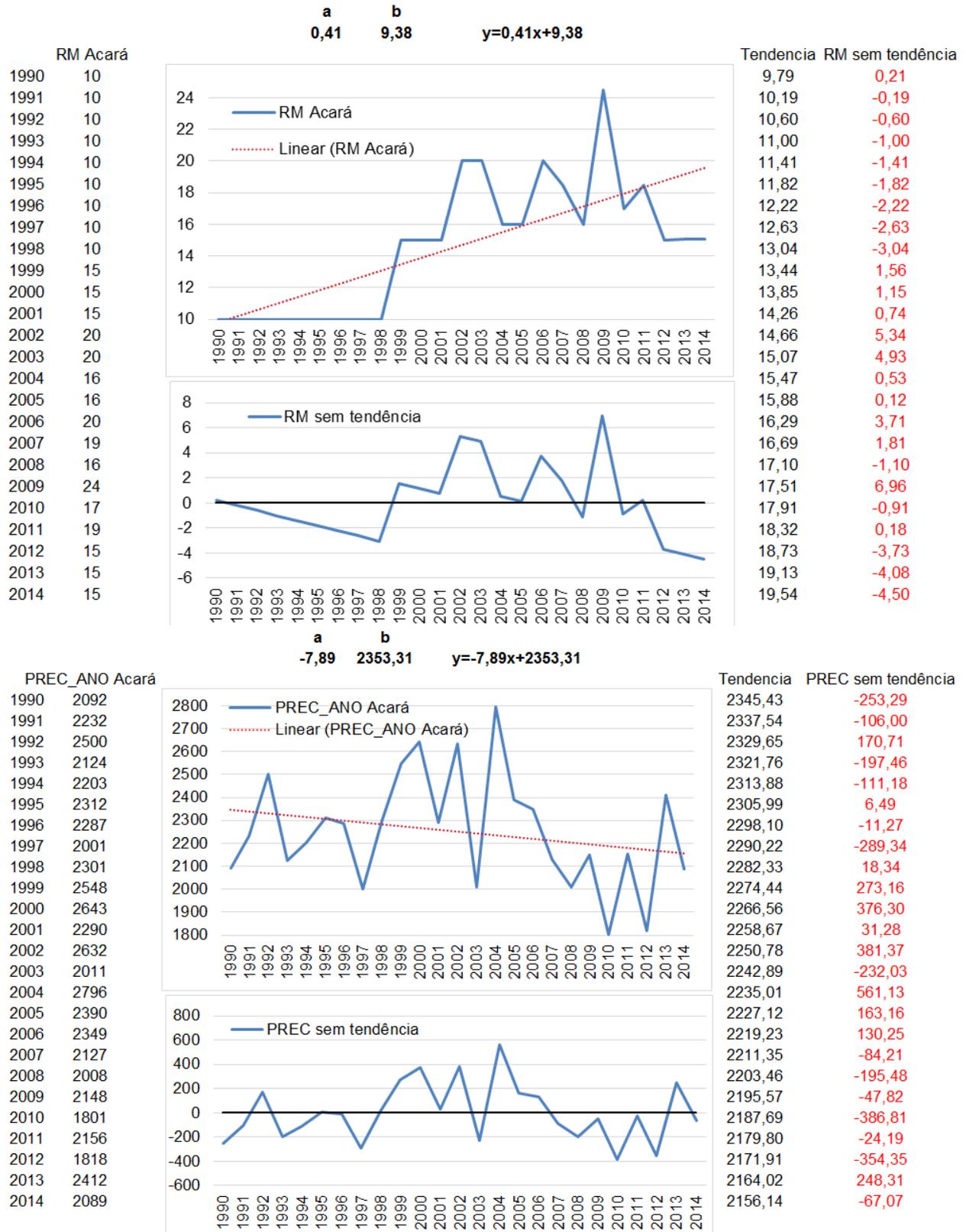
Os procedimentos estatísticos adotados para as análises dos impactos são detalhados a seguir.

Para cada município têm-se os seguintes dados: quantidade produzida (QP), área colhida (AC) e rendimento médio (RM) expresso pela razão entre QP e AC, bem como a precipitação anual (PREC_ANO) e a precipitação do regime chuvoso (PREC_CHU+) e do regime menos chuvoso (PREC_CHU-).

Uma inspeção preliminar indicou que as séries de dados de RM da mandioca apresentam, em geral, uma tendência de aumento da produtividade ao longo dos anos, a qual, em geral, se associa aos aspectos tecnológicos de melhoria do material genético mais adaptado ao solo e implementação de melhorias nas técnicas de manejo (Berlatoet al., 2005).

Com a finalidade de se remover a tendência tecnológica das séries temporais de RM da mandioca em cada município, foi calculada a linha de tendência linear dos dados no período de 1990 a 2014 e em seguida os valores originais em cada ano são subtraídos dos respectivos valores da linha de tendência, conforme formulação descrita em Raffalovich (1994). Este procedimento também foi aplicado aos dados de PREC_ANO, PREC_CHU+ e PREC_CHU-. A Figura 11 ilustra o método de remoção da tendência tecnológica nos dados de RM da mandioca no município de Acará.

Figura 12 – Ilustração da remoção da tendência tecnológica nos dados de 1990 a 2014 para o RM (gráficos acima) da mandioca e da PREC_ANO (gráficos abaixo) no município de Acará.



Fonte: Do autor.

De posse das séries temporais sem tendência, foram calculadas as correlações de Spearman entre RM e PREC_ANO, RM e PREC_CHU+ e RM e PREC_CHU-, com o objetivo de avaliar as relações significantes entre o clima regional e o rendimento da cultura da mandioca. Os resultados são enfatizados para os municípios que apresentaram correlações estatisticamente significantes ao nível de 0,10 e 0,05. Para esses municípios serão plotados os gráficos de dispersão entre PREC e RM da mandioca.

Foram calculados os valores de $RM_{\text{médio}}$ e $PREC_{\text{médio}}$, sendo médio a média climatológica do período de 1990 a 2014.

Optou-se por analisar os impactos do clima nos anos definidos como anos climáticos extremos positivos ($AC+$) definidos pela ocorrência dos episódios La Nina e GrSul. De maneira oposta, os anos climáticos extremos negativos ($AC-$) são definidos pela ocorrência de El Niño e GrNorte. Em seguida, foram calculados os valores de RM_{AC-} e $PREC_{AC-}$ e também RM_{AC+} e $PREC_{AC+}$.

De posse de todos os cálculos acima, foram definidos os critérios de avaliação de impacto do clima no rendimento da lavoura temporária de mandioca nos municípios da RRB, levando em conta os valores e sinais das correlações significantes, e os valores anômalos de precipitação e rendimento da mandioca nos anos climáticos extremos, conforme detalhes da Tabela 5.

Tabela 5 – Critérios adotados nas análises de impacto do clima no rendimento da mandioca.

Evento climático	Critério correlação (CORREL)	Critério anomalia do rendimento médio (RM)	Tipo de impacto
$AC-$	$CORREL \geq 0,26$	$RM_{ac-} < 0$	Desfavorável (negativo)
(El Niño e GrNorte)	$CORREL \leq -0,26$	$RM_{ac-} > 0$	Favorável (positivo)
$AC+$	$CORREL \geq 0,26$	$RM_{ac+} > 0$	Favorável (positivo)
(La Niña e GrSul)	$CORREL \leq -0,26$	$RM_{ac+} < 0$	Desfavorável (negativo)

Fonte: Do autor.

Os critérios acima asseguram que as análises de impactos possuem robustez com base em diferentes métodos estatísticos (correlações, anomalias das composições em anos climáticos extremos) analisados de forma integrada.

3.3.8. Cointegração

Para a análise de uma possível relação de longo prazo entre as séries temporais das precipitações e rendimento da mandioca no período de 1994 a 2014, foi utilizada a análise de cointegração. A cointegração em séries temporais é bastante utilizada em séries econômicas, pois possibilitam estudar e analisar relações estruturais entre as séries envolvidas. Para determinar se duas ou mais séries temporais são cointegradas é necessário que algumas hipóteses sejam verificadas:

- As duas séries são não estacionárias de ordem I(1);
- Existe pelo menos uma combinação linear das séries temporais a qual o resíduo da regressão entre elas é estacionário.

Com essas hipóteses satisfeitas dizemos que existe uma relação de cointegração nas séries temporais envolvidas.

De forma resumida, para se avaliar se existe uma relação de cointegração entre duas séries Y_t e X_t devemos testar se os resíduos são estacionários. Assim, assumindo que Y_t e X_t são integráveis de ordem 1, I(1), ou seja, com uma diferença se tornam estacionários. O seguinte procedimento pode ser realizado:

1. Rodar a regressão $Y_t = \alpha + \beta X_t + \varepsilon_t$ (3)
2. Testar se ε_t é I(0) ou I(1).

Se ε_t for I(1) (não estacionário) então X_t e Y_t não são cointegrados. Porém, se ε_t for I(0) (estacionário) não podemos rejeitar a hipótese de que X_t e Y_t são cointegrados.

3.3.9. Métodos estatísticos aplicados à análise espacial da precipitação e rendimento da mandioca

Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE)

A AEDE é uma tarefa preliminar na determinação das análises estatísticas mais sofisticadas (Anselin, 1995, 1996; Almeida, 2012). A AEDE pode ser utilizada sempre que as informações estiverem espacialmente localizadas e quando for preciso levar em conta, explicitamente, a importância do arranjo espacial dos fenômenos na análise ou na interpretação de resultados desejados (Bailey e Gattrel, 1995). A AEDE caracteriza-se por uma coleção de técnicas que tem como objetivo descrever e visualizar distribuições espaciais, identificar localidades atípicas (outliers espaciais), descobrir padrões de associação espacial (clusters espaciais) e verificar a existência de diferentes regimes espaciais ou outras formas de instabilidade espacial (não estacionariedade) (Anselin, 1995). A AEDE se preocupa em avaliar

se há alguma forma de associação espacial entre áreas geográficas. Segundo Almeida (2012), o primeiro passo nesse estudo é testar a hipótese de que os dados espaciais sejam distribuídos aleatoriamente. Intuitivamente, aleatoriedade espacial significa que os valores de um atributo numa região não dependem dos valores deste atributo nas regiões vizinhas.

De acordo com Gonçalves (2005), métodos convencionais, como regressões múltiplas e inspeção visual de mapas, não são formas mais adequadas de lidar com dados georeferenciados, pois não são confiáveis para detectar agrupamentos e padrões espaciais significativos. Portanto, a AEDE é a análise mais apropriada na investigação de variáveis espacialmente densas ou intensivas, ou seja, variáveis que são divididas por algum indicador de intensidade, variáveis por área, por exemplo, (Almeida, 2012).

Entre os vários métodos pode-se distinguir basicamente: aqueles que são essencialmente voltados à visualização dos dados espaciais; aqueles que são exploratórios, investigando e resumindo relações e padrões mapeados e ainda aqueles que contam com a especificação de um modelo estatístico e a estimação de parâmetros. Essas técnicas podem ser univariadas ou multivariadas. As univariadas empregam ferramentas como histogramas, mapas, estimativas de densidade e boxplots, enquanto nas técnicas multivariadas poderão ser empregadas as matrizes de dispersão, gráficos ligados aos mapas (linkedplots), gráficos de coordenadas paralelas, etc.

A dependência espacial é uma característica inerente à representação de dados através de subdivisões territoriais. Ela pode ser entendida como a tendência a que o valor de uma variável associada a uma determinada localização assemelhe-se mais ao valor de suas amostras vizinhas do que ao restante das localizações do conjunto amostral. O conceito de vizinhança adotado pode ser formulado com base na propriedade de proximidade (zonas fronteiriças, distancia linear, etc.), como também na conectividade (tempo de viagem, número de viagens, etc.). A dependência espacial pode ser analisada tanto em termos globais, utilizando-se o índice de Moran, quanto em termos locais, empregando-se o índice de Moran local (Local Indicator of Spatial Association – Lisa). Na análise global, ter-se-á um resultado da associação espacial dos dados de uma região como um todo. Na local, serão obtidas estatísticas que indicam a dependência de cada localidade em relação à situação média de uma vizinhança definida a priori (Anselin, 1995).

Autocorrelação Espacial Global

A dependência espacial pode ser medida de diferentes formas. A estatística mais difundida é o Índice Global de Moran (Moran, 1948) e mede a autocorrelação espacial a partir do produto dos desvios em relação a média. Este índice é uma medida global da autocorrelação espacial, pois indica o grau de associação espacial presente no conjunto de dados. Considerando que o

processo estocástico é estacionário de segunda ordem, o índice global de Moran ou a estatística I de Moran univariada é formalmente definida como:

$$I_{kl} = \frac{z_k' W z_l'}{z_k' z_k} \text{ ou } I_{kl} = \frac{z_k' W z_l'}{n} \quad (4)$$

Onde

$z_k = [Y_k - \mu_k] / \sigma_k$ é a variável em estudo padronizada (com média, $\mu = 0$ e desvio padrão, $\sigma_k = 1$) em uma localização particular k

$z_l = [Y_l - \mu_l] / \sigma_l$ é, da mesma forma, a variável em outra localização l (onde $k \neq l$).

A variável de ponderação W é uma matriz de continuidade. Se a zona k é adjacente (toca) à zona l , a interação recebe um peso igual a 1. Caso contrário, a interação recebe um peso igual a zero. E n é o número de observações. No presente trabalho, as análises são referentes à precipitação pluviométrica e ao rendimento médio da mandioca a nível municipal, tem-se que Z (chuva ou rendimento médio) é um vetor de n (municípios) observações da variável de interesse. Segundo Anselin (1995), a matriz W conterá as informações referentes à dependência espacial entre as regiões .

De uma forma geral, o índice de Moran presta-se a um teste cuja hipótese nula é de independência espacial. Nesse caso, seu valor seria zero. Significaria que os valores de I variam aleatoriamente no espaço, sem nenhuma estruturação espacial, caso contrário, existe autocorrelação espacial. Se I for positivo significa que as regiões vizinhas possuem valores semelhantes, enquanto se I for negativo implica que as regiões vizinhas tendem a ter valores diferentes. Quanto mais próximo de $|1|$, mais forte é a autocorrelação espacial (Upton et al., 1985; Waller et al., 2004).

Uma indicação de autocorrelação espacial *positiva* revela que há uma *similaridade* entre os valores do atributo estudado e da localização espacial do atributo. Uma indicação de autocorrelação espacial *negativa* revela, por sua vez que há uma *dissimilaridade* entre os valores do atributo estudado e da localização espacial do atributo. Entretanto, ao contrário do coeficiente de correlação, o valor teórico do índice I não é igual à zero para a falta de dependência espacial, mas é, por outro lado, um número negativo muito próximo de zero, dado por:

$$E(I) = -\frac{1}{n-1} \quad (5)$$

Valores de I acima da média teórica, $E(I)$, indicam autocorrelação espacial positiva, enquanto valores de I abaixo da média teórica, indicam autocorrelação espacial negativa. Este conceito de autocorrelação espacial mensura em que medida o valor de uma variável observada em uma dada unidade geográfica apresenta uma associação sistemática (não aleatória) com o valor da variável observada nas localidades vizinhas. Em outras palavras, testa-se a existência de associação linear entre o valor da variável no local i , (z_k^i) e o correspondente “intervalo espacial” (spatiallag) para a mesma variável, $[W_{zz}]^i$. Neste caso, a padronização através das linhas da matriz de peso espacial permite uma interpretação do “intervalo espacial” como sendo uma média dos valores vizinhos.

Sua generalização multivariada pode ser definida como :

$$I_{kl}^i = z_k^i W_{ij} z_l^j \quad (6)$$

Com as mesmas notações usadas anteriormente. Esta estatística fornece uma indicação do grau de associação linear (positiva ou negativa) entre o valor de uma variável em dada localidade i e a média de uma outra variável nas localidades vizinhas. Depois de calculado o índice de Moran, é importante estabelecer sua validade estatística. Ou seja, é necessário medir se os valores aferidos possuem uma correlação espacial significativa. Para tanto, é preciso associar ao índice uma distribuição estatística, sendo comum relacionar a estatística do teste à distribuição normal.

Diagrama de Dispersão de Moran

O diagrama de dispersão de Moran é uma das formas de interpretar a estatística I de Moran (Anselin, 1996; Almeida, 2012). Em outras palavras, é uma representação do coeficiente de regressão e permite visualizar a correlação linear entre z e Wz através do gráfico de duas variáveis. No caso específico da estatística I de Moran tem-se o gráfico de Wz e z . Portanto, o coeficiente I de Moran será a inclinação da curva de regressão de Wz contra z e esta inclinação indicará o grau de ajustamento. O diagrama de dispersão de Moran é dividido em quatro quadrantes, conforme ilustra a Figura 13, sendo que os mesmos correspondem a quatro padrões de associação local espacial entre as regiões e seus vizinhos.

O primeiro quadrante (localizado na parte superior direita) mostra as regiões que apresentam altos valores para a variável em análise (e.g. valores acima da média) cercada por regiões que também apresentam valores acima da média para a variável em análise. Este quadrante é classificado como alto-alto (AA) (high-high - HH).

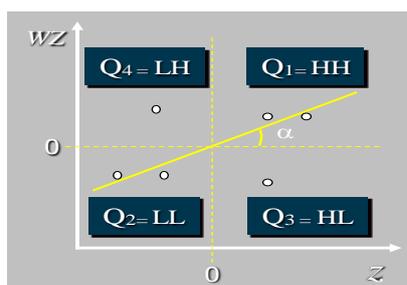
O segundo quadrante (localizado na parte superior esquerda) mostra as regiões com valores baixos cercados por vizinhos que apresentam valores altos. Este quadrante é geralmente classificado como baixo-alto (BA) (low-high – LH).

O terceiro quadrante (localizado no canto inferior esquerdo) é constituído pelas regiões com valores baixos para as variáveis em análise cercados por vizinhos que também apresentam baixos valores. Este quadrante é classificado como baixo-baixo (BB) (low-low – LL).

O quarto quadrante (localizado no canto inferior direito) é formado pelas regiões com altos valores para as variáveis em análise cercados por regiões com baixos valores. Este quadrante é classificado como alto-baixo (AB) (high-low – HL).

As regiões que estão localizadas nos quadrantes AA e BB apresentam autocorrelação espacial positiva, ou seja, estas regiões formam clusters de valores similares. Por outro lado, os quadrantes BA e AB apresentam autocorrelação espacial negativa, ou seja, estas regiões formam clusters com valores diferentes.

Figura 13 – Diagrama de dispersão de Moran.



Fonte: verificar.

Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA)

Como visto anteriormente, os indicadores globais de autocorrelação espacial, como é o caso do índice de Moran, fornecem um único valor como medida da associação espacial para todo o conjunto de dados. A hipótese testada é a de que não existe correlação espacial.

Esse índice é útil na caracterização da região de estudo como um todo, mas, quando se trata de um grande número de áreas, é possível que ocorram vários regimes de associação espacial e que apareçam máximos locais de autocorrelação espacial, em que a dependência espacial é ainda mais pronunciada (Druckert al., 2004).

Sendo assim, convém examinar esses padrões detalhadamente. Uma maneira de fazê-lo é utilizar indicadores de associação espacial que possam ser associados a diferentes localizações de uma variável distribuída espacialmente (Druckert al., 2004).

Esses indicadores locais produzem um valor específico para cada área, permitindo a identificação de agrupamentos de objetos com valores de atributos semelhantes (clusters), objetos anômalos (outliers) e de mais de um regime espacial.

De acordo com Anselin (1995), um indicador local de associação espacial (LISA) é qualquer estatística que satisfaça dois requisitos: o LISA forneça uma indicação da extensão dos agrupamentos espaciais significativos de valores semelhantes em torno de uma observação, e a soma dos LISAs para todas as observações é proporcional a um indicador global de associação espacial.

Dentre os LISAs mais difundidos está o índice Local de Moran, onde as contribuições individuais de cada observação podem ser estimadas através da equação abaixo:

$$I_i = Z_i \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} Z_j}{\sum_{j=1}^n Z_j^2} \quad (7)$$

onde

$z_i = [Y_i - \mu_i] / \sigma_i$ é a variável em estudo padronizada (com média, $\mu = 0$ e desvio padrão, $\sigma_k = 1$) em uma localização particular i .

$z_j = [Y_j - \mu_j] / \sigma_j$ é, da mesma forma, a variável em outra localização l (onde $i \neq j$).

A significância estatística do uso do índice de Moran local pode ser computada da mesma forma como se fez para o índice global. Para cada área, calcula-se o índice local e permuta-se aleatoriamente o valor das demais áreas, até se obter uma pseudodistribuição para a qual se possam computar os parâmetros de significância. Uma vez determinada a significância estatística do índice local de Moran, é útil gerar um mapa que indique as regiões que apresentam correlação local significativamente diferente daquela do resto dos dados. Essas regiões podem ser vistas como “bolsões” de não estacionariedade, pois são áreas com dinâmica espacial própria e que merecem análise detalhada (Queiroz et al., 2009).

4 – RESULTADOS

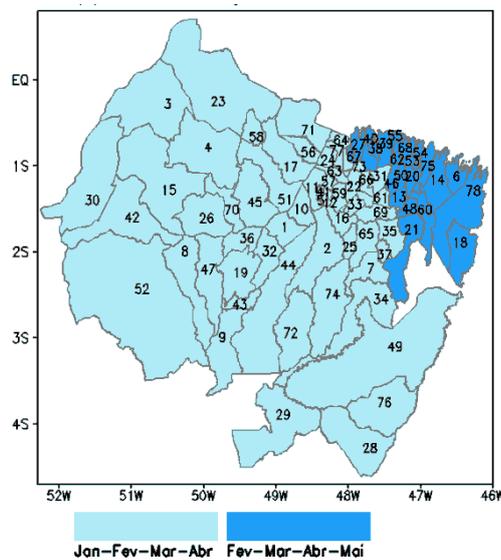
4.1. MODULAÇÃO DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO NO REGIME CHUVOSO EM ESCALA MUNICIPAL NO NORDESTE DO PARÁ

Nesta secção apresentam-se os resultados da caracterização climatológica da precipitação observada no período chuvoso da RRB e, em seguida, descrevem-se os padrões dinâmicos tropicais associados aos episódios El Niño e La Niña do Pacífico e das fases GrNorte e GrSuldo Atlântico e as respectivas modulações no regime chuvoso na escala dos municípios da RRB.

4.1.1. Precipitação climatológica

A Figura 14 mostra a identificação do quadrimestre de ocorrência do regime chuvoso, o qual na maior parte dos municípios da RRB acontece nos meses de janeiro a abril (áreas em azul claro), exceto na porção litorânea no extremo nordeste, a partir de Curuçá (27) até Viseu (78), onde o regime chuvoso prevalece nos meses de fevereiro a maio (áreas em azul escuro).

Figura 14 – Quadrimestre de ocorrência do regime chuvoso nos municípios da RRB.



Fonte: Do autor.

Considerando os respectivos quadrimestres do período chuvoso em cada município, os valores climatológicos dos limiares de precipitação para os percentis p15, p35, p65 e p85 obtidos no período de 1990 a 2014 são mostrados na Tabela 6 e também são plotados espacialmente na Figura 15. Analisando os valores da Tabela 3 juntamente com o mapa de distribuição espacial da Figura 15, nota-se a presença de alta variabilidade da precipitação climatológica ao longo da

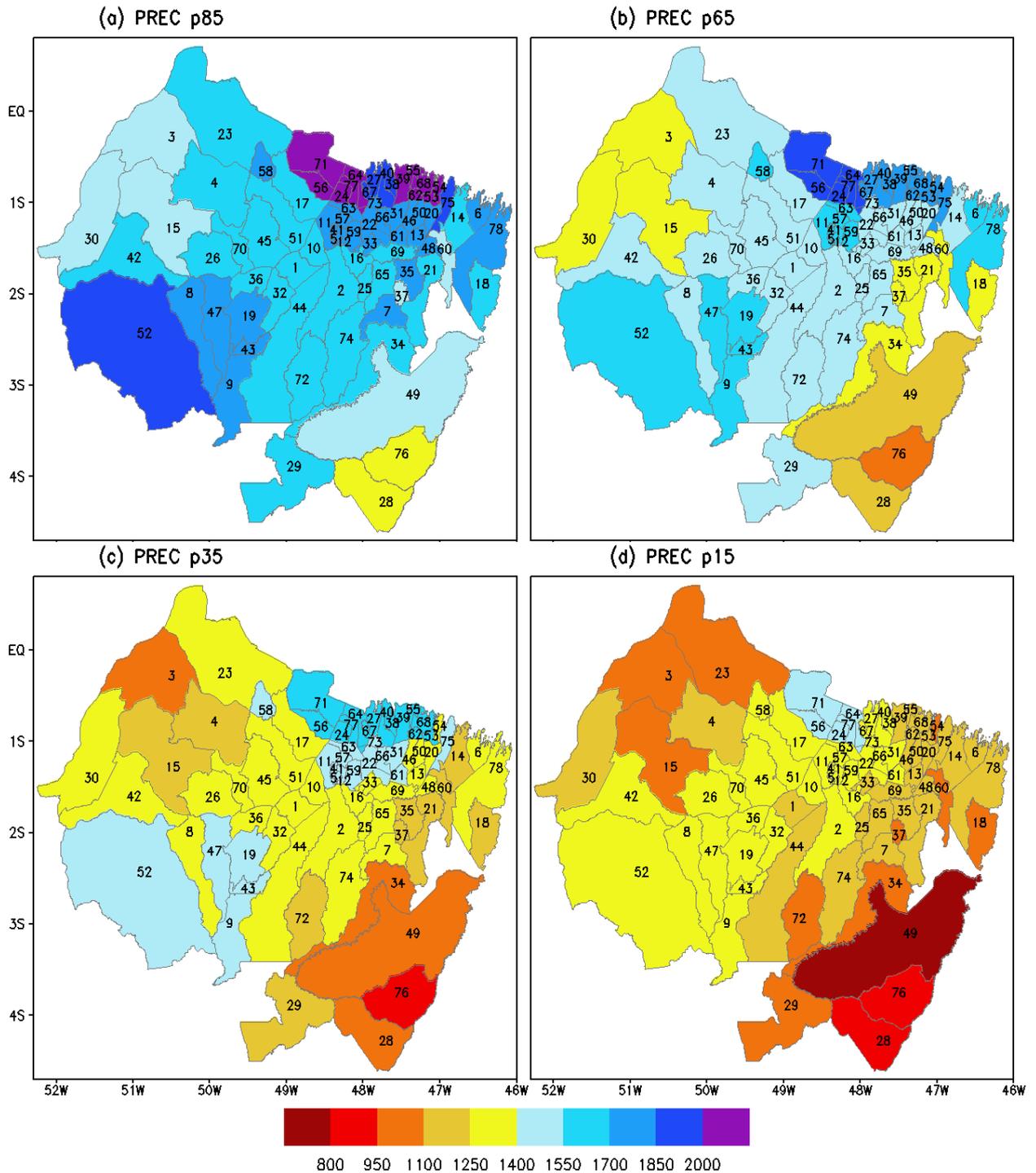
região, sendo que os municípios localizados na porção sul da RRB apresentam valores pluviométricos mais baixos, enquanto que os municípios situados na parte norte e ao longo da faixa litorânea exibem os valores de precipitação mais altos. Essa característica de distribuição espacial de precipitação com maior pluviosidade nas áreas mais próximas do litoral com diminuição gradativa em direção ao interior da região é verificada nos quatro padrões de precipitação dos percentis p15, p35, p65 e p85.

Tabela 6 –Limiaries de precipitação climatológica para os percentis p15, p35, p65 e p85 obtidos no período de 1990 a 2014. Unidade: mm.

#	nome município	p15	p35	p65	p85	#	nome município	p15	p35	p65	p85
1	Abaetetuba	1200	1298	1423	1563	40	Marapanim	1322	1602	1771	1978
2	Acará	1309	1394	1495	1687	41	Marituba	1392	1477	1640	1731
3	Afuá	969	1072	1294	1427	42	Melgaço	1252	1310	1449	1585
4	Anajás	1124	1175	1512	1685	43	Mocajuba	1292	1469	1646	1789
5	Ananindeua	1392	1477	1640	1731	44	Moju	1198	1335	1445	1679
6	Augusto Corrêa	1128	1308	1648	1734	45	Muaná	1298	1366	1507	1659
7	Aurora do Pará	1146	1282	1448	1720	46	Nova Timboteua	1174	1352	1495	1784
8	Bagre	1252	1319	1493	1721	47	Oeiras do Pará	1291	1450	1662	1813
9	Baião	1292	1469	1646	1789	48	Ourém	1174	1352	1495	1784
10	Barcarena	1279	1357	1516	1653	49	Paragominas	790	956	1178	1406
11	Belém	1392	1477	1640	1731	50	Peixe-Boi	1174	1352	1495	1784
12	Benevides	1392	1477	1640	1731	51	Ponta de Pedras	1279	1357	1516	1653
13	Bonito	1174	1352	1495	1784	52	Portel	1261	1424	1667	1883
14	Bragança	1122	1242	1518	1688	53	Primavera	1195	1574	1738	2076
15	Breves	1003	1184	1334	1516	54	Quatipuru	1096	1358	1795	2090
16	Bujaru	1309	1394	1495	1687	55	Salinópolis	1195	1574	1738	2076
17	Cachoeira Arari	1279	1357	1516	1653	56	Salvaterra	1484	1626	1906	2023
18	Cachoeira Piriá	1022	1177	1340	1555	57	Sta Bárbara Pará	1392	1477	1640	1731
19	Cametá	1276	1468	1570	1822	58	Sta Cruz do Arari	1332	1478	1697	1824
20	Capanema	1174	1352	1495	1784	59	Sta Isabel do Pará	1392	1477	1640	1731
21	Capitão Poço	1133	1185	1350	1580	60	Sta Luzia do Pará	1066	1202	1293	1458
22	Castanhal	1330	1402	1482	1796	61	Sta Maria do Pará	1330	1402	1482	1796
23	Chaves	1094	1255	1426	1636	62	Santarém Novo	1195	1574	1738	2076
24	Colares	1498	1675	1937	2163	63	Sto Antônio Tauá	1392	1477	1640	1731
25	Concórdia Pará	1238	1336	1461	1660	64	S Caetano Odivelas	1498	1675	1937	2163
26	Curralinho	1260	1393	1523	1591	65	S Domingos Capim	1238	1336	1461	1660
27	Curuçá	1322	1602	1771	1978	66	S Francisco do Pará	1330	1402	1482	1796
28	Dom Eliseu	818	978	1149	1341	67	São João da Ponta	1322	1602	1771	1978
29	Goianésia Pará	1057	1210	1508	1629	68	S João de Pirabas	1195	1574	1738	2076
30	Gurupá	1193	1283	1349	1544	69	S Miguel Guamá	1238	1336	1461	1660
31	Igarapé-Açu	1330	1402	1482	1796	70	S Sebastião B Vista	1260	1393	1523	1591
32	Igarapé-Miri	1283	1363	1491	1660	71	Soure	1484	1626	1906	2023
33	Inhangapi	1145	1360	1482	1796	72	Tailândia	1080	1235	1464	1555
34	Ipixuna do Pará	1009	1084	1330	1632	73	Terra Alta	1330	1402	1482	1796
35	Irituia	1144	1195	1393	1769	74	Tomé-Açu	1193	1320	1491	1669
36	Limoeiro Ajuru	1283	1363	1491	1660	75	Tracuateua	1159	1419	1822	1974
37	Mãe do Rio	1031	1138	1297	1518	76	Ulianópolis	804	889	1095	1268
38	Magalhães Barata	1322	1602	1771	1978	77	Vigia	1498	1675	1937	2163
39	Maracanã	1195	1574	1738	2076	78	Viseu	1128	1308	1648	1734

Fonte: Do autor.

Figura 15 – Distribuição espacial da precipitação climatológica (média 1990 2014) correspondentes aos percentis (a) p85, (b) p65, (c) p35 e (d) p15. Os números de 1 a 78 indicam os municípios segundo os códigos e nomes listados na Tabela 1.

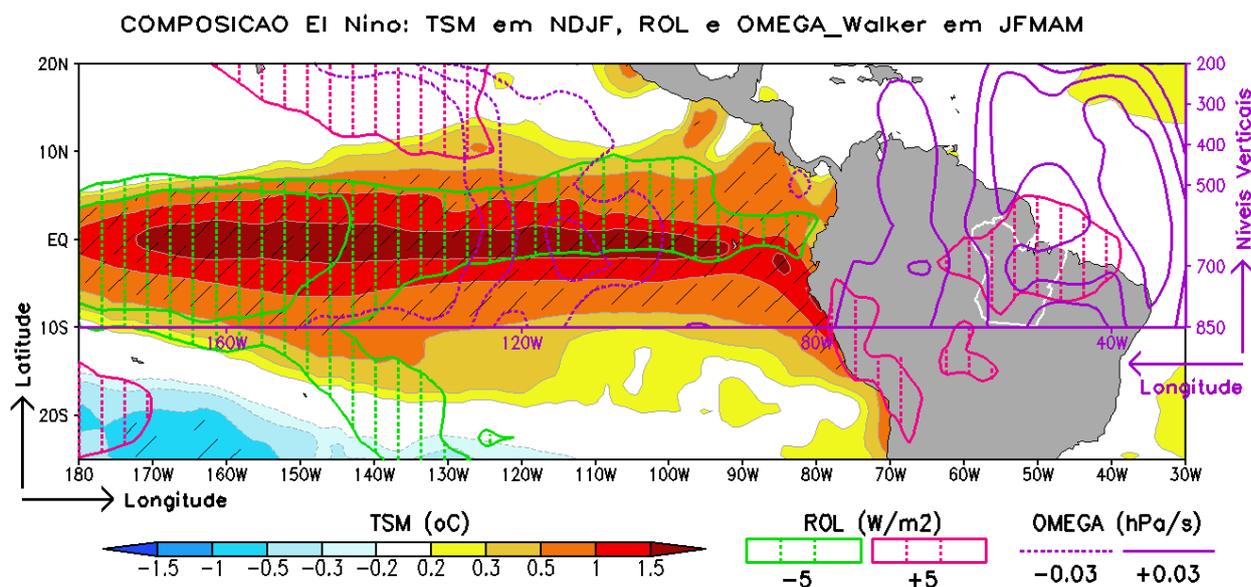


Fonte: Do autor.

4.1.2. Mecanismos desfavoráveis ao regime chuvoso (EL Niño e GrNorte)

A Figura 16exibe a composição El Niño com os padrões espaciais no plano horizontal (eixos em preto com as dimensões latitude x longitude) das anomalias de TSM e ROLe no plano vertical (eixos em lilás com as dimensões longitude x níveis verticais de pressão) das anomalias de OMEGA que caracterizamos comportamentos oceânicos, convecção atmosférica e circulação troposférica da célula de Walker, respectivamente. Analisam-se as anomalias de TSM no período de NDJF quando o fenômeno apresenta sua configuração mais ativa e intensa e de ROL e OMEGA no período de JFMAM quando se verifica o pico da estação chuvosa (defasagem entre a forçante oceânica e seu impacto ou resposta na atmosfera). Observa-se uma grande área contendo anomalias positivas estatisticamente significantes de TSM na maior parte do Oceano Pacífico tropical, com valores mais intensos atingindo 1,5°C na faixa equatorial (Fig. 16, área sombreada em vermelho). Esse padrão de TSM revela claramente a assinatura dos episódios El Niño em sua fase madura durante o período NDJF. Por conseguinte, considerando a média do período JFMAM, verificam-se anomalias negativas de OMEGA (Fig. 16, linhas tracejadas em lilás) na coluna troposférica (de 850 a 300 hPa, desde os baixos até os altos níveis) sobre o Pacífico central, principalmente na região entre 130°W e 100°W, indicando movimento anormalmente ascendente da célula de Walker. Essa região de movimento ascendente sobre o Pacífico é coincidente com a região contendo águas oceânicas aquecidas, onde também se observa uma grande área contendo anomalias negativas de ROL (Fig. 16, linhas em verde), indicativas de atividade convectiva tropical anormalmente realçada sobre a maior parte da faixa equatorial do Oceano Pacífico. Por outro lado, sobre a troposfera da América do Sul (de 850 a 200 hPa), nota-se a presença das anomalias positivas de OMEGA (Fig. 16, linhas contínuas em lilás) com movimento anormalmente descendente da célula de Walker que resulta num padrão de inibição significativa da convecção tropical, ou seja, a ausência da ZCIT, conforme indicado pela área contendo anomalias positivas de ROL (Fig. 16, linhas em magenta) cobrindo grande parte da Amazônia oriental, notadamente o estado do Pará.

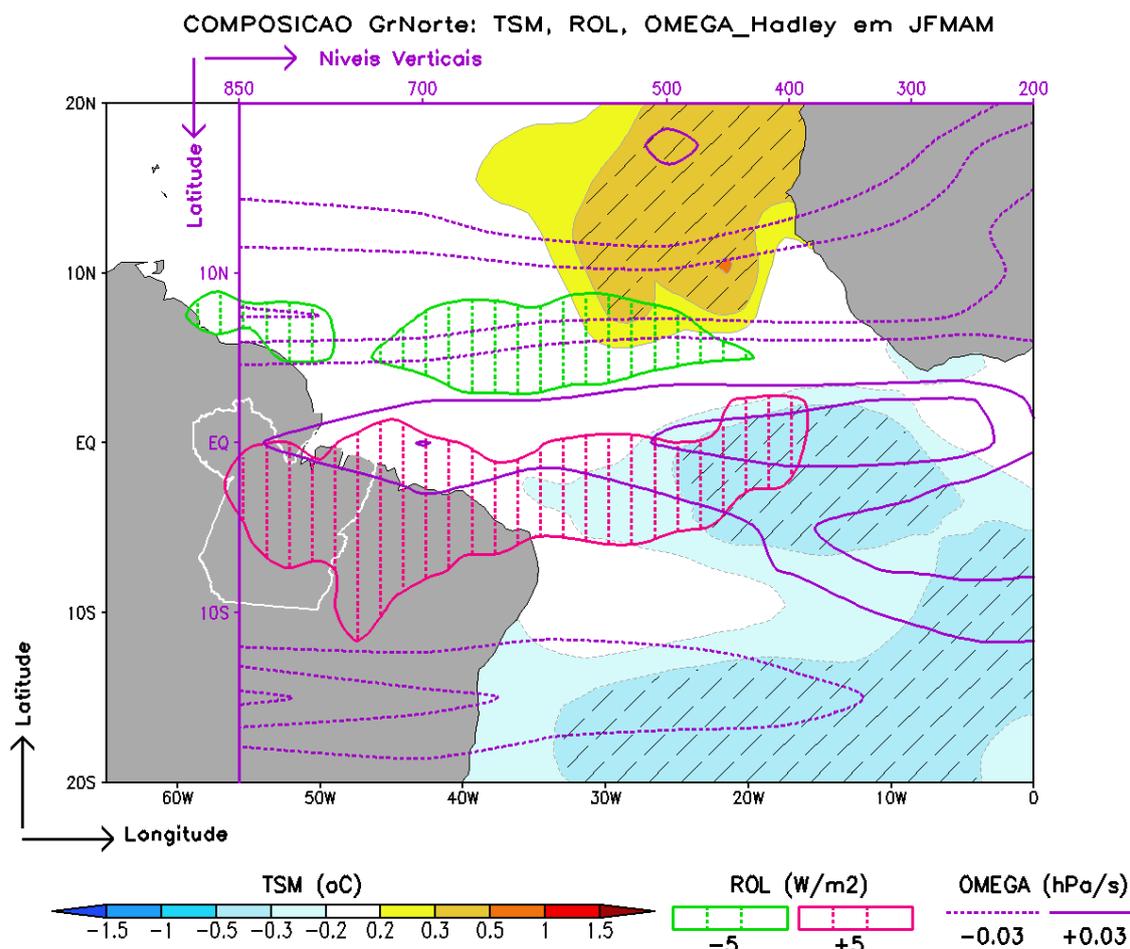
Figura 16 – Composição El Niño: anomalias de TSM ($^{\circ}\text{C}$, sombreado colorido), ROL (W/m^2 , linhas em verde e magenta) e OMEGA_Walker (hPa/s , isolinhas em lilás). TSM e ROL são plotados no plano horizontal (eixos em preto nas dimensões latitude x longitude) e OMEGA no plano zonal/vertical (eixos em lilás nas dimensões longitude x níveis de pressão). Valores de OMEGA > 0.03 e < -0.03 (intervalo de 0.02) e as áreas hachuradas de TSM e ROL representam anomalias significantes ao nível de 90%. O contorno branco destaca o estado do Pará na América do Sul.



Na composição GrNorte da Figura 17, as anomalias de TSM e ROL são plotadas no plano horizontal (eixos em preto com as dimensões latitude x longitude), enquanto que as anomalias de OMEGA são plotadas no plano vertical (eixos em lilás com as dimensões latitude x níveis verticais de pressão) caracterizando a circulação troposférica meridional da célula de Hadley. Observa-se a manifestação do padrão de TSM inverso e concomitante das áreas contendo anomalias positivas (Fig. 17, áreas em laranja) sobre a bacia tropical norte (em torno de $5^{\circ}\text{N}/10^{\circ}\text{N}$ e $40^{\circ}\text{W}/20^{\circ}\text{W}$) e anomalias negativas (Fig. 17, áreas em azul) sobre a bacia tropical sul (na região equatorial em torno de $0^{\circ}/10^{\circ}\text{S}$ e $25^{\circ}\text{W}/10^{\circ}\text{W}$ e também na área subtropical em torno de $15^{\circ}\text{S}/20^{\circ}\text{S}$ e $30^{\circ}\text{W}/5^{\circ}\text{W}$). Analisando a configuração vertical de OMEGA relacionado à célula de Hadley, nota-se a predominância de anomalias negativas (Fig. 17, linhas tracejadas em lilás) com movimento anormalmente ascendente sobre a troposfera (de 850 a 200 hPa) do Atlântico norte, centrado na região entre 5°N e 15°N , enquanto que as anomalias positivas (Fig. 17, linhas contínuas em lilás) com movimento anormalmente descendente predominam sobre a troposfera (de 700 a 300 hPa) do Atlântico sul, centrado na região entre 0° e 5°S . O padrão de TSM mais

quente ao norte com o ramo ascendente da célula de Hadley favorece a formação de atividade convectiva anormalmente fortalecida, anomalias negativas de ROL (Fig. 17, linhas em verde) na região do Atlântico equatorial norte, em torno de 5°N e 45°W/20°W. Inversamente, o padrão de TSM mais fria do que a média com ramo descendente da célula de Hadley resulta na inibição significativa da convecção tropical, anomalias positivas de ROL (Fig. 17, linhas em magenta) em grande parte da Amazônia oriental, norte do Nordeste Brasileiro e Atlântico equatorial sul.

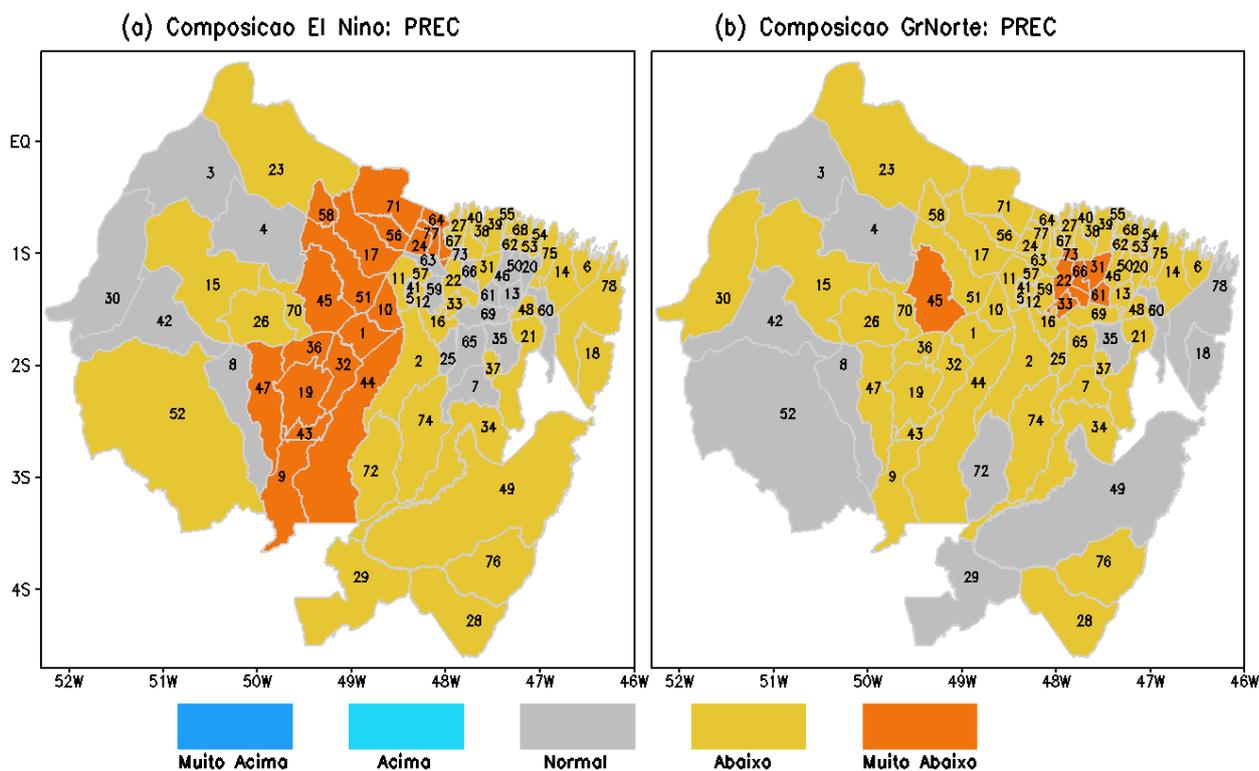
Figura 17 – Composição GrNorte: anomalias de TSM (°C, sombreado colorido), ROL (W/m², linhas em verde e magenta) e OMEGA_Hadley (hPa/s, isolinhas em lilás). TSM e ROL são plotados no plano horizontal (eixos em preto nas dimensões latitude x longitude) e OMEGA no plano meridional/vertical (eixos em lilás nas dimensões latitude x níveis de pressão). Valores de OMEGA > 0.03 e < -0.03 (intervalo de 0.02) e as áreas hachuradas de TSM e ROL representam anomalias significantes ao nível de 90%. O contorno branco destaca o estado do Pará na América do Sul.



Fonte: Do autor.

Na Figura 18 exibe-se a distribuição espacial da precipitação categorizada durante o regime chuvoso dos municípios da RRB para as composições El Niño e GrNorte. Como mencionado acima, os padrões oceânicos e atmosféricos evidenciados nestas duas composições formaram as condições desfavoráveis ao regime chuvoso da Amazônia oriental, em decorrência da predominância de ramo descendente das circulações atmosféricas de Walker e de Hadley que propiciaram a forte inibição da atividade convectiva na região da ZCIT. Assim, os resultados da precipitação categorizada demonstram a existência de um padrão de precipitação predominantemente abaixo e muito abaixo do normal na maior parte dos municípios da RRB, sendo que na composição El Niño (Fig. 18a) verifica-se uma maior quantidade de municípios na categoria muito abaixo, em comparação a composição GrNorte (Fig. 18b). Além disso, a composição GrNorte apresenta também a maior quantidade de municípios na categoria normal. Portanto, estas evidências indicam que os impactos do El Niño do Pacífico são mais generalizados e mais intensos do que a fase GrNorte do Atlântico no regime chuvoso em escala municipal do nordeste do Pará.

Figura 18 – Precipitação categorizada no regime chuvoso dos municípios da RRB para as composições (a) El Niño e (b) GrNorte. Os números de 1 a 78 indicam os municípios segundo os códigos e nomes listados na Tabela 1

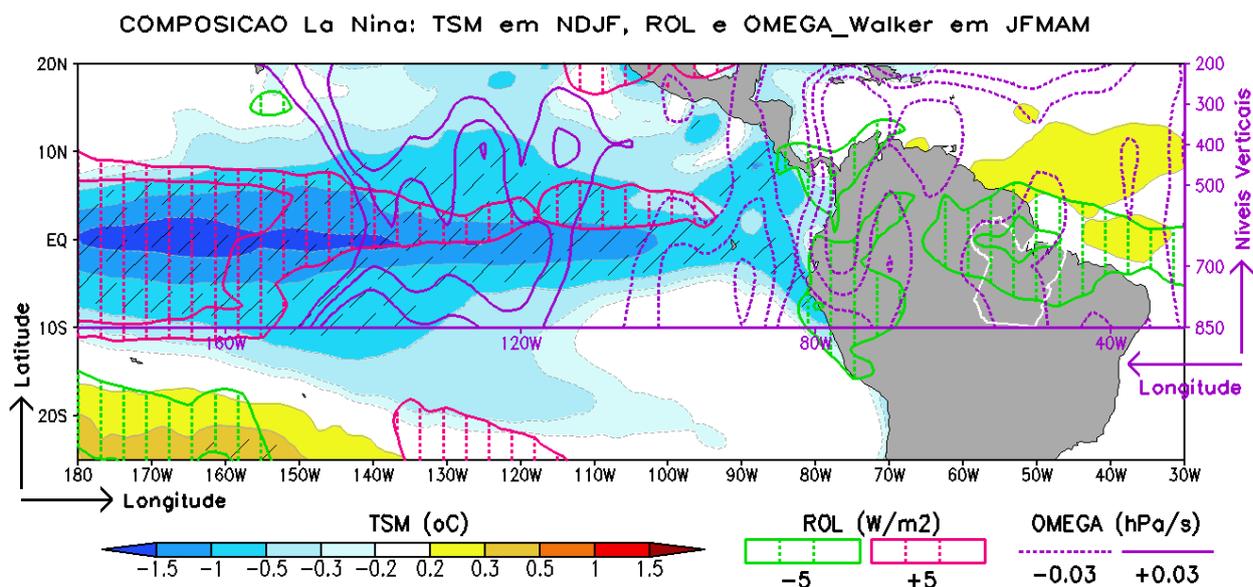


Fonte: Do autor.

4.1.3. Mecanismos favoráveis ao regime chuvoso (La Niña e GrSul)

A Figura 19 mostra a composição La Niña, na qual se verifica a extensa área contendo anomalias negativas significativas de TSM sobre a maior parte do Oceano Pacífico tropical, sendo que os valores mínimos de -1 a -1,5°C ocorrem na porção central e oeste (Fig. 19, área sombreada em azul). Esse padrão de TSM revela a assinatura dos eventos LaNiña quando da sua fase madura durante o período NDJF. Considerando o período de JFMAM, observa-se a presença de uma grande faixa zonal contendo anomalias positivas de ROL (Fig. 19, linhas em magenta) com um padrão de convecção tropical anormalmente enfraquecido sobre o Pacífico, sendo que o ramo descendente da célula de Walker, indicado pela presença das anomalias positivas de OMEGA (Fig. 19, linhas contínuas em lilás), é registrado principalmente sobre a troposfera (entre os níveis de 850 e 300 hPa) da região centrada entre 140°W e 110°W. Por outro lado, evidencia-se um padrão de convecção tropical anormalmente intensificado, anomalias negativas de ROL (Fig. 19, linhas em verde), sobre a região da Amazônia oriental/Atlântico equatorial e também sobre o oeste da América do Sul. Essas áreas de formação de nebulosidade acima da média são consistentes com o ramo ascendente da célula de Walker revelado pela presença das anomalias negativas de OMEGA (Fig. 19, linhas tracejadas em lilás) sobre a troposfera (850 a 200 hPa) da região entre 80°W e 70°W e também sobre a troposfera (entre 850 e 500 hPa) da região da Amazônia oriental entre 60°W e 50°W.

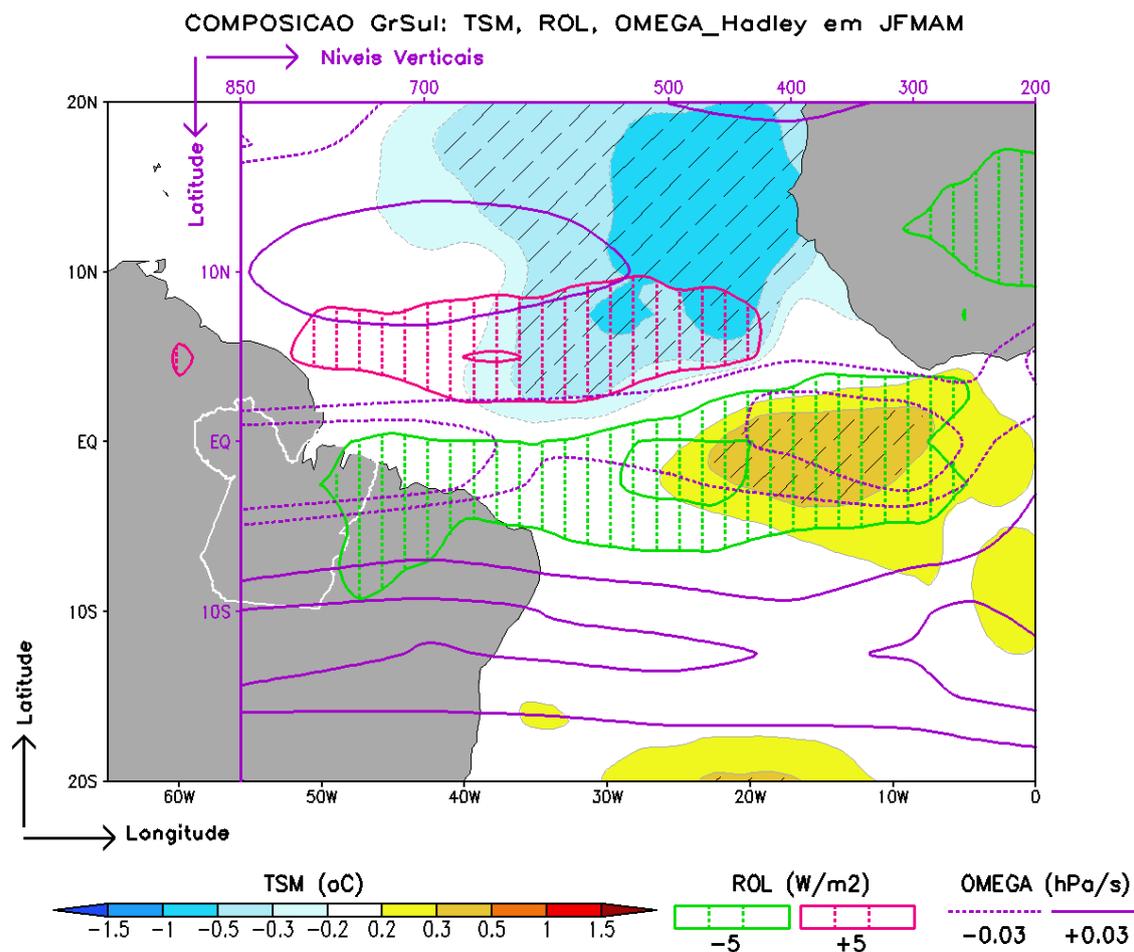
Figura 19 – Idem a Fig. 16, porém para a Composição La Niña.



Fonte: Do autor.

Na composição GrSulda Figura 20 constata-se o padrão oposto entre os hemisférios norte e sul, com a predominância de uma grande área contendo anomalias negativas de TSM (Fig. 20, áreas em azul) na bacia tropical norte (em torno de $5^{\circ}\text{N}/20^{\circ}\text{N}$ e $40^{\circ}\text{W}/20^{\circ}\text{W}$) e outra área contendo anomalias positivas de TSM (Fig. 20, áreas em laranja) na bacia equatorial sul (em torno de $0^{\circ}/10^{\circ}\text{S}$ e $30^{\circ}\text{W}/10^{\circ}\text{W}$). O corte vertical de OMEGA no sentido meridional demonstra que a célula de Hadley se configura com movimento descendente (anomalias positivas na Fig. 20, linhas contínuas em lilás) sobre a troposfera (entre os níveis 850 e 500 hPa) da bacia norte com águas oceânicas anormalmente frias, enquanto que o movimento ascendente (anomalias negativas na Fig. 20, linhas tracejadas em lilás) é observado sobre a troposfera (em toda a coluna vertical de 850 a 200 hPa) da bacia sul contendo águas oceânicas anormalmente quentes. Associado a esses padrões dinâmicos, o comportamento da convecção tropical designado pelas anomalias de ROL mostra uma grande área com anomalias positivas (inibição da convecção, Fig. 20, linhas em magenta) sobre a porção norte do Atlântico (centrado em 5°N e $50^{\circ}\text{W}/20^{\circ}\text{W}$) e outra extensa banda zonalmente alongada desde a Amazônia oriental até o Oceano Atlântico equatorial sul (centrado em 5°S e $50^{\circ}\text{W}/10^{\circ}\text{W}$) com o predomínio de anomalias negativas (intensificação da convecção, Fig. 20, linhas em verde).

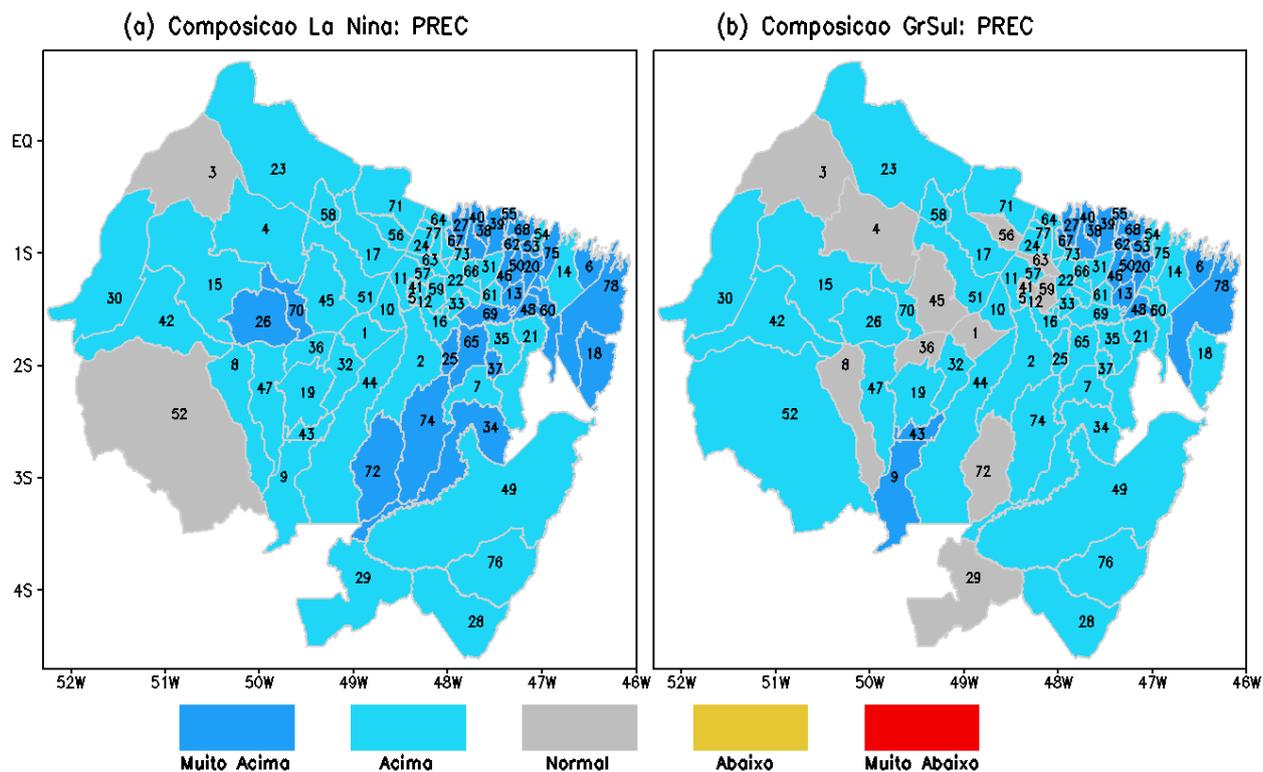
Figura 20 – Idem a Fig. 17, porém para a Composição GrSul.



Fonte: Do autor.

A precipitação categorizada do regime chuvoso nos municípios da RRB para as composições La Niña e GrSul são mostrados na Figura 21. Os padrões oceânicos e atmosféricos identificados nestas composições formaram as condições favoráveis ao regime chuvoso amazônico, em associação a manifestação do ramo ascendente das circulações troposféricas de Walker e de Hadley que contribuíram para a intensificação da banda de nebulosidade convectiva da ZCIT sobre a Amazônia oriental/Atlântico equatorial sul. Com isso, os resultados da Figura 21 revelam a predominância de precipitação nas categorias acima e muito acima do normal na maior parte dos municípios da RRB. A quantidade de municípios na categoria muito acima é similar para ambas as composições, porém a composição GrSul tende a apresentar mais municípios na categoria normal. Então, pode concluir-se que da mesma forma como observado nos mecanismos desfavoráveis, o Oceano Pacífico tem uma mais influência que o Atlântico.

Figura 21 –Precipitação categorizada no regime chuvoso dos municípios da RRB para as composições (a) La Niña e (b) GrSul. Os números de 1 a 78 indicam os municípios segundo os códigos e nomes listados na Tabela 1.



Fonte: Do autor.

4.2.IMPACTOS DOS ANOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NO RENDIMENTO DAS LAVOURAS TEMPORÁRIAS DE MANDIOCA

4.2.1. Caracterização dos municípios produtores de mandioca

Inicialmente, apresentam-se os aspectos climatológicos dos dados agrícolas do período de 1990 a 2014 (médias de 25 anos), os quais permitiram a identificação dos principais municípios produtores das lavouras temporárias de mandioca. Nesta análise, foram retirados os municípios com mais de cinco anos de falhas ou ausência de dados, tal que, do total de 78 municípios da área de estudo, restaram 64 municípios que são listados na Tabela 7 com os valores médios da Quantidade produzida QP (Ton) e Área colhida AC (ha). A ordem decrescente de QP na Tabela 6 ressalta o ranking dos municípios produtores da mandioca. Para complementar essa caracterização, a Figura 22 mostra o mapeamento ou distribuição espacial das médias de QP e AC nos 64 municípios da região. Analisando os resultados da Tabela 7 e Figura 22, observam-se grandes variações nos dados agrícolas distribuídos espacialmente ao longo da região.

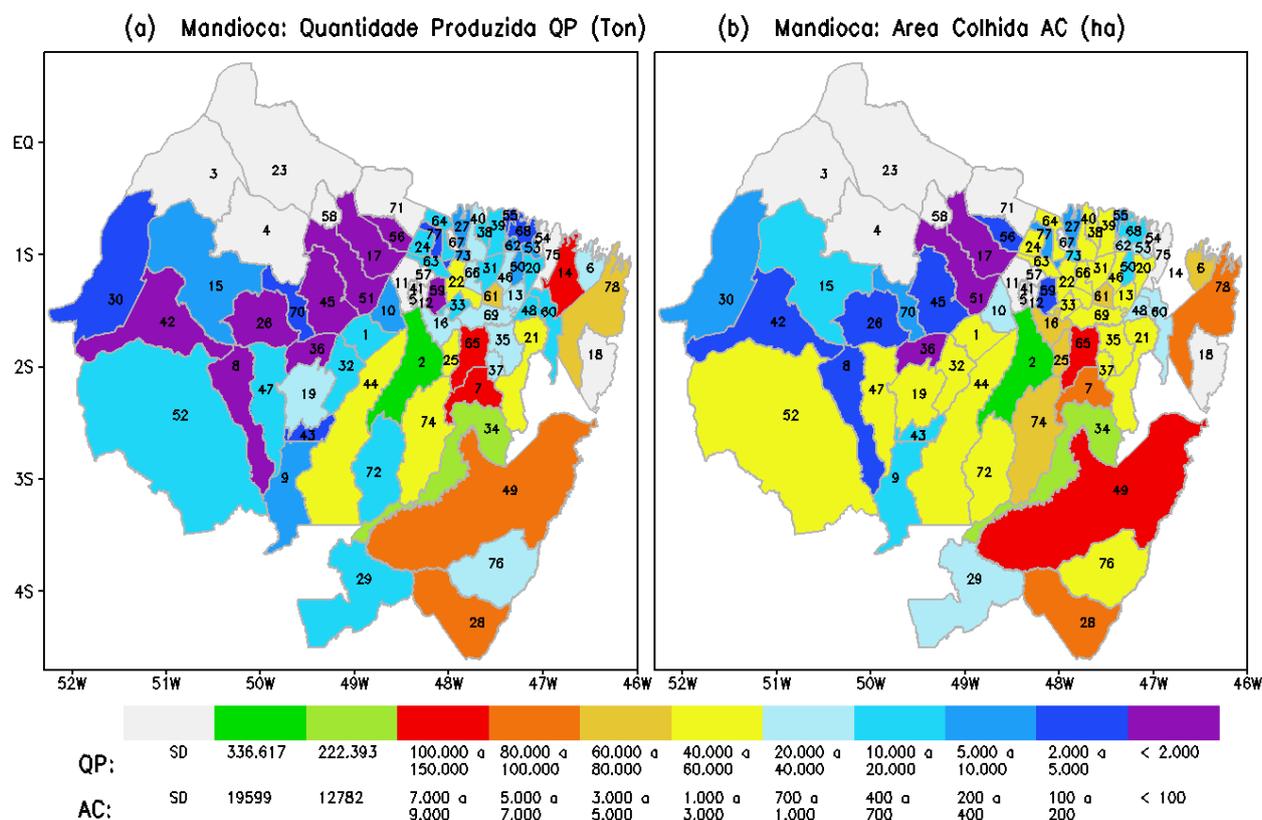
Em geral, evidencia-se que os municípios com registro das maiores produções se localizam no setor nordeste da RRB (Figs. 22a e 22b, ver municípios nas cores em verde e vermelho). Dentre os cinco no topo do ranking de produção da mandioca, destaca-se em primeiro lugar o município de Acará (2) com QP em torno de 336 mil Ton para uma AC de quase 20 mil ha, Ipixuna do Pará (34) em segundo lugar com QP de aproximadamente 222 mil Ton para uma AC de quase 13 mil ha, Bragança (14) em terceiro lugar com QP em torno de 127 mil Ton para uma AC em torno de 11 mil ha, Aurora do Pará (7) em quarto lugar com QP de 118 mil Ton e uma AC em torno de 6.5 mil ha e São Domingos do Capim (65) em quinto lugar com QP de 106 mil Ton para uma AC em torno de 7.5 mil ha. Por outro lado, os municípios que apresentam os menores valores de produção de mandioca se concentram principalmente na região da ilha de Marajó (Figs. 22a e 22b, ver municípios nas cores em lilás). Dentre os três municípios com menor produção de mandioca, destacam-se Limoeiro do Ajuru (36) com QP de 386Ton e AC de 45 ha, Ponta de Pedras (51) com QP de 721Ton e AC de 71 ha e Cachoeira do Arari (17) com QP de 737Ton e AC de 74ha.

Tabela 7 –Municípios produtores de mandiocacom a listagem do código (#), nome do município e médias (1990 a 2014) da quantidade produzida QP (ton) e área colhida AC (ha). A ordem decrescente de QP destaca ranking de produção da mandioca e SD são municípios com falta de dados.

#	Municípios	QP	AC	#	Municípios	QP	AC
2	Acará	336617	19599	38	Magalhães Barata	11522	1011
34	Ipixuna do Pará	222393	12782	24	Colares	10443	1062
14	Bragança	127844	11406	10	Barcarena	9724	726
7	Aurora do Pará	118549	6578	62	Santarém Novo	9601	936
65	S. Domingos Capim	106132	7592	9	Baião	9335	577
49	Paragominas	91115	7082	53	Primavera	9185	874
28	Dom Eliseu	87155	5177	73	Terra Alta	7005	650
61	S. Maria do Pará	69466	4192	50	Peixe-Boi	6615	602
78	Viseu	63755	5714	15	Breves	6536	609
25	Concórdia do Pará	47856	3120	27	Curuçá	5116	392
22	Castanhal	46529	2834	43	Mocajuba	4746	418
74	Tomé-Açu	46074	3374	68	S. João de Pirabas	4476	412
21	Capitão Poço	45829	2966	30	Gurupá	3845	284
44	Moju	43325	2284	77	Vigia	3326	339
6	Augusto Corrêa	39553	3644	55	Salinópolis	2960	294
16	Bujaru	37381	3015	70	S. Sebastião Boa Vista	2340	220
69	S. Miguel do Guamá	30185	2306	42	Melgaço	1832	189
19	Cametá	24392	2418	45	Muaná	1634	132
66	São Francisco do Pará	24038	2154	59	S. Isabel do Pará	1619	177
37	Mãe do Rio	23942	1550	26	Currálinho	1532	156
46	Nova Timboteua	23421	1868	8	Bagre	1222	119
40	Marapanim	23385	2161	56	Salvaterra	1087	109
76	Ulianópolis	23332	1527	17	Cachoeira do Arari	737	74
13	Bonito	21142	1553	51	Ponta de Pedras	721	71
35	Irituia	20615	1621	36	Limoeiro do Ajuru	386	45
31	Igarapé-Açu	19955	1679	3	Afuá	SD	SD
47	Oeiras do Pará	18636	1805	4	Anajás	SD	SD
1	Abaetetuba	18404	1372	5	Ananindeua	SD	SD
39	Maracanã	17158	1716	11	Belém	SD	SD
33	Inhangapi	16341	1361	12	Benevides	SD	SD
64	S. Caetano Odivelas	16136	1701	18	Cachoeira do Piriá	SD	SD
52	Portel	14827	1299	23	Chaves	SD	SD
63	S. Antônio do Tauá	14296	1384	41	Marituba	SD	SD
32	Igarapé-Miri	14170	1181	54	Quatipuru	SD	SD
20	Capanema	13523	1109	57	S. Bárbara do Pará	SD	SD
72	Tailândia	12563	1005	58	S. Cruz do Arari	SD	SD
48	Ourém	12533	848	67	S. João da Ponta	SD	SD
60	S. Luzia do Pará	11889	975	71	Soure	SD	SD
29	Goianésia do Pará	11623	969	75	Tracuateua	SD	SD

Fonte: Do autor.

Figura 22 –Mapeamento dos municípios produtores de mandioca: (a) Quantidade produzida QP, (b) Área colhida AC. A escala de cores abaixo das figuras indica a magnitude de cada varável. Os números de 1 a 78 indicam os municípios segundo os códigos e nomes listados na Tabela 1



Fonte: Do autor.

Concernente aos dados de rendimento RM da mandioca, que são importantes no contexto deste trabalho, a Tabela 8 juntamente com a Figura 23 (boxplots) e a Figura 24 (mapa da distribuição espacial) mostram o detalhamento das estatísticas considerando a média no período de 1990 a 2014.

Cinco municípios (Goianésia do Pará, Igarapé-Miri, Maracanã, Melgaço, Salvaterra) foram excluídos destas análises, pois os mesmos apresentam valores de RM constantes ao longo da série de 1990 a 2014 (séries estacionárias).

Nos resultados da Tabela 8 evidencia-se que os municípios com maior média são Dom Eliseu e Moju com RM de 19 ton/ha, Aurora do Pará com 17 ton/ha e Ipixuna do Pará, Capitão Poço, Castanhal e Ulianópolis com 16 ton/ha, os quais se localizam nos setores nordeste e sudeste da RRB (Fig. 24). Levando em conta que a média para toda a região RRB é de 12 ton/ha, logo, os valores de RM em Dom Eliseu e Moju representam percentualmente 160%, Aurora do Pará 140% e Ipixuna do Pará, Capitão Poço, Castanhal e Ulianópolis 130% relativo ao valor médio para toda a região.

Por outro lado, os municípios que apresentam RM menores são Limoeiro do Ajuru e Santa Isabel do Pará com 9 ton/ha, os quais representam em torno de 70% do rendimento médio para toda a região.

Os resultados das estatísticas da Tabela 8 e nos gráficos boxplot da Figura 23 demonstram que alguns municípios possuem alta variabilidade nos valores de RM, a exemplo de Acará, Aurora do Pará, Capitão Poço, Castanhal, Ipixuna do Pará, Mãe do Rio, Moju, Ourém, Paragominas, S. Maria do Pará e Ulianópolis.

Nos demais municípios da RRB percebem-se grandes variações nos valores de RM da mandioca. Portanto, os dados de RM da mandioca revelaram presença de alta variabilidade temporal e espacial ao longo da RRB.

Tabela 8 – Estatística descritiva dos dados de rendimento médio RM (Ton/ha) da mandioca. A ordem decrescente da Média (em negrito) destaca o ranking dos municípios.

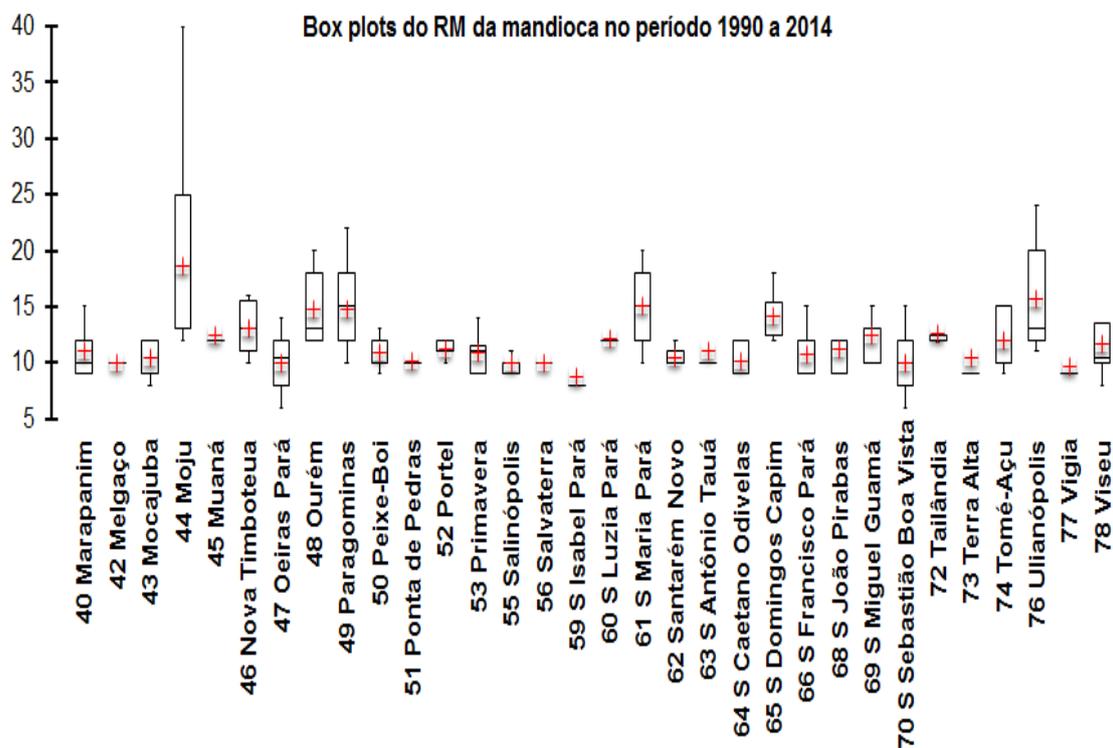
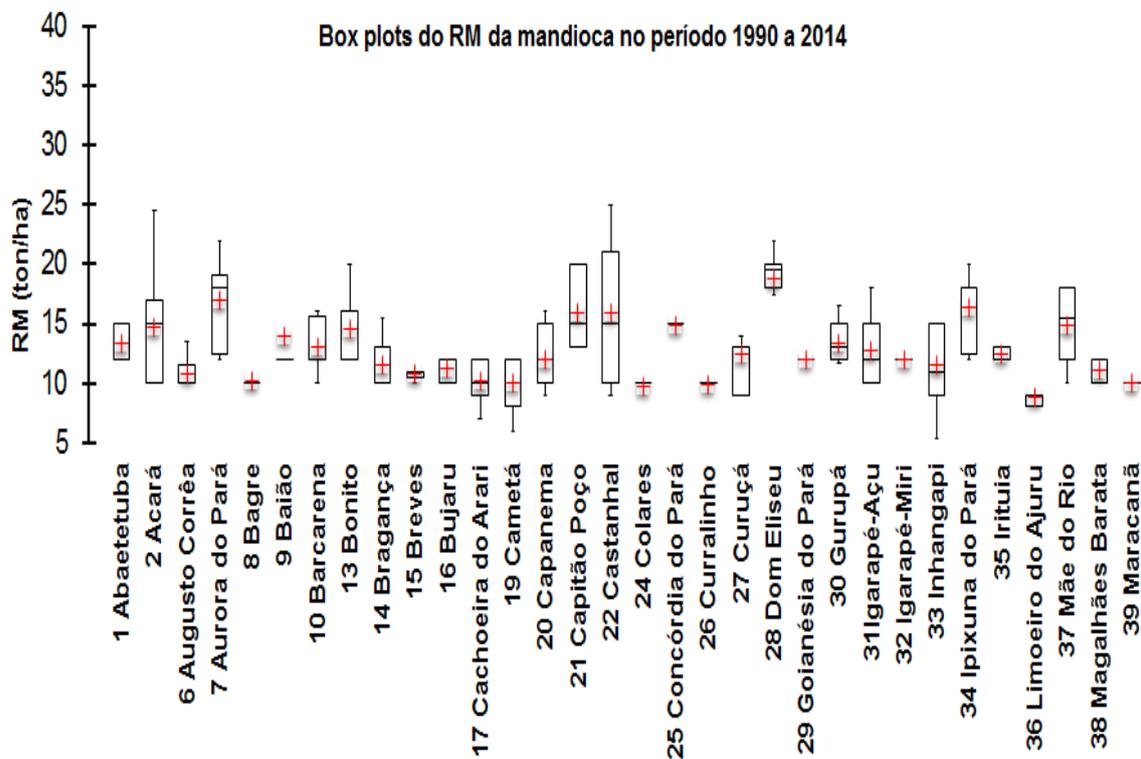
	Mínimo	Máximo	Q1	Mediana	Q3	Média	Variância	Desvio Padrão
28 Dom Eliseu	14	25	18	20	20	19	6,9	2,6
44 Moju	12	40	13	13	25	19	69,8	8,4
7 Aurora do Pará	12	22	13	18	19	17	12,4	3,5
34 Ipixuna do Pará	12	20	13	18	18	16	8,0	2,8
21 Capitão Poço	13	20	13	15	20	16	10,2	3,2
22 Castanhal	9	25	10	15	21	16	37,9	6,2
76 Ulianópolis	11	24	12	13	20	16	20,8	4,6
61 S Maria Pará	10	20	12	15	18	15	12,2	3,5
25 Concórdia do Pará	10	20	15	15	15	15	7,5	2,7
37 Mãe do Rio	10	18	12	16	18	15	9,0	3,0
49 Paragominas	10	22	12	15	18	15	13,9	3,7
48 Ourém	12	20	12	13	18	15	9,2	3,0
2 Acará	10	24	10	15	17	15	17,4	4,2
13 Bonito	12	23	12	12	16	15	14,4	3,8
65 S Domingos Capim	12	18	13	13	15	14	5,7	2,4
9 Baião	8	24	12	12	12	14	27,4	5,2
30 Gurupá	12	17	12	13	15	13	2,7	1,7
1 Abaetetuba	12	25	12	12	15	13	7,7	2,8
10 Barcarena	10	16	12	12	16	13	4,4	2,1
46 NovaTimboteua	10	16	11	13	16	13	4,5	2,1
31 Igarapé-Açu	10	18	10	12	15	13	7,7	2,8
72 Tailândia	10	15	12	12	13	13	1,7	1,3
35 Irituia	12	13	12	13	13	13	0,3	0,5
27 Curuçá	9	20	9	13	13	13	14,7	3,8
69 S Miguel Guamá	10	15	10	13	13	12	3,3	1,8
45 Muaná	10	16	12	12	12	12	2,1	1,4
60 S Luzia Pará	12	13	12	12	12	12	0,1	0,4
29 Goianésia do Pará	12	12	12	12	12	12	0,0	0,0
32 Igarapé-Miri	12	12	12	12	12	12	0,0	0,0

Tabela 8 – continuação.

	Mínimo	Máximo	Q1	Mediana	Q3	Média	Variância	Desvio Padrão
20 Capanema	9	16	10	12	15	12	6,0	2,5
74 Tomé-Açu	9	15	10	10	15	12	5,4	2,3
78 Viseu	8	14	10	11	14	12	3,7	1,9
14 Bragança	10	15	10	10	13	12	3,4	1,9
33 Inhangapi	5	15	9	11	15	11	9,6	3,1
16 Bujaru	10	21	10	10	12	11	5,1	2,3
52 Portel	10	12	11	11	12	11	0,4	0,6
68 S João Pirabas	9	12	9	12	12	11	1,9	1,4
38 Magalhães Barata	10	12	10	12	12	11	1,0	1,0
40 Marapanim	9	15	9	10	12	11	3,9	2,0
63 S Antônio Tauá	10	15	10	10	10	11	4,2	2,0
50 Peixe-Boi	9	13	10	12	12	11	1,9	1,4
6 Augusto Corrêa	10	14	10	10	12	11	1,5	1,2
53 Primavera	9	14	9	11	12	11	2,5	1,6
15 Breves	10	11	11	11	11	11	0,2	0,4
66 S Francisco Pará	9	15	9	9	12	11	6,8	2,6
43 Mocajuba	8	12	9	12	12	11	2,6	1,6
73 Terra Alta	9	16	9	9	9	10	7,8	2,8
62 Santarém Novo	10	12	10	10	11	10	0,5	0,7
17 Cachoeira do Arari	7	12	9	10	12	10	2,3	1,5
51 Ponta de Pedras	10	12	10	10	10	10	0,3	0,6
8 Bagre	10	12	10	10	10	10	0,2	0,4
64 S Caetano Odivelas	9	12	9	9	12	10	2,2	1,5
47 Oeiras Pará	6	14	8	11	12	10	4,8	2,2
19 Cametá	6	12	8	12	12	10	5,0	2,2
70 S Sebastião Boa Vista	6	15	8	10	12	10	7,2	2,7
39 Maracanã	10	10	10	10	10	10	0,0	0,0
42 Melgaço	10	10	10	10	10	10	0,0	0,0
55 Salinópolis	9	12	9	10	10	10	0,9	1,0
56 Salvaterra	10	10	10	10	10	10	0,0	0,0
26 Curralinho	7	11	10	10	10	10	0,4	0,6
24 Colares	8	10	10	10	10	10	0,6	0,7
77 Vigia	9	12	9	9	9	10	1,5	1,2
36 Limoeiro do Ajuru	8	12	8	9	9	9	1,2	1,1
59 S Isabel Pará	7	13	8	8	8	9	2,9	1,7

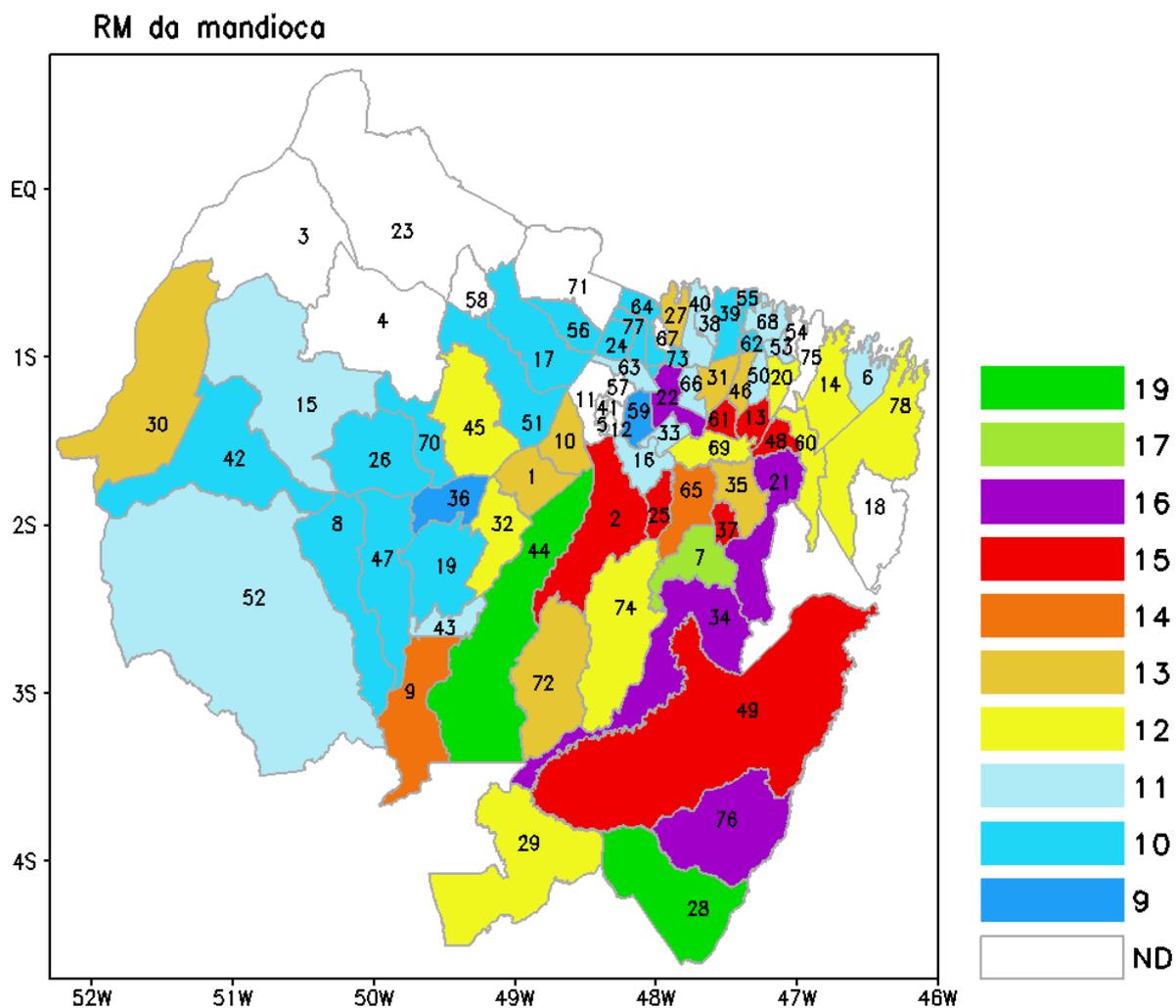
Fonte: Do autor.

Figura 23 –Gráficos Box plot do RM da mandioca considerando o período de 1990 a 2014.



Fonte: Do autor.

Figura 24 –Distribuição espacial do RM (ton/ha) da mandioca considerando a média de 1990 a 2014.



4.2.2. Relações entre o regime chuvoso e o rendimento da mandioca

As correlações de Spearman foram empregadas nas séries temporais de RM da mandioca e a precipitação anual (PREC_ANO), precipitação do regime chuvoso (PREC_CHU+) e precipitação do regime menos chuvoso (PREC_CHU-). Os resultados obtidos nas correlações são mostrados na Tabela 9 e também são plotados em termos da sua distribuição espacial ao longo da região nas Figuras 25, 26 e 27.

Comparando-se os resultados da Tabela 8, em geral, percebe-se que as correlações entre rendimento da mandioca e a precipitação anual PREC_ANO é mais intensa e com maior número de municípios com correlações estatisticamente significantes, em relação às correlações com a PREC_CHU+ e PREC_CHU-. Uma explicação para que a precipitação anual apresente maior

resposta (efeito do clima na agricultura) é que o sistema de plantio da mandioca varia temporalmente ao longo da região, com pelo menos dois ciclos de plantação (inverno e verão) durante o primeiro e segundo semestre, tal que o padrão de chuva anual consegue captar bem o sinal de rendimento da mandioca na maior parte da região.

Analisando a distribuição espacial das correlações nas Figuras 25, 26 e 27, evidencia-se um padrão heterogêneo com valores positivos e negativos se alternando ao longo da região. Esse resultado demonstra que a influência do aumento ou a diminuição da precipitação no rendimento da mandioca não apresenta padrão único ao longo da RRB, ou seja, têm-se municípios com correlação direta (positiva) e indireta (negativa).

Concernente aos resultados das correlações na escala anual, os municípios que apresentaram correlações positivas (Fig. 25, municípios em azul claro ao escuro), ou seja, o rendimento da mandioca aumenta/diminui nos anos com regime de chuva abundante/deficiente, foram Ulianópolis (0,54), Acará (0,50), Dom Eliseu (0,49), Viseu (0,43) e Ipixuna do Pará (0,41) com significância de 0,05, em seguida Paragominas (0,38) e Concórdia do Pará (0,37) com significância em 0,10, e também os municípios de Aurora do Pará (0,33), Capitão Poço (0,31), Mãe do Rio (0,29), Castanhal (0,29) e Nova Timboteua (0,27) com significância em 0,20.

Inversamente, os municípios que apresentaram correlações negativas (Fig. 25, municípios em amarelo/laranja/vermelho), ou seja, a produção de mandioca aumenta/diminui nos anos com pluviometria deficiente/abundante, foram Primavera (-0,40), São Sebastião da Boa Vista (-0,40), Santa Isabel do Pará (-0,41), Augusto Corrêa (-0,42), Bragança (-0,43), Oeiras do Pará (-0,44), Terra Alta (-0,56) e Santo Antônio do Tauá (-0,57) com significância de 0,05, em seguida Santa Luzia do Pará (-0,35) com significância em 0,10 e também os municípios de Curuçá (-0,27), São Miguel do Guamá (-0,31) e Vigia (-0,33) com significância em 0,20.

Tabela 9 –Correlações de Spearman entre o RM da mandioca e a PREC_ANO, PREC_CHU+ e PREC_CHU– no período 1990 a 2014. Valores em verde e azul indicam correlações estatisticamente significantes em 0,10 e 0,20, respectivamente. Os municípios foram ordenados do maior para o menor valor da correlação da PREC_ANO.

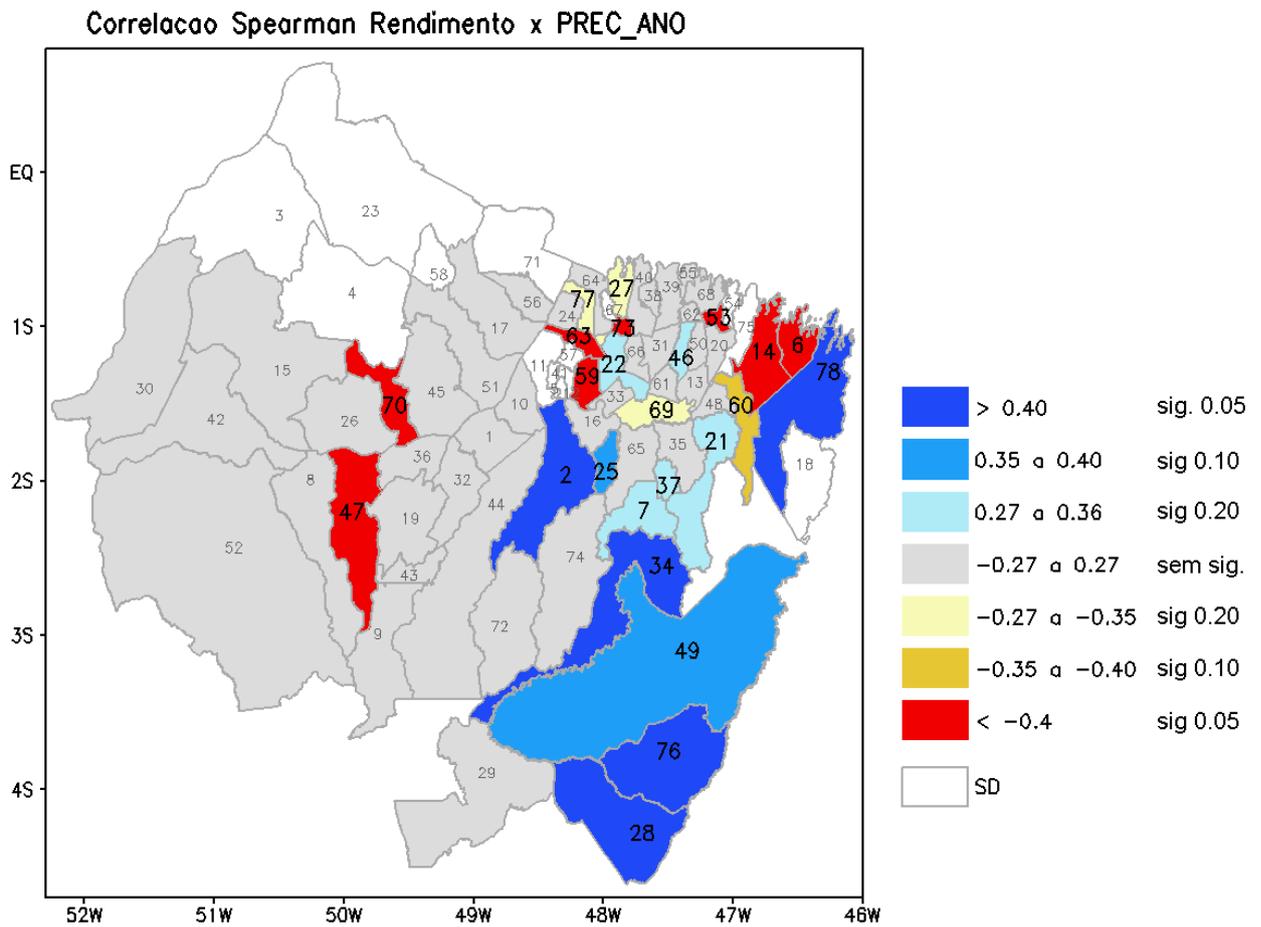
Cod.	Municípios	PREC_ANO		PREC_CHU+		PREC_CHU–	
		correl	p-valor	correl	p-valor	correl	p-valor
76	Ulianópolis	0,54	0,006	0,59	0,007	0,18	0,387
2	Acará	0,50	0,011	0,17	0,425	0,14	0,514
28	Dom Eliseu	0,49	0,014	0,53	0,007	0,06	0,777
78	Viseu	0,43	0,032	0,45	0,026	-0,20	0,334
34	Ipixuna do Pará	0,41	0,043	0,42	0,038	0,13	0,521
49	Paragominas	0,38	0,060	0,35	0,091	0,34	0,095
25	Concórdia do Pará	0,37	0,072	0,32	0,120	0,54	0,005
7	Aurora do Pará	0,33	0,106	0,24	0,251	0,16	0,455
21	Capitão Poço	0,31	0,128	0,44	0,030	0,10	0,645
37	Mãe do Rio	0,29	0,161	0,41	0,044	-0,19	0,363
22	Castanhal	0,29	0,162	0,30	0,141	0,20	0,345
46	Nova Timboteua	0,27	0,191	0,23	0,272	-0,50	0,012
24	Colares	0,25	0,232	0,24	0,252	-0,20	0,340
52	Portel	0,23	0,267	0,13	0,528	0,61	0,005
74	Tomé-Açu	0,22	0,285	-0,05	0,818	0,44	0,030
65	S. Domingos Capim	0,22	0,290	0,19	0,368	-0,02	0,928
33	Inhangapi	0,16	0,449	0,26	0,209	0,11	0,593
9	Baião	0,15	0,485	0,10	0,627	-0,02	0,908
16	Bujaru	0,14	0,492	-0,09	0,670	0,32	0,118
64	S. Caetano Odivelas	0,14	0,497	-0,06	0,784	0,16	0,429
31	Igarapé-Açu	0,13	0,518	0,13	0,521	0,07	0,746
48	Ourém	0,13	0,536	-0,01	0,947	0,06	0,787
10	Barcarena	0,12	0,555	-0,03	0,879	0,32	0,124
19	Cametá	0,11	0,601	-0,07	0,731	0,16	0,455
50	Peixe-Boi	0,07	0,729	0,08	0,710	-0,09	0,657
26	Curralinho	0,05	0,828	-0,03	0,902	0,14	0,488
44	Moju	0,02	0,906	-0,14	0,496	0,20	0,345
72	Tailândia	0,02	0,906	0,13	0,530	-0,02	0,914
15	Breves	-0,01	0,963	-0,13	0,529	-0,21	0,312
13	Bonito	-0,05	0,798	-0,17	0,408	-0,30	0,141
62	Santarém Novo	-0,06	0,784	0,04	0,831	-0,14	0,503
35	Irituia	-0,07	0,756	-0,17	0,406	-0,03	0,882
43	Mocajuba	-0,10	0,620	-0,08	0,687	0,00	0,996
38	Magalhães Barata	-0,11	0,607	-0,05	0,812	-0,37	0,073
68	São João de Pirabas	-0,13	0,520	-0,08	0,703	-0,12	0,551
8	Bagre	-0,15	0,461	-0,16	0,457	0,01	0,959
20	Capanema	-0,16	0,452	-0,10	0,638	-0,28	0,175
30	Gurupá	-0,16	0,441	-0,27	0,191	-0,07	0,733
36	Limoeiro do Ajuru	-0,16	0,434	-0,39	0,052	0,17	0,420
51	Ponta de Pedras	-0,17	0,413	-0,20	0,336	0,01	0,977

Tabela 9 – continuação.

Cod.	Municípios	PREC_ANO		PREC_CHU+		PREC_CHU-	
		correl	p-valor	correl	p-valor	correl	p-valor
1	Abaetetuba	-0,18	0,400	0,04	0,857	0,01	0,962
40	Marapanim	-0,18	0,400	-0,07	0,747	-0,30	0,150
17	Cachoeira do Arari	-0,18	0,383	-0,18	0,396	0,01	0,971
66	S. Francisco do Pará	-0,21	0,314	-0,15	0,482	-0,41	0,045
45	Muaná	-0,25	0,227	-0,16	0,450	-0,10	0,617
61	Santa Maria do Pará	-0,25	0,221	-0,07	0,745	-0,20	0,342
55	Salinópolis	-0,26	0,214	-0,03	0,905	-0,22	0,289
27	Curuçá	-0,27	0,192	-0,12	0,556	-0,35	0,085
69	S. Miguel do Guamá	-0,31	0,128	-0,52	0,009	-0,47	0,019
77	Vigia	-0,33	0,113	-0,39	0,054	0,42	0,036
60	Santa Luzia do Pará	-0,35	0,088	-0,33	0,107	0,04	0,860
53	Primavera	-0,40	0,050	-0,18	0,375	-0,23	0,264
70	S. Sebastião B. Vista	-0,40	0,049	-0,35	0,083	-0,32	0,121
59	Santa Isabel do Pará	-0,41	0,044	-0,11	0,599	-0,33	0,105
6	Augusto Corrêa	-0,42	0,039	-0,32	0,119	-0,07	0,756
14	Bragança	-0,43	0,035	-0,33	0,110	-0,15	0,486
47	Oeiras do Pará	-0,44	0,028	-0,44	0,029	-0,19	0,365
73	Terra Alta	-0,56	0,015	-0,44	0,028	-0,42	0,039
63	S. Antônio do Tauá	-0,57	0,013	-0,39	0,056	-0,23	0,266

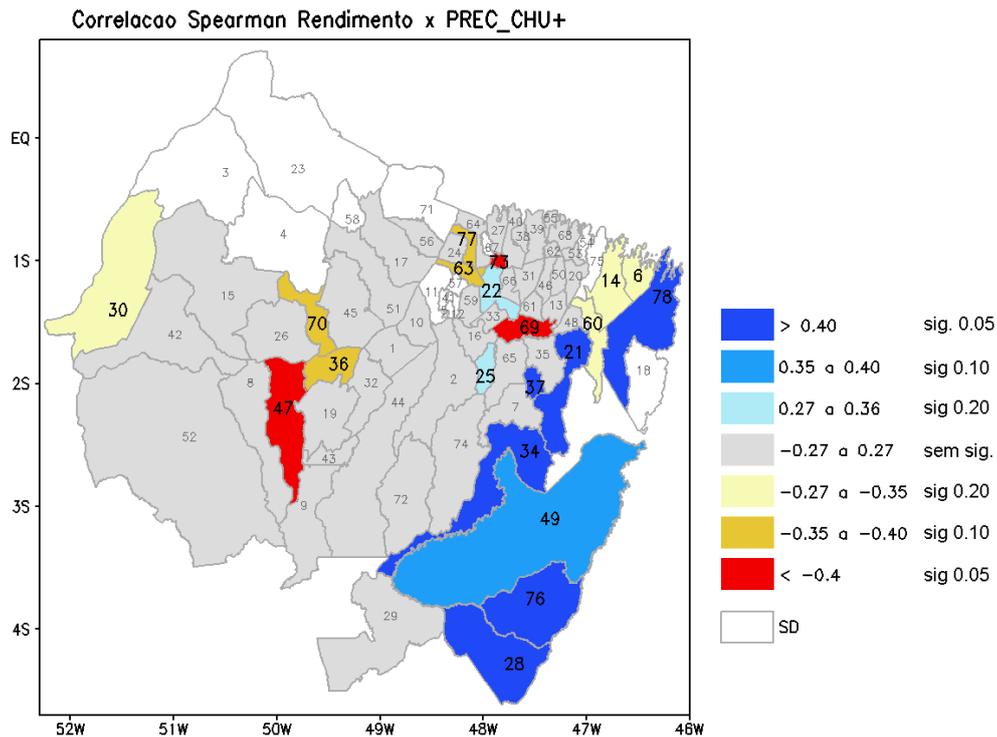
Fonte: Do autor.

Figura 25 – Correlações de Spearman entre o RM da mandioca e a PREC_ANO no período 1990 a 2014. O sinal, magnitude e a significância estatística das correlações estão indicados na legenda à direita. Os municípios contendo correlações significantes foram destacados com números maiores.



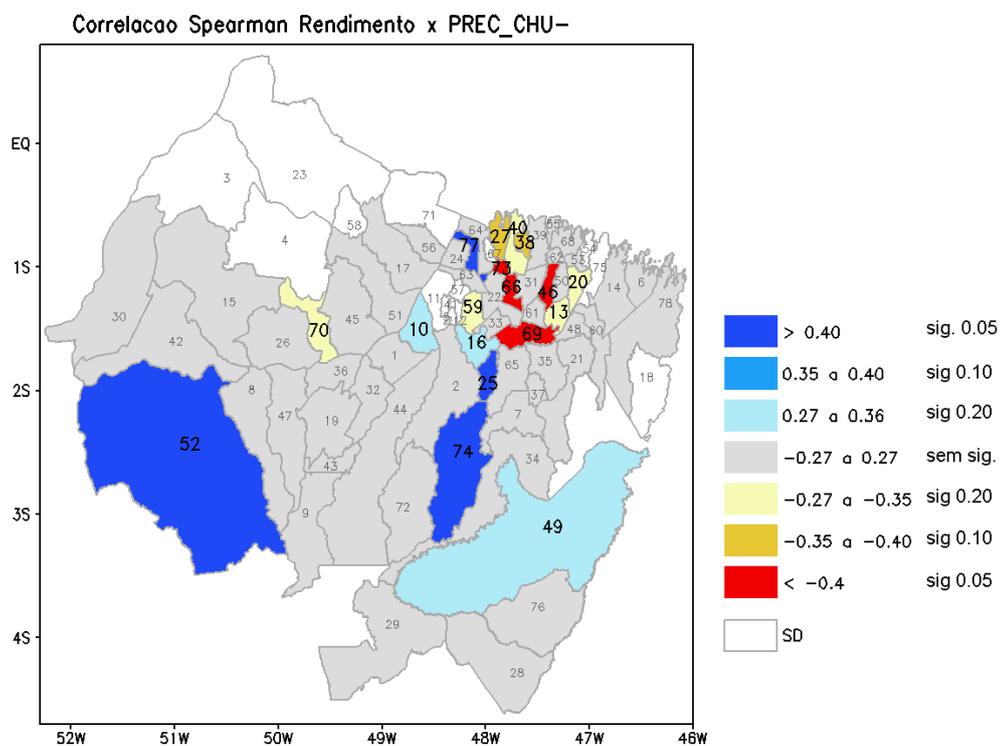
Fonte: Do autor.

Figura 26 – Idem a Fig. 25, porém para a precipitação do regime chuvoso (PREC_CHU+).



Fonte: Do autor.

Figura 27 – Idem a Fig. 25, porém para a precipitação do regime menos chuvoso (PREC_CHU-).



Fonte: Do autor.

4.2.3. Impactos dos anos extremos climáticos no rendimento da mandioca

As análises de impactos do clima na agricultura serão enfocadas considerando a composição dos anos climáticos extremos positivos (EC+), os quais são definidos pela ocorrência dos eventos de La Niña e GrSul. Por outro lado, a composição dos anos climáticos extremos negativos (EC-) são definidos pela manifestação dos eventos El Niño e GrNorte. Os critérios de seleção dos fenômenos climáticos foram definidos na seção 3.3.2 (Tabela 2).

Uma vez que a seção anterior indicou que a precipitação anual é a que responde mais fortemente ao rendimento da mandioca ao longo da RRB, então se analisam primeiramente os desvios percentuais de precipitação associados às composições EC+ e EC-, através da Figura 28 que mostra os valores do 3º quartil (Q3), média (Med) e 1º quartil (Q1).

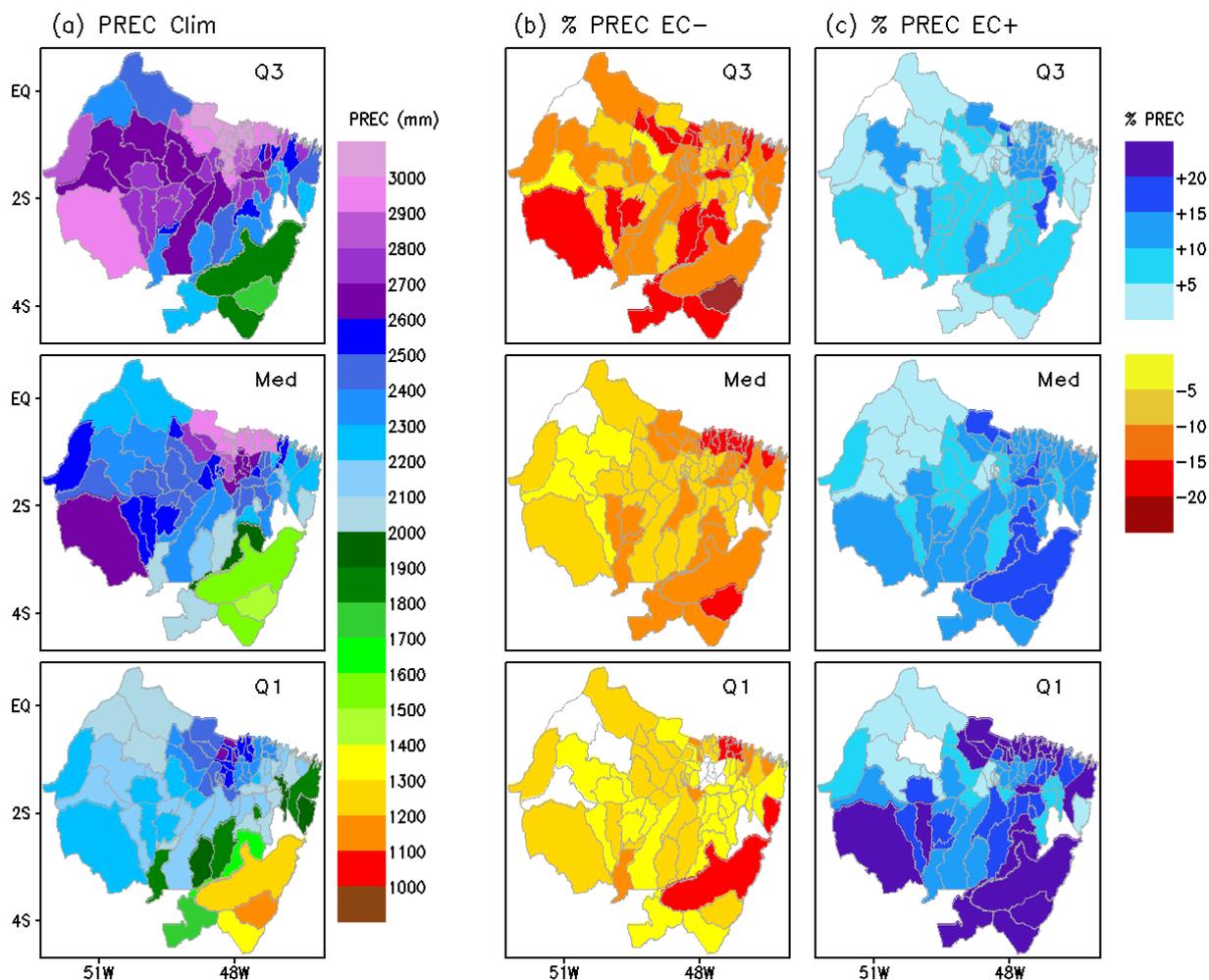
Os padrões de precipitação climatológica (Fig. 28a) mostram variabilidade espacial pronunciada ao longo da RRB, com os municípios do setor sudeste/leste apresentando magnitudes relativamente menores quando comparados aos municípios do setor norte/nordeste.

Os desvios de precipitação associados aos anos climáticos EC-(Fig. 28b) revelam a predominância de valores negativos entre -5 e -20 tanto na distribuição espacial dos valores de Q1 e da Med ao longo da região RRB, enquanto que para Q3 os desvios são mais intensos e com vários municípios apresentando desvios entre -15 e -20%.

Inversamente, os desvios de precipitação anual correspondentes aos anos EC+ (Fig. 28c) evidenciam a preponderância de valores positivos ao longo da RRB, com distribuição de percentuais entre +5 e +15 para Q3 e Med, enquanto que os desvios são mais presentes e mais intensos, entre +15 e +20% para Q1.

Portanto, tais resultados revelam que os episódios El Niño e GrNorte (La Niña e GrSul) deflagram a ocorrência de precipitação anormalmente negativa (positiva), com a distribuição de precipitação dos valores extremos do quartil superior - Q3 (quartil inferior - Q1) bem abaixo (acima) da média climatológica.

Figura 28 – Valores do 3º quartil(Q3), média e 1º quartil (Q1) da precipitação (mm) anual considerando: (a) climatologia (Clim, média 1990 2014) e desvios percentuais (%) de precipitação das composições (b) EC- e (c) EC+.



Fonte: Do autor.

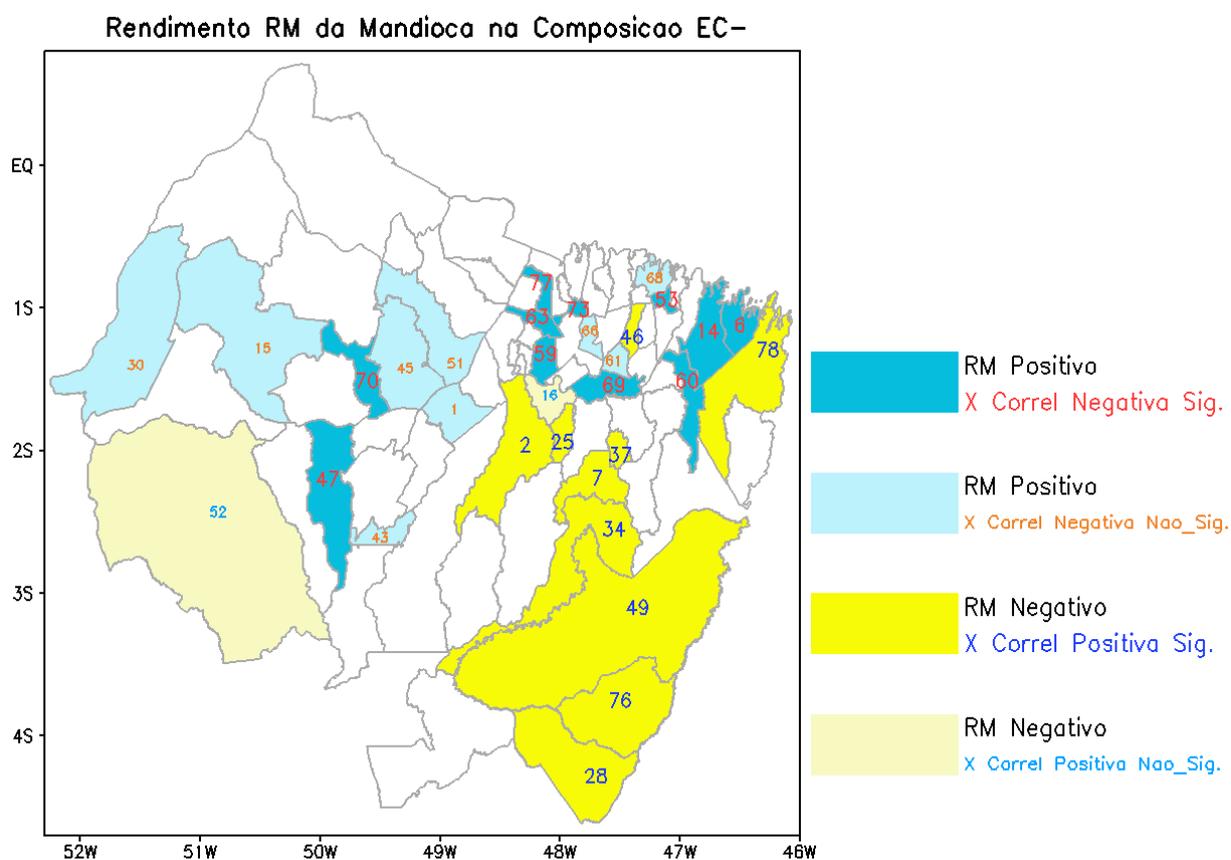
A seguir, apresentam-se os resultados das análises de impactos, cujos critérios levam em conta o sinal e intensidade da correlação significativa, a anomalia de precipitação anual e o sinal do rendimento RM (critérios mencionados na secção 33.7, Tabela 4).

Nos anos climáticos EC–em que predominam a ocorrência de chuva abaixo da média, os municípios com correlação positiva apresentam condições desfavoráveis ao rendimento da mandioca, ou seja, verificam-se RM negativo (abaixo da média), com destaque para os municípios de Ulianópolis (76), Acará (2), Dom Eliseu (28), Visau (78), Ipixuna do Pará (34),

Paragominas (49), Concórdia do Pará (25), Aurora do Pará (7), Mãe do Rio (37) e Nova Timboteua (46), conforme mostra a Fig. 29 (municípios em azul).

De maneira inversa, os municípios com correlação negativa exibem condições favoráveis ao aumento do rendimento da mandioca (RM positivo), principalmente em Santo Antônio do Tauá (63), Terra Alta (73), Oeiras do Pará (47), Bragança (14), Augusto Corrêa (6), Santa Isabel do Pará (59), São Sebastião da Boa Vista (70), Primavera (53), Santa Luzia do Pará (60), Vigia (77) e São Miguel do Guamá (69), em conformidade com a Fig. 29 (municípios em amarelo)

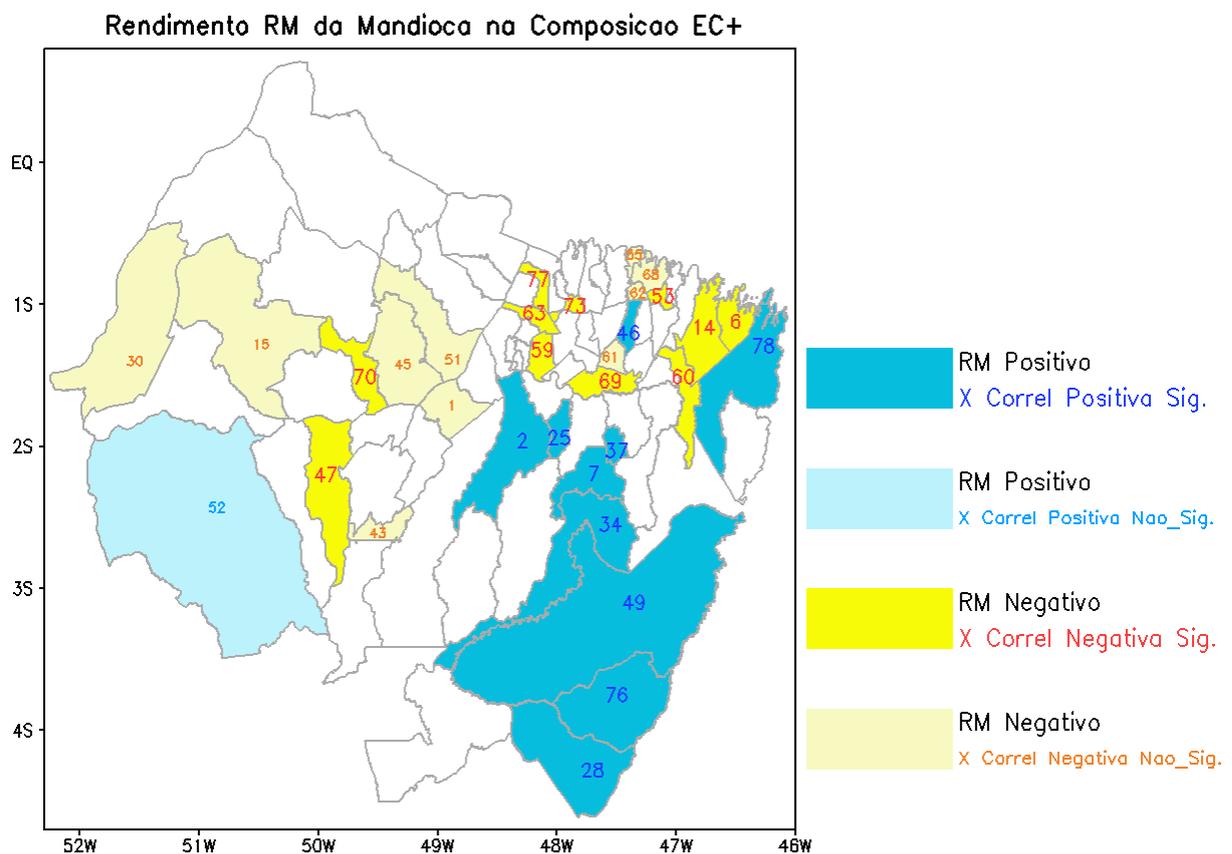
Figura 29 – Impactos dos extremos climáticos EC- no rendimento RM da mandioca. Municípios em azul indicam RM positivo (favorável ao rendimento) e em amarelo RM negativo (desfavorável ao rendimento). Números em azul maiores e menores indicam municípios com correlação significativa e não significantes, respectivamente.



Fonte: Do autor.

Nos anos climáticos EC+em que prevalecem os padrões de chuva acima do normal, os municípios com correlação negativa apresentam condições desfavoráveis ao rendimento da mandioca, ou seja, verificam-se RM negativo, notadamente nos municípios de Santo Antônio do Tauá (63), Terra Alta (73), Oeiras do Pará (47), Bragança (14), Augusto Corrêa (6), Santa Isabel do Pará (59), São Sebastião da Boa Vista (70), Primavera (53), Santa Luzia do Pará (60), Vigia (77) e São Miguel do Guamá (69), conforme mostrado na Fig. 30 (municípios em azul). Por outro lado, os municípios com correlação positiva exibem condições favoráveis ao aumento do rendimento da mandioca (RM positivo), principalmente em Ulianópolis (76), Acará (2), Dom Eliseu (28), Viseu (78), Ipixuna do Pará (34), Paragominas (49), Concórdia do Pará (25), Aurora do Pará (7), Mãe do Rio (37) e Nova Timboteua (46), como ilustrado na Fig. 30 (municípios em amarelo)

Figura 30 –Idem a Fig. 29, porém para os impactos dos extremos climáticos EC+.



Fonte: Do autor.

Complementando as análises de impactos, foram separados os municípios que apresentaram correlações significativas positivas dos municípios com correlação negativa e foram gerados os diagramas de dispersão entre os desvios de precipitação anual e o rendimento RM da mandioca, bem como os gráficos box-plot considerando os anos de extremos climáticos EC+ e EC-.

A Figura 31 mostra os diagramas de dispersão para os municípios com correlação positiva significativa, nos quais, a despeito da discrepância de alguns anos individuais, em geral observam-se valores positivos de PREC_ANO e RM nos anos EC+ e valores negativos de PREC_ANO e RM nos anos EC-.

Figura 31 – Diagrama de dispersão entre PREC_ANO e RM da mandioca nos anos EC+ e EC- para os municípios que apresentaram correlações positivas estatisticamente significativas

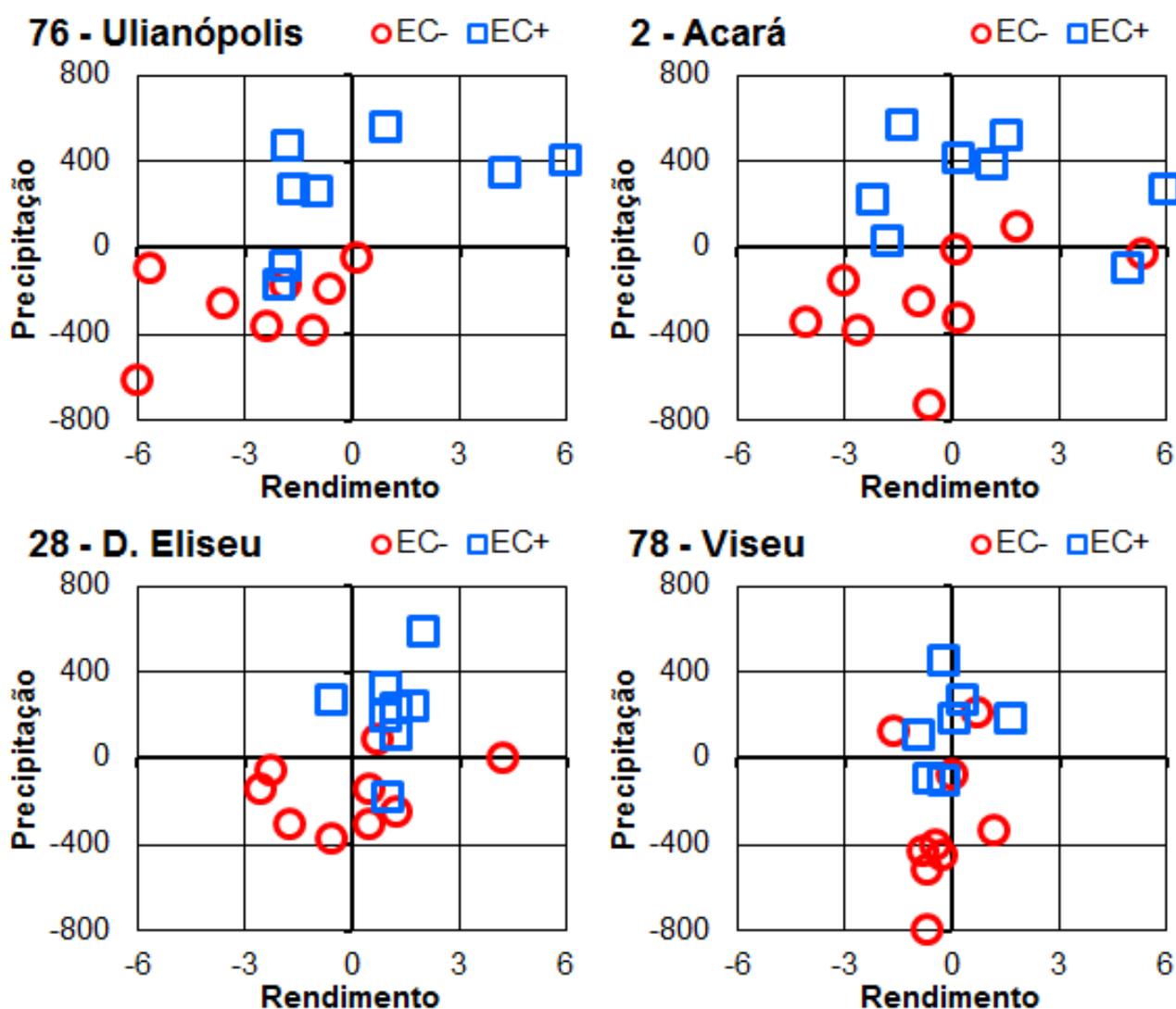
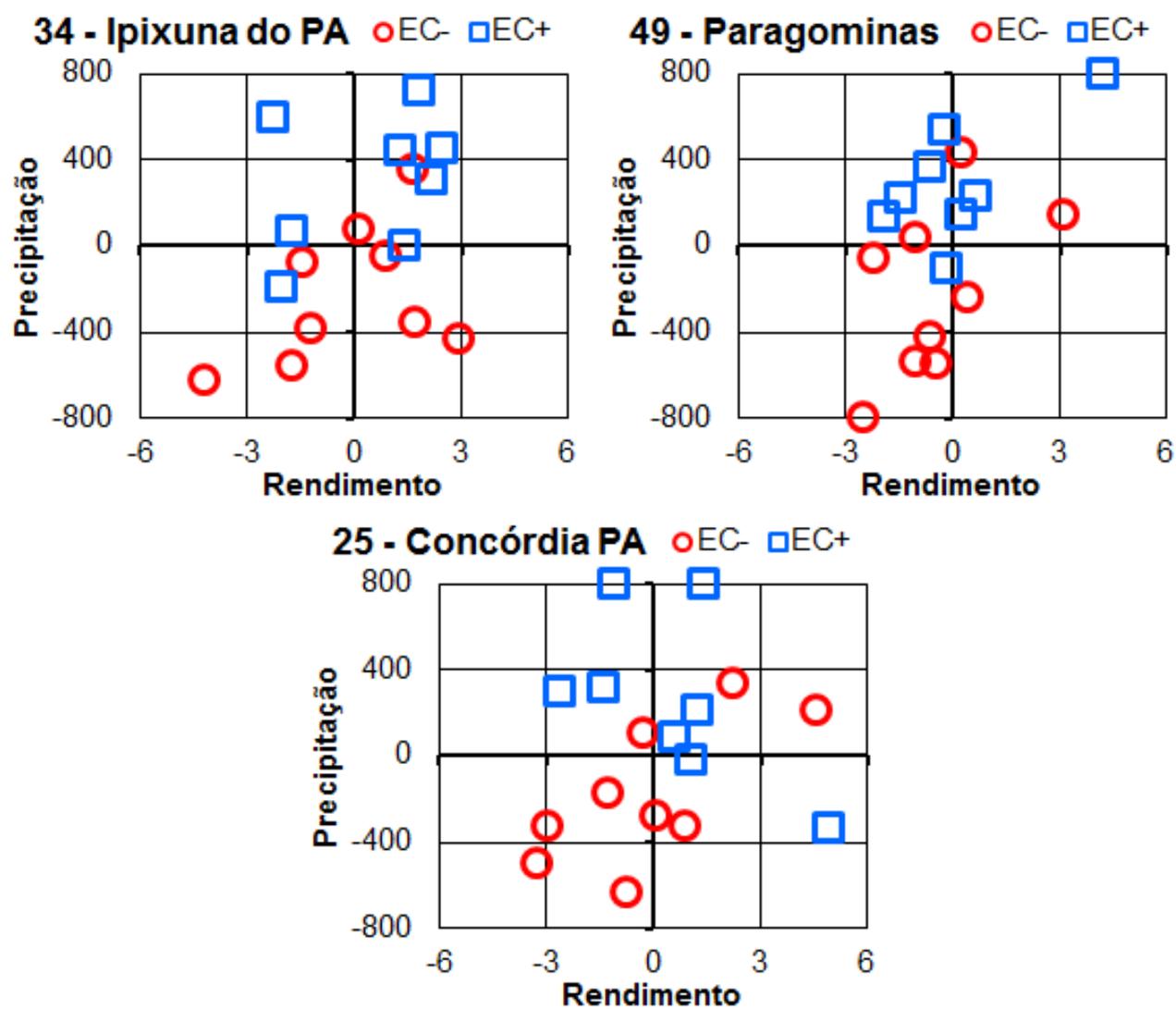


Figura 31 – continuação.



Fonte: Do autor.

A Figura 32 mostra os diagramas de dispersão para os municípios com correlação negativa significativa, cujos resultados mostram, em geral, a ocorrência de valores positivos de PREC_ANO para valores negativos de RM nos anos EC+, enquanto que prevalecem valores negativos de PREC_ANO para positivos de RM nos anos EC-.

Figura 32 – Diagrama de dispersão entre PREC_ANO e RM da mandioca nos anos EC+ e EC- para os municípios que apresentaram correlações negativas estatisticamente significantes

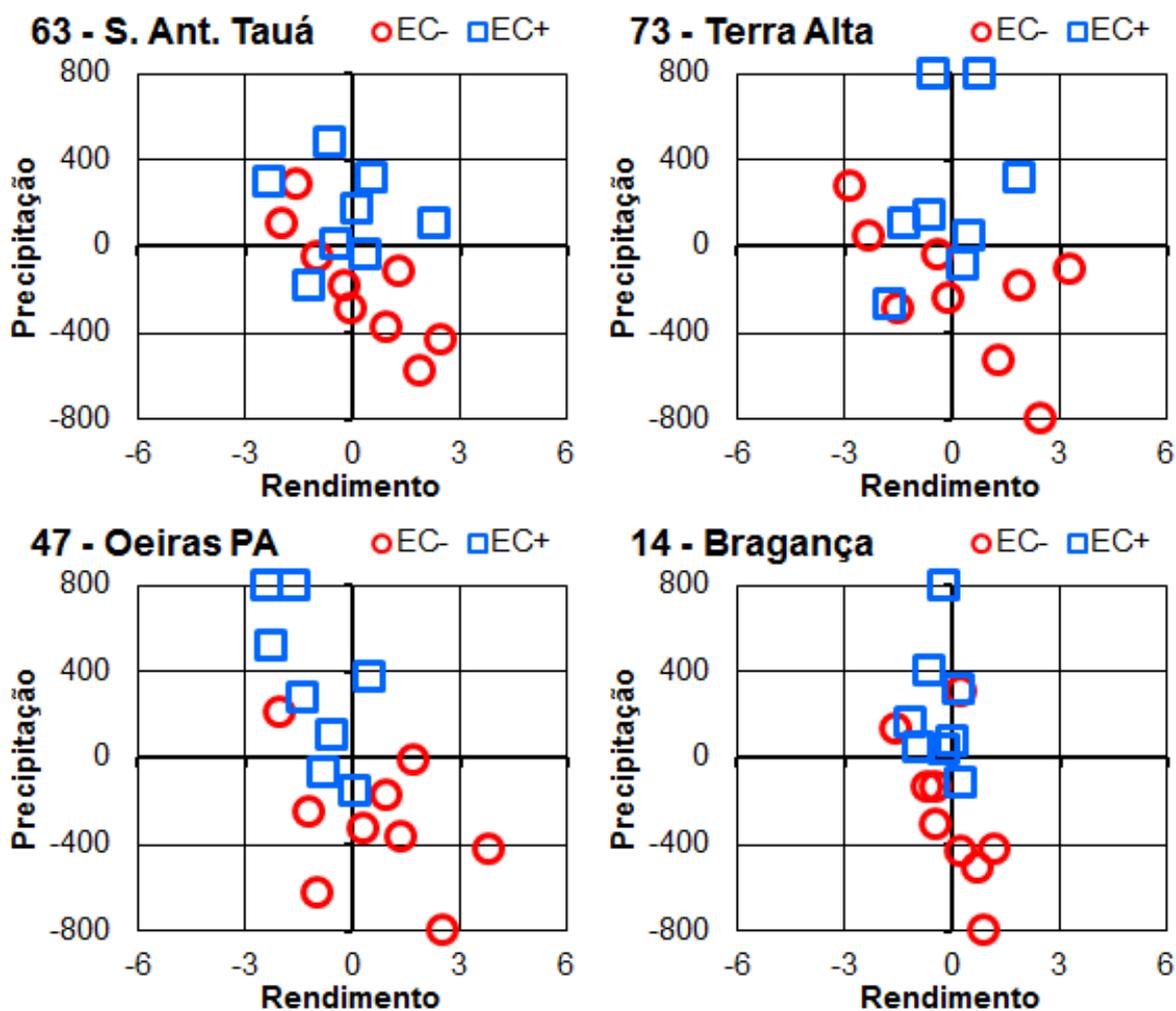
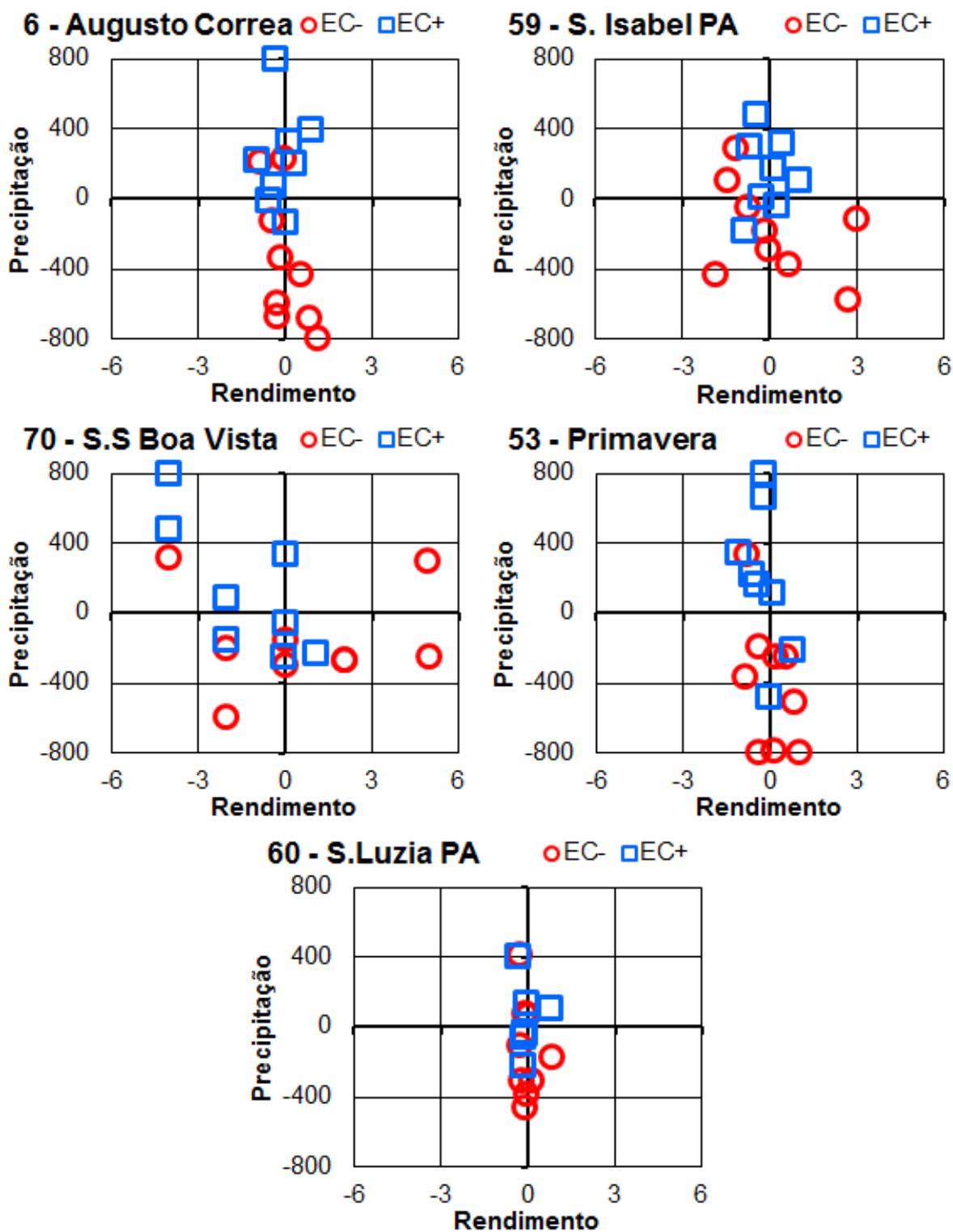


Figura 32 – continuação.



Fonte: Do autor.

A Figura 33 mostra os impactos dos anos climáticos extremos EC+ e EC- na precipitação anual (PREC_ANO) e no rendimento RM da mandioca para os municípios com correlação positiva significativa. As informações do boxplot permitem uma análise quantitativa do rendimento RM da mandioca dos anos climáticos extremos relativos ao padrão climatológico (média 1990_2014). Os resultados demonstram novamente que nos anos EC+ a PREC_ANO e o RM oscilam acima da média, enquanto que nos anos EC- a PREC_ANO e o RM ficam abaixo da média, notadamente nos municípios Ulianópolis, Acará, Dom Eliseu, Viseu, Ipixuna do Pará, Paragominas e Concórdia do Pará.

Figura 33 –Box-plot de PREC_ANO (à esquerda) e RM da mandioca (à direita) para a média 1990_2014 e composições EC+ e EC- nos municípios com correlações positivas significantes

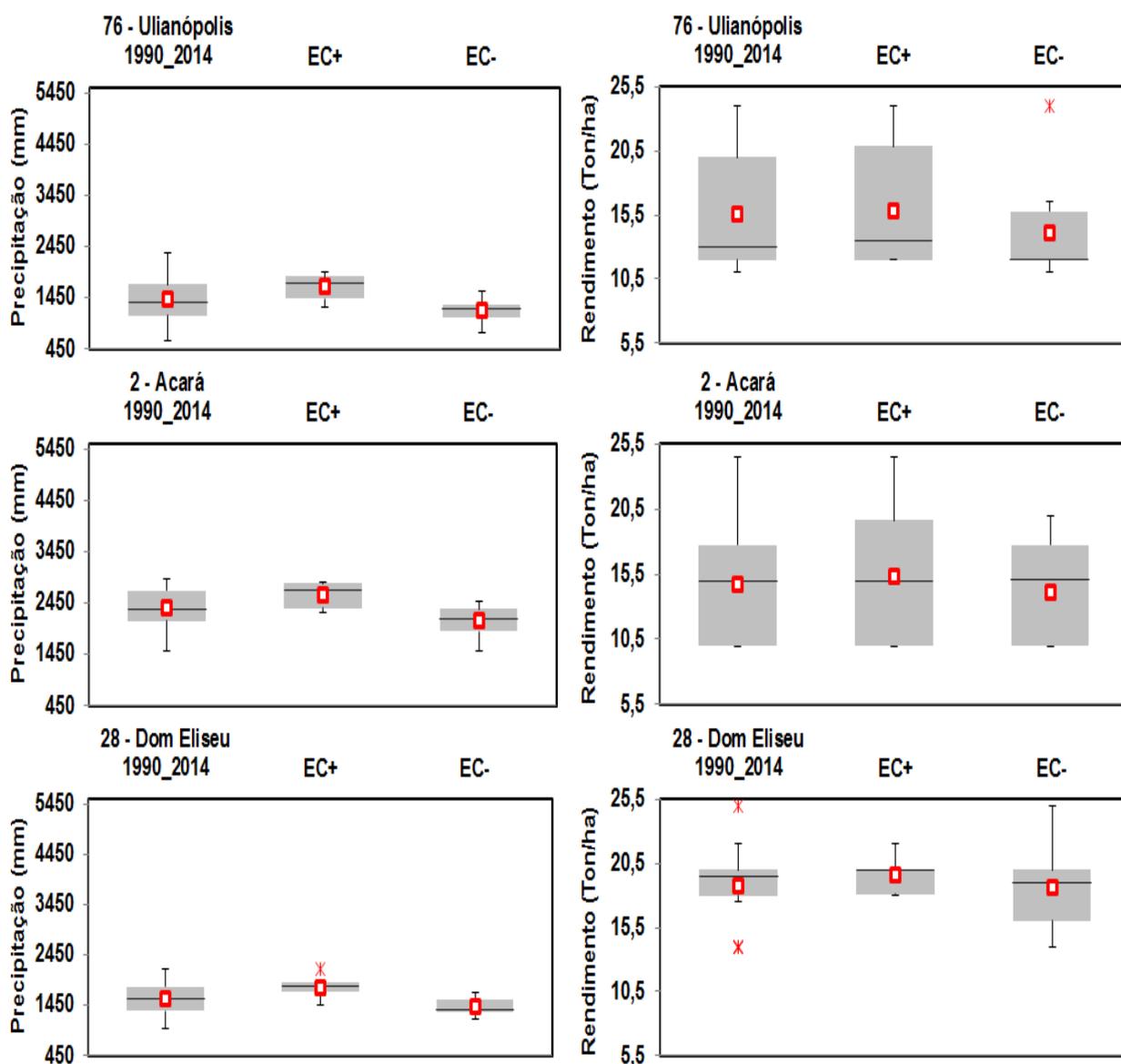
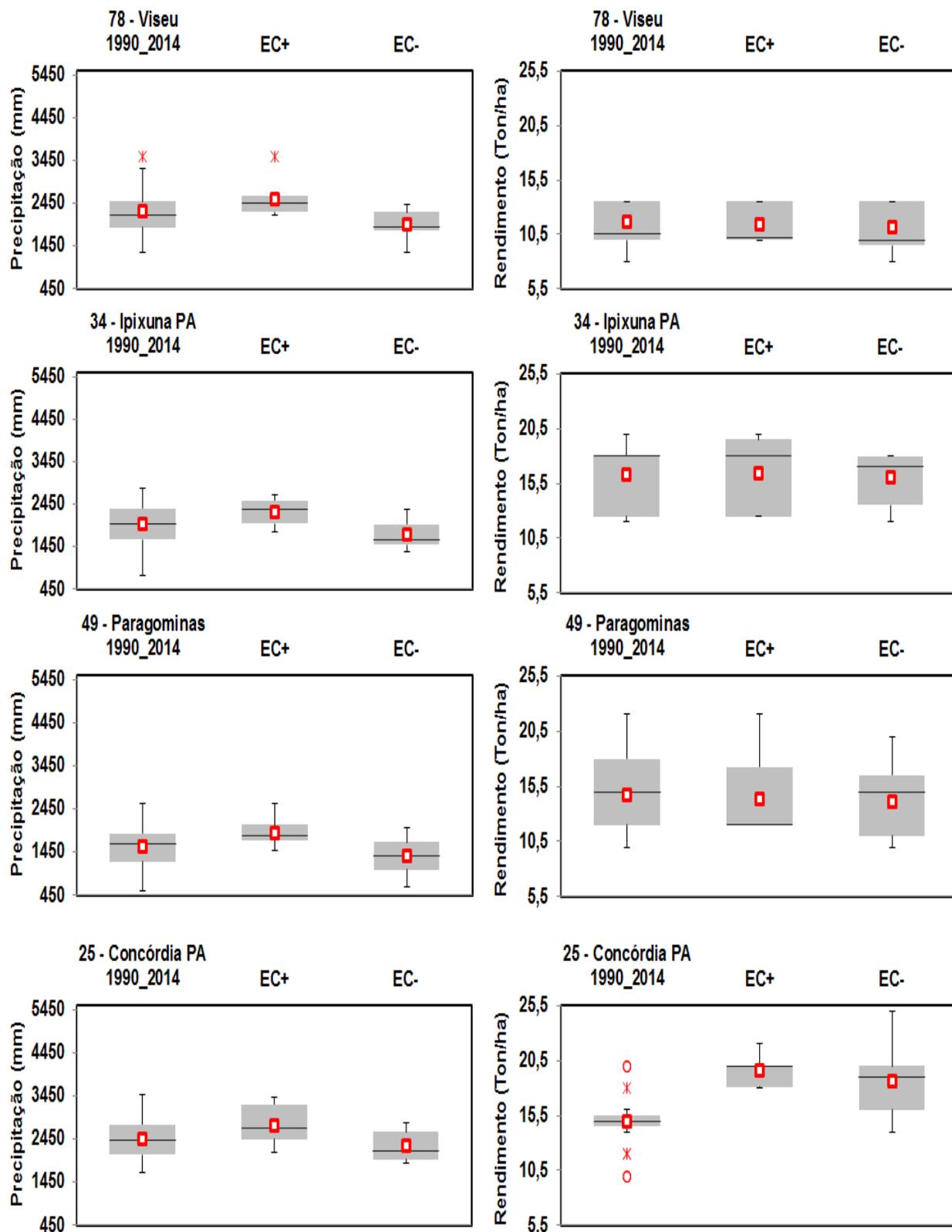


Figura 33 – continuação.



Fonte: Do autor.

A Figura 34 mostram os resultados em termos quantitativos dos boxplots concernente aos impactos dos anos climáticos EC+ e EC- nas variáveis PREC_ANO e RM para os municípios com correlação negativa significativa. Em geral, observa-se a ocorrência de PREC_ANO acima da média com RM abaixo da média nos anos EC+, enquanto que a PREC_ANO fica abaixo da média e o RM acima da média nos anos EC-, especialmente nos municípios de Tauá, Terra Alta, Oeiras do Pará, Bragança, Augusto Correa, Sta Isabel do Pará e São Sebastião da Boa Vista.

Figura 34 – Box-plot de PREC_ANO (à esquerda) e RM da mandioca (à direita) para a média 1990_2014 e composições EC+ e EC- nos municípios com correlações negativas significantes

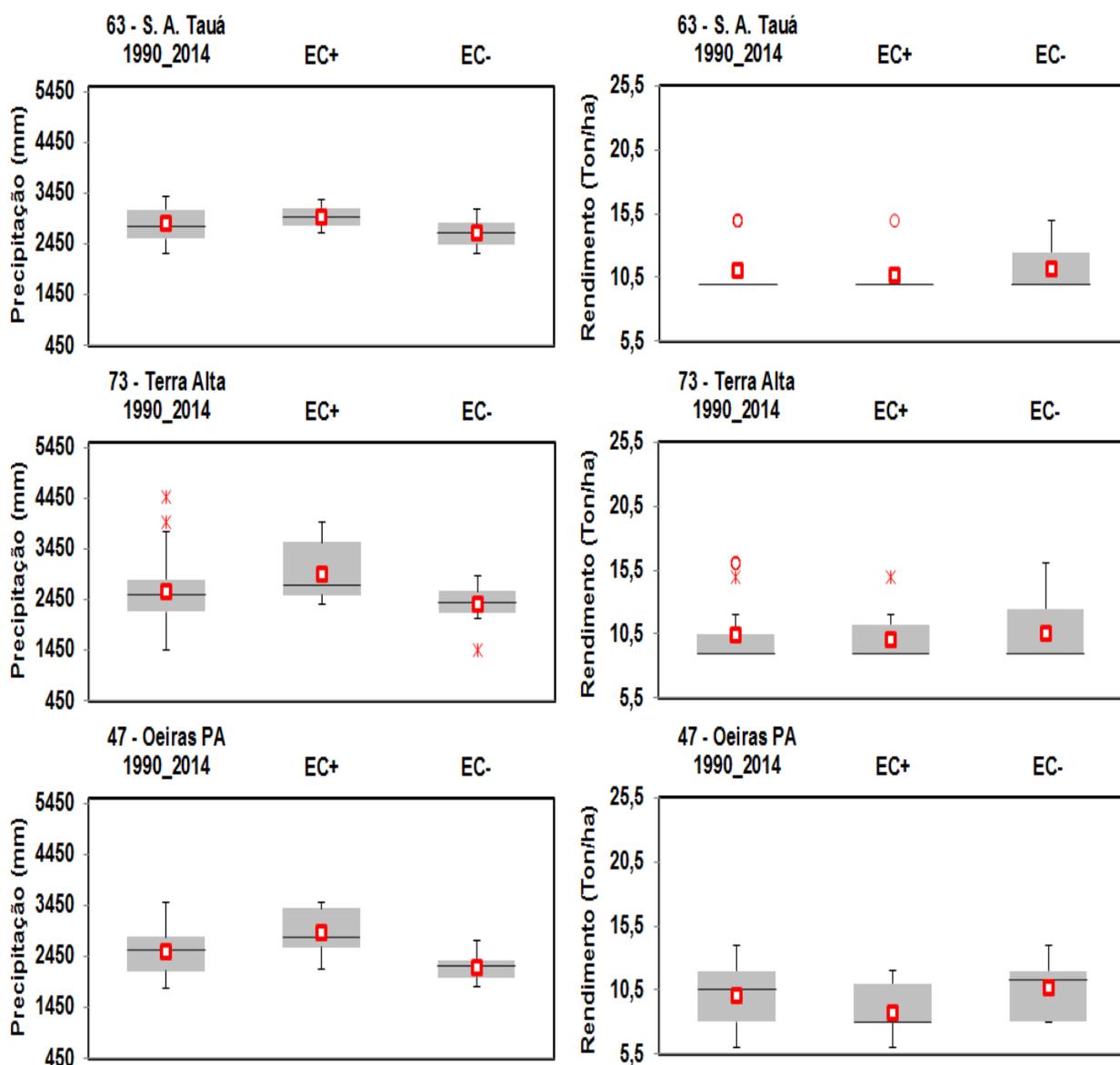


Figura 34 – continuação.

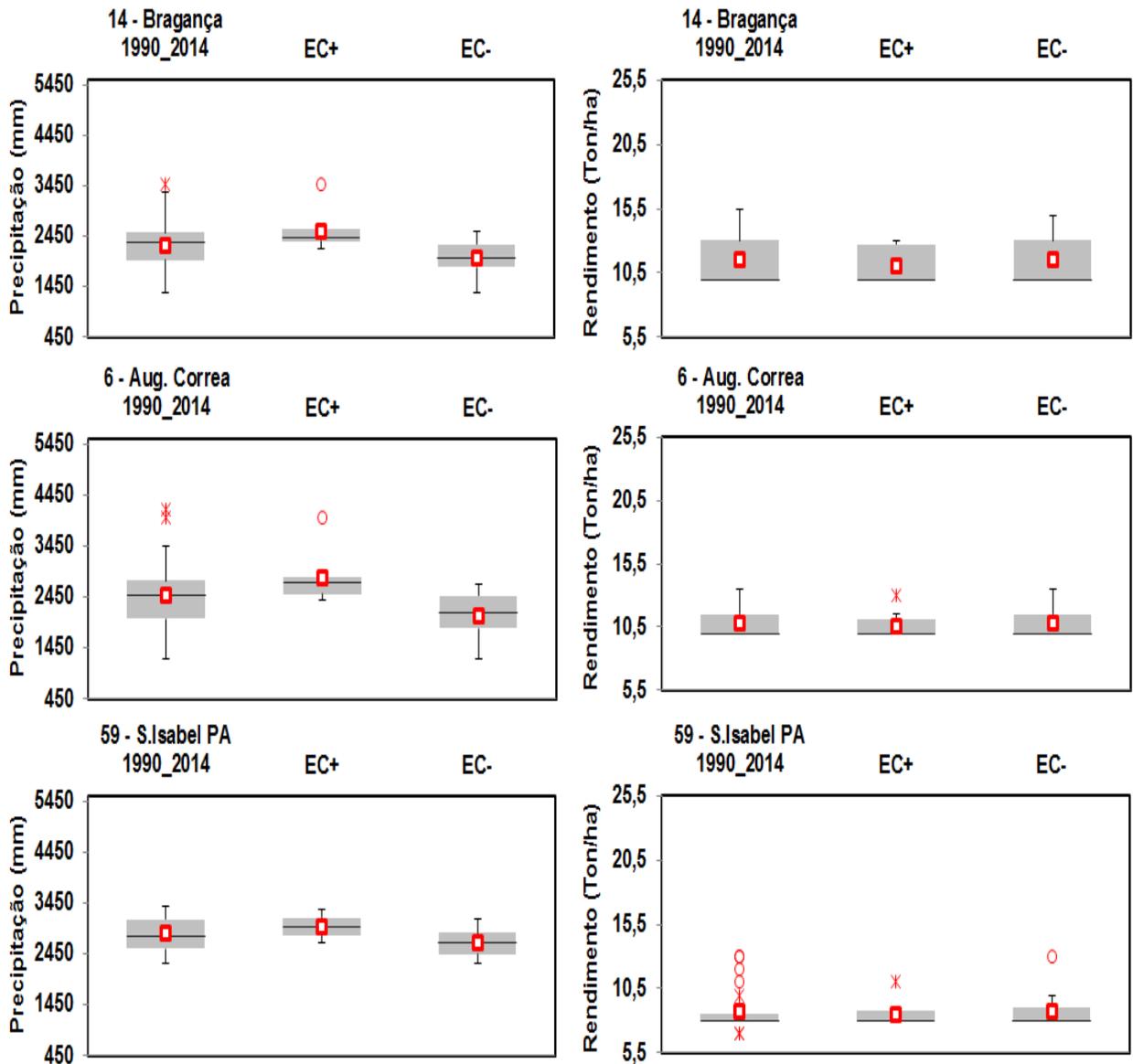
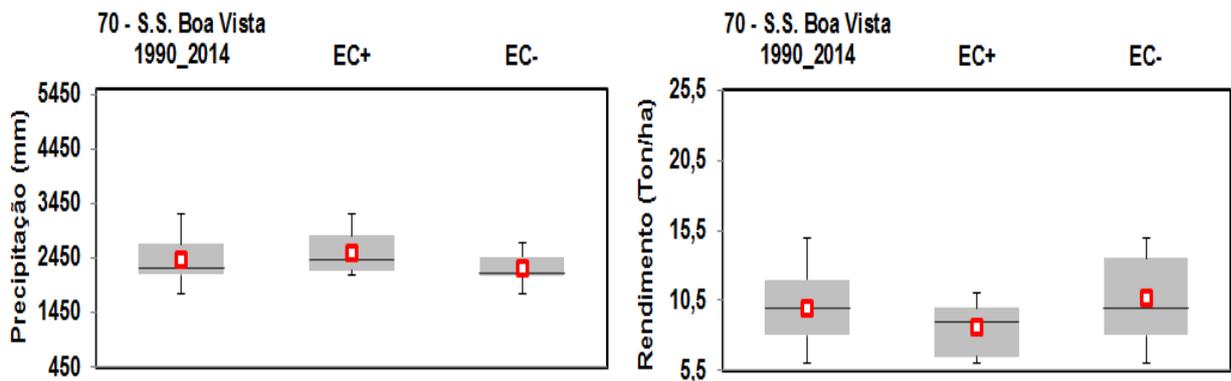


Figura 34 – Continuação



Fonte: Do autor.

4.3. ESTATÍSTICA ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO E RENDIMENTO DA MANDIOCA

4.3.1. Análise exploratória de dados espaciais

Para o período de 1990 a 2014, foram considerados os dados de precipitação, as médias anuais (Prec_ano), médias dos períodos menos chuvoso (Prec_Ch-) e médias do período mais chuvoso (Prec_Ch+) e para a mandioca, rendimento médio anual (Rend_Mand) para todos os municípios que compõe a RRB. A Tabela 10 apresenta as principais estatísticas descritivas para essas variáveis espacialmente. Valores de média e mediana próximos indicam distribuições com pouca assimetria. Neste caso, o rendimento e precipitação para o período menos chuvoso são as distribuições com maior assimetria.

Os máximos e mínimos de chuva para as precipitações anuais, período mais e menos chuvoso que se espera ocorrer durante um ano sem fenômenos climáticos intensos anômalos atuando sobre a região, mostrados pelos percentis Q25 e Q75. Isto significa dizer que, por exemplo, com relação ao total anual de chuva na RRB, se em um determinado ano chover apenas 2330,9 mm, e no ano seguinte chover 2620,2 mm, portanto uma diferença interanual de 289,3 mm, em ambos os casos, as chuvas são caracterizadas como dentro do normal e, por conseguinte, a diferença observada é resultado apenas de variabilidade climática natural. Todavia, na hipótese dos valores ficarem acima ou abaixo dos valores apresentados na Tabela 10, caracteriza-se, então, um ano anômalo, provocado por eventos climáticos decorrentes de distúrbios oceânicos e/ou atmosféricos, que é o caso dos valores mínimos e máximos encontrados na região. Com relação ao rendimento médio da mandioca, os valores dos percentis Q25 e Q75 observados na Tabela são 10294,0 kg/ha e 13502,0 kg/ha, respectivamente, significando que os rendimentos médios anuais compreendidos nesse intervalo são os esperados anualmente na região e que os valores fora desse intervalo, no caso os valores máximos e mínimos, 8720,0 e 18835,0 kg/ha, respectivamente, representam situações atípicas.

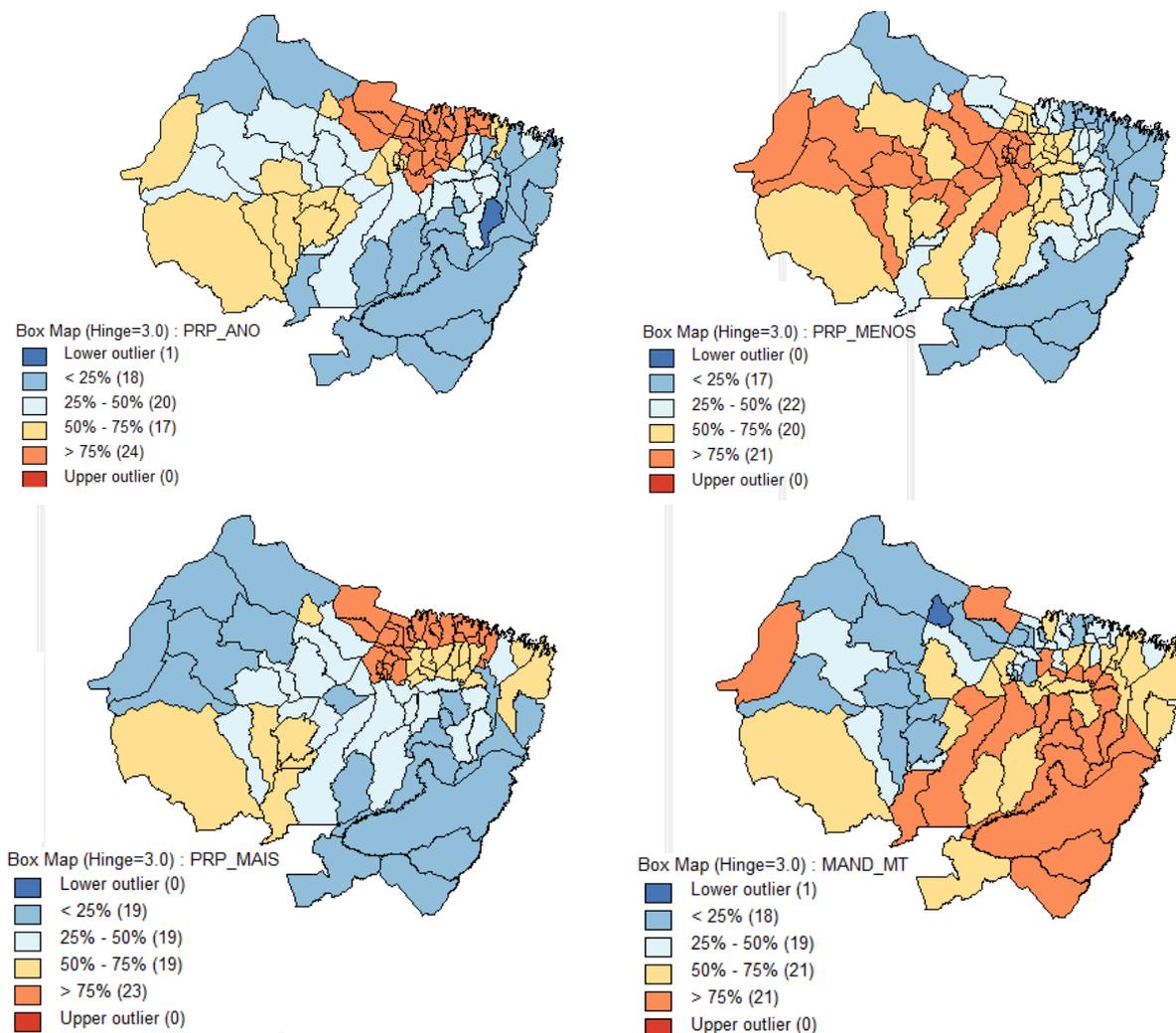
Tabela 10 – Principais estatísticas descritivas das variáveis em estudo.

Varáveis	Min	Q25	Media	Mediana	Q75	Max
Prec_Ano(mm)	1193,0	2330,9	2469,6	2495,9	2620,2	3059,8
Prec_Ch-(mm)	82,1	195,2	264,5	273,3	308,1	422,9
Prec_Ch+(mm)	990,7	1410,3	1503,9	1496,9	1582,4	1820,5
Rend_Mand(kg/ha)	8720,0	10294,0	12147,9	11584,0	13502,0	18835,0

Fonte: Do autor.

Para a visualização espacial das distribuições com base nos dados da Tabela 10 foram construídos os boxmaps mostrados na Figura 35 em que se pode observar que a região sudeste da RRB apresenta os maiores rendimentos de mandioca médios anuais e menores precipitações. A distribuição da precipitação média anual, do período mais e menos chuvoso e o rendimento médio anual da mandioca é mostrado no Boxmaps (Figura 35) no período de 1990 a 2014. Essa distribuição não acontece de forma homogênea entre os municípios da RRB. A Figura apresenta os dados médios considerando a presença de outliers (boxmap). Uma observação é determinada como outlier quando não segue o mesmo padrão de dependência espacial como a maioria das outras observações. Os outliers podem exercer uma influência espúria sobre a medida global de autocorrelação espacial (Almeida,2012). Existem outliers de duas naturezas: outlier global e outlier espacial. O global pode ser definido como uma observação que foge muito das outras restantes tanto para cima como para baixo. O espacial é definido como o que apresenta uma associação espacial extrema e são definidos em termos das observações vizinhas.

Figura 35 –Boxmaps da precipitação média anual (acima à esquerda), precipitação período menos chuvoso (acima à direita), precipitação período mais chuvoso (abaixo à esquerda) e rendimento da mandioca (abaixo à direita).



Fonte: Do autor.

Sabe-se que a correlação ou dependência espacial pode ser medida de diferentes formas. Para a verificação da existência de correlação ou dependência espacial da distribuição das variáveis na área de estudo (RRB) no período de 1990 a 2014, foi utilizado o Índice de Moran (I), que é uma das estatísticas mais difundidas neste sentido. É uma medida global da autocorrelação espacial, pois indica o grau de associação espacial presente no conjunto de dados (Perobelli et. al.,2005). Valores significativos de índices de autocorrelação são evidências de dependência espacial e, neste caso, os modelos inferenciais devem levar em consideração o espaço nas suas formulações. A Tabela 11 com os índices de Moran e respectivas significâncias para as variáveis em estudo mostra a necessidade de se considerar, na avaliação das relações

entre as variáveis em estudo, a componente espacial, isto é, significa que existe autocorrelação espacial, pois, em todos os casos os índices de Moran foram altamente significativos ($p < 0.001$).

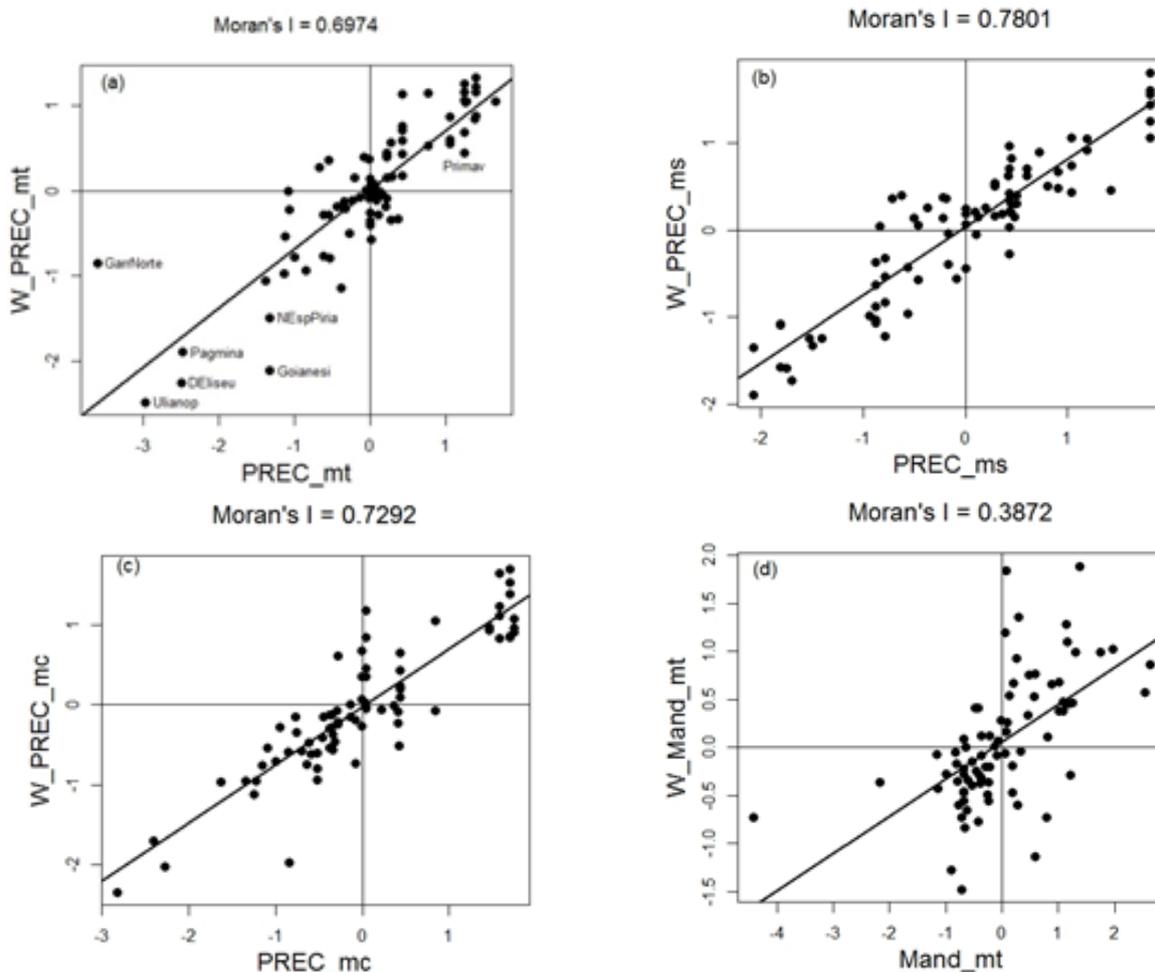
Tabela 11 – Estatísticas I de Moran global para as médias das variáveis.

Variável	I de Moran	Significância (p-value)
Prec_ano	0,6974	$p < 0,001$
Prec_menosc	0,7801	$p < 0,001$
Prec_maisc	0,7292	$p < 0,001$
Rend_Mand	0,3872	$p < 0,001$

Fonte: Do autor.

A Figura 36 apresenta os diagramas de dispersão do I de Moran global no qual se pode observar o grau de dependência espacial das variáveis estudadas. No eixo horizontal está variável de interesse e no eixo vertical a defasagem espacial (lag) da variável de interesse para o mesmo período. Estes regimes espaciais, como vistos anteriormente, podem ser: baixo–alto (LH ou BA), indica que os municípios que apresentam baixa produtividade são vizinhos de outros com alta produtividade; o regime alto–alto (HH ou AA) denota que municípios com alta produtividade são vizinhos de outros com alta produtividade também; o regime alto–baixo (HL ou BA) informa que municípios com alta produtividade possuem vizinhos com baixa produtividade; e, finalmente, o regime baixo–baixo (LL ou BB) implica que municípios com baixa produtividade são vizinhos de outros com baixa produtividade também. Como podem ser observados, todos os valores do I de Moran são positivos, o que identifica uma autocorrelação espacial global positiva para todas as variáveis de interesse, que no caso do presente estudo, isso significa dizer que municípios que apresentam valores das variáveis de interesse elevados são vizinhos de outros municípios que também apresentam elevados valores das variáveis de interesse ou, alternativamente, que municípios com baixo valores das variáveis de interesse são circundados por outros municípios também ostentando baixo valores das variáveis de interesse. Em síntese, verificou-se que no período estudado a Estatística de Moran apresentou uma relação positiva para todas as variáveis de interesse, visto que nos quatros diagramas observa-se uma aglomeração dos municípios nos quadrantes AA e BB. Observa-se também no diagrama que os índices de precipitação, foram bem superiores ao índice do rendimento, e apresentam correlação espacial mais definida do que o rendimento.

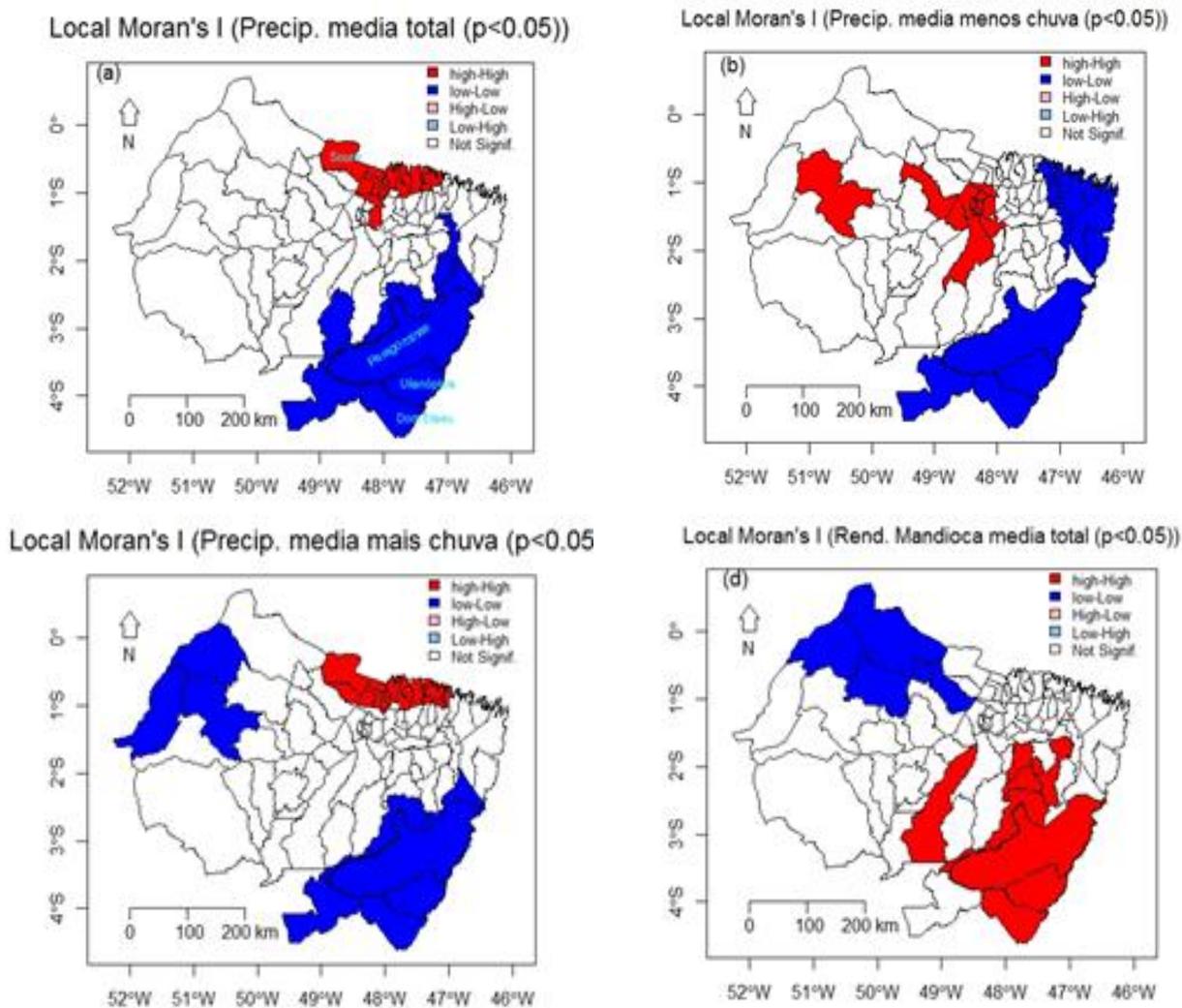
Figura 36 –Diagrama de dispersão do I de Moran global. (a) Precipitação media total; (b) Precipitação no período menos chuvoso; (c) Precipitação no período mais chuvoso (d) Rendimento médio da mandioca.



Fonte: Do autor.

Para a visualização dos locais que apresentam correlação espacial significativa se utiliza o mapa do Índice Local de Moran, apresentados na Figura 37. Pode-se, por exemplo, identificar os municípios localizados no quadrante Baixo-Baixo para a precipitação media total na Figura 37^a (em cor azul). O que significa que as regiões em azul formam “clusters” ou agrupamentos de áreas semelhantes, com valores baixos de precipitação pluviométrica ou de rendimento médio anual e as áreas em vermelho com “clusters” com altos valores de precipitação pluviométrica ou de rendimento médio anual. Em outras palavras, municípios com altos (baixos) de valores de precipitação ou de rendimento médio de mandioca são vizinhos de municípios com altos (baixos) valores de precipitação ou de rendimento médio.

Figura 37 – Mapas do I local de Moran. (a) Precipitação média total; (b) Precipitação no período menos chuvoso; (c) Precipitação no período mais chuvoso~(d) Rendimento médio da mandioca.



Fonte: Do autor.

Uma forma de avaliação da relação entre a precipitação e o rendimento da mandioca foi considerar o índice de Moran bivariado. Neste caso, o índice informa a correlação espacial da precipitação com o rendimento da mandioca. Especificamente se avalia um local com alta (ou baixa) precipitação está influenciando os rendimentos de mandioca em sua vizinhança. Isso é feito, considerando a relação entre a precipitação do local com a média do rendimento dos locais vizinhos a ele. Os resultados para os índices global de Moran e para os índices locais de Moran, representados pelos mapas LISA (*Local Indices of Spatial Association*), são apresentados na Tabela 12 e Figuras 38 e 39. Observa-se na Tabela 12, que de maneira geral ocorre uma associação negativa entre as variáveis, ou seja, em geral locais com precipitações mais altas estão

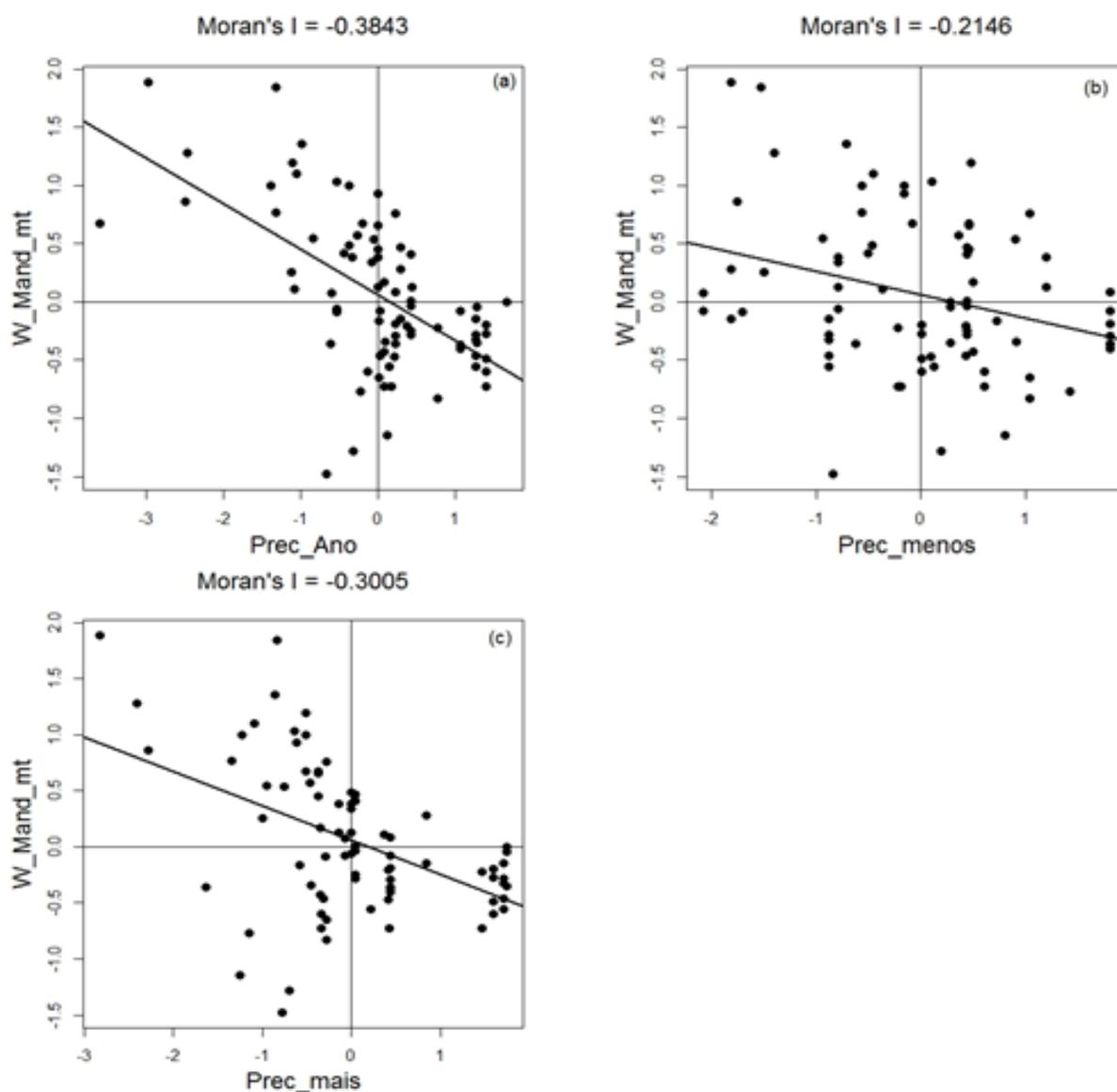
associados a rendimentos mais baixos de mandioca e vice-versa. Os locais que apresentam valores significativos são mostrados na Figura 38.

Tabela 12 – Estatísticas I de Moran bivariado para as médias das variáveis.

Variáveis	I de Moran	Significância (p-value)
Prec_AnovsRend_Mand	-0,3843	p < 0,001
Prec_Ch-u-s Rend_Mand	-0,2146	p < 0,001
Prec_Ch-u+ vs Rend_Mand	-0,3005	p < 0,001

Fonte: Do autor.

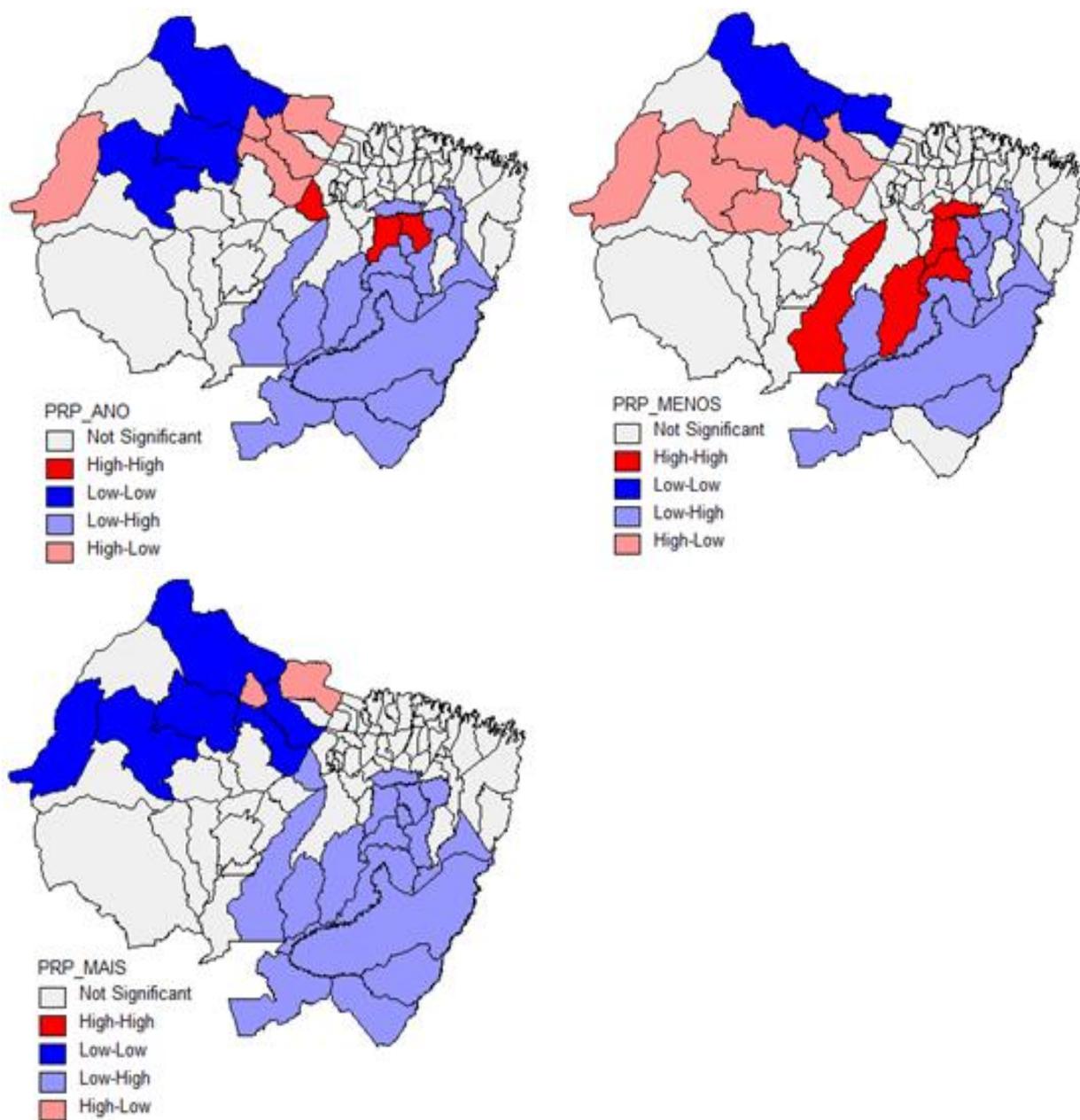
Figura 38 – Gráficos de dispersão do I de Moran bivariado. Precipitação media total versus rendimento da mandioca (a); Precipitação no período menos chuvoso versus rendimento da mandioca (b); Precipitação no período mais chuvoso versus rendimento da mandioca (c).



Fonte: Do autor.

O diagrama de espalhamento de Moran também pode ser apresentado na forma de um mapa temático bidimensional, no qual cada polígono é apresentado indicando-se seu quadrante no diagrama de espalhamento, como ilustra a Figura 39, em que se mostra o mapa do espalhamento do índice de Moran para a relação entre as precipitações médias anuais, do período mais e menos chuvoso com o rendimento médio da mandioca na RRB. Nesta Figura, “Alto-Alto”, “Baixo-Baixo”, “Alto-Baixo” e “Baixo-Alto” indicam, respectivamente, os quadrantes Q1, Q2, Q3 e Q4, mostrados na Figura 39. De uma forma geral, se observa em todas as figuras que nos municípios localizados na parte sul da região (azul claro), ou seja, quadrante Q4, Baixo-Alto, que precipitação é baixa e o rendimento é alto, por outro lado, as regiões em azul mais escuro, quadrante Baixo-Baixo, mostra municípios onde a precipitação é baixa e o rendimento médio também. Situações de precipitação alta com rendimento alto, Alto-Alto, quadrante Q1, são mostradas somente nos casos de precipitação anual e período mais seco. Os municípios que se enquadram nessa situação são de Barcarena, Irituia e São Domingos do Capim (Prec_Anual) e Moju, Tomé-Açu, São Domingos do Capim, Aurora do Pará e São Miguel do Guamá (Prec_Ch-). E para situações de Alto-Baixo, quadrante Q3, isto é, precipitações altas com rendimento baixo, ocorrem na parte oeste e noroeste da região. Os municípios de Gurupá, Cachoeira do Arari, Ponta de Pedras, Santa Cruz do Arari e Soure (Prec_Ano), para a Prec_Ch-, os municípios de Gurupá, Anajás, Breves e Melgaço, e no período mais chuvoso se enquadram nessa situação os municípios de Soure e Santa Cruz do Arari.

Figura 39 – Mapas LISA do I de Moran local bivariado. Precipitação media total versus rendimento da mandioca (acima à esquerda); Precipitação no período menos chuvoso versus rendimento da mandioca (acima à direita); (c) Precipitação no período mais chuvoso versus rendimento da mandioca (abaixo à esquerda).



Fonte: Do autor.

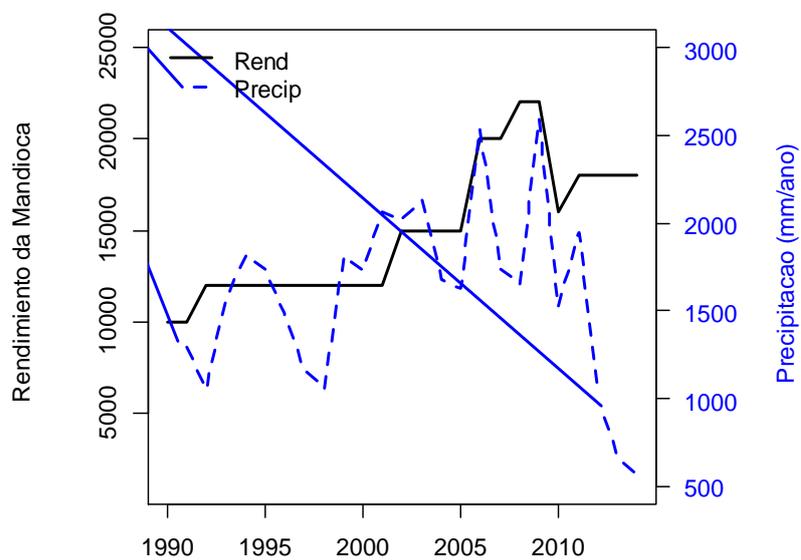
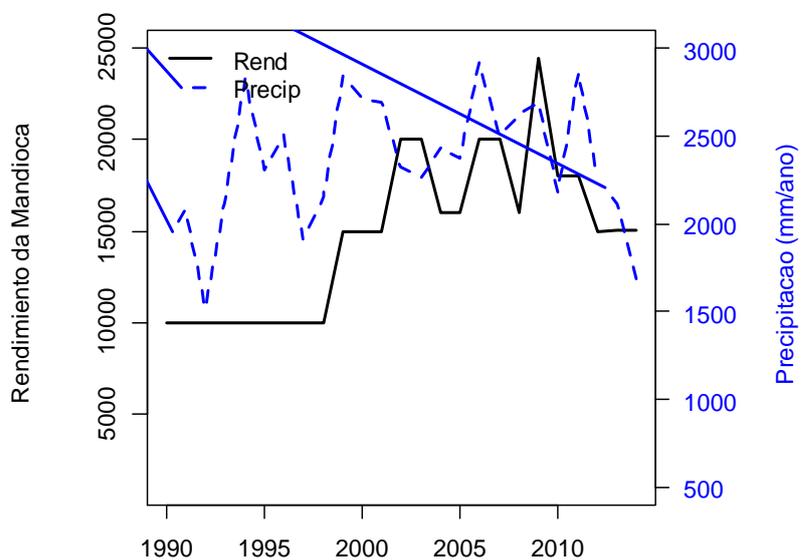
4.4. Co-integração: estudos de caso

Foram selecionados dois municípios (Acará e Paragominas) para avaliar os níveis de causalidade e cointegração entre as variáveis rendimento da mandioca e precipitação no período de 1990 a 2014, ou seja, avaliar a existência de relação de causa e efeito entre as variáveis. Acará e Paragominas são municípios com rendimento de mandioca relativamente alto, mas com níveis médios de precipitação diferentes. Paragominas apresenta menor nível médio de precipitação em relação a Acará.

Na Figura 40 são apresentadas as series temporais de rendimento de mandioca e precipitação para os municípios de Acará e Paragominas. Observa-se um aumento mais acentuado no rendimento da mandioca a partir do ano de 1998 para o município de Acara e a partir do ano 2000 no caso de Paragominas.

Inicialmente foi realizado o teste de raiz unitária utilizando-se o teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) para verificar se as séries apresentam tendência. Neste caso, é testada a hipótese H_0 de existência de raiz unitária na série, indicando que a mesma apresenta tendência. Os resultados para o teste ADF nas duas séries são mostrados na Tabela 13. Os resultados indicam a presença de raiz unitária, pois a hipótese H_0 não foi rejeitada, ou seja, as duas séries apresentam tendência.

Figura 40 – Series temporais de rendimento de mandioca e precipitação anuais para os municípios de Acará (acima) e Paragominas (abaixo) no período de 1990 a 2014.



Fonte: Do autor.

Tabela 13 –Teste de raiz unitária nas series dos municípios de Acara e Paragominas.

Município	Serie	Estatística do teste	Nível de significância
Acara	Rend. da mandioca	0,1042	NS
	Precipitação	-0,4063	NS
Paragominas	Rend. da mandioca	0,6723	NS
	Precipitação	-0,7084	NS

Valores críticos para a estatística de teste: -2,6 (1%), -1,95 (5%), -1,61 (10%)

NS : Não significativo

Fonte: Do autor.

Em sequência, os testes são realizados em primeira diferença e seus resultados, expostos na Tabela 14, conduzem a conclusão que para todas as séries uma única diferenciação é suficiente para torná-las estacionárias. Portanto, os resultados indicam que todas as séries são integradas de ordem I (1).

Tabela 14 –Teste de raiz unitária (ADF) em primeira diferença nas series.

Município	Serie	Estatística do teste	Nível de significância
Acara	Rend. da mandioca	-4,7317	***
	Precipitação	-4,280	***
Paragominas	Rend. da mandioca	-3,645	***
	Precipitação	-4,3042	***

Valores críticos para a estatística de teste: -2,6 (1%) ***, -1,95 (5%)**, -1,61 (10%)*

Fonte: Do autor.

Para avaliar se as series são cointegradas foi então realizada a regressão entre as mesmas a verificada a estacionariedade dos resíduos da regressão. Inicialmente, foi verificado se as precipitações causaram rendimento. Neste caso, a hipótese H0 testada foi “Precipitação não causa Rendimento”, ou seja, os modelos de regressão são

$$\text{Rend}_i = \beta_{0i} + \beta_i \text{Prec}_i + \varepsilon_i \quad (8)$$

em que $i = 1$ (Acará), 2 (Paragominas). Nas Tabelas 15 e 16 são apresentados os resultados. A regressão, indicada pelos parâmetros β_i , apresentou resultado significativo para o município de Acará ($t = 2,336$, $p < 0,0285$) e não significativo para o município de Paragominas ($t = 4,927$, $p < 0,271$), como se pode observar na Tabela 15.

Na aplicação do teste ADF nos resíduos das regressões a hipótese H0 de raiz unitária na série, ou seja, série com tendência, foi rejeitada nos dois casos. A conclusão, portanto, é que para o município de Acará, as séries rendimento da mandioca e precipitação são integradas. Neste caso, a hipótese H0 (“Precipitação não causa Rendimento”) é rejeitada e pode-se afirmar que, de acordo com o modelo de regressão, a cada aumento de 1 mm da precipitação/ano houve um aumento, em média de 4,98 kg/ha no rendimento da mandioca. Para o município de Paragominas, como não houve regressão entre rendimento de mandioca e precipitação nada se pode afirmar.

Foi testada a hipótese H0, “Rendimento não causa Precipitação” e, nos dois casos, tanto no município de Acará como de Paragominas não houve integração.

Tabela 15 – Estimativas dos modelos de regressão.

Município	Parâmetro	Estimativa	Valor <i>t</i>	Pr(> t)
Acará	β_{01}	3039,454	0,600	0,5546 ns
	β_1	4.980	2.336	0,0285 *
Paragominas	β_{02}	12207,918	4,927	5.59e-05 ***
	β_2	1,678	1,129	0,271 ns

Códigos de Signif. :>0,001 ‘***’; > 0,01 ‘**’; > 0,05 ‘*’; > 0,10 ‘&’ ;
ns: não significativo

Fonte: Do autor.

Tabela 16 –Teste de raiz unitária nas series residuais das regressões dos municípios de Acara e Paragominas.

Município	Serie	Estatística do teste	Nível de significância
Acará	Resíduos	-1,6408	*
Paragominas	Resíduos	-1,6408	*

Valores críticos para a estatística de teste: -2,6 (1%) ***, -1,95 (5%) **, -1,61 (10%)*
NS : Não significativo

Fonte: Do autor.

5 – DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

5.1.DISCUSSÃO

Trabalhos anteriores com abordagem de impactos do clima regional no rendimento agrícola são poucos para a Amazônia, particularmente para o estado do Pará. Abaixo, mencionam-se algumas dessas poucas contribuições.

Segundo Modesto Junior et al (2016), com respeito aos quatro municípios do estado do Pará que apresentam as maiores produções de mandioca, somente em Acará o preparo da área é o tradicional praticado na agricultura familiar, isto é, do tipo corte-queima que apresenta alguns inconvenientes como poluição ambiental, erosão, perda de nutrientes, além de tratar-se de um trabalho penoso com grande desgaste físico do agricultor. Esse sistema só permite bom rendimento no primeiro ano, pois no segundo a produtividade das culturas diminui, aumenta a infestação de ervas daninhas, e o número de capinas. Com isso, o agricultor abandona a área, deixando-a em pousio, derrubando nova capoeira para continuar a produzir alimentos. Os outros três municípios, Ipixuna do Pará, Bragança e Aurora do Pará, o preparo da área é semi ou totalmente mecanizado. Além disso, a variedade que é plantada em Acará é a do tipo Crioula, enquanto que nos outros três municípios a variedade é do tipo BRS Poti./ BRS Mari. Nos municípios com a menores produções, como Limoeiro do Ajuru, Ponta de Pedras, Salvaterra, Bagre, Curralinho ,Santa Isabel do Pará e Capitão Poço, o preparo da área é de corte e queima e a variedade é Crioula, com exceção de Capitão Poço, cujo sistema é de plantio é semi ou totalmente mecanizado. Dom Eliseu e Moju são os municípios que apresentam os maiores rendimentos médios. O sistema de plantio é de corte e queima e a variedade é do tipo Crioula. O terceiro (Aurora do Pará) e o quarto (Ipixuna do Pará) com maiores produtividade praticam o sistema de plantio semi ou totalmente mecanizado e a variedade plantada é a BRS Poti/Mari. Em todos os municípios, o plantio ocorre em dezembro e Junho, com exceção de Dom Eliseu que ocorre em outubro. O solo em todos os municípios é do tipo Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2016).

A produtividade está condicionada a forma e manejo dos agricultores e relacionando com trabalhos realizados no Estado do Pará, como Modesto Júnior et al. (2011) que alcançaram produtividade média de 25.560 kg ha⁻¹, utilizando práticas comumente relatadas na agricultura familiar, como cultivos em leira para diminuir a perda de raiz por encharcamento. Manejar o solo é, portanto, utilizá-lo adequadamente, tendo como base a relação dos vários fatores que afetam a produtividade agrícola, tais como: a rotação de culturas, o uso de adubos verdes, a fertilização, a

irrigação correta e o cultivo adequado. Já a conservação do solo é a designação coletiva dos programas de prevenção e controle à erosão, da excessiva perda de nutrientes e, de maneira geral, da perda de sua capacidade de sustentar a vegetação natural e/ou a agricultura (Alves et al., 2008; Modesto Junior et al, 2011).

A mandioca se apresenta como opção para garantir a qualidade de vida das comunidades tradicionais na Amazônia, além de reduzir o fluxo migratório do homem do campo para os grandes centros urbanos. A produção de mandioca ao longo do tempo tem alcançado a adoção de novas tecnologias tanto de pesquisas como de manejo, o cultivo racional tem sido importante para a exploração da cultura, haja vista sua contribuição na oferta em função da grande demanda de mercado. No Pará apesar do sistema de cultivo da mandioca ser praticado por pequenos produtores e apresentar ausência de mecanização, mesmo assim a capacidade de gerar lucro com níveis significantes de produtividade é alta (Richetti, 2007; Balsan, 2006).

Apesar das condições edafoclimáticas favoráveis, o sistema de produção na região norte do Brasil é marcado por adoção de práticas rústicas de plantio, visto que se observa grande parte dos camponeses utilizando na cadeia produtiva da mandioca, o cultivo vinculado ao sistema de derruba, queima e coivara (Alves et al., 2008) e adoção de ferramentas estritamente manuais, que para Mazoyer e Roudart (2010), ratifica uma completa ausência da mecanização na lavoura, práticas essas que impactam de forma direta e negativamente a produção. E por outro lado, forçam os produtores a buscarem novas áreas de cultivos, expandindo a fronteira agrícola na região (Buainainet al., 2007).

Resultados dessas práticas de cultivo resultam em baixa produtividade, pois segundo levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), os municípios do estado do Pará apresentam baixa produtividade média de raízes de mandioca, o volume produzido é da ordem de 14,68 t/ha, valor bem inferior às possibilidades da região, que segundo Alves et al., (2008) é uma produção muito abaixo das que poderiam ser obtidas. Porém este problema pode ser suprimido a partir da adoção de tecnologias e adequações técnicas, dentre elas, a denominada “trio da produtividade” o que pode duplicar a produção, chegando na ordem de 27,64 t/ha.

No presente trabalho, as análises da distribuição espacial das correlações de Spearman entre RM de mandioca e a precipitação pluviométrica nos municípios da RRB no estado Pará durante o período de 1990 a 2014, de uma maneira geral mostraram um padrão heterogêneo com valores positivos e negativos se alternando ao longo da região para todas as situações de regime de chuva. Os resultados demonstram que a influência do aumento ou a diminuição no total de precipitação registrado tanto no período anual quanto no período mais e menos chuvoso no RM

de mandioca não apresenta padrão único ao longo da RRB, ou seja, se observam municípios com correlações direta e indireta. Os resultados obtidos evidenciam que RM da mandioca nos municípios da RRB são mais influenciados pelo total anual de chuva (38% dos municípios) que pelos períodos mais chuvoso (31% dos municípios) e menos chuvoso (28% dos municípios). A correlação entre a RM de mandioca e a total anual de chuva mostrou que os municípios de Ulianópolis, Acará, Dom Eliseu, Ipixuna do Pará e Viseu apresentaram correlações positivas com nível de significância de 0,05, ou seja o RM de mandioca aumenta (diminui) nos anos com o total anual acima (abaixo) da Normal Climatológica. Por outro lado, os municípios, cuja correlação foi indireta, isto é, negativa, em que o RM de mandioca aumenta/diminui nos anos com o total anual baixo (acima) da Normal Climatológica, com nível de significância de 0,05, foram Santo Antônio do Tauá, Terra Alta, Oeiras do Pará, Bragança, Augusto Correa, Santa Isabel do Pará, São Sebastião da Boa Vista e Primavera.

Os impactos no RM de mandioca decorrentes dos anos climáticos extremos EC- (El Nino + Gradiente Norte) e EC+ (La Nina + Gradiente Sul) mostraram também um padrão heterogêneo, não afetando a região como um todo. Observou-se que o impacto em alguns municípios foi favorável e em outro desfavorável ao RM de mandioca.

As análises com base na estatística espacial revelaram necessidade de se considerar, na avaliação das relações entre as variáveis em estudo, a componente espacial, isto é, significa que existe autocorrelação espacial entre elas, pois, em todos os casos os índices de Moran foram altamente significativos ($p < 0,001$). Os valores encontrados para o I de Moran Global foram positivos, o que identifica uma autocorrelação espacial global positiva para todas as variáveis de interesse, que no caso do presente estudo, isso significa dizer que municípios que apresentam valores das variáveis de interesse elevados são vizinhos de outros municípios que também apresentam elevados valores das variáveis de interesse (alto-alto) ou, alternativamente, que municípios com baixo valores são circundados por outros municípios também apresentando baixos valores (baixo-baixo). Quando se utiliza a avaliação da relação entre a precipitação e o rendimento da mandioca através do índice de Moran bivariado, observou-se de maneira geral uma associação negativa entre as variáveis, ou seja, locais com precipitações mais altas foram associados a rendimentos mais baixos de mandioca (alto-baixo) e vice-versa (baixo-alto).

Com a finalidade de se avaliar os níveis de causalidade e cointegração entre as variáveis RM de mandioca e precipitação no período de 1990 a 2014, ou seja, avaliar a existência de relação de causa e efeito entre as variáveis, foram escolhidos os municípios de Acará e Paragominas que apresentaram rendimentos de mandiocas relativamente alto mas com níveis médios de precipitação diferentes. Encontrou-se para o município de Acará, que as séries RM de

mandioca e precipitação são integradas, e pode-se afirmar que, de acordo com o modelo de regressão, a cada aumento de 1 mm da precipitação/ano houve um aumento, em média de 4,98 kg/ha no rendimento da mandioca. Para o município de Paragominas, como não houve regressão entre rendimento de mandioca e precipitação nada se pode afirmar.

5.2.CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo permitiram concluir que:

- 1) Comprovar a existência de alta variabilidade espacial da precipitação climatológica ao longo da região, sendo que os municípios localizados na porção sul da RRB apresentam valores pluviométricos mais baixos, enquanto que os municípios situados na parte norte e ao longo da faixa litorânea exibem os valores de precipitação mais altos. Foi possível a identificação do quadrimestre de ocorrência do regime chuvoso, o qual na maior parte dos municípios da RRB acontece nos meses de janeiro a abril, exceto na porção litorânea no extremo nordeste, a partir de Curuçá até Viseu, onde prevalece os meses de fevereiro a maio;
- 2) A distribuição espacial da precipitação categorizada durante o regime chuvoso dos municípios da RRB para as composições El Niño e GrNorte demonstram a existência de um padrão de precipitação predominantemente abaixo e muito abaixo do normal na maior parte dos municípios da RRB, sendo que na composição El Niño verifica-se uma maior quantidade de municípios na categoria muito acima, em comparação a composição GrNorte. Estas evidências permitem concluir que os impactos do El Niño do Pacífico são mais generalizados e mais intensos do que a fase GrNorte do Atlântico no regime chuvoso em escala municipal do nordeste do Pará;
- 3) Os padrões oceânicos e atmosféricos identificados nas composições LaNiña e GrSul formaram as condições favoráveis ao regime chuvoso amazônico, em associação a manifestação do ramo ascendente das circulações troposféricas de Walker e de Hadley que contribuíram para a intensificação da banda de nebulosidade convectiva da ZCIT sobre a Amazônia oriental/Atlântico equatorial sul. A distribuição espacial da precipitação categorizada durante o regime chuvoso dos municípios da RRB para as composições La Niña e GrSul demonstram a existência de um padrão de precipitação predominantemente acima e muito acima do normal na maior parte dos municípios da RRB. A quantidade de municípios na categoria muito acima é similar para ambas as composições, porém a composição GrSul tende a apresentar mais municípios na categoria normal;

- 4) Em geral, as correlações entre rendimento da mandioca e a precipitação anual é mais intensa e com maior número de municípios com correlações estatisticamente significantes, em relação às correlações com a precipitação do regime chuvoso e do regime menos chuvoso. Uma explicação para que a precipitação anual apresente maior resposta (efeito do clima na agricultura) é que o sistema de plantio da mandioca varia temporalmente ao longo da região, com pelo menos dois ciclos de plantação (inverno e verão) durante o primeiro e segundo semestre, tal que a padrão de chuva anual consegue captar bem o sinal de rendimento da mandioca na maior parte da região;
- 5) Analisando a distribuição espacial das correlações entre a precipitação e o rendimento médio de mandioca, evidencia-se um padrão heterogêneo com valores positivos e negativos se alternando ao longo da região. Esse resultado demonstra que a influência do aumento ou a diminuição da precipitação no rendimento da mandioca não apresenta padrão único ao longo da RRB, ou seja, têm-se municípios com correlação direta (positiva) e indireta (negativa);
- 6) Os impactos dos anos climáticos extremos EC-(El Niño e GrNorte) e EC+(La Niña e GrSul) no rendimento médio de mandioca induziram sinais favoráveis e desfavoráveis nos municípios ao longo da região, evidenciando que o impacto não teve comportamento homogêneo. Considerando anos climáticos EC-, alguns municípios como Ulianópolis, Acará, Dom Eliseu, Viseu e Ipixuna do Pará apresentaram rendimento abaixo da média e em outros municípios como Santo Antônio do Tauá, Terra Alta, Oeiras do Pará, Bragança e Augusto Corrêa o rendimento médio ficou acima da média. Concernente aos anos climáticos EC+, os municípios como Santo Antônio do Tauá, Terra Alta, Oeiras do Pará, Bragança e Augusto Corrêa apresentam condições desfavoráveis ao rendimento da mandioca, por outro lado, municípios como Ulianópolis, Acará, Dom Eliseu, Viseu e Ipixuna do Pará o aumento da chuva beneficiou o rendimento médio de mandioca;
- 7) Os índices de Moran Global e suas respectivas significâncias para as variáveis em estudo mostram a necessidade de se considerar, na avaliação das relações entre as variáveis em estudo, a componente espacial, isto é, significa que existe autocorrelação espacial, pois, em todos os casos os índices de Moran foram altamente significativos ($p < 0.001$);
- 8) Os índices de Moran são positivos, o que identifica uma autocorrelação espacial global positiva para todas as variáveis de interesse, ou seja, municípios que apresentam valores das variáveis de interesse elevados são vizinhos de outros municípios que também apresentam elevados valores das variáveis de interesse (Alto-Alto) ou, alternativamente, que municípios com baixo valores das variáveis de interesse são circundados por outros municípios também ostentando baixo valores das variáveis de interesse (Baixo-Baixo).

9) A análise do Índice de Moran bivariado, que mostra se existe uma relação entre a precipitação e o RM de mandioca, isto é, avalia se um local com alta (ou baixa) precipitação está influenciando os rendimentos de mandioca em sua vizinhança, mostrou de uma maneira geral que ocorre uma associação negativa entre as variáveis, ou seja, locais com precipitações mais altas estão associados a rendimentos mais baixos de mandioca e vice-versa.

Sugestão de trabalhos futuros:

Incluir a variável do tipo de solo e abordar a variável água no solo (balanço hídrico) nas análises de impactos do clima na produtividade agrícola da mandioca.

6 – REFERÊNCIAS

Alberto, C. M.; Streck, N. A.;Heldwein,A.B.;Buriol, G. A.; Medeiros , S. L. (2006). Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Nino Oscilação Sul. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.41(7):1067-1075.

Alfonsi, R. R. Agrometeorologia e sua importância para uma agricultura racional e sustentável. In: Sant'Anna Neto, J. L; Zavatini, J. A. (2000). Variabilidade e mudanças climáticas. Maringá: EDUEM, 2000. p. 213-233.

Almeida, E. 2012. Econometria Espacial Aplicada, Editora Alínea, Campinas SP.

Alves, J. M. B., Campos, J. N. B., Souza, E. B. (1998). Produção agrícola de subsistência no estado do Ceará com ênfase aos anos de ocorrência de El Niño e La Niña. Revista Brasileira de Agrometeorologia 6, 249-56.

Alves, R. N. B.; Modesto Júnior, M. de S.; Andrade, A. C. da S. 2008. O trio da produtividade na cultura da mandioca: estudo de caso de adoção de tecnologias na região no Baixo Tocantins, Estado do Pará. In: Congresso da Associação Brasileira das Instituições de Pesquisa Tecnológica, 2008, Campina Grande. Os desníveis regionais e a inovação no Brasil: os desafios para as instituições de pesquisa tecnológica. Brasília, DF: ABIPTI. 1 CD-ROM.

Anselin, L. (1996). The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association. In: Fisher, M.; Scholten, H. J.; Unwin, D. (Ed.). Spatial analytical perspectives on GIS. London: Taylor & Francis, p.111-125.

Anselin, L. 1995. Local Indicators of Spatial Association (LISA), *Geographical Analysis*, V. 27.

Araujo, P. H. C. (2012). Eventos climáticos extremos: os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a produtividade agrícola das regiões Nordeste Sul do Brasil. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. 45f.

Arruda, H.V.; Pinto, H. (1980). A simplified gamma probability model for analysis of the

Assad, E.; Pinto, H. S. (2008). Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil. Brasília: Embrapa.

Ayoade, J. O. (1986). Introdução à climatologia para os trópicos. São Paulo: Difel.

Baillet, T. C.; Gatrell, A. C. (1995). *Interactive spatial data analysis*. Essex: Longman

Balsan, R. 2006. Impactos decorrentes da Modernização da agricultura brasileira. *CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária*, 1(2).

Berlato, M.A.; Farenzena, H.; Fontana, D.C. (2005). Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no estado do Rio Grande do Sul. *Pesq. Agropec. Bras.*, v.40(5): 423-432.

Berlato, M.A.; Fontana, D.C. Variabilidade interanual da precipitação e variabilidade dos rendimentos de soja na Estado do Rio Grande do Sul. (1999). *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.7, n.1, p.119-125.

Bindraban, P. et al. 2000. Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 81(2):103-112. ISSN 0167-8809.

Bjerknes, J. (1969). Atmospheric teleconnections from the equatorial pacific. *Monthly Weather Review*, 97(3), 163-172.

Buainain, A, M.. 2007. Agricultura familiar e inovação tecnológica no Brasil: características, desafios e obstáculos. Campinas, SP: Ed. Unicamp.

Camargo Filho, W.P.; Alves, H.S.2004. Produção e mercado de mandioca: análise de preços ao produtor. *Informações Econômicas*, SP, v.34, n.9.

Camargo, M.B.P. (1984). Exigências bioclimáticas e estimativa da produtividade para quatro cultivares de soja no Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ, 1984. 96p. Tese (Mestrado).

Chen, M.; Shi, W.; Xie, P.; co-authors. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. *Journal of Geophysical Research*, v. 113, p. D04110, 2008.

Coelho C.A.S., C.B. Uvo and T. Ambrizzi, 2002: Exploring the impacts of the tropical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. *Theoretical and Applied Climatology*. 71, 185-197.

Costa, F. A. (1993). O desenvolvimento agrícola dos anos oitenta no Estado do Pará e suas fontes de financiamento. Belém: UFPA/NAEA. 22p. (Paper nº 7).

Cultura Da Mandioca (*Manihot esculenta subsp. esculenta*). 2012. Emater–MG.

Cunha, G. R. da. El Niño – Oscilação Sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, v. 7, n. 2. p. 277-284. 1999.

De Ponti, T.; Rijk, B.; Van Ittersum, M. K. 2012. The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural Systems* 108: 1-9. ISSN 0308-521X.

De Souza EB, Alves JMB, Nobre P (1998). Anomalias de precipitação nos setores norte e leste do Nordeste Brasileiro em associação aos eventos do Padrão de Dipolo observados sobre o Atlântico tropical. *Rev Bras Meteorol* 13(2): 45-56.

De Souza EB, Kayano MT, Ambrizzi T (2005). Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and Northeast Brazil during the autumn rainy season. *Theor Appl Climatol* 81: 177–191

De Souza EB, Kayano MT, Tota J, Pezzi L, Fisch G, Nobre C (2000). On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960–1998. *Acta Amazon* 30(2): 305–318.

De Souza EB, Lopes MNG, Rocha EJP, co-authors (2009). Precipitação climatológica sobre a Amazônia oriental durante o período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. *Rev Bras Meteorol* 24(2): 111-124.

De Souza EB, Nobre P (1998). Uma revisão sobre o Padrão de Dipolo no Oceano Atlântico tropical. *Rev Bras Meteorol* 13(1): 31-44.

Dias, C. A. de C.; Martinez, A. A. 1986. Mandioca: Informações importantes. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. 20 p. (Instruções práticas, n. 190).

Druck, M. S.; Carvalho, M. S.; Câmara, G.; Monteiro, A. V. M. (Ed.). 2004. Análise espacial de dados geográficos. Planaltina: Embrapa Cerrados, p.208.

EMBRAPA. 2016. Mapas de Solos e de Aptidão Agrícola das Áreas Alteradas do Pará. Embrapa Amazônia Oriental. Embrapa Solos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA.

Fauquet, C.; Fargette, D. 1990. African Cassava Mosaic Virus: Etiology, Epidemiology, and Control. *Plant Disease*. 74 (6): 404–11.

Fermont, V. A. et al. 2009. Closing the cassava yield gap: an analysis from smallholder farms in East Africa. *Field Crop Research*, v.(12):24-36. ISSN 0378-4290.

Ferreira, D. B. (2005). Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil. (INPE-13599-TDI/1038). São José dos Campos, p.123.

Filgueiras, G. C. (2002). Crescimento agrícola no Estado do Pará e a ação de políticas públicas: avaliação pelo método shift-share. Belém: UNAMA. 156f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade da Amazônia.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1995. Dimensions of Need: An atlas of food and agriculture.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Dados da produção mundial da mandioca. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 17 nov. 2014.

frequency distribution of rainfall in the region of Campinas, SP - Brazil. Agricultural and Forest
Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará (FAPESPA). 2015. Boletim
Agropecuário do Estado do Pará 2015. Belém, nº 1.

Gonçalves, E. A. (2005). Distribuição Espacial da Atividade Inovadora Brasileira: Uma Análise
Exploratória. Texto para discussão CEDEPLAR Nº 246. Belo Horizonte: UFMG, 33p

Grimm, A., S. Ferraz, and J. Gomes, 1998: Precipitation Anomalies in Southern Brazil
Associated with El Niño and La Niña Events. J. Climate, 11, 2863–2880.

Haesbaert, R. Região, diversidade territorial e globalização. Geographia, v. 1 (1), p. 15-39, 1999.

Hastenrath S, Greischar L (1993). Circulation mechanisms related to northeast Brazil rainfall
anomalies. J Geophys Res 98(D3): 5093-5102.

Hastenrath S, Heller L (1977). Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil. Quart J R
Meteor Soc 110: 411-425.

Homem de Melo, F. (2001). “A Liberalização Comercial e a Agricultura Familiar No Brasil”.
Departamento de Economia da FEA-USP e Pesquisador da FIPE – Fundação Instituto de
Pesquisas Econômicas (monografia).

Homma, A.K.O. (1981). Fontes de crescimento da agricultura paraense, 1970/80. Belém:
EMBRAPA-CPATU. 29p. (Boletim de Pesquisa, 27).

IBGE. Estados. 2010. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=pa%3E>.
Acesso em 12 de mar. 2017.

INCRA. (2000). Novo Retrato da Agricultura Familiar: O Brasil Redescoberto, Ministério do
Desenvolvimento Agrário, Brasília.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Projeto Regiões Rurais 2015 – Relatório
Técnico. Rio de Janeiro, 2015. 41 pp.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Sistema de Recuperação Automática
(SIDRA). Pesquisa Agrícola Municipal 2015. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br/. Acesso
em mar. 2015.

Kalnay, E. et al. NCEP/NCAR 40-year Reanalysis project. (1996). *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 77, p. 437-471.

Kiladis, G. and H. Diaz, 1989: Global Climatic Anomalies Associated with Extremes in the Southern Oscillation. *J. Climate*, 2, 1069–1090.

Kousky, V. E., Kagano, M. T., & Cavalcanti, I. F. (1984). A review of the Southern Oscillation: oceanic-atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. *Tellus A*, 36(5), 490-504.

Liebmann, B., and C. A. Smith, (1996): Description of complete (interpolated) outgoing longwave radiation data set. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 1275–1277.

Lorenzi, J. O.; Monteiro, D. A. 1980. A mandioca (*Manihotesculenta* Crantz.) como matéria prima para produção de etanol no Brasil. Campinas: Instituto Agrônômico. 80p. (Boletim técnico, n. 67).

Lorenzi, J.O. Mandioca. Campinas: CATI, (2003). (Boletim Técnico, n.245). Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária 2008. Nota técnica. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/>. Acessado em 20/09/2015.

Magalhães, A. (1988). The effects of climate variations on agriculture in Northeast Brazil. In: Parry, M.; Carter, T.; Konijn, N. (Ed.). *The impact of climate variations on agriculture: assessments in semi-arid regions*. [S.l.]: Kluwer Academic Publishers 2, 277-304.

Manosso, F. C. A produtividade de soja, trigo e milho e suas relações com a precipitação pluviométrica no município de Apucarana-pr no período de 1968 a 2002. *Geografia*, v. 14, 87-98, 2005.

Marcos, Z. Z. O sistema de produção agrícola. 1983. Salvador: Delegacia do Ministério da Agricultura. 2p. (Seminário apresentado na Delegacia do Ministério da Agricultura, em Salvador, Bahia.

Marengo J.(1992). Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *International Journal of Climatology* 12: 853-863.

Marengo.J. ; Jones, A.; Alves, R.; Valverde, L.(2009b). Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling

system. *Int. J. Climatol.* Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com)
DOI: 10.1002/joc.1863.

Mattos, P. L. P.; Farias, A. R. N.; Ferreira Filho, J. R. Mandioca: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 2006. Embrapa Informação Tecnológica – Brasília, DF.

Mayozer, M.; Roudart, L. 2010. História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea. São Paulo. Ed. UNESP; Brasília, DF: NEAD. 568p.

Meteorology, 22(2):101-108.

Modesto júnior, M. S.; A, R.N. B.; Silva, E. S. A. 2011. Produtividade de mandioca cultivada por agricultores familiares na região do Lagos, município de Tracuateua, estado do Pará. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*, Belém, v.6, n.12.

Modesto Júnior, M. S.; Alves, R. N. B. Cultura da mandioca: aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistemas de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria. 2016. EMBRAPA, Brasília, DF. Disponível em: <https://www.embrapa.br/amazonia-oriental/publicacoes>.

Moran, P. A. P. 1948. The interpretation of statistical maps. *Journal of the Royal Statistical Society B*, v. 10, p. 243-251.

Moura AD, Shukla J (1981). On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *J AtmosSci* 38: 2653-2675.

Nobre P, Shukla J (1996). Variations of SST, wind stress and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *J Clim* 9: 2464–2479.

Normanha, E. S. 1941. Clima e terra para cultura da mandioca. *O Agrônomo*, Campinas, v. 1:77-79.

Pereira, M. D., Souza Filho, J. F. de; Moura, M. O. (2016). "Análise da pluviosidade na microrregião de Sapé, Paraíba e sua relação com a produção da cana-de-açúcar." *Revista Geonorte* v3(9): 910-921.

Perobelli., F. S, Almeida, E. S, Souza, M. C., Souza, R. M. (2005). Produção de soja na região Sul do Brasil (1991-2003): uma análise espacial. Mimeo., NUPE/FEA/UFJF, Juiz de Fora.

Pezzi LP, Cavalcanti IFA (2001). The relative importance of ENSO and tropical Atlantic SST anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. *ClimDyn* 17: 205-212.

Philander, S.G.H., 1990: *El Niño, La Niña and the Southern Oscillation*. Academic Press, San Diego, CA, 289 pp.

Queiroz, M. P.; Silva, F. G. F. da; Araújo, C. E. F. 2009. Análise espacial exploratória de roubos de cargas em rodovias federais no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Risco e Seguro*, Rio de Janeiro, v. 4, n. 8, p. 129-144, out. 2008/mar.

Raffalovich, L. E. Detrending Time Series: A Cautionary Note. *Sociological Methods & Research*, v. 22, n. 4, p. 492–519, 1 1994.

Rasmusson, E.M. and Carpenter, T., 1982: Variations in Tropical Sea Surface Temperature And Surface Wind Fields Associated With the Southern Oscillation/El Niño. *Monthly Weather Review* 110, 354-384.

Reynolds, R.W. et al. (2002). An improved in situ and satellite SST analysis for climate. *Journal of Climate*, v. 15, p. 1609–1625.

Richetti, A. (2007). Custo de produção de mandioca industrial, safra 2007. *Revista Raízes e Amidos Tropicais*, 3(1). Schwarz, G. Estimating the dimensionality of a model. *Annals of Statistics*, Hayward, v.6, n.2, p.461-464, Mar. 1978.

Ronchail, J., Cochonneau, G., Molinier, M., Guyot, J. L., De Miranda Chaves, A. G., Guimarães, V., & De Oliveira, E. (2002). Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans. *International Journal of Climatology*, 22(13), 1663-1686.

Roosevelt, A. C.; Costa, M. L.; Machado, C. L.; Michab, M.; Mercier, n.; Valladas, H.; Feathers, J.; Barnett, W.; Silveira, M. I.; Henderson, A.; Sliva, J.; Chernoff, B.; Reese, D. S.; Holman, J. A.; Toth, N.; Schick, K. 1996. Paleoindian cave dwellers in the Amazon: the peopling of the Americas. *Science*, v. 272, p. 373-384.

Ropelewski, C. F. and Halpert, M. S. (1987). Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Monthly Weather Review*, 115(8), 1606-1626.

Ropelewski, C. F. and Halpert, M. S. (1989). Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *Journal of climate*, 2(3), 268-284.

Ruiz-Barradas A, Carton JA, Nigam S (2000). Structure of interannual-to-decadal climate variability in the tropical Atlantic sector. *J. Clim* 13: 3285–3297.

Sant'Anna Neto, J. L. Clima e a organização do espaço. *Boletim de Geografia, Maringá*, v. 16, n. 1, p. 119- 131,1998.

Santana, A. C. (1998). Crescimento e estrutura da produção agrícola na Amazônia. Belém:FCAP. p.:57-78. (Boletim nº 17).

Sentelhas, P. et al. 2015. The soybean yield gap in Brazil-magnitude, causes and possible solution for sustainable production. *The Journal of Agriculture Science*, p.1-18. ISSN 1469-5146.

Silva, V.B. et al. An improved gridded historical daily precipitation analysis for Brazil. (2007). *Journal of Hydrometeorology*, v. 8, p. 847-861.

Teracines, E.B. (2000). Impactos econômicos do El Niño 97/98 na produção agrícola brasileira. In: *Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. Clima e Ambiente (Sustentabilidade, Riscos e Impactos)*, 4, Rio de Janeiro.

Toma, V. E.; Webster, P. J. Oscillations of the intertropical convergence zone and the genesis of easterly waves. Part I: diagnostics and theory. *ClimDyn* (2010) 34:587–604.

Trenberth, K.E. (1997). The definition of El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2771-2777.

Upton, G. J. G.; Fingleton, B. 1985. *Spatial data analysis by example: point pattern and quantitative data*. New York: J. Wiley, v.1, 410p.

Uvo, C.R.B.; Nobre, C.A., 1989. A ZCIT e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte I: A posição da ZCIT No Atlântico Equatorial. *Climanálise* 4(7): 34-34.

Valio, D A. et al. (2002). Variabilidade climática e transformação no uso do solo do extremo oeste Paulista. In: *Simpósio de Climatologia Geográfica. 5. Curitiba. Anais...* Curitiba: UFPR.

Veltz, P. Zonas, polos, redes: la economía de archipiélago. In: *Mundialización, Ciudades y Territorios – la economía de archipiélago*. Barcelona: Ariel, 1999. p. 53-65.

- Vilpoux, O. A cadeia de mandioca no Brasil. Campo Grande: SEBRAE-MS, 2006. 82 p.
- Waliser, D. and C. Gautier, 1993: A Satellite-derived Climatology of the ITCZ. *J. Climate*, 6, 2162–2174.
- Walker, G. T., and E. W. Bliss, 1937: World Weather VI. *Mem. Roy. Meteor. Soc.*, 4, No. 39, 119-139.
- Walker, G.T., 1924: Correlations in seasonal variations of weather. I. A further study of world weather. *Mem.Indian Meteorol. Dep.* 24, 275-332.
- Waller, L. A.; Gotway, C. A. 2004. *Applied spatial statistics for public health data*. New Jersey: J.Wiley, 519p.
- Wang, C. Atmospheric circulation cells associated with the El-Niño/Southern Oscillation. (2002) *Journal of Climate*, v.15, n.4, p.399-419.
- Wyrtki, K. (1975). El Niño -- The dynamic response of the equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing. *J. Phys. Oceanogr.*, 5, 572-584.
- Xavier, T.M.B.S. (1999). Caracterização de Períodos secos ou excessivamente chuvosos no Estado do Ceará através da Técnica dos Quantis: 1964-1998. *Revista Brasileira de Meteorologia*. Vol 14, n 2, p.63 – 78.
- Yoon, J.H.; Zeng, N. (2010). An Atlantic influence on Amazon rainfall. *Climate Dynamics*, 34:249 – 264.